



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

## MONOGRAFIJA

# Ekološki i energetska parametri primene poljoprivredne mehanizacije

prof. dr Anđelko **BAJKIN**, doc. dr Ondrej **PONJIČAN**,  
doc. dr Aleksandar **SEDLAR**,  
prof. dr Miodrag **ZORANOVIĆ**, prof. dr Jan **TURAN**

NOVI SAD, 2014

## **MONOGRAFIJA**

prof. dr Anđelko BAJKIN, doc. dr Ondrej PONJIČAN,  
doc. dr Aleksandar SEDLAR,  
prof. dr Miodrag ZORANOVIĆ, prof. dr Jan TURAN

### **Ekološki i energetske parametri primene poljoprivredne mehanizacije**

### **Environmental and energy parameters agricultural mechanization application**



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

---

Novi Sad, 2014.

**Izdavač**

*Poljoprivredni fakultet, Novi Sad  
Trg Dositeja Obradovića 8, 21000 Novi Sad*

**Godina osnivanja  
1954.**

**Glavni i odgovorni urednik edicije**

**Dr Milan Popović, redovni profesor.  
Dekan Poljoprivrednog fakulteta.**

**Članovi komisije za izdavačku delatnost**

**Dr Ljiljana Nešić, vanredni profesor, - predsednik.**

**Dr Branislav Vlahović, redovni profesor, - član.**

**Dr Milica Rajić, redovni profesor, - član.**

**Dr Nada Plavša, vanredni profesor, - član.**

**Autori:**

**Dr Anđelko BAJKIN, redovni profesor**  
**Dr Ondrej PONJIČAN, docent**  
**Dr Aleksandar SEDLAR, docent**  
**Dr Miodrag ZORANOVIĆ, vanredni profesor**  
**Dr Jan TURAN, vanredni profesor**

**Glavni i odgovorni urednik**  
**Dr Milan Popović, redovni profesor.**  
**Dekan Poljoprivrednog fakulteta.**

*Urednik:*

**Dr Ondrej Ponjičan, docent**

*Tehnički urednici:*

**Mast. inž. polj. Mladen Ivanišević, istraž. sar.**  
**Mast. inž. polj. Vladimir Višacki, istraž. sar.**  
Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet Novi Sad

*Recenzenti*

**Dr Mihal Meši, vanredni profesor**  
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu

**Dr Todor Janić, redovni profesor**  
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu

**Dr Mirko Urošević, redovni profesor**  
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

*Izdavač:*

**Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad**

---

Štampanje odobrio: Komisija za izdavačku delatnost odlukom **Nastavno-naučnog veća Poljoprivrednog fakulteta** Univerziteta u Novom Sadu, **1000/0102 br. 1001/2/12 od 31.10.2014.** godine odobrava štampanje ove monografije.

---

Zabranjeno preštampavanje i fotokopiranje. Sva prava zadržava izdavač.

Štampa: <http://polj.uns.ac.rs/wp-content/uploads/2014/10/Ekoloski-i-energetski-parametri-primene-poljoprivredne-mehanizacije-monografija.pdf>

Tiraž: -

Mesto i godina štampanja: Novi Sad, 2014.

## *Predgovor*

Monografija ”*Ekološki i energetske parametri primene poljoprivredne mehanizacije*”, grupe autora: dr Anđelko Bajkin, dr Ondrej Ponjičan, dr Aleksandar Sedlar, dr Miodrag Zoranović i dr Jan Turan, je nastala kao rezultat dugogodišnjih istraživanja autora u oblasti proučavanja savremene poljoprivredne tehnike. U ovom radu je poseban akcenat stavljen na ekološke i energetske parametre primene poljoprivredne mehanizacije u praksi. Ova naučna knjiga se bavi izuzetno aktuelnom problematikom iz oblasti poljoprivrednih mašina i sastoji se od pet zasebnih poglavlja:

1. *Definisanje optimalnog režima rada mašina za formiranje mini gredica pri proizvodnji korenastog povrća u cilju zaštite životne sredine, ekologije i energetske efikasnosti,*
2. *Definisanje optimalnog režima rada rotacione sitnilice u cilju zaštite životne sredine, ekologije i energetske efikasnosti,*
3. *Primena napredne tehnike i tehnologije aplikacije pesticida u višegodišnjim zasadima u cilju unapređenja ekološko-energetskih parametara hemijske zaštite,*
4. *Energetski i ekološki potencijali stajnjaka i*
5. *Fizičke osobine i distribucija mineralnih đubriva.*

Ova naučna knjiga je namenjena naučnoj i stručnoj javnosti u oblasti tehničkih i poljoprivrednih nauka, svima onima koji rade na unapređenju razvoja poljoprivredne mehanizacije, kao i studentima poljoprivrede.

Monografija je rezultat istraživanja u okviru projekta TR31046, koji nosi naziv "Unapređenje kvaliteta traktora i mobilnih sistema u cilju povećanja konkurentnosti, očuvanja zemljišta i životne sredine", koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, Republike Srbije.

Zahvaljujemo se recenzentima prof. dr Mihalu Mešiju i prof. dr Todoru Janiću sa Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Novom Sadu, kao i prof. dr Mirku Uroševiću sa Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, na korisnim sugestijama i primedbama u toku pisanja monografije. Isto tako, izražavamo svoju zahvalnost Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu, Departmanu za poljoprivrednu tehniku u Novom Sadu, kao i svima ostalima koji su doprineli izradi ove monografije. Svaka dobronamerna kritika i sugestija u smislu poboljšanja ovog naučnog dela, predstavljaće veoma korisnu informaciju u budućem radu autora, na čemu se unapred zahvaljujemo.

*Autori*

U Novom Sadu, 2014. godine

## SADRŽAJ

1.	DEFINISANJE OPTIMALNOG REŽIMA RADA MAŠINA ZA FORMIRANJE MINI GREDICA PRI PROIZVODNJI KORENASTOG POVRĆA U CILJU ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE, EKOLOGIJE I ENERGETSKE EFIKASNOSTI	1
1.1.	Zadatak mašina za obradu zemljišta	2
1.2.	Mašine za formiranje mini gredica i gredica	4
1.2.1.	Efekte rada mašina za formiranje mini gredica	4
1.2.2.	Prikaz mašina za formiranje mini gredica i gredica	5
1.3.	Optimalni režim rada mašine najnovije generacije za formiranje mini gredica i gredica pri proizvodnji korenastog povrća u cilju zaštite životne sredine, ekologije i energetske efikasnosti	10
1.3.1.	Prikaz mašine najnovije generacije za formiranje mini gredica i gredica	10
1.3.2.	Kvalitet rada mašine pri formiranju mini gredica	12
1.3.2.1.	Određivanje profila površine zemljišta	12
1.3.2.2.	Momentalna vlažnost zemljišta i vodopropustljivost	14
1.3.2.3.	Mehanički sastav zemljišta	14
1.3.2.4.	Osnovna hemijska svojstva zemljišta	15
1.3.2.5.	Momentalna vlažnost i vodopropustljivost zemljišta	16
1.3.2.6.	Specifična masa zemljišta	16
1.3.2.7.	Zapreminska masa zemljišta	17
1.3.2.8.	Ukupna poroznost zemljišta	18
1.3.2.9.	Strukturni sastav zemljišta	19
1.3.2.10.	Uticaj rada mašine za formiranje mini gredica na degradaciju zemljišta	21
1.3.2.11.	Koeficijent strukturnosti zemljišta	22
1.3.2.12.	Sabijenost zemljišta	25
1.3.3.	Dinamika formiranja zadebljalog korena mrkve	27
1.3.4.	Analiza eksploatacionih parametara mašina pri proizvodnji mrkve na mini gredicama	33
1.3.5.	Energetski bilans proizvodnje mrkve na mini gredicama	35
1.3.5.1.	Direktni energetske inputi	36
1.3.5.2.	Indirektni energetske inputi	36
1.3.5.3.	Proračun direktnih i indirektnih energetske inputa	38
1.3.5.4.	Analiza eksploatacionih parametara i energetske bilansa proizvodnje mrkve na mini gredicama	44
1.4.	Literatura	46
2.	DEFINISANJE OPTIMALNOG REŽIMA RADA ROTACIONE SITNILICE U CILJU ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE, EKOLOGIJE I ENERGETSKE EFIKASNOSTI	49
2.1.	Konstrukcioni parametri rotacionih sitnilica	50
2.1.1.	Prečnik rotora	51
2.1.2.	Broj radnih alata na nosaču	51
2.1.3.	Oblik radnih alata	52
2.1.4.	Oblik oplata rotora rotacione sitnilice	55
2.2.	Analiza energetske parametara i kvaliteta obrade zemljišta	57
2.2.1.	Model snage i energije za obradu zemljišta	57
2.2.2.	Metod proračuna snage rotacione sitnilice	60
2.2.3.	Stepen usitnjavanja zemljišta	60
2.2.4.	Specifična angažovana energija i stepen usitnjavanja zemljišta	61
2.2.5.	Optimalizacija režima rada rotacione sitnilice	65
2.2.6.	Uticaj smera obrtanja na energetske parametre i kvalitet rada	68
2.3.	Teoretska analiza kinematičkih i geometrijske parametara rotacione sitnilice	74
2.3.1.	Trajektorija vrha noža	74

2.3.2.	Kinematički pokazatelj	75
2.3.3.	Zahvat noža	75
2.3.4.	Brzina rezanja	75
2.3.5.	Ugao postavljanja noža i ugao rezanja	76
2.3.6.	Maksimalna radna dubina	77
2.3.7.	Visina grebenova na dnu brazde	78
2.3.8.	Površina plastice	78
2.3.9.	Dužina puta rezanja	79
2.3.10.	Maksimalna debljina plastice	80
2.3.11.	Analiza kinematičkih parametara rotacione sitnilice i geometrijskih parametara odrezane plastice u zavisnosti od smera obrtanja rotora	80
2.4.	Metod ispitivanja rotacione sitnilice u zavisnosti od preduseva u cilju zaštite životne sredine, ekologije i energetske efikasnosti	83
2.4.1.	Izbor parcele i postavljanje ogleada	83
2.4.2.	Adaptacija rotacione sitnilice	84
2.4.3.	Merenje energetskih parametara	86
2.4.4.	Određivanje dubine obrade i profila zemljišta	89
2.4.5.	Atmosferski uslovi	89
2.4.6.	Ocena stanja parcele i kvaliteta obrade zemljišta	89
2.4.7.	Algoritam za određivanje energetskih parametara rotacione sitnilice	90
2.5.	Energetski parametri rotacione sitnilice u zavisnosti od smera obrtanja i preduseva u cilju zaštite životne sredine, ekologije i energetske efikasnosti	92
2.5.1.	Vučna sila i snaga na poteznici traktora	92
2.5.2.	Obrtni moment, snaga i specifična energija na priključnom vratilu	94
2.5.3.	Ukupna snaga i specifična energija angažovana za rad rotacione sitnilice na strništu	103
2.5.4.	Časovna potrošnja goriva za pogon priključnog vratila traktora i ukupna časovna potrošnja goriva na strništu	105
2.6.	Kvalitet rada rotacione sitnilice u zavisnosti od smera obrtanja i preduseva u cilju zaštite životne sredine, ekologije i energetske efikasnosti	108
2.6.1.	Momentalna vlažnost zemljišta	108
2.6.2.	Zapreminska masa zemljišta	109
2.6.3.	Koeficijent strukturnosti zemljišta	111
2.6.4.	Sabijenost zemljišta	113
2.7.	Definisanje optimalnog režima rada rotacione sitnilice u zavisnosti od preduseva u cilju zaštite životne sredine, ekologije i energetske efikasnosti	115
2.7.1.	Izbor optimalnih kinematičkih parametara rotacione sitnilice i geometrijskih parametara odrezane plastice u zavisnosti od smera obrtanja rotora	115
2.7.2.	Energetski bilans rotacione sitnilice u zavisnosti od smera obrtanja rotora	115
2.8.	Literatura	119
3.	<b>PRIMENA NAPREDNE TEHNIKE I TEHNOLOGIJE APLIKACIJE PESTICIDA U VIŠEGODIŠNJIM ZASADIMA U CILJU UNAPREĐENJA EKOLOŠKO-ENERGETSKIH PARAMETARA HEMIJSKE ZAŠTITE</b>	123
3.1.	Razvoj tehnike za aplikaciju pesticida	124
3.2.	Aktuelni problemi i trendovi u hemijskoj zaštiti voćnjaka	125
3.3.	Karakteristike traktorskih orošivača	127
3.3.1.	Klasični i poboljšani tipovi orošivača	127
3.3.2.	Orošivači sa recirkulacijom tečnosti	132
3.4.	Savremeni rasprskivači	135
3.5.	Orošivači za selektivnu aplikaciju	137
3.5.1.	Energetski parametri primene selektivne aplikacije	141

	3.5.1.1.	Direktni energetske inputi	141
	3.5.1.2.	Indirektni energetske inputi	141
	3.5.1.3.	Proračun direktnih energetske inputa	142
	3.5.1.4.	Proračun indirektnih energetske inputa	144
	3.5.2.	Tehno-ekonomska analiza klasične i selektivne aplikacije jabuke	148
3.6.		Kalibracija i kontrolno testiranje orošivača	151
	3.6.1.	Kalibracija	151
	3.6.2.	Kontrolno testiranje orošivača	153
	3.6.2.1.	Vizuelna kontrola komponenti orošivača	153
	3.6.2.2.	Kontrola radne ispravnosti elementa orošivača i oprema za kontrola	154
	3.6.3.	Podešavanje geometrije mlaza prema karakteristikama voćnjaka	156
3.7.		Određivanje norme tretiranja	160
	3.7.1.	Utjecaj norme tretiranja na kvalitet i efikasnost zaštite	164
	3.7.2.	Biološka efikasnost primene različitih normi i tipova tretiranja	170
	3.7.2.1.	Ocjena biološke efikasnosti na lišću	171
	3.7.2.2.	Ocjena biološke efikasnosti na plodovima	172
3.8.		Literatura	173
4.		ENERGETSKI I EKOLOŠKI POTENCIJALI STAJNJAKA	177
4.1.		Stajnjak kao energetske ili zagađivački resurs	178
	4.1.1.	Terminologija	178
	4.1.2.	Pregled učešća produkovanog stajnjaka po tipovima	179
	4.1.3.	Sastav stajnjaka	181
4.2.		Utjecaj hraniva na kvantitativne i kvalitativne potencijale stajnjaka	183
4.3.		Pregled načina skladištenja stajnjaka	184
	4.3.1.	Bazne dimenzije skladišta ČS i mehanički separirane čvrste faze	185
	4.3.2.	Skladišne jame tečnog stajnjaka ispod uzgojnog objekata	185
	4.3.3.	TS skladišten van farmskog objekta	185
	4.3.4.	Transport i raspodjela stajnjaka	186
4.4.		Korišćenje nutrienata stajnjaka	193
4.5.		Aktuelni sistemi tretmana tečnim stajnjakom	195
	4.5.1.	Mešanje	195
	4.5.2.	Separacija	195
	4.5.3.	Aerobni tretman	195
	4.5.4.	Anaerobni tretman	195
	4.5.5.	Sistem kompostiranja	196
4.6.		Ekonomska razmatranja za menadžment stajnjaka	197
	4.6.1.	Nutritivna vrednost stajnjaka	197
	4.6.2.	Kontrolisana primena tečnog stajnjaka	198
	4.6.3.	Strategije za skladištenje i sistemske tretmane tečnim stajnjakom	198
4.7.		Spoljni utjecaji na stočarski stajnjak	200
4.8.		Centralna uloga azota u stajnjaku	201
	4.8.1.	Azotni ciklus	201
	4.8.2.	Azot u farmskom sistemu	203
	4.8.3.	Efikasnost azota u globalnoj produkciji životinja	204
4.9.		Životinjski stajnjak i ekologija	205
	4.9.1.	Ekološki utjecaj stočnih stajnjaka na zemljište	205
	4.9.2.	Problemi organske materije	210
	4.9.3.	Teški metali u zemljištu	211
	4.9.4.	Teški metali iz tečnog stajnjaka	212
	4.9.5.	Upravljanje kontaminacijom zemljišta teškim metalima	213
4.10.		Problemi slanosti i potencijalne zakorovljenosti zemljišta	215
4.11.		Ekološki utjecaji stočnog stajnjaka	217



4.11.1.	Raskvašavanje nitrata	217
4.11.2.	Oticanje nutrienata	217
4.11.3.	Emisije gasova iz stajnjaka u vazduh uzgojnog objekta i spoljno okruženje	218
4.11.4.	Prašina i endotoksini	223
4.11.5.	Mirisne smetnje iz stajnjaka	223
4.12.	Rizici od infekcije iz stočnog stajnjaka	228
4.12.1.	Prenosni mehanizmi	228
4.12.2.	Rizici od stajnjaka za javnost i stoku sa njihovim tretmanskim prevencijama	228
4.12.3.	Tehnološki tretmani stajnjaka	237
4.12.4.	Aeratori i aeraciona oprema	242
4.13.	Serijski reaktori za tretiranje stajnjaka	248
4.14.	Kompostiranje čvrstih otpada	250
4.14.1.	Biološke karakteristike komposta	251
4.14.2.	Substrati	251
4.14.3.	Tehničke karakteristike sistema za kompostiranje	252
4.14.4.	Pasivna aeracija	252
4.14.5.	Vindroversko kompostiranje	253
4.14.6.	Prinudna aeracija statične gomile	254
4.14.7.	Posudni Kompostni reaktori	255
4.14.8.	Nisko troškovni sistemi kompostiranja stajnjaka na farmi	255
4.14.9.	Kontrola patogena kompostiranjem	256
4.14.10.	Proizvodi kompostiranja	257
4.14.11.	Neka testiranja emisije gasova tokom kompostnog procesa	257
4.14.12.	Varijante i vreme skladištenja stajnjaka	261
4.15.	Tehnike miksovanja TS	264
4.15.1.	Mobilni propelerni mikseri	264
4.15.2.	Zaronjeni električni mikseri	265
4.15.3.	Hidraulično ili mlazno miksovanje	265
4.15.4.	Poređenje sistema	266
4.16.	Separacije TS	267
4.16.1.	Separacija mrkim ugljem kao absorbentom	271
4.16.2.	Zemljani filteri	271
4.16.3.	Principi membranske separacije	272
4.16.4.	Sušenje animalnih otpada	275
4.16.5.	Evaporacija	275
4.16.6.	Redukcija amonijaka	275
4.16.7.	Spaljivanje stajnjaka	276
4.16.8.	Pasterizacija stajnjaka	277
4.16.9.	Hemijski i mikrobiološki aditivi	278
4.16.10.	Redukcija fosfata krečnim mlekom	278
4.16.11.	Hemijska elektroflotacija	279
4.17.	Predlog strateških mera u bliskoj budućnosti	280
4.18.	Literatura	283
5.	FIZIČKE OSOBINE I DISTRIBUCIJA MINERALNIH ĐUBRIVA	287
5.1.	Fizičke osobine čvrstih đubriva	289
5.1.1.	Dimenzije čestica	289
5.1.2.	Efekti na primenu u poljoprivredi	289
5.1.3.	Efekti na granulaciju i performance procesa	289
5.1.4.	Efekat na skladištenje, rukovanje i karakteristike primene	290
5.1.5.	Efekat na karakteristike mešanja	290
5.1.6.	Analiza dimenzija čestica	291

5.1.7.	Gustina	293
	5.1.7.1. Nasipna gustina	293
	5.1.7.2. Sabijena gustina	293
	5.1.7.3. Prividna gustina	293
	5.1.7.4. Prava gustina	293
5.1.8.	Statički ugao nasipanja	294
5.1.9.	Tvrdoća granula	295
5.1.10.	Otpornost na abraziju	296
5.1.11.	Otpornost na uticaje (udar)	297
5.1.12.	Higroskopnost	297
5.1.13.	Kritična relativna vlažnost (KRV)	298
5.1.14.	Absorpcija vlage-karakteristike penetracije	300
5.1.15.	Test sipkosti	302
5.1.16.	Tendencija grudvanja	303
5.1.17.	Praškavost	305
5.1.18.	Fizička kompatibilnost u mešavini	306
5.1.19.	Sferičnost	306
5.1.20.	Specifična površina	307
5.1.21.	Poroznost	307
5.1.22.	Tačka topljenja	307
5.2.	Materijal ispitivanja	308
5.3.	Distribucija mineralnih đubriva	312
	5.3.1. Uslovi ispitivanja	312
	5.3.2. Metod rada	316
	5.3.3. Rezultati ispitivanja i diskusija	317
5.4.	Literatura	351

# **1. DEFINISANJE OPTIMALNOG REŽIMA RADA MAŠINA ZA FORMIRANJE MINI GREDICA PRI PROIZVODNJI KORENASTOG POVRĆA U CILJU ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE, EKOLOGIJE I ENERGETSKE EFIKASNOSTI**

## **1. DEFINING THE OPTIMAL MODE MACHINES FOR MINI-BEDS FORMING IN ROOT VEGETABLES PRODUCTION TO PROTECT THE ENVIRONMENT, ECOLOGY AND ENERGY EFFICIENCY**

**Dr Anđelko BAJKIN**

### **Rezime**

U cilju intenziviranja tehnologije proizvodnje korenastog povrća i dobijanja viših prinosa uz postizanje što boljeg kvaliteta, u praksu se uvode nove tehnologije proizvodnje. U savremenoj njivskoj proizvodnji korenastog povrća u velikoj meri je zastupljena proizvodnja na mini gredicama. Takođe su navedeni i efekti rada mašine najnovije generacije za formiranje mini gredica i gredica. Kvalitet rada mašine pri formiranju mini gredica najnovije generacije, ocenjen je preko: zapreminske mase zemljišta, ukupne poroznosti zemljišta, koeficijenta strukturalnosti zemljišta, sabijenosti zemljišta. Uticaj obrade zemljišta na degradaciju zemljišta ocenjen je analizom strukturalnog sastava zemljišta. Izmeren je uticaj obrade zemljišta na dinamiku formiranja zadebljalog korena mrkve. Analizani su eksploatacioni parametri mašina pri proizvodnji mrkve na mini gredicama a određen je i energetska bilans proizvodnje mrkve na mini gredicama.

**Ključne reči:** mašina za formiranje mini gredica, mrkva, zaštita životne sredine, ekologija, energetska efikasnost

### **Summary**

In order to intensify the root vegetables production technology and obtaining higher yields with the best quality achieving, the new production technology are introducing to the practice. A root vegetables production is largely occurs on the mini-beds in the contemporary field production. The paper presents technical solutions mini-beds machine forming. The latest generation machine for the mini-beds formation on the tillage quality of was characterized by: bulk density, total porosity, structure coefficient, and soil compaction. Influence of tillage on soil degradation assessed by analyzing the structural composition of the soil. Measured was the tillage effect on the dynamics of the carrot root formation. There were also analyzed exploitation machine parameters in the production of carrots on a mini beams. The energy balance carrots root production on mini-beds was also determined.

**Keywords:** mini-beds forming machine, carrots, environment, ecology, energy efficiency

### **1.1. Zadatak mašina za obradu zemljišta**

Zadatak mašina za obradu zemljišta je da oranični sloj koji je izložen uticajima klime, biljnog pokrivača i zemljišne faune, kao i uticajima intenzivnog navodnjavanja i gaženja, preobrati u takvo stanje u kojem će gajene biljke imati optimalne uslove za rast i razvoj (Bajkin, 1994).

Što se tiče poljoprivrednog zemljišta, treba vodi računa da se održava i povećava njegova plodnost. Zemljište treba koristiti, a ne iskorišćavati. To znači da korišćenjem zemljišta ne sme opadati njegova plodnost, već treba najmanje održavati ili još bolje, povećavati plodnost zemljišta (Milošev i Šeremešić, 2010). Zemljište je trofazni polidisperzni sistem i sastoji se iz čvrste, tečne i gasovite faze. Čvrsta faza se sastoji od mineralnog i organskog dela. Elementarne čestice zemljišta po veličini mogu se grupisati u dve, tri i ili više frakcija. Kvantitativni odnos pojedinih frakcija zemljišta izražen u % predstavlja mehanički sastav. Kao sinonim pored mehaničkog, koristi se i granulometrijski sastav. Zemljište nije mehanički skup elementarnih čestica praha peska i gline, jer zemljišne čestice retko zadržavaju svoju samostalnost, već se uglavnom međusobno slepljuju u strukturne agregate. Struktura kao fizička osobina predstavlja građu zemljišta odnosno prostorni raspored elementarnih čestica. Obrada zemljišta u kompleksnom sistemu gajenja useva jedna je od najznačajnijih agrotehničkih mera, koja doprinosi stvaranju povoljnih uslova za rast i razvoj biljaka (Molnar, 1999).

U cilju buđenja ekološke svesti neophodno je da se principi ekologije integrišu i objasne sa agronomskog aspekta jer u mnogim granama biljne proizvodnje ekološka saznanja imaju sve veći značaj i primenu. Poznavanjem i primenom prirodnih zakonitosti ekologije, biljna proizvodnja u okviru poljoprivredne proizvodnje može dati značajan doprinos u očuvanju životne sredine.

Zemljište predstavlja prirodno stanište za biljke i zahvaljujući svojim fizičkim, hemijskim i biološkim osobinama, omogućava život viših biljaka i tako ispunjava značajan proizvodni zadatak. Taj značajan proizvodni zadatak može da osigurava samo plodno zemljište, koje može da obezbedi kontinualno snabdevanje biljaka vodom, hranivima, vazduhom i toplotom. Ta osobenost zemljišta predstavlja njegov proizvodni kapacitet ili plodnost.

Ekološki značaj mehaničkog sastava zemljišta ogleda se u činjenici da je mehanički sastav zemljišta jedna od najvažnijih fizičkih osobina. Mehanički sastav zemljišta utiče na mnogobrojne druge osobine kao što su: kohezija, snaga držanja vode, adsorpcija, supstitucija, opšta i diferencijalna poroznost i drugo (Molnar, 2004). Pogoršavanje fizičkih svojstava zemljišta najčešće se ogleda u smanjenje ukupne poroznosti zemljišta i stvaranje pokorice u površinskom sloju zemljišta i sabijanju zemljišta uzrokovanom primenom teške mehanizacije na zemljištima sa nestabilnom strukturom ili na zemljištima kojima je sadržaj humusa znatno smanjen.

U obradi zemljišta, pored konvencionalne mehanizacije, sve veći značaj dobijaju modulske koncepcije izvedene od aktivnih i/ili pasivnih alata, gde se deo snage motora traktora predaje preko priključnog vratila, a deo preko pogonskih točkova. I ako je neosporan bolji kvalitet obrađenog zemljišta, relativno velika snaga potrebna za obradu zahteva dalja izučavanja i analize (Marković i dr, 1995).

Analiza kvaliteta rada mašina i načina obrade zemljišta mora da se posmatra sa ekološkog, energetskog i ekonomskog gledišta (Meši i dr, 2009).

U savremenoj njivskoj proizvodnji korenastog povrća posebno je zastupljena proizvodnja na gredicama i mini gredicama. Formiranjem gredica i mini gredica izvodi se najkvalitetnija (najintenzivnija) predsetvena priprema zemljišta i ostvaruju optimalni i ujednačeni uslovi za rast i razvoj gajenih biljaka. Točkovi traktora i priključnih mašina pri izvođenju agrotehničkih operacija u toku vegetacije (setva, sadnja, međuredna obrada, nagrtanje, hemijska nega, prihranjivanje), kombajna za berbu i transportnih sredstava kreću se po formiranim kanalima. Na ovaj način obezbeđuje se pravilno vođenje navedenih mašina po pravcu redova, te ne dolazi do gaženja površine gredica i oštećenja biljaka (*Bajkin, 1994, Bajkin i dr, 2005*). Tehnologija proizvodnje mrkve na mini gredicama na težim i hladnijim zemljištima počela je u Nemačkoj 1996. godine (*Konstantinović i Lammers, 2005*).

Za proizvodnju korenastog povrća namenjenog za realizaciju na tržištu u svežem stanju, pored fizičkih osobina zemljišta presudni značaj ima obrada zemljišta. Optimalni nivo predsetvene obrada zemljišta sa stanovišta fizičkih osobina zemljišta potrebnih za formiranje oblika korena "ekstra klase" i maksimalnog prinosa, postiže se korišćenjem mašina za formiranje mini gredica (*Ponjičan, 2009*).

Veoma je bitna analiza eksploatacionih i energetske parametara mašina za formiranje mini gredica uz ocenu kvaliteta obrade zemljišta preko fizičkih osobina zemljišta, fizičkih osobina korena mrkve i prinosa mrkve proizvedene na ravnoj površini i na mini gredicama.

Analiza kvaliteta rada mašine za formiranje mini gredica izvedena je merenjem fizičkih osobina zemljišta. Na osnovu podataka izmerenih u toku poljskih ispitivanja, ocenjen je kvalitet rada ispitivanih mašina za formiranje mini gredica.

Analiza eksploatacionih parametara i ukupne količine angažovane energije u tehnologiji proizvodnje mrkve izvedena je na mini gredicama i na ravnoj površini, uz praćenje oblika korena i prinosa mrkve. Na osnovu podataka izmerenih u toku poljskih ispitivanja određen je energetske bilans proizvodnje mrkve i dokazana opravdanost korišćenja mašine za formiranje mini gredica pri proizvodnji mrkve, ali i ostalog korenastog povrća.

Na osnovu istraživanja i analize energetske i eksploatacionih parametara i kvaliteta rada mašine za formiranje mini gredica, utvrđen je optimalni sistem za obradu zemljišta za proizvodnju mrkve, ali i ostalog korenastog povrća u našem klimatskom području za određene, ispitivane, tipove zemljišta.

## **1.2. Mašine za formiranje mini gredica i gredica**

### **1.2.1. Efekti rada mašina za formiranje mini gredica**

U cilju intenziviranja tehnologije proizvodnje korenastog povrća i dobijanja viših prinosa uz postizanje što boljeg kvaliteta, u praksu se moraju uvoditi nove tehnologije proizvodnje. Pošto se kod korenastog povrća u ljudskoj ishrani koristi zadebljali koren, za ovu grupu povrtarskih kultura, a posebno pri proizvodnji mrkve koja je namenjena za realizaciju u svežem stanju na tržištu, obrada zemljišta je posebno značajna, čak presudna.

Prednost proizvodnje povrća na gredicama je u tome što omogućuje ravnomerniji rast biljaka i sazrevanje plodova. Formiranjem kanala za kretanje točkova traktora, priključnih mašina i kombajna za berbu, izbegava se sabijanje zemljišta oko korena, gaženje i oštećenje biljaka. Moguće je bolje vođenje različitih traktorskih agregata pri obavljanju pojedinih agrotehničkih operacija počev od međuredne obrade zemljišta, hemijske zaštite do berbe povrća (*Bajkin, 1994*).

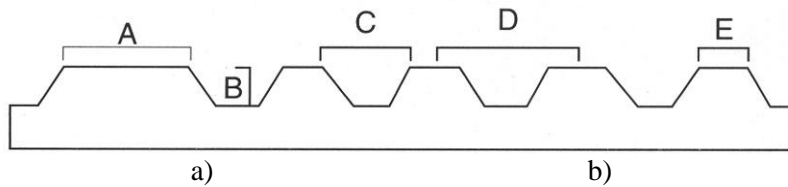
Mašine sa aktivnim radnim alatima imaju mogućnost regulacije režima rada, čime se utiče na stepen usitnjavanja zemljišta u zavisnosti od postavljenih agrotehničkih zahteva (*Páltik et al, 2003*). Konstrukcija i režim rada rotacionih radnih alata za obradu u znatnoj meri utiču na degradaciju zemljišta (*Ponjičan et al, 2011a*).

Postoje oprečna mišljenja o uticaju aktivnih reznih alata na strukturu zemljišta. Negativan uticaj se javlja ukoliko se formiraju strukturni agregati dimenzija manjih od 0,25 mm, čime se mrvičasta struktura, koja predstavlja najpovoljnije stanje strukture zemljišta sa stanovišta njegove plodnosti, pretvara u praškastu strukturu zemljišta. Brzina rezanja na starijim tipovima rotacionih reznih alata iznosila je 8–12 m/s, a na novijim iznosi 3–6 m/s, čime je smanjeno drobljenje strukturnih agregata (*Matjašin et al, 1988*).

Klasične rotacione sitnilice (rotofreze, freze) pomoću noževa odsecaju i otkidaju plastice zemljišta od oraničnog sloja i odbacuju ih unazad na poklopac. Usled intenzivnog udara čestice zemljišta o poklopac rotacione sitnilice, koji je izrađen od lima, čestice zemljišta se razbijaju, usitnjavaju i odlazu na površinu zemljišta, obrazujući obrađeni sloj. Usled velike brzine obrtanja noževa i relativno male brzine kretanja dolazi do prekomernog usitnjavanja čestica zemljišta i stvaranja praškaste strukture zemljišta (*Bajkin, 2006; Bajkin et al, 2010*).

Rotacione sitnilice se u manjem obimu koriste za obradu zemljišta zbog relativno velike angažovane energije. Glavni razlog zašto bi još u većem obimu trebalo koristiti rotacione sitnilice je visoka efikasnost rada, lako rukovanje, ravna površina zemljišta posle obrade i dobro usitnjavanje zemljišta. Unapređenjem oblika alata za obradu zemljišta (noževa) moguće je redukovati vučnu silu i potrebnu snagu, a u isto vreme postići dobar kvalitet obrade (*Salokhe and Ramalingam, 2003*).

Postoje različiti sistemi mašina za formiranje gredica pri čemu se u jednom proходу može formirati jedna ili više gredica, zavisno od dimenzije gredice i širine radnog zahvata mašine za formiranje gredice. Na osnovu visine, gredice se dele na niske i visoke, a na osnovu širine aktivnog dela mogu biti standardne ili mini gredice (*Bajkin i dr, 2005*). Osnovne dimenzije niskih gredica (sl. 1.1,a) kreću se najčešće u granicama: širina gredice (A) 1,25–1,80 m, visina gredice (B) 10–25 cm sa razmakom između gredica 160–210 cm.

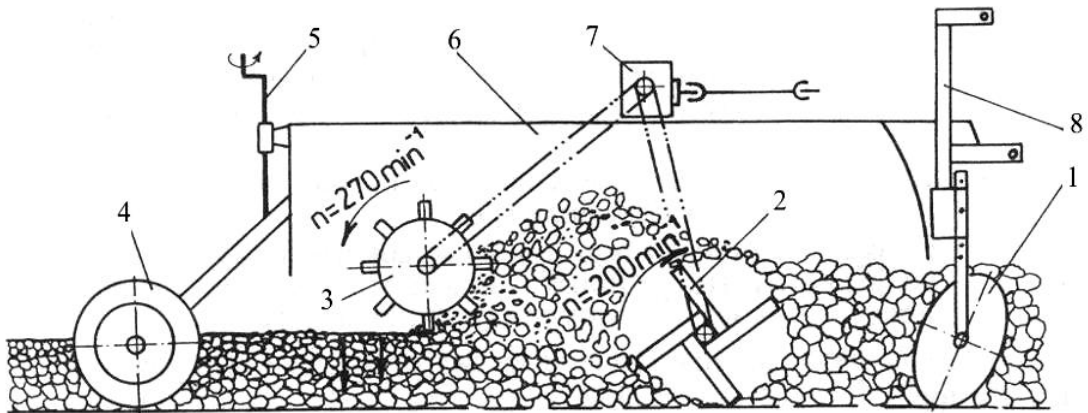


Slika 1.1 Osnovne dimenzije niskih gredica (Bajkin i dr, 2005)

Pri formiranju niskih mini gredica u jednom proходу, dobijaju se najčešće dve, tri ili četiri mini gredice (sl. 1.1,b). Minimalna širina mini gredice (E) najčešće iznosi 25 cm, minimalni razmak između mini gredica (D) 0,50 m, a minimalni razmak između gornjih ivica mini gredica (C) 25 cm.

### 1.2.2. Prikaz mašina za formiranje mini gredica i gredica

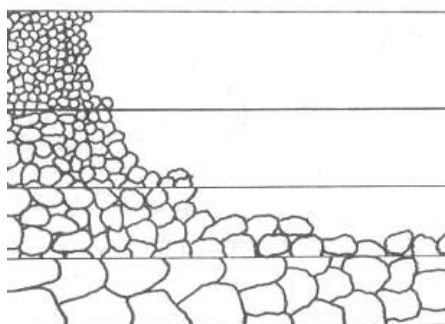
Konstrukciju mašine za formiranje niske gredice, pomoću dva aktivno pogonjena rotirajuća radna organa, opisuje Bajkin (1994). Mašina (sl. 1.2) se kači na poluge hidrauličkog sistema traktora u tri tačke. Formiranje gredica izvodi se na prethodno pooranom zemljištu.



Slika 1.2 Šematski prikaz mašine za formiranje gredice (Bajkin, 1994):

1-disk za formiranje kanala; 2-rotaciona sitnilica; 3-nazubljeni valjak; 4-zadnji osloni točak; 5-navojno vreteno za podešavanje visine niske gredice; 6-limena oplata; 7-kućište reduktora za pogon radnih organa; 8-piramida za prikopčavanje mašine

Prikazana mašina za formiranje gredica i mini gredica (sl. 1.2) formira slojevitu obradu zemljišta (sl. 1.3). Gornji deo gredica treba da bude najviše usitnjen, i treba da obezbedi optimalne uslove za izvođenje setve ili sadnje. Dublji slojevi treba da sadrže krupnije zemljišne agregate koji obezbeđuju dobar vodni i vazdušni režim.



Fino usitnjene zemljišne čestice

Sitne zemljišne čestice

Srednje krupne zemljišne čestice

Krupne zemljišne čestice

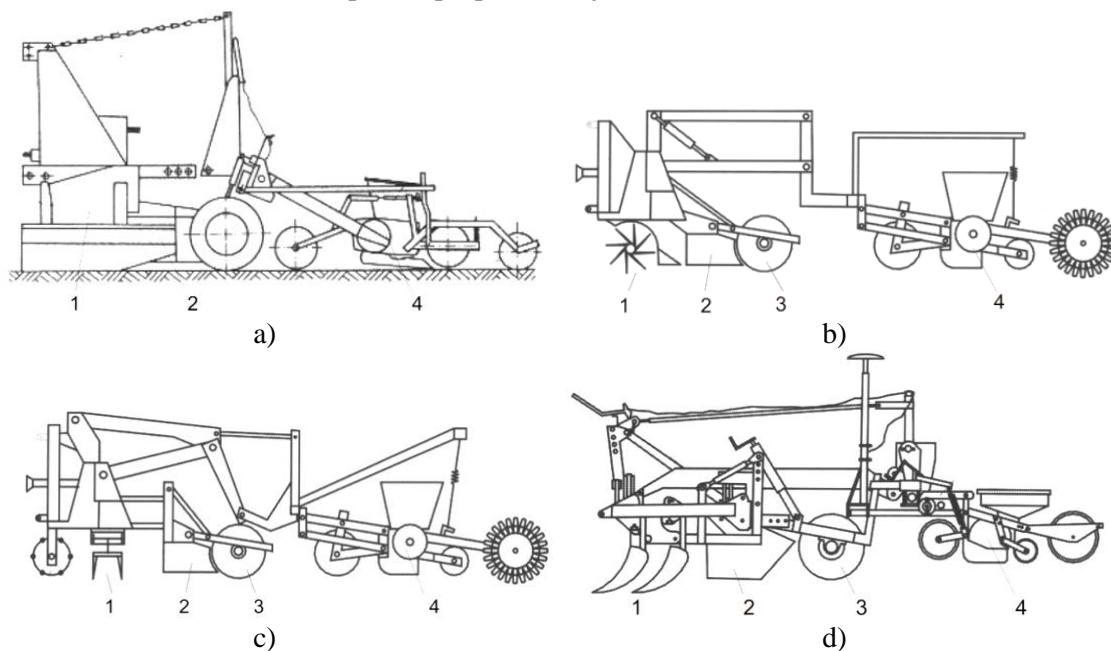
Slika 1.3 Slojevita obrada zemljišta (Bajkin, 1994)

Složene mašine za formiranje mini gredica, sastoje se iz sejalice, tako da pri formiranju mini gredica istovremeno izvode i setvu korenastog povrća (sl. 1.4) sastoje se od sledećih delova: radnog alata za obradu zemljišta koji može da bude u obliku rotacione sitnilice, drljače ili razrivača (1), usmerivača/podizača zemljišta za gredice (2), valjka za formiranje mini gredica (3) i sejalice (4).

Kombinovanu mašinu (sl. 1.4,a), koja u jednom proходу izvodi predsetvenu pripremu pomoću rotacione drljače (1), formira šest mini gredica pomoću specijalno oblikovanih limova (2) i izvodi setvu pomoću mehaničke sejalice sa kašikama na vertikalnom disku (3), prikazao je *Bajkin, (1994)*.

Za rad sa kombinovanom mašinom (sl. 1.4,a) u toku ispitivanja bila su angažovana dva radnika. Jedan radnik je vozio traktor dok se drugi radnik kretao iza agregata i kontrolisao rad. Prosečna radna brzina je iznosila 3,28 km/h. Analiza konvencionalne i nove tehnike obrade zemljišta i setve korenastog povrća izvedena je na osnovu dužine angažovanosti pojedinačnih radnih mašina (h/ha), odnosno složene mašine pri izvođenju predsetvene pripreme zemljišta i setve, kao i angažovanog ljudskog i mašinskog rada po jedinici površine. Konvencionalna obrada zemljišta i setva korenastog povrća izvedena je u četiri proхода. Pri izvođenju obrade zemljišta i setve po konvencionalnom sistemu ukupno je angažovano živog rada 3,68 radnik h/ha. Primenom nove tehnike u obradi zemljišta i istovremene setve, a sve u jednom proходу, smanjena je količina angažovanog živog rada za 13,86% i iznosi 3,17 radnik h/ha. Pri izvođenju obrade zemljišta i setve korenastog povrća konvencionalnim sistemom bilo je angažovano 160,56 kWh/ha mašinskog rada. Primenom nove tehnike angažovano je 116,69 kWh/ha mašinskog rada, što predstavlja smanjenje za 27,34%. Pored navedenog, postignuta je ušteda u potrošnji goriva kao i smanjenje gaženja zemljišta (*Bajkin i Žigmanov, 1994*).

*Konstantinović i Lammers (2005)* navode tri osnovne kombinacije koje se kao takve ili sa malim izmenama koriste u praksi, pri proizvodnji mrkve (sl. 1.4, b, c i d)



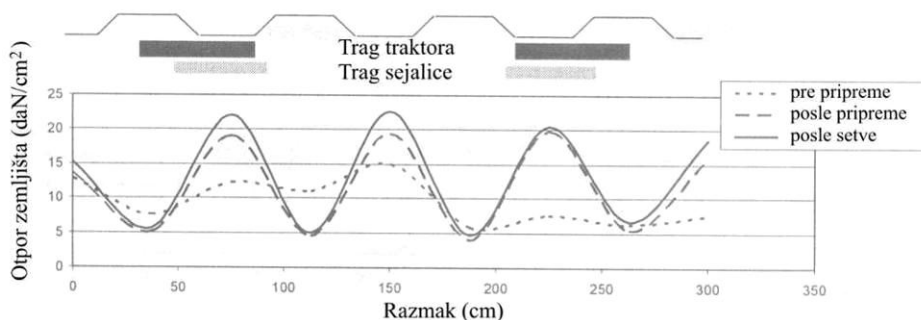
Slika 1.4 Kombinovane mašine za formiranje mini gredica i setvu:

- a) sa rotacionom drljačom "BAG-6" (*Bajkin, 1994*); b) sa rotacionom sitnilicom;  
c) sa valjkom i rotacionom drljačom; d) sa razrivačem (*Konstantinović i Lammers, 2005*)



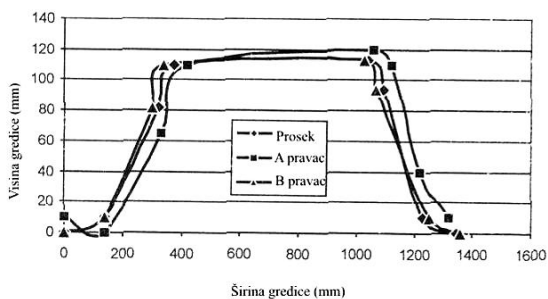
Setvena kombinacija (sl. 1.4.,b), ima radni alat za obradu zemljišta u obliku rotacione sitnilice sa suprotnosmernim obrtanjem, a setvena kombinacija (sl. 1.4,c), ima radni alat za obradu zemljišta u obliku valjka i rotacione drljače. Setvena kombinacija (sl. 1.4,d), sastoji se od razrivača-kultivatora koji zajedno sa usmerivačem, zemljište priprema i podiže ispred valjaka za formiranje gredica i sejalice.

Ispitivanje mašine za formiranje mini gredica navodi *Jakovác (2002)*. Mašinom se formiraju četiri gredice na razmaku od 75 cm (4 x 75 cm). Promenom položaja klizača, daske za usmeravanje zemljišta i oblika zadnjeg valjka mogu se formirati šest mini gredica na razmaku od 50 cm (6 x 50 cm). Mašina se sastoji od tri osnovna elementa: rotacione sitnilice, uređaja za nagrtanje zemljišta i aktivno pogonjenog vratila sa kalemovima za formiranje konačnog oblika mini gredica. U tehnologiji gajenja korenastog povrća, najvažniji zahtev je da se dobije pravilan oblik korena (da se ne račva), što podrazumeva kvalitetnu obradu zemljišta do dubine na kojoj se formira korenov sistem. Ocena kvaliteta rada mašine izvedena je merenjem dimenzija mini gredica i sabijenosti zemljišta (u jarku i na gredici pre i posle prolaska sejalice). Takođe je praćen uticaj traga točkova traktora prilikom formiranja mini gredica i setve. Na aktivnom delu mini gredice, sabijenost zemljišta je ista ili čak značajno niža u odnosu na vrednosti izmerene pre prolaska mašine za formiranje mini gredica. Na aktivnom delu mini gredice nije došlo do povećanja sabijenosti ni posle izvedene setve. U jarkovima između mini gredica raste sabijenost zemljišta zbog gaženja točkovima traktora i priklučnih mašina (sl. 1.5).

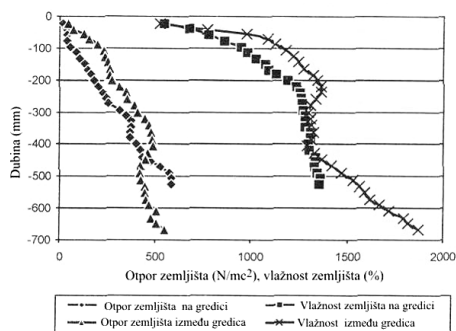


Slika 1.5 Sabijenost zemljišta pre formiranja mini gredica, na gornjem delu gredice i u brazdi pre i nakon setve (*Jakovác, 2002*)

*Jakovác (2004)*, takođe navodi ispitivanje druge konstrukcije mašine za formiranje gredica radnog zahvata 1.600 mm, koja u jednom proходу formira dve gredice širine gornjeg dela 552 mm, uz razmak sredina jarkova od 965 mm. Visina formiranih gredica iznosila je 120 mm (sl. 1.6).



Slika 1.6 Dimenzije gredica formiranih mašinom radnog zahvata 1.600 mm (*Jakovác, 2004*)



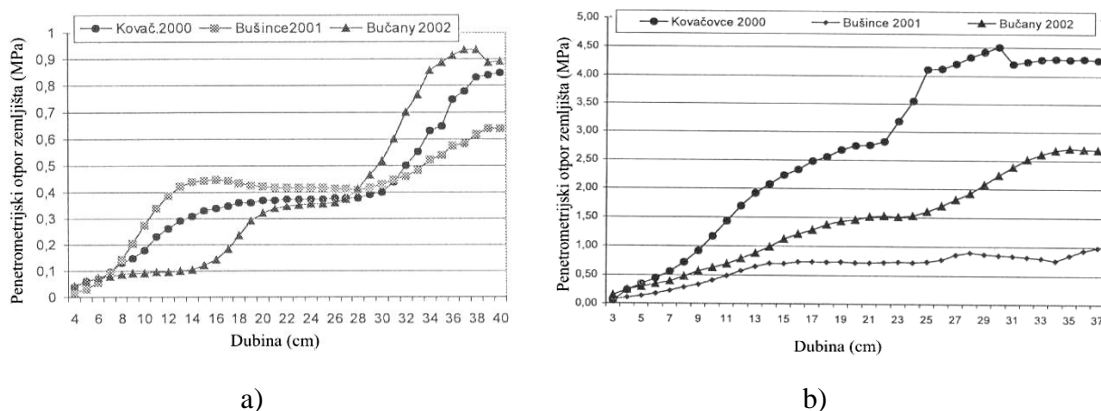
Slika 1.7 Otpor zemljišta i vlažnost zemljišta (*Jakovác, 2004*)

Otpor zemljišta na gornjoj aktivnoj površini mini gredica ima manju vrednost čime su stvoreni povoljniji uslovi za rast i razvoj korenovog sistema. Na površini mini gredica izmerena je niža vlažnost u odnosu na vlažnost između mini gredica.

Kvalitet predsetvene pripreme zemljišta, mašinom za formiranje gredica, u zavisnosti od tipa zemljišta, određen je merenjem fizičkih osobina zemljišta: penetrometrijski otpor zemljišta, otpornost zemljišta na smicanje, strukturni sastav zemljišta, zapreminska masa zemljišta i vlažnost zemljišta (Poničan et al, 2004a).

Za sve ispitivane tipove zemljišta, promenom dubine merenja, ustanovljene su iste zakonitosti, tj. niže vrednosti fizičkih osobina zemljišta na dubini do 30 cm (dubina obrade), a više vrednosti za veću dubinu.

Delovanjem klimatskih faktora dolazi do promene fizičkih osobina zemljišta u toku vegetacionog perioda, što direktno utiče na oblik zadebljalog korena korenastog povrća (Poničan et al, 2004b). Međusobno poređenje penetrometrijskog otpora prilikom obrade i u trenutku vađenja korena prikazano je na slici 1.8.



Slika 1.8 Penetrometrijski otpor zemljišta (Poničan et al, 2004a,b):  
a) u trenutku obrade zemljišta; b) u trenutku vađenja korena

Uticaj fizičkih osobina zemljišta na dimenzije korena mrkve određen je u trenutku vađenja mrkve. Fizičke osobine korena mrkve određene su merenjem (Poničan et al, 2004b):

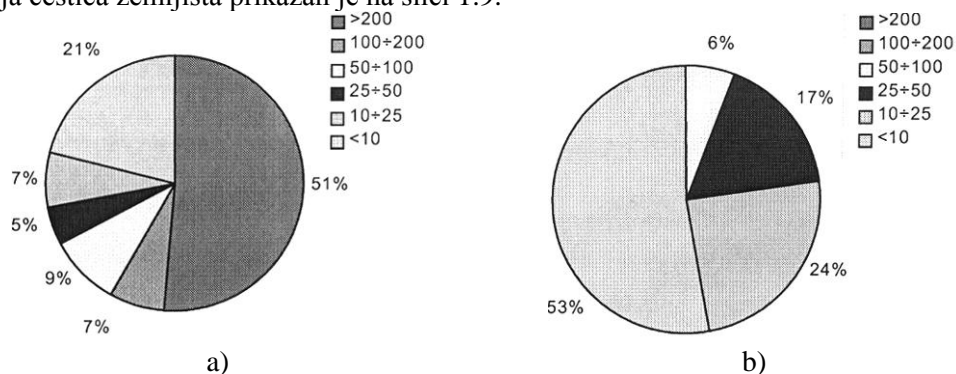
- mase korena mrkve, g,
- dužine korena mrkve, mm,
- prečnika glave korena, mm i
- prečnika korena na 1 cm od kraja.

Na osnovu odnosa dužine korena i prečnika glave izračunata je vitkost (izduženost) korena mrkve. Iz odnosa prečnika glave i prečnika na donjem delu korena izračunat je koeficijent ujednačenosti oblika korena (Poničan et al, 2004b).

Osnovne fizičke osobine korena mrkve proizvedene na mini gredicama navodi Jančić (2007). Srednja dužina korena od 178,79 mm uz koeficijent varijacije od 15,06% ukazuje da je koren bio ujednačen po dužini. Sferičnost korena je bila 97,09% uz koeficijent varijacije od 2%, što ukazuje da je koren bio pravilnog oblika. Prosečna masa korena iznosila je 99,08 g uz koeficijent varijacije od 25,29%. Zapremina jednog korena je prosečno iznosila 97,7 cm<sup>3</sup>, uz koeficijent varijacije od 27,01%. Proizvodnjom mrkve na mini gredicama dobija se dobar kvalitet korena mrkve ujednačenih fizičkih osobina.

Formiranje gredica, mini gredica ili bankova omogućava značajno smanje utroška živog rada na 20–25 h/ha, uz gubitke prilikom vađenja od 10 do 15% i oštećenja do 5% (Poničan et al, 2004a).

Prema standardima koje navodi DLG, merenjem dimenzija čestica pre i posle prolaska mašine ocenjuje se kvalitet usitnjavanja zemljišta. Uzorak zemljišta razdvaja se na 6 frakcija pri čemu se koriste sita sa veličinom otvora: 200, 100, 50, 25 i 10 mm. Maseni udeo pojedinih frakcija čestica zemljišta prikazan je na slici 1.9.



Slika 1.9 Maseni udeo čestica zemljišta:

a) pre obrade zemljišta; b) nakon obrade zemljišta rotacionom sitnilicom  
[www.dlg-test.de/pbdocs/I-4976.pdf](http://www.dlg-test.de/pbdocs/I-4976.pdf)

### 1.3. Optimalni režim rada mašine najnovije generacije za formiranje mini gredica i gredica pri proizvodnji korenastog povrća u cilju zaštite životne sredine, ekologije i energetske efikasnosti

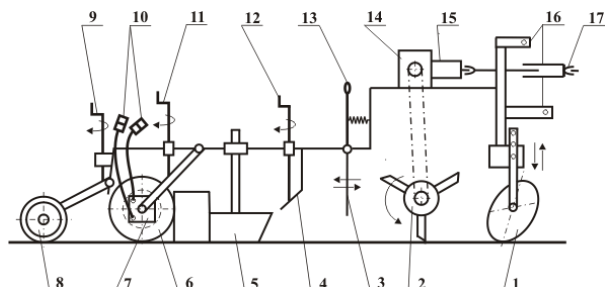
#### 1.3.1. Prikaz mašine najnovije generacije za formiranje mini gredica i gredica

Mašinu najnovije generacije za formiranje mini gredica i gredica sačinjava jedan rotirajući radni organ sa motičicama, koji ima suprotnosmerno obrtanje rotora (*Bajkin i dr, 2013a*), za razliku od mašina prethodne generacije gde rotor sa motičicama ima istosmerno obrtanje (u smeru obrtanja točkova traktora).

Prikazana mašina za formiranje mini gredica (sl. 1.10,a) u jednom proходу formira četiri mini gredice. Mašina se sastoji od aktivnih i pasivnih radnih alata za obradu zemljišta (sl. 1.10,b). Na prednjem delu mašine postavljeni su sferični diskovi (1), slika 1.10 i slika 1.11,a koji u toku rada slobodno rotiraju pri čemu formiraju brazdice i usmeravaju zemljište ispred rotacione sitnilice (2), slika 1.10 i slici 1.11,b. Obrada i usitnjavanje zemljišta izvodi se pomoću rotora sa noževima koji rotira u suprotnom smeru od smeru obrtanja točkova traktora. Rotofreza dobija pogon od priključnog vratila traktora, preko kardanskog vratila koje je opremljeno sigurnosnom frikcionom spojnicom, čime se ublažavaju udarna opterećenja i štiti transmisija traktora od oštećenja.



a)



b)

Slika 1.10 Mašina za formiranje mini gredica:

1-sferični disk; 2-rotaciona sitnilica; 3-rešetkasti prsti; 4-ravnajuća daska; 5-klizač sa usmerivačkom daskom; 6-valjci u obliku kalema; 7-hidromotor; 8-osloni točkovi; 9-ručica za podešavanje oslonih točkova; 10-hidraulični vodovi sa spojnicom; 11-ručica za podešavanje valjaka; 12-ručica za podešavanje ravnajuće daske; 13-ručica za pomeranje rešetkastih prstiju; 14-kućište reduktora za pogon rotacione sitnilice; 15-frikciona sigurnosna spojnica; 16-piramida za prikopčavanje mašine; 17-kardansko vratilo

Odsečeni komadi zemljišta odvajaju se od noževa rotora i udaraju o rešetkaste prste (3), slika 1.10 i slika 1.11,c. Na čeličnim rešetkastim prstima dolazi do dodatnog usitnjavanja grudvi i do njihovog razdvajanja, tako da krupnije grudve padaju ranije, ispred rešetkastih prstiju i odlažu se na veću dubinu, a sitnije grudve prolaze između prstiju i tek onda se odlažu iznad krupnijih grudvi. Čelični prsti nalaze se po celoj širini zahvata mašine za formiranje mini gredica, i podeljeni su u dve nezavisne celine u obliku češljeva. Svaka polovina rešetki zglobno je vezana za ramsku konstrukciju mašine pomoću opruga. Iza rešetkastih prstiju nalazi se postavljena ravnajuća daska (4). Iza ravnajuće daske nalazi se pet klizača sa usmerivačkim daskama (5), slika 1.10 i slika 1.11,d pri čemu se pomoću tri centralno postavljena simetrična plužna tela i dva krajnja asimetrična plužna tela formiraju četiri mini

gredice. Konačan oblik mini gredica dobija se pomoću aktivno pogonjenih valjaka u obliku kalemova (6), slika 1.10 i slika 1.11,e koji se nalaze na zadnjem delu mašine i pomoću kojih se dodatno sabijaju gornje i bočne površine mini gredica. Pogon vratila sa kalemovima izveden je pomoću hidromotora (7), slika 1.10 i slika 1.11,f kojeg pogoni hidraulična pumpa traktora. Sa obe strane mašine za formiranje mini gredica postavljeni su osloni točkovi (8), slika 1.10 i slika 1.11,f.



a)



b)



c)



d)



e)



f)

Slika 1.11 Radni organi mašine za formiranje mini gradica:

- a) sferični disk; b) rotofreza; c) rešetka u obliku čeličnih prstiju; d) klizač sa plužnom daskom;  
e) kalem za oblikovanje mini gredice; f) pogon vratila sa kalemovima

Ispitivana mašina agregatira se sa traktorima treće kategorije u tri tačke (16). U transportnom položaju je nošena a u radnom položaju vučena i oslanja se na klizače, usmerivačke daske, valjke u obliku kalemova i oslone točkove. Pomoću ručice (11) izvodi se podešavanje položaja valjka u obliku kalema, a time i pritisak na formirane mini gredice. Nažlebljeno vratilo traktora treba da ima nominalni broj obrtaja,  $540 \text{ min}^{-1}$ .

Tabela 1.1 Tehničke karakteristike ispitivane mašine pri formiranju mini gredica

Parametar	Jedinica mere	Mašina za formiranje mini gredica
Snaga potrebna za rad sa mašinom	kW	100
Kategorija traktora	–	II i III
Broj obrtaja na priključnom vratilu traktora	min <sup>-1</sup>	540
Broj obrtaja rotora	min <sup>-1</sup>	230
Radni zahvat	mm	2.900
Prečnik rotora	mm	450
Smer obrtanja rotora	–	SS
Broj diskova sa noževima	–	10+2
Ukupan broj noževa na rotoru	–	66
Rastojanje između diskova	mm	260
Visina mašine	mm	2.300
Širina mašine	mm	3.300
Dužina mašine	mm	2.450
Masa mašine	kg	1.550

Traktor Same Titan 190, nominalne snage 139 kW bio je agregatiran sa mašinom za formiranje mini gredica. Brzina kretanja traktora kreće se u granicama od 0,51-41,31 km/h što je omogućeno sa 27 stepena prenosa. Masa traktora iznosi 6.201 kg.

### 1.3.2. Kvalitet rada mašine pri formiranju mini gredica

Ispitivanje kvaliteta dopunske obrade zemljišta mašinom za formiranje mini gredica izvedeno je u poljskim uslovima, u ataru sela Begeč na više lokacija, na četiri parcele.

Prilikom ocene stanja zemljišta pre ispitivanja, kao i ocene kvaliteta obrade zemljišta ispitivanom mašinom, korišćena je metodologija i laboratorijska oprema Laboratorije za zemljište i agroekologiju, akreditovane prema standardu ISO/IEC 17025:2006, Instituta za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad. Uzorci zemljišta uzimani su u rasutom (poremećenom) stanju u prirodnom neporemećenom stanju pomoću cilindra po Kopecky-om, saglasno standardu ISO 7256/1.



Slika 1.12 Uzimanje uzoraka pomoću cilindra po Kopecky-om

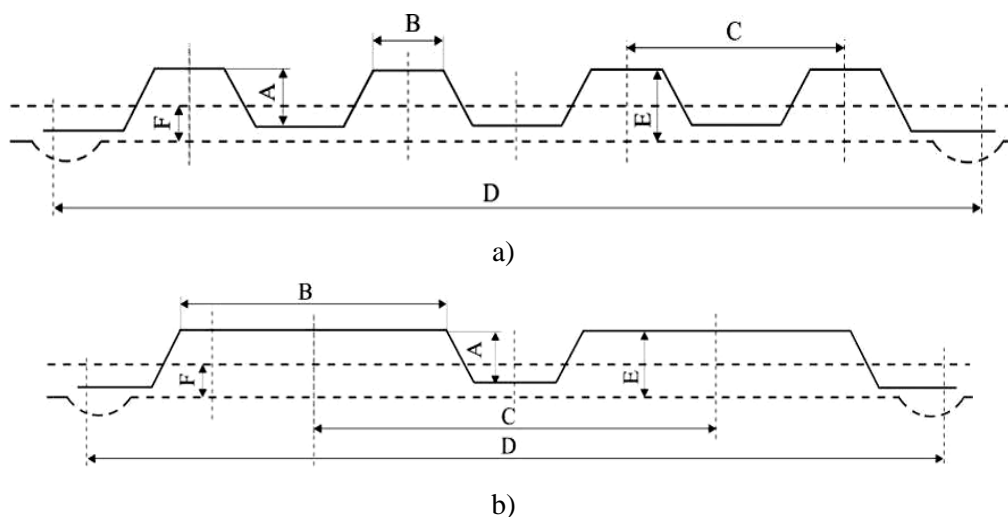
#### 1.3.2.1. Određivanje profila površine zemljišta

Oblik površine zemljišta pre i nakon obrade meren je pomoću uređaja za određivanje profila zemljišta (sl. 1.13). Određivanje dubine obrade i oblika površine zemljišta izvedeno je u deset merenja za svaku posmatranu varijantu.



Slika 1.13 Određivanje profila zemljišta

Na ispitivanoj mašini čija je konstrukcija prvenstveno namenjena za formiranje mini gredica (sl. 1.14,a), izvedene su adaptacije koje su omogućile formiranje dve gredice (sl. 1.14,b). Adaptacija je izvedena skidanjem dva klizača i podešavanjem usmerivačkih daski i oblika aktivno rotirajućeg zadnjeg valjka koji daje konačan oblik površini zemljišta. Adaptacija je bila urađena sa ciljem dobijanja optimalnog oblika proizvodne površine zemljišta za postizanje maksimalnog prinosa, najvišeg kvaliteta i maksimalnih ekonomskih efekata pri proizvodnji mrkve.



Slika 1.14 Profil i dimenzije ispitivanih mini gredica i gredice:  
a) mini gredice; b) dve gredice

Na parceli 1 (tab. 1.2) podešen je razmak između mini gredica od 75 cm, po širini radnog zahvata (D) koji je iznosio 308 cm. Mini gredice su zadržale svoj oblik do kraja vegetacionog ciklusa. Nakon prve adaptacije mašine, širina radnog dela gredice (B) je iznosila 96,3 cm, a nakon adaptacije 98 cm. Radni zahvat mašine (D) je ostao nepromenjen. Dubina obrade (F) pri formiranju mini gredica iznosila je prosečno 12,4 cm, a prilikom formiranja gredica 17,5 cm (zbog potrebe zahvatanja veće količine zemljišta). Debljina obrađenog sloja zemljišta (E) na mini gredicama iznosila je 22,4 m, a na gredica 24,9 m.

Tabela 1.2 Dimenzije mini gredica i gredice

Oblik površine zemljišta	Mini gredice		Gredica	
	Parcela 1	Parcela 4	Parcela 2	Parcela 3
Parcela				
Visina A, cm	17,3	18,1	17,9	20,8
Širina B, cm	23,4	23,3	96,3	98,0
Razmak C, cm	75	75	150	150
Radni zahvat agregata D, cm	308	305	307	306
Debljina obrađenog zemljišta E, cm	22,5	22,6	24,6	25,2
Dubina obrade F, cm	12,4	12,6	16,9	17,5

Pre formiranja mini gredica zemljište je kvalitetno pripremljeno konvencionalnim načinom obrade zemljišta (parcela 1). Osnovna obrada je izvedena raonim plugom na dubinu 35 cm, dopunska obrada vučenom teškom tanjiračem i kombinovanom mašinom za površinsku pripremu zemljišta. Na parcelama 2, 3 i 4, dopunska obrada zemljišta izvedena je i rotacionom sitnilicom sa zvezdastim valjkom.

Na parcelama 2 i 3 formirane su klasične gredice (sl. 1.14,b). Na poprečnom preseku gredice uočava se veća površina zemljišta u odnosu na mini gredice. Zbog obezbeđenja dovoljne količine zemljišta za formiranje gredice, radna dubina je dodatno povećana na 16,9–17,5 cm (parcela 2 i 3). Zbog loše pripremljenog zemljišta i radi lakšeg obezbeđenja potrebne radne dubine prilikom formiranja gredica (parcela 2), izvedena je još jedna duboka obrada plugom na dubinu od 35 cm. Nakon oranja gruba površinska obrada izvedena je tanjiranjem, a fina površinska obrada pomoću klasične rotacione sitnilice sa zvezdastim valjkom.

U toku ispitivanja praćeno je stanje zemljišta:

- pre prolećnog oranja (PO),
- pre formiranja mini gredica ili gredica (PG) i
- nakon formiranja mini gredica ili gredica (NG).

### **1.3.2.2. Momentalna vlažnost zemljišta i vodopropustljivost**

Momentalna vlažnost zemljišta određena je uzimanjem uzoraka do dubine 30 cm na svakih 5 cm dubine termogravimetrijskom metodom. Ova standardna metoda se zasniva na sušenju uzoraka u sušnici (JDPZ, 1997).

Vodopropustljivost ili filtracija je vodna konstanta zemljišta, koja predstavlja sposobnost zemljišta da propušta vodu kroz svoju poroznu masu. Definiše se koeficijentom K-Darcy, koji predstavlja brzinu filtracije i izražava se u cm/sec, m/čas ili m/dan. Vodopropustljivost je određena uzimanjem uzoraka preko cilindra po Kopecky-om do dubine 50 cm na svakih 10 cm, pomoću laboratorijskog uređaja za serijsko određivanje filtracionih osobina zemljišta (*Hadžić i dr, 2004*).

### **1.3.2.3. Mehanički sastav zemljišta**

Mehanički sastav zemljišta određen je korišćenjem pipet metode iz prosečnog uzorka sa dubine do 20 cm. Uzorak je pripremljen Na-pirofosfatom po Thun-u, a teksturna klasa određena je na osnovu klasifikacije po Tommerup-u, (*Hadžić i dr, 2004*).

Na osnovu pedološke karte Vojvodine (*Nejgebauer i dr, 1971*), ispitivanje mašine za formiranje mini gredica je izvedeno na zemljištu tipa černozem, na aluvijalnom nanosu, karbonatni, oglejeni. Černozemi na aluvijalnim nanosima odlikuju se A–AC–C profilom, najčešće su sitnogrudvičaste i zrnaste strukture, dobro porozni i procedni.

Na osnovu izmerenih rezultata mehaničkog sastava utvrđena je teksturna klasa zemljišta, po klasifikaciji Međunarodnog društva za proučavanje zemljišta (*Hadžić i dr, 2004*). Ispitivanje mašine za formiranje mini gredica izvedeno je na zemljištu sledećeg mehaničkog sastava (tab. 1.3).



Tabela 1.3 Mehanički sastav zemljišta na kojem je ispitivana mašina za formiranje mini gredica

Parcela	Parcela 1 (mini gredice)			Parcela 2 (gredice)	Parcela 3 (modifikovane gredice)	Parcela 4 (mini gredice)
	Ap (<14)	A (14–36)	AC (>36)			
Horizont i dubina, cm	Ap (<14)	A (14–36)	AC (>36)	Ap (<20)	Ap (<20)	Ap (<20)
Krupan pesak	3,13	4,13	10,32	1,30	15,9	19,80
Sitan pesak	45,21	43,70	55,76	50,46	38,14	31,50
Prah	24,05	24,75	13,03	29,72	31,68	31,30
Glina	27,61	27,42	20,84	18,52	14,28	17,40
Ukupno peska	48,34	47,83	66,13	51,76	54,04	51,30
Ukupno praha i gline	51,66	52,17	33,87	48,24	45,96	48,70
Klasa zemljišta prema mehaničkom sastavu (teksturna klasa)	Ilovasta glina	Ilovasta glina	Peskovito-glinovita ilovača	Glinovita ilovača	Ilovača	Glinovita ilovača

Na parceli 1, osobine zemljišta su ispitivane do dubine 50 cm. Granice između horizonata zemljišta određene su vizuelno. Klasa zemljišta prema mehaničkom sastavu određena je na osnovu klasifikacije po Tommerup-u (*Hadžić i dr, 2004*). Uočava se da su površinski horizonti Ap i A težeg mehaničkog sastava u odnosu na prelazni AC horizont i spadaju u ilovastu glinu, dok AC horizont spada u peskovito glinovitu ilovaču. Horizonti Ap i A imaju ujednačen mehanički sastav (tab. 1.3).

Na osnovu rezultata ispitivanja na parceli 1, utvrđeno je da se može uzeti zajednički, prosečni uzorak iz površinskih horizonata Ap i A. Prilikom određivanja mehaničkog sastava zemljišta na parcelama 2, 3 i 4 za analizu uzet je prosečan uzorak sa dubine do 20 cm, što premašuje dubinu rada ispitivane mašine. Ispitivana zemljišta spadaju u klasu glinovitih ilovača ili ilovača. Sa agronomskog stanovišta (*Vučić, 1987*), smatra se da su najbolja zemljišta, sa odnosom frakcije: pesak 40%, prah 40% i glina 20%.

#### 1.3.2.4. Osnovna hemijska svojstva zemljišta

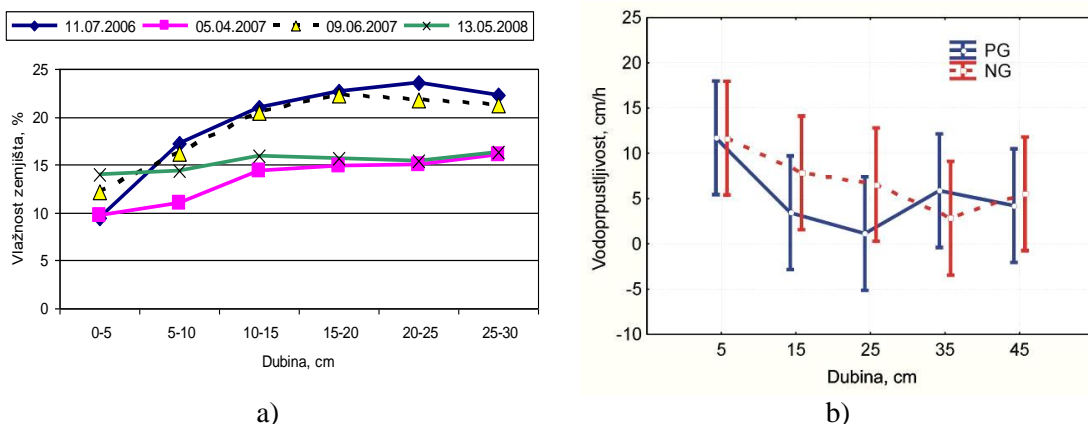
Osnovna hemijska svojstva zemljišta izmerena su iz prosečnog uzorka do dubine 30 cm. Obređena su sledeća osnovna hemijska svojstva:

- aktivna kiselost, pH u vodi određena je u suspenziji (10 g:25 cm<sup>3</sup>) zemljišta sa vodom, potenciometrijski, pH metrom, (*Hadžić i dr, 2004*),
- potencijalna kiselost, pH u 1 M KCl određena je u suspenziji (10 g:25 cm<sup>3</sup>) zemljišta sa kalijum hloridom, potenciometrijski, pH metrom, (*Hadžić i sar, 2004*),
- slobodni kalcijum karbonat CaCO<sub>3</sub> određen je volumetrijski, pomoću Scheiblerovog kalcimetra, (*Hadžić i dr, 2004*),
- sadržaj humusa određen je metodom Tjurin-a oksidacijom organske materije, (*Hadžić i dr, 2004*),
- sadržaj ukupnog azota automatskom metodom određen je CHNS analizatorom (*The Scientific Association Dedicated to Analytical Excellence, 2002*),
- sadržaj amonijum laktatnog P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i K<sub>2</sub>O, određivanje lakopristupačnog fosfora izvedeno je spektrofotometrijski, a lakopristupačnog kalijuma plamenfotometrijski, (*JDPZ, 1966*).

#### 1.3.2.5. Momentalna vlažnost i vodopropustljivost zemljišta

Vlažnost zemljišta određena je neposredno pre formiranja mini gredica, na svakih 5 cm do dubine 30 cm. Radna dubina mašine prilikom formiranja mini gredica bila je 12,2–12,6 cm

a prilikom formiranja gredica 16,9 –17,5 cm. Najniže vrednosti za vlažnost zemljišta izmerene su u površinskom sloju 0–5 cm i kretale su se u intervalu 9,52–14,00%. Vlažnost zemljišta na dubini 10–15 cm kretala se u granicama 14,41–21,03%. Povećanjem dubine izmereno je dodatno povećanje vlažnosti zemljišta. Momentalna vlažnost zemljišta u površinskom sloju imala je vrednosti koje omogućavaju kvalitetno formiranje mini gredica ili gredica ispitivanom mašinom (sl. 1.15,a).



Slika 1.15 Momentalna vlažnost i vodopropustljivost zemljišta u zavisnosti od dubine merenja: a) momentalna vlažnost; b) vodopropustljivost

Vodopropustljivost (sl. 1.15,b) ili filtracija je vodna konstanta zemljišta, koja predstavlja sposobnost zemljišta da propušta vodu kroz svoju poroznu masu, a odvija se pod uticajem hidrostatičkog pritiska i sile gravitacije. Definiše se koeficijentom *K-Darcy*, koji predstavlja brzinu filtracije i izražava se u cm/sec, m/čas ili m/dan. Propustljivost zemljišta za vodu direktno se odnosi na probleme odvodnjavanja, navodnjavanja, akumulaciju i retenciju vlage, probleme površinskog oticanja i erozije. Propustljivost za vodu zavisi od više faktora: mehaničkog sastava zemljišta, strukture, sabijenosti zemljišta, sastava absorbovanih katjona, toplote i pritiska. Kod zemljišta ujednačenog mehaničkog sastava brzina filtracije opada sa dubinom. Kod slojevitih zemljišta brzina filtracije je različita u pojedinim slojevima u zavisnosti od mehaničkog sastava, sabijenosti zemljišta i drugih faktora. Brzina filtracije u profilu zemljišta određena je slojem zemljišta sa najmanjom brzinom filtracije (Vučić, 1987; Nešić, 2002).

Na osnovu izmerenih vrednosti za vodopropustljivost zemljišta (sl. 1.15,b) izvodi se zaključak da je ispitivano zemljište srednje propusno (Hadžić i dr, 2004), što omogućava optimalno oticanje vode u dublje slojeve.

Izmerene vrednosti za vodopropustljivost zemljišta u zavisnosti od načina obrade i dubine merenja (sl. 1.15,b), testirane su pomoću *F*-testa analize varijanse. Utvrđeno je da između ispitivanih varijanti ne postoje statistički značajne razlike između ispitivanih varijanti na pragu značajnosti od 5%, pre i nakon obrade zemljišta, kao i sa promenom dubine.

### 1.3.2.6. Specifična masa zemljišta

Specifična masa zemljišta (*SMp*) određena je preko prosečnog uzorka sa dubine do 20 cm Albert-Bogsovom metodom (Hadžić i dr, 2004).

Vrednosti specifične mase (*SMp*) zavise od mehaničkog sastava zemljišta i sadržaja organske materije u zemljištu i kreću se u intervalu od 1,70 do 2,90 g/cm<sup>3</sup>. Kod mineralnih zemljišta vrednosti su oko 2,65 g/cm<sup>3</sup>, a vrednosti ispod 2 g/cm<sup>3</sup> karakteristične su za zemljišta bogata organskom materijom (Vučić, 1987). Na ispitivanoj parceli 1, specifična

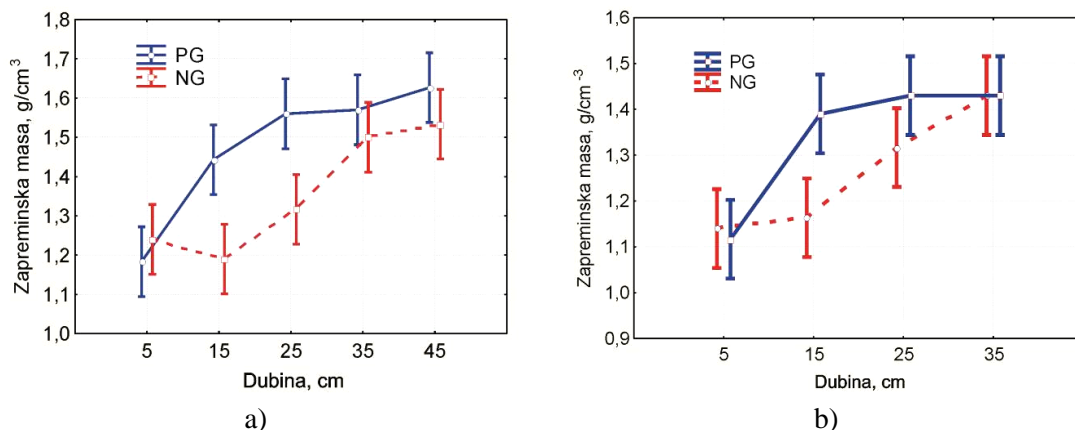
masa kretala se u granicama 2,553–2,587 g/cm<sup>3</sup>. Izmerene vrednosti za specifičnu masu (*SMp*) analizirane su pomoću *F*-testa analize varijanse, pri čemu nisu utvrđene statistički značajne razlike pre i nakon obrade zemljišta, kao i sa promenom dubine na pragu značajnosti od 5%.

Prilikom ispitivanja izvedenog na parcelama 2, 3 i 4, specifična masa zemljišta određena je iz prosečnih uzoraka uzetih sa dubine do 20 cm. Specifična masa zemljišta na parceli 2 imala je vrednost 2,68, a na parceli 3 imala je vrednost 2,59 g/cm<sup>3</sup>. Za ispitivanje na parceli 4, specifična masa zemljišta imala je vrednost 2,56 g/cm<sup>3</sup>.

### 1.3.2.7. Zapreminska masa zemljišta

Zapreminska masa zemljišta (*SMz*) određena je do dubine 30 cm na svakih 5 (10) cm dubine pomoću cilindra po Kopecky-om (sl. 1.12), termogravimetrijskom metodom (*Hadžić i dr, 2004*).

Izmerene vrednosti za zapreminsku masu zemljišta u zavisnosti od načina obrade i dubine merenja (sl. 1.16 i tab. 1.4) testirane su pomoću *F*-testa analize varijanse i Dunkanovog testa. Na ispitivanim parcelama, prilikom formiranja mini gredica, utvrđene su identične zavisnosti. Izmerene i izračunate srednje vrednosti zapreminske mase usled obrade zemljišta (faktor A), sa promenom dubine (faktor B), kao i posmatranjem interakcije navedenih faktora (A\*B), utvrđeno je da između posmatranih faktora postoje statistički značajne razlike na pragu značajnosti od 5% (sl. 1.16).



Slika 1.16 Promena zapreminske mase u zavisnosti od načina obrade zemljišta i dubine merenja: a) parcela 1 (mini gredice); b) parcela 2 (gredice)

U površinskom sloju zemljišta 0–10 cm pre formiranja gredica (PG) javljaju se niže vrednosti zapreminske mase zemljišta (*SMz*) u poređenju sa vrednostima izmerenim nakon formiranja mini gredica (NG). Navedeno odstupanje nije statistički značajno i predstavlja dokaz da je i pre formiranja mini gredica površinski sloj zemljišta bio kvalitetno pripremljen.

Izmerene vrednosti zapreminske mase zemljišta na mini gredicama rastu sa povećanjem dubine. U gornjem sloju mini gredica javljaju se više vrednosti usled dejstva valjka, koji sabija zemljište. Čvrsta kompaktna površina mini gredice omogućila je kvalitetno oslanjanje setvene baterije i izvođenje setve na zadatu dubinu. Kvalitetno izvođenje setve i postizanje potrebnog broja biljaka od presudnog je značaja za uspešnu proizvodnju korena mrkve. Valjak daje konačan oblik cele mini gredice koji je zadržan u toku celog vegetacionog perioda.

Na osnovu kategorizacije po Kačinskom na mini gredicama u sloju od 0–30 cm, zemljište pripada grupi malo sabijenih oranica, a sa povećanjem dubine preko 30 cm ima tipične vrednosti za podoranični sloj kod većine zemljišta (*Hadžić i dr, 2004*).

U sloju zemljišta 10–20 (30) cm utvrđene su statistički značajno niže vrednosti zapreminske mase zemljišta nakon formiranja mini gredica (NG). Na ovaj način je dokazano da se formiranjem mini gredica ostvaruje kvalitetna obrada zemljišta i na većoj dubini, što je neophodno za rast i razvoj korena mrkve. Na dubini većoj od 30 (20) cm pre (PG) i nakon (NG) obrade zemljišta sa mašinom za formiranje mini gredica ne postoje statistički značajne razlike.

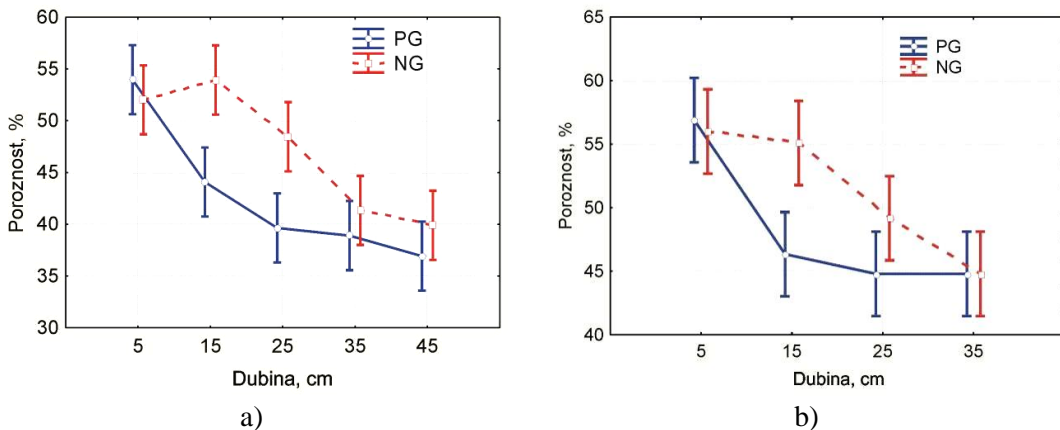
### 1.3.2.8. Ukupna poroznost zemljišta

Ukupna poroznost zemljišta ( $P_{por}$ ) određena je računskom metodom na osnovu poznate vrednosti specifične ( $SMp$ ) i zapreminske ( $SMz$ ) mase zemljišta preko jednačine:

$$P_{por} = \frac{SMp - SMz}{SMp} \cdot 100, \% \quad (1.1)$$

Poroznost zemljišta je značajna fizička osobina zemljišta, koja utiče na vodni režim, provetravanje i vodopropustljivost zemljišta, tako da ima veliki ekološki značaj. Obradom i rahljenjem zemljišta intenzivno se utiče na povećanje poroznosti zemljišta. Ukupna poroznost zemljišta zavisi od strukture zemljišta, od pedofaune, proraslosti sa krenom, tipa zemljišta, sadržaja čestica gline i načina stvaranja pukotina u zemljištu. Niže vrednosti ukupne poroznosti javljaju se na sabijenom i gaženom zemljištu. Oranični sloj skoro uvek ima veći sadržaj pora u odnosu na podoranični sloj (Resulović i Čustović, 2002).

Izmerene vrednosti za ukupnu poroznost zemljišta u zavisnosti od načina obrade i dubine merenja (sl. 1.17 i tab. 1.4), testirane su pomoću  $F$ -testa analize varijanse.



Slika 1.17 Promena ukupne poroznosti u zavisnosti od načina obrade zemljišta i dubine merenja: parcela 1 (mini grede); b) parcela 2 (grede)

Za ukupnu poroznost zemljišta usled obrade zemljišta (faktor A), sa promenom dubine (faktor B), kao i posmatranjem interakcije navedenih faktora ( $A*B$ ), utvrđeno je da između posmatranih varijanti postoje statistički značajne razlike (sl. 1.17).

Za ukupnu poroznost izmerene su iste zavisnosti kao i za zapreminsku masu. Na osnovu klasifikacije prema Miljkoviću (1996), sloj zemljišta mini grede do dubine 30 cm gde se formira koren mrkve je "porozan". Niže vrednosti ukupne poroznosti zemljišta su na dubini izvođenja osnovne obrade (30 cm). Povećanje poroznosti na dubini većoj od 30 cm izvodi se podirivanjem zemljišta.

Izmerene vrednosti za specifičnu ( $SMp$ ) i zapreminsku ( $SMz$ ) masu zemljišta i ukupnu poroznost zemljišta ( $P_{por}$ ) izmerene pre i nakon prolaska mašine za formiranje mini gredica i prikazane su u tabeli 1.4.

Tabela 1.4 Promena specifične ( $SMp$ ) i zapreminske ( $SMz$ ) mase zemljišta i ukupne poroznosti zemljišta ( $P_{por}$ ) od načina obrade zemljišta i dubine merenja

	Obrada (A)	Dubina (B), cm	SMp, g/cm <sup>3</sup>	SMz, g/cm <sup>3</sup>	P <sub>por</sub> , %
Parcela 1 (mini gredice)	PG	0–10	2,573 a*	1,183 c	53,96 c
		10–20	2,580 a	1,443 a	44,08 bd
		20–30	2,583 a	1,560 ab	39,64 ab
		30–40	2,570 a	1,570 ab	38,90 a
		40–50	2,580 a	1,627 b	36,92 a
	NG	0–10	2,587 a	1,240 c	52,02 ce
		10–20	2,587 a	1,190 c	53,94 c
		20–30	2,560 a	1,317 c	48,46 de
		30–40	2,560 a	1,500 ab	41,34 ab
		40–50	2,553 a	1,533 ab	39,90 ab
Parcela 4 (gredice)	PG	0–10	2,560 a	1,117 a	56,89 b
		10–20	2,560 a	1,390 b	46,33 a
		20–30	2,560 a	1,430 b	44,79 a
		30–40	2,560 a	1,430 b	44,79 a
		NG	0–10	2,560 a	1,140 a
	10–20		2,560 a	1,163 a	55,08 b
	20–30		2,560 a	1,317 b	49,16 a
	30–40		2,560 a	1,430 b	44,79 a

\*Poređenje pomoću Duncan-ovog testa ( $\alpha = 5\%$ ) izvedeno po kolonama a ne po redovima

Pomoću Dankanovog testa precizno je određeno između kojih varijanti postoje statistički značajne razlike na pragu značajnosti od 5%. Između izmerenih vrednosti prave specifične mase (SMp) nisu registrovane statistički značajne razlike, dok su za zapreminsku masu zemljišta (SMz) i ukupnu poroznost (Po) utvrđene statistički značajne razlike u sloju 10–30 cm. Ukupna poroznost zemljišta određena je računskim putem i ima jednake zavisnosti kao i zapreminska masa zemljišta.

### 1.3.2.9. Strukturni sastav zemljišta

Analiza strukturnog sastava zemljišta izvedena je poljskom terenskom metodom (Vučić, 1987). Uzorci su uzimani na svakih 5 cm do dubine 30 cm. Za prosejavanje korišćena su sita veličine otvora 25; 19; 16; 10; 5; 3; 1; 0,5 i 0,25 mm po metodi Savvinov-a, (Hadžić i dr, 2004). Strukturni sastav zemljišta izražen je preko koeficijenta strukturnosti zemljišta  $k$  (Šein et al, 2001, Ponjican et al, 2011). Koeficijent strukturnosti zemljišta  $k$ , predstavlja odnos izmerene mase makro agregata ( $m_{makro}$ , 0,25–10 mm) prema zbiru mikro ( $m_{mikro} < 0,25$  mm) i mega ( $m_{mega} > 10$  mm) agregata zemljišta.

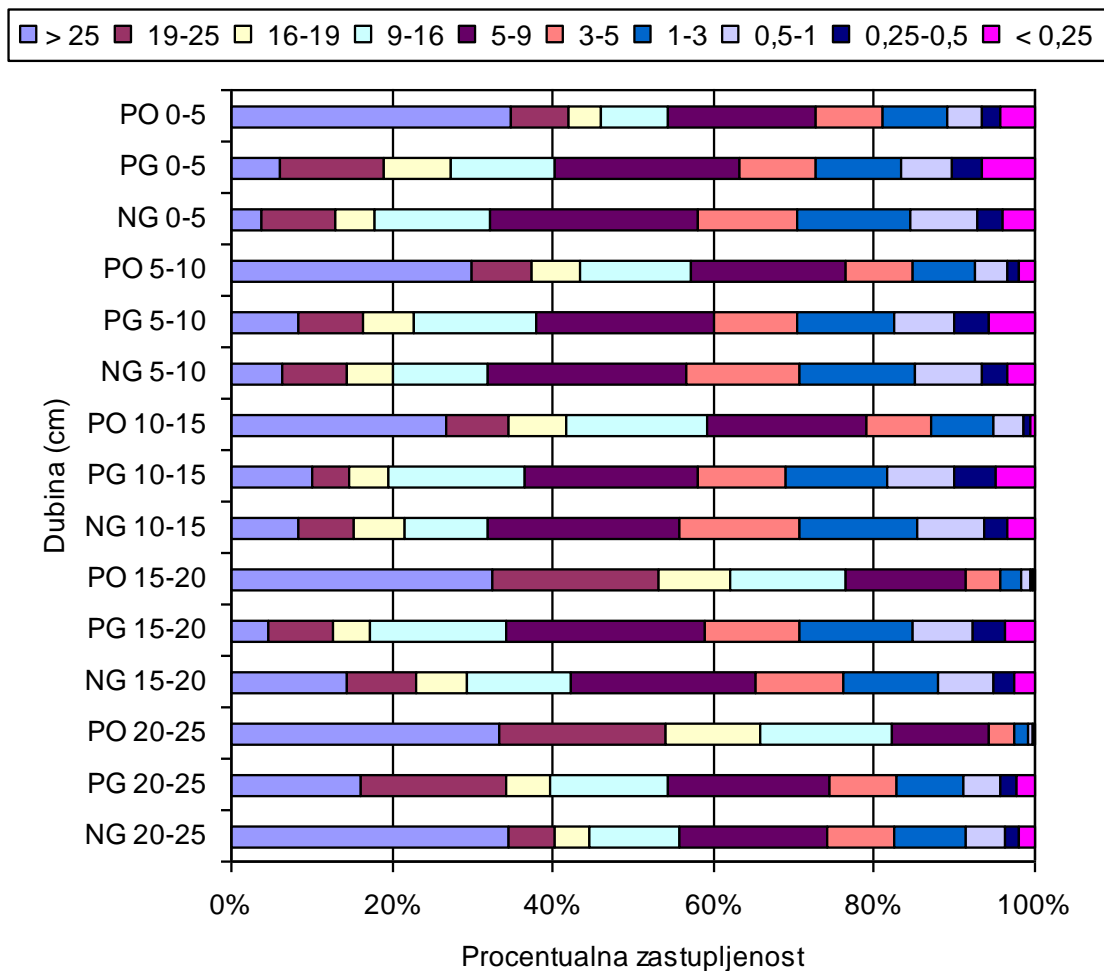
$$k = \frac{m_{makro}}{m_{mikro} + m_{mega}} \quad (1.2)$$

Ekološki značaj strukture zemljišta je veliki i ona se smatra ključem plodnosti zemljišta. Struktura zemljišta je regulator vodnovazdušnih i toplotnih odnosa, tj. obezbeđuje dobro provetravanje i vodopropustljivost zemljišta, a samim tim aerobnu biološku i biohemijsku aktivnost (Miljković, 1996).

Prilikom obrade ili pod uticajem neke mehaničke sile, zemljište se lomi, kida, raspada na komade, agregate, raspršuje se i daje masu sastavljenu od veoma različitih po veličini agregata, grudvi i prašine (Vučić, 1987). Analiza strukture zemljišta pruža sliku kvantitativnog sadržaja pojedinih frakcija strukturnih elemenata, njihov međusobni odnos i naročito sadržaj mikro (prečnika < 0,25 mm), makro (prečnika 0,25–10 mm) i mega agregata (prečnika > 10 mm).

Od svih tipova strukture zemljišta, sa agronomskog stanovišta najpovoljnija je mrvičasta struktura zemljišta. Agregati su različitih dimenzija i nemaju određeni geometrijski oblik, a njihova hrapava površina onemogućava slepljivanje i zemljište ostaje rastresito (Vučić, 1987).

Prilikom obrade zemljišta mašinom za formiranje mini gređica (parcela 2), usled dejstva rotacione sitnilice došlo je do dodatnog usitnjavanja zemljišnih agregata, što se ogleda u smanjenju udela mega agregata i povećanju udela sitnijih makro agregata (sl. 1.18).



Slika 1.18 Struktura agregata zemljišta u zavisnosti od načina obrade zemljišta i dubine merenja

Do dodatnog usitnjavanja površinskog sloja zemljišta dolazi i usled dejstva valjka sa kalemovima pomoću kojeg se dobija konačan oblik površine mini gređice. Visoki kvalitet pripreme površinskog dela zemljišta je neophodan zbog kvalitetnog izvođenja setve sitnog semena mrkve, na dubinu 1,5–2 cm.

Sa agronomskog stanovišta najpovoljniji su agregati veličine 0,25–7 mm a u nekim slučajevima i do 10 mm. U sušnijim rejonima agregati od 0,25 do 2–3 mm su najpovoljniji sa stanovišta plodnosti zemljišta (Vučić, 1987).

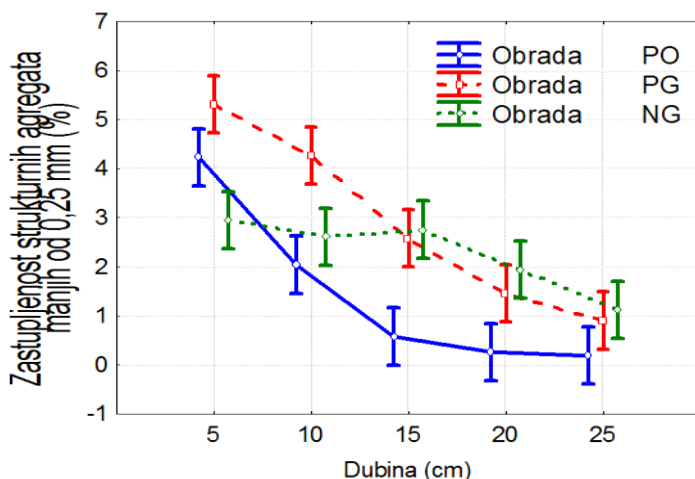
Belić i dr, (2004) navode da su makrostrukturni agregati veličine 1–5 mm najpovoljniji za rast i razvoj biljaka i na osnovu njihovog sadržaja može se dati ocena o makrostrukтури zemljišta.

Sadržaj makro strukturnih agregata dimenzija 0,25–5 mm u površinskom sloju 0–5 cm bio je ujednačen pre formiranja gredica (PG) i kretao se u granicama 30,39–44,18%, a na gredicama (NG) 35,25–40,34%. Najveće razlike javile su se na dubini 15–20 cm. Pre formiranja gredica (PG) izmeren je sadržaj 3,68–15,58%, a usled rada klasične rotacione sitnilice sadržaj je povećan na 37,44%. Nakon formiranja gredica (NG) izmeren je sadržaj od 27,68–32,03%. Sadržaj makro strukturnih agregata dimenzija 0,25–5 mm na površini mini gredica ili gredica bio je visok, a sa povećanjem dubine bio je sve niži u korist većih strukturnih agregata, što je povoljno sa stanovišta vodno-vazdušnih svojstava zemljišta.

### 1.3.2.10. Uticaj rada mašine za formiranje mini gredica na degradaciju zemljišta

Siguran pokazatelj raspršivanja i degradacije zemljišta predstavlja prisustvo mikro strukturnih agregata < 0,25 mm (Vučić, 1987). Povećanjem intenziteta usitnjavanja zemljišta dolazi i do povećanja sadržaja mikro strukturnih agregata (Birkás, 2008, Bajkin i dr, 2013b). Degradacija zemljišta je intenzivnija pri nižim vrednostima momentalne vlažnosti zemljišta (Matjašin et al, 1988).

Na osnovu rezultata ispitivanja, na površini zemljišta izmeren je najveći udeo mikro strukturnih agregata a povećanjem dubine izmereno je smanjivanje njihove zastupljenosti (sl. 1.19).



Slika 1.19 Zastupljenost mikro strukturnih agregata u zavisnosti od načina obrade zemljišta i dubine merenja

Oznaka PO definiše stanje zemljišta koje je obrađeno teškom tanjiračom, pre osnovne obrade koja je izvedena oranjem raonim plugom na dubinu od 35 cm. Usled obrade tanjiračom usitnjen je površinski sloj zemljišta pri čemu je sadržaj mikro strukturnih agregata u sloju 0–5 cm imao vrednost 4,23%. Nakon oranja i obrade površinskog sloja zemljišta klasičnom rotacionom sitnilicom sa zvezdastim valjkom (PG) pre formiranja gredica u površinskom sloju izmerena je najviša vrednost mikrostrukturnih agregata od 5,32%. Nakon prolaska mašine za formiranje mini gredica sadržaj mikro strukturnih agregata bio je najniži, 2,95%. Povećanjem radne dubine, udeo mikro strukturnih agregata naglo opada pri obradi zemljišta PO i PG, dok na gredicama NG ima ujednačenu vrednost do dubine od 15 cm i nakon toga opada.

Sadržaj mikro strukturnih agregata analiziran je pomoću *F*-testa analize varijanse i Duncan-ovog testa. Za sadržaj mikro strukturnih agregata usled obrade zemljišta (faktor A) i promene dubine merenja (faktor B) kao i interakcije navedenih faktora (A\*B) utvrđene su statistički značajne razlike između ispitivanih faktora na pragu značajnosti od 5% (tab. 1.5).

Tabela 1.5 Zastupljenost mikro strukturnih agregata u zavisnosti od načina obrade zemljišta i dubine merenja

Dubina, cm	Pre obrade (PO)	Pre formiranja gredica (PG)	Nakon formiranja gredica (NG)
0–5	4,23* i	5,32 j	2,95 f
5–10	2,04 ef	4,26 i	2,61 fg
10–15	0,58 abc	2,58 fg	2,76 fg
15–20	0,26 ab	1,46 cde	1,94 def
20–25	0,19 a	0,90 abc	1,12 bcd

\*Poređenje pomoću Duncan-ovog testa ( $\alpha = 5\%$ ) izvedeno po kolonama a ne po redovima

Prilikom površinske pripreme zemljišta (PG) mašinama sa pasivnim radnim alatima i sa klasičnom rotacionom sitnilicom, u sloju 0–10 cm, na osnovu Duncan-ovog testa izmerena je statistički značajno veća zastupljenost mikro strukturnih agregata u poređenju sa vrednostima koje su izmerene nakon prolaska mašine za formiranje gredica (NG).

Radom mašine za formiranje mini gredica koja ima suprotnosmerno obrtanje rotora rotacione sitnilice (NG), izmerena je niža zastupljenost mikro strukturnih agregata, a time i manja degradacija zemljišta u odnosu na mašine za površinsku pripremu zemljišta sa pasivnim radnim alatima (PO), a posebno u odnosu na degradaciju zemljišta sa klasičnom rotacionom sitnilicom (PG).

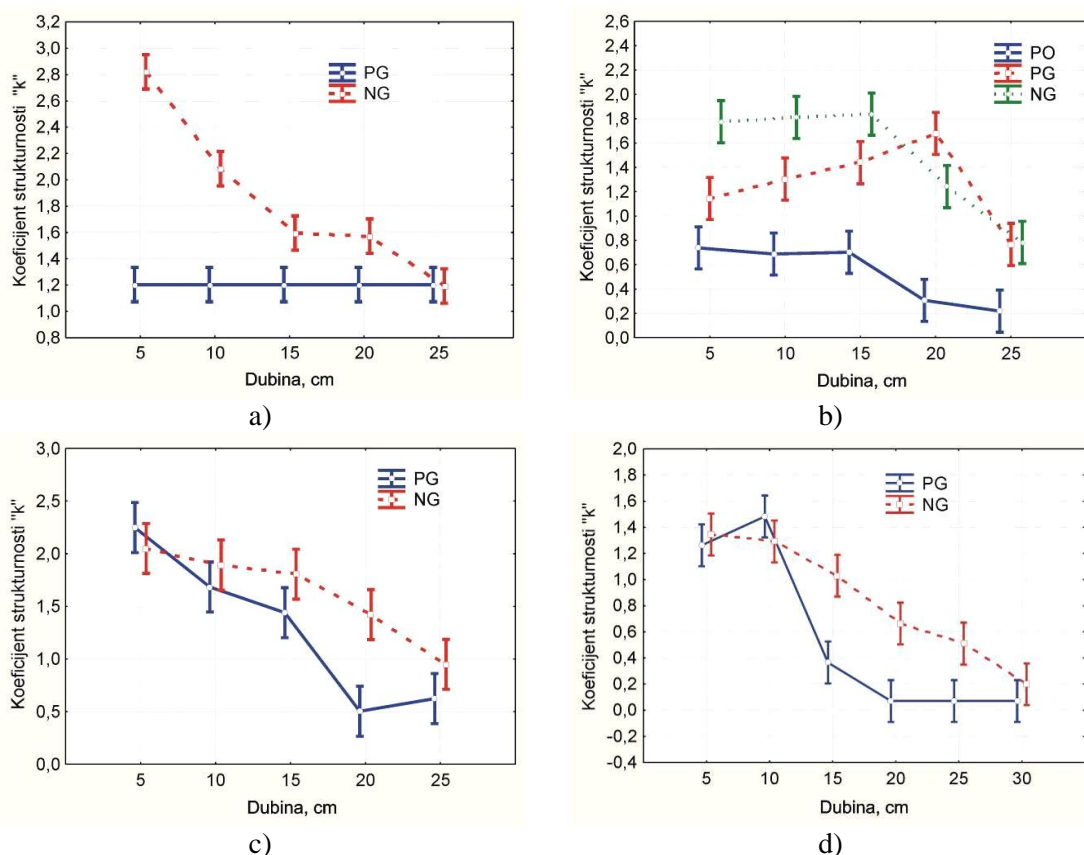
Do degradacije strukture zemljišta može doći i prilikom obrade suviše vlažnog zemljišta i usled višestrukog gaženja teškom mehanizacijom (*Resulović i Čustović, 2002*).

#### **1.3.2.11. Koeficijent strukturnosti zemljišta**

Struktura zemljišta određena je preko koeficijenta strukturnosti zemljišta *k* koji predstavlja odnos makro agregata prema zbiru mikro i mega agregata zemljišta (*Šein et al, 2001*). Preko koeficijenta strukturnosti se najpreciznije može utvrditi uticaj obrade zemljišta u zavisnosti od korišćene radne mašine. Radi dobijanja pouzdanih zavisnosti ispitivanje je izvedeno na četiri parcele: parceli 1, parceli 2, parceli 3 i parceli 4 (sl. 1.20).

Na osnovu *F*-testa utvrđeno je da između srednjih vrednosti koeficijenta strukturnosti pre obrade (PO), pre (PG) i nakon (NG) formiranja gredica ili mini gredica, tj. obrade (faktor A), i sa promenom dubine merenja (faktor B) postoje statistički značajne razlike, a statistički je značajna i interakcija posmatranih faktora (A\*B). Prilikom testiranja heterogenog sistema kao što je zemljište usvojen je prag značajnosti od 5%.





Slika 1.20 Promena koeficijenta struktornosti u zavisnosti od načina obrade zemljišta i dubine merenja: a) parcela 1 (mini gredice); b) parcela 2 (gredice); c) parcela 3 (modifikovane gredice); d) parcela 4 (mini gredice)

Na parceli 1 (sl. 1.20,a) koeficijent struktornosti zemljišta pre formiranja gredica izračunat je preko jedinstvenog uzorka koji odgovara dubini obrade prilikom formiranja mini gredica (12,4 cm). Koeficijent struktornosti zemljišta pre obrade iznosio je 1,21 a nakon formiranja mini gredica u površinskom sloju imao je vrednost 2,83. Povećanjem dubine vrednost koeficijenta struktornosti se smanjivala, tako da je na dubini 15–20 cm imao vrednost 1,65.

Vrednosti koeficijenta struktornosti zemljišta na parceli 2 (sl. 1.20,b) imale su najniže vrednosti (0,74–0,22) za merenje izvedeno pre obrade (PO). Nakon oranja i površinske pripreme zemljišta (PG) izmerene vrednosti koeficijenta struktornosti imale su statistički značajno više vrednosti u odnosu na merenje izvedeno pre obrade (PO). Povećanjem dubine (0–20 cm), pri obradi zemljišta rotacionom sitnilicom izmerene su više vrednosti koeficijenta struktornosti (1,16–1,68). Povećanjem radne dubine vrednost koeficijenta struktornosti se povećavala. Ovakva pojava prilikom obrade zemljišta sa klasičnom rotacionom sitnilicom je nepovoljna za predsetvenu obradu zemljišta iz više razloga. Površinski sloj zemljišta za setvu sitnog semena treba da bude što kvalitetnije pripremljen bez prisustva krupnih mega agregata. Fino usitnjavanje zemljišta na većoj dubini (15–20 cm) nije poželjno iz razloga, što je takvo zemljište podložno brzom sleganju i sabijanju usled čega naruši zahtevani odnos između vodnog i vazdušnog režima (Vučić, 1987).

Radom mašine za formiranje gredica (NG), (sl. 1.20,b) u površinskom sloju 0–15 cm izmerene su ujednačene vrednosti koeficijenta struktornosti (1,78–1,84), koje su statistički

značajno više u odnosu na vrednosti prilikom obrade zemljišta rotacionom sitnilicom (PG). U sloju zemljišta 15–20 cm na gredicama (NG), izmerena je statistički značano niža vrednost koeficijenta strukturalnosti zemljišta (1,24) u odnosu na vrednost pre formiranja gredica (PG), (1,68). Povećanje sadržaja krupnih strukturalnih agregata povećanjem dubine je poželjno pri radu mašine za formiranje gredica ili mini gredica, jer omogućava čuvanje povoljnog odnosa između vodnog i vazdušnog režima zemljišta u toku dužeg vremenskog perioda.

Povećanjem dubine merenja zabeleženo je smanjivanje koeficijenta strukturalnosti zemljišta i pre i nakon formiranja gredica (sl. 1.20,c). Visoke vrednosti koeficijenta strukturalnosti zemljišta (1,44–2,25) pre formiranja gredica (PG) do dubine 0–15 cm posledica su rada mašina za površinsku pripremu zemljišta. Nakon formiranja gredica (NG), do dubine 0–15 cm izmerene su vrednosti koeficijenta strukturalnosti koje su statistički jednake vrednostima izmerenim pre formiranja gredica (PG). Najniža vrednost koeficijenta strukturalnosti pre formiranja gredica (PG) od 0,50, zabeležena je na dubini 15–20 cm, a posledica je sabijanja zemljišta prilikom izvođenja površinske pripreme zemljišta. Na gredicama (NG) za sloj zemljišta 15–20 cm, izmerena je vrednost koeficijenta strukturalnosti od 1,42, što predstavlja statistički značajno veću vrednost. Prilikom formiranja modifikovanih gredica (sl. 1.20,c) statistički značajno više vrednosti u odnosu na obradu klasičnom rotacionom sitnilicom izmerene su na dubini 15–20 cm.

Na parceli 4 takođe su formirane mini gredice (sl. 1.20,d). Površinska obrada je izvedena sa rotacionom sitnilicom na dubinu 10 cm. Zbog toga je gornji sloj (0–5 cm) pre formiranja mini gredica (PG) imao nižu vrednost koeficijenta strukturalnosti 1,26 u poređenju sa vrednošću koja je izmerena u sloju (5–10 cm) i iznosila je 1,48. Povećanjem dubine iznad 10 cm vrednost koeficijenta strukturalnosti pre formiranja gredica naglo opada. Vrednosti koeficijenta strukturalnosti na mini gredicama (NG) se postepeno, skoro linearno smanjuju, što znači da je dobijena slojevita obrada. U sloju zemljišta 0–10 cm između izmerenih vrednosti koeficijenta strukturalnosti zemljišta ne postoje statistički značajne razlike pre (PG) i nakon (NG) formiranja mini gredica. Statistički značajno više vrednosti koeficijenta strukturalnosti na gredicama (NG) pojavile su se u sloju 10–25 cm, pri čemu su na mini gredicama izmerene vrednosti u granicama 1,35–0,66.

Izračunate srednje vrednosti koeficijenta strukturalnosti zemljišta, u zavisnosti od načina obrade zemljišta i dubine merenja testirane su preko Dankanovog testa (tab. 1.6.).

Tabela 1.6 Promena koeficijenta strukturalnosti zemljišta  $k$ , od načina obrade zemljišta i dubine merenja

Oblik površine zemljišta	Dubina (cm)	Parcela			
		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4
PO Pre oranja	0–5	–	0,738 b	–	–
	5–10	–	0,688 b	–	–
	10–15	–	0,702 b	–	–
	15–20	–	0,307 a	–	–
	20–25	–	0,218 a	–	–
PG Pre formiranja mini gredica ili gredica	0–5	1,204 a	1,144 c	2,248 f	1,263 b
	5–10	1,204 a	1,303 cd	1,683 ab	1,483 b
	10–15	1,204 a	1,439 de	1,440 a	0,365 cd
	15–20	1,204 a	1,679 ef	0,503 d	0,070 a
	20–25	1,204 a	0,766 b	0,623 de	0,070 a
	25–30	–	–	–	0,070 a
NG Na gredicama	0–5	2,821 d	1,775 f	2,050 cf	1,345 b
	5–10	2,085 c	1,810 f	1,893 bc	1,291 b
	10–15	1,596 b	1,837 f	1,805 bc	1,030 f
	15–20	1,573 b	1,242 cd	1,421 a	0,664 e
	20–25	1,193 a	0,782 b	0,949 e	0,510 de
	25–30	–	–	–	0,199 ac

\*Poređenje pomoću Duncan-ovog testa ( $\alpha = 5\%$ ) izvedeno po kolonama a ne po redovima

U savremenoj poljoprivrednoj proizvodnji, strukturalnost zemljišta je najviše ugrožena preteranim korišćenjem zemljišta, a naročito sa navodnjavanjem, kao i primenom sve teže mehanizacije sa velikim brojem prohoda. Ispitivanja izvedena u Džordžiji pokazala su da prosečni sadržaj pora za zemljišta koja se redovno obrađuju iznosi 47%, a za ista takva neobrađivana zemljišta izmerena je ukupna poroznost od 57% (*Resulović i Čustović, 2002*).

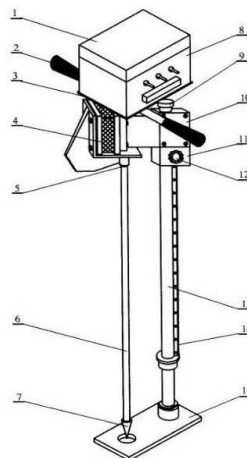
Analizu strukturalnog sastava zemljišta navodi više autora (*Nešić i dr, 1999; Belić i dr, 2004; Poničan et al, 2004a*). Izmerene vrednosti koeficijenta strukturalnosti u površinskom sloju 0–20 cm u zavisnosti od tipa zemljišta imaju vrednost 2 do 5. Navedene vrednosti koeficijenta strukturalnosti dobijene su metodom mokrog prosejavanja usled čega se dobijaju više vrednosti zbog njihovog rasplinjavanja u vodi. Za utvrđivanje kvaliteta rada i uticaja pojedinih mašina na strukturu zemljišta treba koristiti postupak suvog prosejavanja na njivi (*Vučić, 1987; Salokhe and Ramalingam, 2001; Lee et al, 2003; DLG test*).

Na osnovu izmerenih vrednosti koeficijenta strukturalnosti jasno se uočava uticaj obrade na usitnjavanje zemljišta, pri čemu se može precizno odrediti dubina obrade. Na površini zemljišta 0–5(10) cm, usitnjenost strukturalnih agregata, a time i koeficijent strukturalnosti treba da ima maksimalne vrednosti. Korišćenjem rotacione sitnilice dobija se manja usitnjenost na površini zemljišta, a povećanjem dubine rastu vrednosti koeficijenta strukturalnosti. Obradom zemljišta mašinom za formiranje mini gredica povećanjem radne dubine postepeno opadaju vrednosti koeficijenta strukturalnosti, čime se dobija zahtevani kvalitet obrade, tzv. slojevita obrada zemljišta. U sloju zemljišta 10–20 cm na gredicama ili mini gredicama izmerene su statistički značajno više vrednosti u odnosu na druge načine površinske obrade zemljišta, čime su stvoreni optimalni uslovi za razvoj korena mrkve najvišeg kvaliteta.

### 1.3.2.12. Sabijenost zemljišta

Sabijenost zemljišta određena je penetrometrijskom metodom. Karakter toka sabijenosti zemljišta zavisi od velikog broja faktora a jedan od njih je i način obrade zemljišta.

Za određivanje intenziteta sabijenosti zemljišta korišćen je elektronski penetrometar proizvođača „Finland, Irvine Ltd.“ (sl. 1.21).



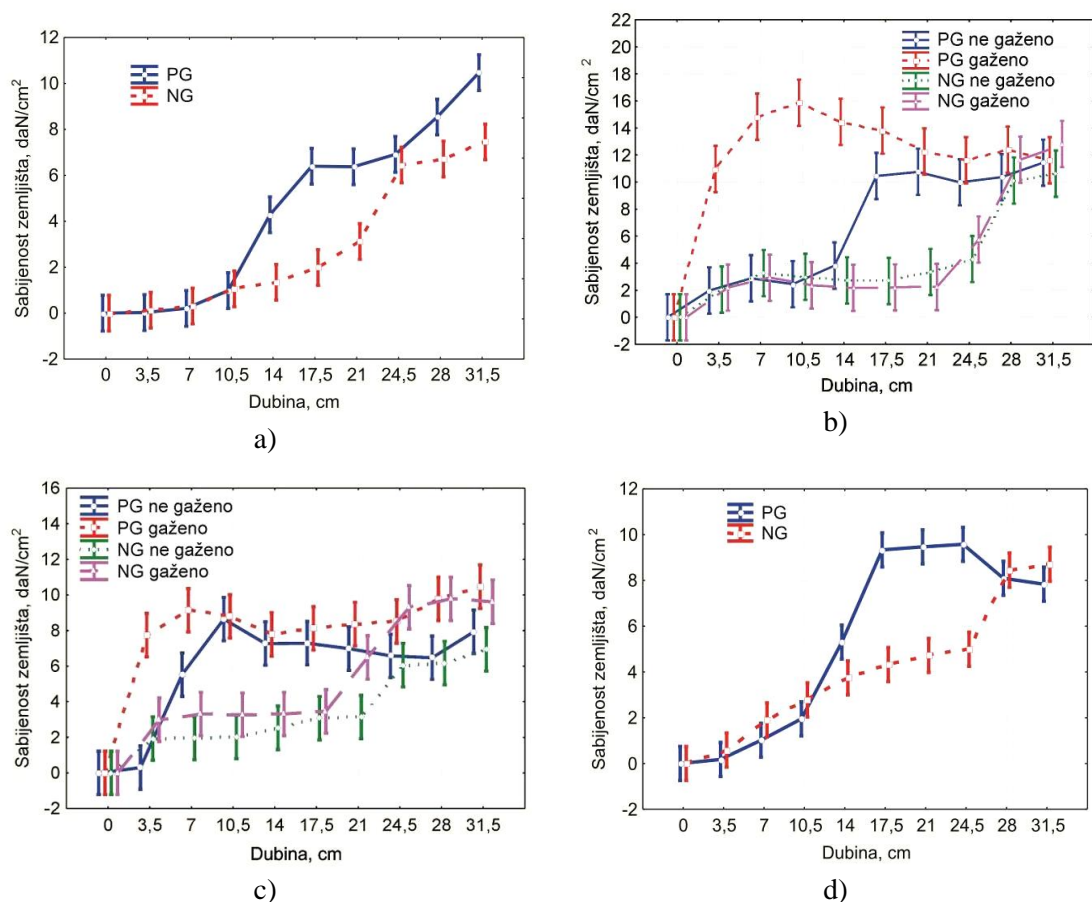
Slika 1.21 Elektronski penetrometar "Finland Irvine Ltd":

- 1-displej za očitavanje rezultata; 2-rukohvat preko koga se prenosi pritisna sila;
- 3-utičnica za priključak memorijske jedinice DSU; 4-davač ostvarene sile;
- 5-osiguravajući vijak šipke konusa; 6-šipka konusa; 7-konus; 8-elektronska kutija;
- 9-zaštitna kapa; 10-zaštitna ploča foto detektora; 11-kutija sa vodičom;
- 12-osiguravajući vijak za fiksiranje penetrometra kada se ne koristi; 13-glavna osovinica;
- 14-letva sa kontrolnim udubljenjima postavljenim na 3,5 cm; 15-postolja penetrometra

Pod dejstvom sile rukovaoca, šipka (6) sa konusom (7) na vrhu prodire u zemljište. Otpor prodiranja konusa u zemljište registruje davač ostvarene sile (4), koji izmerene vrednosti prosleđuje do elektronske kutije (8). Duž glavne osovine (13), paralelno se pruža letva (14), koja na sebi ima 15 identičnih udubljenja. Rastojanje između udubljenja je 3,5 cm što znači da maksimalna dubina do koje se može meriti intenzitet sabijanja zemljišta iznosi 52,5 cm. Izmerene vrednosti se očitavaju na displeju (1) elektronske kutije (8), koja se nalazi na gornjem delu penetrometra. Penetrometar je opremljen i sigurnosnim uređajem koji se oglašava zvučnim upozorenjem ukoliko se ostvari sila veća od 50 daN. Penetrometar može da se koristi sa memorijskom jedinicom (DSU) koja služi za memorisanje rezultata. Postoji mogućnost da se rezultati očitavaju odmah nakon izvršenog merenja i zapisuju. Prilikom ispitivanja korišćen je konus prečnika 12,83 mm sa uglom 30°. Merenje sabijenosti zemljišta za svako merno mesto izvedeno je u deset ponavljanja.

Promena sabijenosti zemljišta u zavisnosti od načina obrade i dubine merenja prikazana je na slici 1.22. Za analizu su značajne vrednosti za sabijenost zemljišta do dubine 25 cm. Za početnu tačku merenja usvojena je površina zemljišta formirana nakon izvedene obrade zemljišta pojedinim mašinama. Prilikom formiranja mini gredica dolazi do podizanja površine zemljišta za 8 a prilikom formiranja gredica za 4 cm. Na dubini većoj od 31,5 cm javile su se maksimalne vrednosti sabijenosti zemljišta, koje su posledica formiranja tzv. "plužnog đona". Daljim povećanjem dubine merenja izmerene vrednosti zavise direktno od mehaničkog sastava i vlažnosti zemljišta.

Testiranjem nulte hipoteze pomoću *F*-testa analize varijanse između vrednosti izmerenih pre formiranja mini gredica ili gredica (PG) i nakon njihovog formiranja (NG) izmerene su statistički značajne razlike između aritmetičkih sredina sabijenosti zemljišta usled obrade zemljišta (faktor A), dubine obrade (faktor B), kao i njihove interakcije (A\*B) na pragu značajnosti od 5%.



Slika 1.22 Promena sabijenosti zemljišta u zavisnosti od načina obrade zemljišta i dubine merenja: a) parcela 1 (mini gredice); b) parcela 2 (gredice); c) parcela 3 (modifikovane gredice); d) parcela 4 (mini gredice)

Širina prednjih točkova na ispitivanom traktoru bila je 42 cm, a zadnjih točkova 52 cm. Usled prolaska agregata za formiranje mini gređica ili gređica dolazi do dodatnog sabijanja zemljišta, čija zastupljenost u odnosu na radni zahvat iznosi 33%. U zavisnosti od ispitivane parcele, najveći uticaj gaženja zemljišta zabeležen je na dubini 10,5 cm, 15,87 daN/cm<sup>2</sup>, (sl. 1.22,b) i na dubini 7 cm, koji iznosi 9,14 daN/cm<sup>2</sup>, (sl. 1.22,c). Posmatranjem sabijenosti zemljišta nakon formiranih gređica uočavaju se više vrednosti sabijenosti zemljišta na tragu točka na gaženom delu, ali razlike nisu statistički značajne na pragu značajnosti od 5%, što govori o izuzetnom kvalitetu rada rotacione sitnilice na mašini za formiranje mini gređica pomoću koje se usitnjava zemljište.

Sabijenost zemljišta ima dva maksimuma. Prvi se javlja na dubini 7–10 cm a drugi na dubini 30–40 cm. Sabijenost zemljišta direktno zavisi od momentalne vlažnosti zemljišta (Savin, 1999).

Za sabijenost zemljišta izmerene su statistički značajno niže vrednosti nakon prolaska mašine za formiranje mini gređica (NG) u sloju od 7 (14) do 21 (28) cm u zavisnosti od intenziteta i dubine prethodne obrade (PG).

### 1.3.3. Dinamika formiranja zadebljalog korena mrkve

Dinamika fizičkih osobina korena mrkve praćena je uzimanjem uzoraka mrkve svakih 14 dana u periodu intenzivnog formiranja zadebljalog korena mrkve. Ukupno je izvedeno 6 analiza u vremenskom periodu, od početka formiranja zadebljalog korena do vađenja.

Ocena tržišnih standarda za mrkvu koja se koristi u svežem stanju (EU No 730/99), izvedena je merenjem fizičkih osobina korena mrkve (Ponjičan *et al*, 2012):

- masa korema,  $m_k$ , g,
- dužina korena,  $l_k$ , mm,
- maksimalni prečnik korena mrkve  $d_1$ , mm,
- minimalni prečnik korena mrkve na rastojanju 1 cm od donjeg dela mrkve,  $d_2$ , mm i
- prečnik ksilema na mestu maksimalnog prečnika korena,  $d_3$ , mm.

Na osnovu izmerenih fizičkih osobina mrkve definisani su koeficijenti za izduženost ( $\chi_1$ ), oblik korena mrkve ( $\chi_2$ ) i zastupljenost ksilema, mereno na mestu najvećeg prečnika korena ( $\chi_3$ ) (Poničan *et al*, 2004b):

$$\chi_1 = \frac{l_k}{d_1}, \quad (1.3)$$

$$\chi_2 = \frac{d_1}{d_2} \text{ i} \quad (1.4)$$

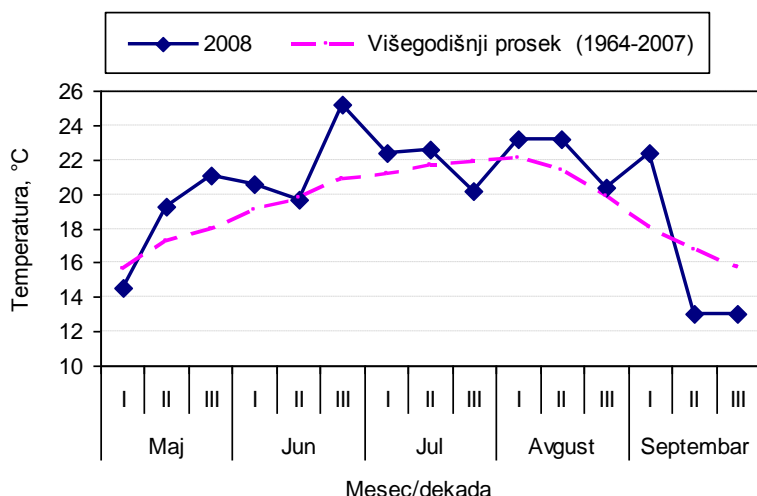
$$\chi_3 = \frac{d_3^2}{d_1^2} \cdot 100, \text{ \%}. \quad (1.5)$$

Hemijskom analizom sveže mrkve proizvedene na ravnoj površini (PG) i na mini gredicama (NG), utvrđen je sadržaj:

- suve materije, %,
- ukupnog šećera, % i
- $\beta$ -karotena,  $\mu\text{g/g SM}$ .

Analiza je izvedena na Tehnološkom fakultetu u Novom Sadu. Ukupna suva materija određena je sušenjem u sušnici na temperaturi  $103 \pm 2$  °C do konstantne mase. Sadržaj šećera određen je metodom po Luff-Schoorl-u. Sadržaj  $\beta$ -karotena određen je hromatografijom na koloni.

Dinamika fizičkih osobina zadebljalog korena mrkve ispitivana je u toku letnje proizvodnje mrkve u ataru sela Begeč. Ogled je postavljen u dve varijante, na ravnoj površini (NR) i na mini gredicama (NG). Veličina svake od ispitivanih parcela bila je 3x30 m. Lokacija ogleda 45° 15' geografske širine i 19° 34' geografske dužine. Mehanički sastav zemljišta naveden je u tabeli 1.3, a fizička svojstva zemljišta u tabelama 1.4 i 1.5, i na slikama 1.16, 1.17, 1.18, 1.21 i 1.22. Analizom osnovnih hemijskih svojstava zemljišta utvrđeno je: pH u KCl 7,02; pH u H<sub>2</sub>O 7,02; CaCO<sub>3</sub> 5,00%; humus 2,04%; ukupno N 0,152%; Al–P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 32,9 mg/100g i Al–K<sub>2</sub>O 14,01 mg/100 g. U toku vegetacionog perioda srednje dekadne dnevne temperature prikazane su na slici 1.23, i bile su više u odnosu na višegodišnji prosek za 1,20°C, a u pojedinim dekadama bile su više i do 4,31°C. Za uspešnu proizvodnju kritična faza je nicanje biljaka. U toku vegetacionog perioda visoke temperature omogućile su formiranje visokog prinosa najvišeg kvaliteta.



Slika 1.23 Srednje dekadne temperature vazduha na meteorološkoj stanici Rimski Šančevi

U toku celog vegetacionog perioda na ispitivanoj parceli nije padala kiša. Navodnjavanje je izvedeno 30 puta u toku celog vegetacionog perioda sa normom navodnjavanja 20–24 mm.

Setva mrkve izvedena je sredinom maja. Kvalitet setve je određen mesec dana kasnije merenjem razmaka između izniklih biljaka prema standardu ISO 7256/1. Na pneumatskoj sejatici prilikom setve mrkve podešen je razmak 19 mm između isejanih semena u redu, pri čemu su sejana dva reda na jednoj mini gredici. Teoretski broj biljaka po  $m^2$  iznosio je 137,89. Merenjem stvarnog broja biljaka mesec dana nakon setve, na ravnoj površini izmereno je 88,10, a na mini gredicama 104,96 biljaka/ $m^2$ . Na kraju vegetacionog perioda ukupan broj biljaka na ravnom zemljištu iznosio je 82,75 biljaka/ $m^2$ , a na mini gredicama 100,00 biljaka/ $m^2$ . Testiranjem izmerenih vrednosti broja biljaka po kvadratnom metru pomoću *F*-testa analize varijanse utvrđene su statistički značajne razlike sa promenom oblika površine zemljišta. Između prvog i drugog perioda merenja nisu utvrđene statistički značajne razlike, a statistički nije značajna ni interakcija posmatranih faktora (oblik površine zemljišta i vreme merenja). Testiranje je izvedeno i pomoću Duncan-ovog testa (tab. 1.7).

Tabela 1.7 Broj biljaka mrkve po metru kvadratnom

Vreme merenja	Oblik površine zemljišta	
	Na ravnom zemljištu (NR)	Na mini gredicama (NG)
Mesec dana nakon setve (sredina juna)	88,10 a	104,96 b
Na kraju vegetacionog perioda (kraj septembra)	82,75 a	100,00 b

Setva mrkve predstavlja najkritičniju tehnološku operaciju. Za postizanje maksimalnog prinosa od presudnog je značaja postizanje potrebnog broja biljaka po jedinici površine, što se može postići jedino, između ostalog, odgovarajućom predsetvenom pripremom zemljišta, formiranjem mini gredica.

Uticaj korišćenih mašina na kvalitet predsetvene pripreme zemljišta ocenjen je merenjem fizičkih osobina zadebljalog korena mrkve (*Poničan et al, 2004b*). Merene su sledeće fizičke osobine: masa, dužina, maksimalni prečnik, minimalni prečnik i prečnik ksilema na mestu maksimalnog prečnika zadebljalog korena. Na osnovu izmerenih vrednosti,

izvedena je ocena tržišnih standarda za zadebljali koren mrkve koji se koristi u svežem stanju (EU No 730/99).

Dinamika fizičkih osobina zadebljalog korena mrkve praćena je uzimanjem uzoraka korena mrkve svakih 14 dana u periodu intenzivnog formiranja korena. Ukupno je izvedeno 6 analiza u vremenskom periodu od sredine jula do kraja septembra. Izmerene fizičke osobine mrkve testirane su pomoću *F*-testa analize varijanse i Duncan-ovog testa na pragu značajnosti od 5%.

Na mini gredicama formiran je zadebljali koren veće dužine (sl. 1.24 i tab. 1.8), čija je prosečna vrednost na kraju vegetacionog perioda iznosila 193,5 mm, dok je na ravnom zemljištu prosečna dužina korena iznosila 133,0 mm. Dužina zadebljalog korena mrkve odgovara dubini kvalitetno usitnjenog zemljišta pre setve. Na ravnom zemljištu formiran je zadebljali koren većeg maksimalnog i minimalnog prečnika, kao i prečnika ksilema. Na gredicama je izmerena srednja vrednost maksimalnog prečnika zadebljalog korena mrkve od 27,3, a na ravnom zemljištu 30,7 mm. Merenjem prečnika ksilema na mestu maksimalnog prečnika zadebljalog korena, izmerene su srednje vrednosti na mini gredicama 13,5, a na ravnom zemljištu 15,7 mm. Minimalni prečnik zadebljalog korena mrkve izmeren na mini gredicama i iznosio je 17,0, a na ravnom zemljištu 18,4 mm. Prosečna masa jednog zadebljalog korena mrkve na mini gredicama bila je 94,2 g, a na ravnom zemljištu 76,8 g. Veća masa zadebljalog korena na mini gredicama posledica je znatno veće dužine korena, uprkos manjem minimalnom i maksimalnom prečniku.

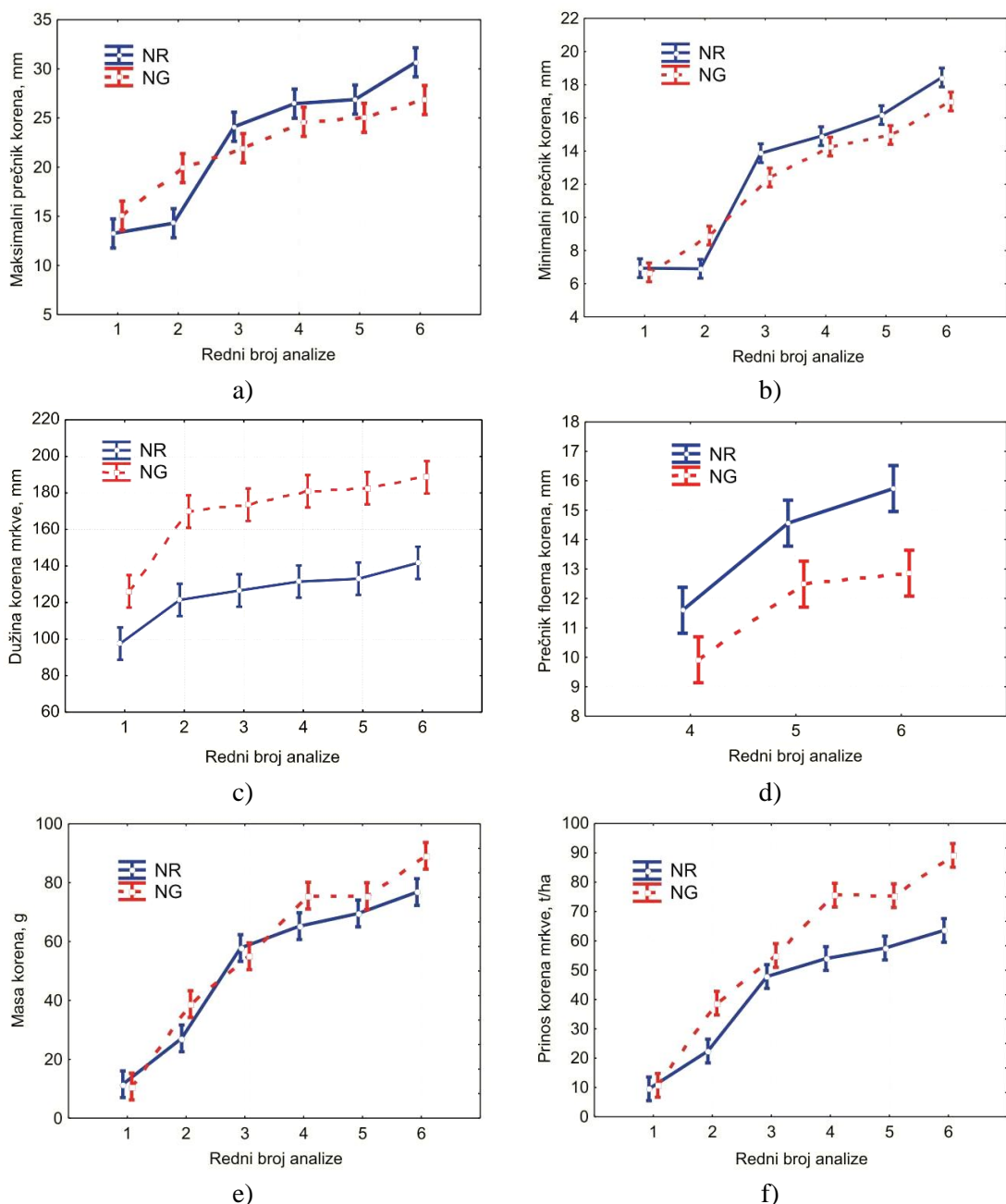
Prinos korena mrkve po jedinici površine (sl. 1.24), izračunat je na osnovu broja biljaka i prosečne mase zadebljalog korena. U prinosu zadebljalog korena mrkve, statistički značajne razlike utvrđene su nakon dvanaeste nedelje vegetacionog perioda, a maksimalna razlika u prinosu od 25,6 t/ha izmerena je pred ubiranje u osamnaestoj nedelji vegetacije. Na mini gredicama ostvaren je prinos zadebljalog korena mrkve od 89,2 t/ha, a na ravnom zemljištu 63,6 t/ha.

Tabela 1.8 Dinamika fizičkih osobina i prinosa zadebljalog korena mrkve

Vreme merenja	Merno mesto	Dužina, mm	Maksimalni prečnik, mm	Minimalni prečnik, mm	Prečnik ksilema, mm	Masa korena, g	Prinos korena, t/ha
Sredina jula	NR	97,5 e*	13,3 a	6,9 a	–	11,5 b	9,54 b
	NG	141,7 b	15,1 a	6,7 a	–	10,7 b	10,75 b
Kraj jula	NR	121,4 a	14,3 a	6,9 a	–	27,1 f	22,44 d
	NG	169,8 c	19,9 a	8,9 d	–	38,7 g	38,75 e
Sredina avgusta	NR	126,2 ab	24,1 b	13,9 c	–	57,8 cd	47,85 f
	NG	173,5 c	21,9 g	12,4 e	–	55,0 c	55,01 a
Kraj avgusta	NR	126,6 ab	26,5 cde	14,9 b	11,6 a	69,5 ae	53,98 a
	NG	180,9 cd	24,6 bc	14,3 bc	9,9 d	75,6 a	75,60 c
Sredina septembra	NR	131,5 ab	26,9 de	16,2 f	14,6 c	65,2 de	57,55 a
	NG	182,6 cd	25,0 bcd	15,0 b	12,5 ab	75,4 a	75,42 c
Kraj septembra	NR	133,0 ab	30,7 h	18,4 h	15,7 e	76,8 a	63,57 g
	NG	193,5 d	27,3 e	17,0 g	13,5 bc	89,15 h	89,15 h

\* Poređenje je izvedeno po kolonama, a ne po redovima.





Slika 1.24 Fizičke osobine i prinos korena mrkve ostvarene na ravnoj površini (NR) i na mini gredicama (NG):

- a) maksimalni prečnik korena; b) minimalni prečnik korena; c) dužina korena; d) prečnik ksilema; e) masa korena; f) prinos korena

Kvalitet korena mrkve ocenjen je na osnovu hemijske analize sveže mrkve na kraju vegetacionog perioda (tab. 1.9).

Tabela 1.9 Hemijska analiza svežeg zadebljalog korena mrkve

Merno mesto	Sadržaj suve materije, %	Ukupni šećeri, %	$\beta$ -karoten, $\mu\text{g/g SM}$
Na ravnom (NR)	12,10	5,88	179,01
Na mini gredici (NG)	10,86	5,08	280,86

Proizvodnjom korena mrkve na ravnom zemljištu, analizom zadebljalog korena mrkve izmeren je sadržaj suve materije od 12,10% i sadržaj ukupnih šećera od 5,88%. Proizvodnjom na mini gredicama sadržaj suve materije bio je 10,86% a sadržaj ukupnih šećera 5,08%. Niži sadržaj suve materije u korenu mrkve na mini gredicama za 10,25% posledica je formiranja značajno višeg prinosa (40,24%). Niži sadržaj ukupnih šećera 13,61% prvenstveno je posledica nižeg sadržaja suve materije. Uzimanjem u obzir prinosa zadebljalog korena mrkve na mini gredicama proizvedena je veća količina suve materije za 25,87%, i veća količina ukupnih šećera za 21,16%. Pored ukusa, presudan parametar na osnovu kojeg se ocenjuje kvalitet korena mrkve koja je namenjena za svežu upotrebu, je sadržaj  $\beta$ -karotena. Na mini gredicama izmeren je veći sadržaj  $\beta$ -karotena za 101,85  $\mu\text{g/g}$  SM, što predstavlja povećanje za 56,69%.

Na osnovu izmerenih dimenzija korena mrkve određeni su koeficijenti, koji nepristrasno opisuju oblik korena mrkve proizvedene na ravnom zemljištu i na mini gredicama (tab. 1.10).

Tabela 1.10 Koeficijenti oblika zadebljalog korena mrkve

Vreme merenja	Merno mesto	Koeficijent izduženosti, $\chi_1$ , –	Koeficijent oblika korena, $\chi_2$ , –	Procent. zastupljenost ksilema, $\chi_3$ , %
Sredina jula	NR	7,35	1,91	–
	NG	8,37	2,25	–
Kraj jula	NR	8,49	2,07	–
	NG	8,53	2,23	–
Sredina avgusta	NR	5,25	1,74	–
	NG	7,91	1,77	–
Kraj avgusta	NR	4,97	1,78	19,21
	NG	7,42	1,72	16,23
Sredina septembra	NR	4,95	1,66	29,34
	NG	7,23	1,67	24,90
Kraj septembra	NR	4,62	1,66	26,32
	NG	7,10	1,60	24,39

Najveće razlike zabeležene su za koeficijent izduženosti korena mrkve ( $\chi_1$ ). Na kraju vegetacionog perioda koeficijent izduženosti na mini gredicama imao je prosečnu vrednost 7,10 a na ravnom zemljištu 4,62. Za koeficijent oblika korena ( $\chi_2$ ) izmerene su ujednačene vrednosti. Na ravnom zemljištu izmerena je prosečna vrednost 1,66 a na mini gredicama 1,60 (koren mrkve bio je cilindričnog oblika). U korenu mrkve proizvedene na mini gredicama izmeren je niži udeo ksilema (24,39%) u odnosu na koren mrkve proizveden na ravnoj površini (26,32%). Smanjenjem udela ksilema ( $\chi_3$ ) u strukturi korena mrkve, bolji je kvalitet korena mrkve (Lazić i dr, 2001; Đurovka, 2008).

Mrkva proizvedena na mini gredicama pored većeg prinosa za 40,24%, ima veći sadržaj  $\beta$ -karotena za 56,69%, manje učešće ksilema za 7,33% i lepši oblik u odnosu na mrkvu proizvedenu na ravnoj površini. Na ravnoj površini koren mrkve imao je viši sadržaj suve materije za 10,25% i sadržaj ukupnih šećera za 13,61%. Proizvodnjom mrkve na mini gredicama dobija se viši kvalitet i lepši oblik korena mrkve u odnosu na mrkvu proizvedenu na ravnoj površini.

Predsetvenom pripremom zemljišta uz formiranje mini gredica omogućava se proizvodnja mrkve i na težim tipovima zemljišta, pri čemu se postiže viši kvalitet mrkve potreban za realizaciju mrkve na tržištu u svežem stanju, a time i maksimalna ekonomska dobit.

### 1.3.4. Analiza eksploatacionih parametara mašina pri proizvodnji mrkve na mini gredicama

Ispitivani su eksploatacioni parametri za sve mašine korišćene u tehnologiji proizvodnje mrkve na mini gredicama. Korišćenjem standardne metode pomoću vizir motki, merne pantljičke, dvometra i štoperice izmerene su vrednosti za: radni zahvat, radnu brzinu i strukturu vremena smene (Lazić, 1983). Na osnovu izmerenih vrednosti izračunati su sledeći eksploatacioni parametri:

- pokazatelji iskorišćenja vremena,
- proizvodnost agregata i
- utrošak živog i mašinskog rada.

Praćena je potrošnja goriva, koja je izvedena metodom dosipanja do punog rezervoara na kraju smene. Izmereni podaci za eksploatacione parametre i potrošnju goriva predstavljaju polazne podatke za analizu energetskog bilansa proizvodnje mrkve na mini gredicama.

Časovna proizvodnost ( $W_h$ ), određena je merenjem radne brzine, radnog zahvata i koeficijenta iskorišćenja vremena smene (tab. 1.11). Izračunati podaci provereni su preko odnosa obrađene površine i vremenskog intervala potrebnog za izvođenje određene tehnološke operacije. Na osnovu broja radnika ( $n_{rad}$ ) i nominalne snage vučno-pogonskih jedinica ( $P_e$ ), određena je količina angažovanog živog ( $H_{ha}$ ) i mašinskog rada ( $M_{ha}$ ) po jedinici obrađene površine (Lazić, 1983).

Tabela 1.11 Eksploatacioni parametri tehnologije proizvodnje mrkve na mini gredicama

R.b.	Tehnološka operacija	$P_e$ , kW	$W_h$ , ha/h	$n_{rad}$ , -	$H_{ha}$ , h/ha, %		$M_{ha}$ , kWh/ha, %	
1.	Podrivanje 60 cm (2x)	139	1,25	1	1,60	0,10	223	2,20
2.	Duboko oranje 35 cm	139	1,16	1	0,87	0,06	120	1,18
3.	Tanjiranje	96	2,55	1	0,39	0,03	38	0,37
4.	Osnovno prihr. i transport	59,7+59,7	4,68	2	0,43	0,03	26	0,26
5.	Površinska priprema (4x)	139	4,59	1	0,87	0,06	121	1,19
6.	Površinska priprema, freza	96	1,44	1	0,69	0,04	67	0,66
7.	Formiranje mini gredica	139	0,34	1	2,98	0,19	414	4,08
8.	Setva	46,5	0,82	2	2,44	0,16	57	0,56
9.	Hemijska zaštita (4x)	59,7	7,20	2	1,11	0,07	33	0,33
10.	Dopunsko prihranjivanje (2x)	46,5	5,72	2	0,70	0,05	16	0,16
11.	Međuredna kultivacija (2x)	46,5	2,11	2	1,89	0,12	44	0,43
12.	Navodnjavanje (30x)	44+59,7*	0,281	0,38	40	2,59	5.893	58,15
13.	Uklanjanje lisne mase	46,5	0,98	1	1,02	0,07	47	0,46
14.	Izoravanje mrkve	46,5	0,68	2	2,96	0,19	69	0,68
15.	Ručno sakupljanje i transport korena	59,7+59,7	0,192	160	834	53,99	726	7,16
16.	Pranje mrkve	96	0,050	1	20	1,30	1.920	18,94
17.	Pakovanje	-	0,016	10	625	40,51	-	-
18.	Unutrašnji transport (3x)	44	0,411	1	7,30	0,47	321	3,17
Ukupno (bez 19)					1.543	100,0	10.135	100,00
19.	Mehanizovano ubiranje i transport	60+60+51	0,15	6	40,3		1.148	
Ukupno (19 umesto 13, 14 i 15)					746		10.441	

\* traktor angažovan 1,5 h u toku smene (8h)

Radna brzina agregata prilikom formiranja mini gredica na ispitivanoj parceli iznosila je 1,6 km/h. Prema literaturnim podacima, vrednosti radne brzine prilikom formiranja mini gredica kreću se u granicama 4,12–4,83 km/h (Jakovác, 2002), 3,28 km/h, 6 km/h za mašinu sa aktivnim radnim organima (Bajkin and Žigmanov, 1994) i 3,5 km/h sa pasivnim radnim alatima (Konstantinović i Lammers, 2005). Kvalitet obrade zemljišta prilikom formiranja mini gredica bio je odlučujući faktor za izbor radne brzine.

U tehnologiji proizvodnje mrkve na mini gredicama za upotrebu u svežem stanju, angažovano je ukupno 1.543 h/ha živog rada. Najveći deo angažovan je za ručno sakupljanje (sl. 1.25) i transport korena (sl. 1.26), 834 h/ha, što predstavlja 53,99% od ukupno angažovanog živog rada (tab. 1.11). Od toga čak 814 h/ha angažovano je za sakupljanje i 20 h/ha za transport. Pri radu u lošim vremenskim uslovima, angažovanje živog rada za ručno sakupljanje korena mrkve može da bude i duplo veće.



Slika 1.25 Sakupljanje korena mrkve



Slika 1.26 Transport korena mrkve

Na osnovu rezultata ranijih sopstvenih istraživanja utvrđeno je da je prilikom mehanizovanog ubiranja mrkve jednorednim kombajnom čupajućeg tipa (sl. 1.27), ostvarena proizvodnost od 0,149 ha/h, uz angažovanje živog rada 40,30 h/ha. Od toga za mehanizovano ubiranje angažovano je 26,86 h/ha i 13,44 h/ha za transport.



Slika 1.27 Mehanizovano ubiranje korena mrkve

Mehanizovanim ubiranjem zamenjuju se sledeće tehnološke operacije (uklanjanje lisne mase, izoravanje mrkve, ručno sakupljanje i transport) pri čemu je ostvarena ušteda u živom radu od 797 h/ha. Korišćenjem dvorednog kombajna, količina angažovanog živog rada bi bila još niža, a ostvarila bi se i bolja usklađenost masene proizvodnosti kombajna i transportnih sredstava. Kombajn za ubiranje mrkve bio je agregatiran sa traktorom nominalne snage motora 59,7 kW. Za transport korišćena su dva transportna agregata nominalne snage motora

traktora 59,7 i 51,5 kW. Ukupna količina angažovanog mašinskog rada za mehanizovano ubiranje mrkve iznosila je 1.148 kWh/ha, od toga 401 kWh/ha angažovano je za mehanizovano ubiranje i 747 kWh/ha za transport korena mrkve do ekonomskog dvorišta. Mehanizovanim ubiranjem angažovano je za 285 kWh/ha više mašinskog rada u poređenju sa mehanizovanim uklanjanjem lisne mase, izoravanjem i ručnim sakupljanjem korena mrkve.

Ukupna količina angažovanog mašinskog rada prilikom ručnog sakupljanja korena mrkve izmerena za analiziranu tehnologiju proizvodnje korena mrkve na mini gredicama iznosila je 10.135 kWh/ha. Za obradu zemljišta angažovano je 983 kWh/ha, a od toga za formiranje mini gredica 414 kWh/ha, što predstavlja pojedinačno najveću stavku prilikom izvođenja obrade zemljišta. Za formiranje mini gredica angažuje se 3,45 puta veća količina mašinskog rada u odnosu na oranje na dubinu 35 cm. Najveća količina angažovanog mašinskog rada od 5.893 kWh/ha izmerena je pri navodnjavanju, zbog velikog broja navodnjavanja u toku vegetacionog perioda (30 navodnjavanja). Transport korena mrkve sa parcele do ekonomskog dvorišta takođe predstavlja veliku stavku u strukturi angažovanog mašinskog rada, i posledica je veće udaljenosti parcele od ekonomskog dvorišta. Na transport korena mrkve na pranje, angažovano je 1.920 kWh/ha i posledica je velike udaljenosti mesta skladištenja i mesta pranja korena mrkve. Tome treba dodati i angažovanje traktora veće nominalne snage nego što je neophodno (96 kW). Organizacija rada treba da bude takva da transportna sredstva imaju što kraći vremenski period čekanja (*Turan, 2005*).

Količina angažovanog mašinskog rada (tab. 1.11), izračunata je iz odnosa nominalne snage vučno-pogonske jedinice ( $P_e$ ) i časovne proizvodnosti ( $W_h$ ) i predstavlja osnovu za proračun potrebnog broja sredstava mehanizacije. Prilikom energetske analize potrebno je u obzir uzeti stepen opterećenja motora traktora, kao i dužinu izvođenja pojedinih tehnoloških operacija (tehnološko korisno vreme). Precizna energetska analiza dobijena je merenjem potrošnje goriva.

U tehnologiji proizvodnje korena mrkve na mini gredicama sa ručnim sakupljanjem angažovano je 1.543 h/ha, a pri mehanizovanom ubiranju 746 h/ha živog rada. Za celu tehnologiju proizvodnje mrkve na mini gredicama sa ručnim sakupljanjem angažovano je 10.135 kWh/ha a pri mehanizovanim ubiranjem 10.441 kWh/ha mašinskog rada. Za formiranje mini gredica angažovano je 2,98 h/ha živog i 414 kWh/ha mašinskog rada, što predstavlja 0,19% živog i 4,08% mašinskog rada, posmatrano u odnosu na celu tehnologiju proizvodnje mrkve sa ručnim sakupljanjem.

### 1.3.5. Energetski bilans proizvodnje mrkve na mini gredicama

Energetski bilans proizvodnje mrkve na mini gredicama određen je preko metode koju navode *Ortiz-Cañavate and Hernandez (1999)*, *Dević i Dimitrijević (2009)*, *Rafiee et al, (2010)* i *Bajkin et al, (2014)*. Metoda se sastoji u definisanju i određivanju direktnih energetskih inputa (dizel gorivo, električna energija, TNG) i indirektnih energetskih inputa (amortizacija i održavanje tehničkih sistema i skladišnog prostora, energija angažovana za proizvodnju mineralnog hraniva, hemijskih zaštitnih sredstava, semena, ambalaže, navodnjavanje, transport i živi rad). Energetski inputi određeni su preko energetskih ekvivalenata i izmerenih konkretnih podataka prilikom praćenja tehnologije proizvodnje mrkve.

Na osnovu poznatih vrednosti energetskog inputa i otputa određen je:

- specifični energetski input ( $EI_{sp}$ ):

$$EI_{sp} = \frac{EI}{G}, \quad \text{MJ/kg}, \quad (1.6)$$

- energetske odnos (ER):

$$ER = \frac{EV \cdot G}{EI}, \quad - i \quad (1.7)$$

- stepen iskorišćenja energije (EP):

$$EP = \frac{G}{EI}, \quad \text{kg/MJ}. \quad (1.8)$$

Energetski bilans treba da obuhvati sve energetske inpute uključene u proces proizvodnje, kao i tehničke sisteme kojima se ova proizvodnja ostvaruje. Prilikom energetske analize potrebno je napraviti razliku između inputa koji se u potpunosti utroše u jednom proizvodnom ciklusu i onih koji se raspoređuju na duži vremenski period (tehnički sistemi). Za inpute koji se koriste duži vremenski period, energija utrošena putem materijala, proizvodnje i održavanja tehničkih sistema mora se podeliti na ceo period korišćenja tehničkih sistema. Svi energetske inputi u biljnoj proizvodnji mogu se podeliti u dve grupe:

- direktni energetske inputi (gorivo) i
- indirektni energetske inputi (tehnički sistemi, hraniva, hemijska zaštitna sredstva, setveni/sadni materijal, navodnjavanje, transport i živi rad).

### **1.3.5.1. Direktni energetske inputi**

Direktni energetske inputi u biljnoj proizvodnji najčešće obuhvataju jednu trećinu ukupnih energetske inputa (*Ortiz-Canavate and Hernanz, 1999*). Direktno angažovana energija odnosi se na goriva fosilnog porekla (tab. 1.12). Traktori i pogonske mašine uglavnom koriste dizel gorivo, dok se za rad sistema za navodnjavanje kao i ostale stacionarne opreme za doradu i pakovanje može koristiti električna energija.

Tabela 1.12 Energetske vrednost dizel goriva, LPG, električne energije i drva (*Cervinka, 1980*)

Gorivo	Jedinica mere	Sadržaj energije	Proizvodnja	Ukupan sadržaj energije
Dizel gorivo	MJ/l	38,7	9,1	47,8
LPG	MJ/l (MJ/kg)	26,1 (46,1*)	6,2 (11,0)	32,3 (57,1)
Električna energija	MJ/kWh	3,6	8,4	12,0
Drvo	MJ/kg	9,5**	3,8	13,3

\* [www.jugopetrol.co.yu](http://www.jugopetrol.co.yu),

\*\*[www.rgf.bg.ac.rs](http://www.rgf.bg.ac.rs)

Da bi se odredila energetske vrednost utrošenog goriva, potrebno je uzeti u obzir toplotnu moć goriva, ali tome treba dodati angažovanu energiju da bi energija goriva bila dostupna proizvođaču. Jedan litar dizel goriva sadrži 38,7 MJ, a za njegovu proizvodnju u rafineriji i transport goriva od potrošača, potroši se dodatnih 9,1 MJ. Ukupan sadržaj energije za dizel gorivo iznosio je 47,8 MJ/l.

### **1.3.5.2. Indirektni energetske inputi**

Indirektni energetske inputi odnose se na energiju angažovanu za proizvodnju tehničkih sistema, kao i drugih materijala potrebnih za datu biljnu proizvodnju.

Proizvodnja, ali i održavanje tehničkih sistema važne su stavke u energetske bilansu biljne proizvodnje. Prilikom proračuna energije potrebne za korišćenje tehničkih sistema, u obzir se mora uzeti energija potrebna za proizvodnju materijala (čelik 23–60 MJ/kg), a takođe i energija utrošena u procesu proizvodnje tehničkih sistema (ove dve stavke ukupno u proseku

iznose 87 MJ/kg). Takođe treba uzeti u obzir energiju koja se utroši za transport opreme do proizvođača (8,8 MJ/kg) kao i energiju koja se angažuje za opravku i održavanje (Bowers, 1992).

Energetski ekvivalenti tehničkih sistema izraženi su preko energije koja se angažuje za njihovu proizvodnju i održavanje, a sve svedeno na jedinicu njihove mase (Pellizzi, 1992). Kada se uzme u obzir period korišćenja tehničkih sistema, njihovi energetski ekvivalenti koji se angažuju u toku godine imaju vrednosti navedene u tabeli 1.13.

Tabela 1.13 Energetski ekvivalenti tehničkih sistema (Pellizzi, 1992)

Oprema	Energija, MJ/kg·god
Traktori i samohodne mašine	9 – 10
Stacionarna oprema	8 – 10
Poljoprivredne mašine i oruđa	6 – 8

Da bi se odredio energetski input za tehničke sisteme potrebno je poznavati njihovu masu, period korišćenja, broj radnih sati godišnje i površinu na kojoj se korite.

Mineralna hraniva su hemijski elementi koji se dodaju zemljištu ili direktno biljkama da bi se omogućio njihov pravilan rast i razvoj. Najveća stavka u indirektno angažovanoj energiji u biljnoj proizvodnji najčešće je energija koja se utroši preko hraniva, a naročito za proizvodnju azotnih hraniva. Energetski ekvivalenti za tri najznačajnija makro elementa data su u tabeli 1.14.

Tabela 1.14 Energetski ekvivalenti mineralnih hraniva (Mudahar and Hignett, 1987)

Mineralno hranivo	Energija (MJ/kg)		
	Proizvodnja	Pakovanje i transport	Ukupno
N	69,5	8,6	78,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7,6	9,8	17,4
K <sub>2</sub> O	6,4	7,3	13,7

Prilikom proračuna energetskih ekvivalenata za zaštitna sredstva u obzir se uzima energetski input za proizvodnju aktivne materije, formulaciju i pakovanje. Aktivna materija se mora formulirati u emulzivnim uljima, kvasivim puderima ili granulama (20–30 MJ/kg). Pakovanje i distribucija zahtevaju dodatni utrošak energije u iznosu od 3–8 MJ/kg, u zavisnosti od udaljenosti na koju se transportuje zaštitno sredstvo (Green, 1987). Na ovako izračunatu vrednost energetskog ekvivalenta treba dodati energiju utrošenu za aplikaciju.

Prilikom energetske analize treba uzeti u obzir i energiju potrebnu za proizvodnju semenskog materijala. Prilikom proračuna treba uzeti u obzir sve tehnološke operacije pre i nakon ubiranja semena. Za proizvodnju visokokvalitetnog hibridnog semena povrća energetski ekvivalent ima znatno više vrednosti u odnosu na proizvodnju sortnog semenskog materijala za ratarsku proizvodnju. U literaturi mogu se naći jedino podaci za semenski materijal za ratarske kulture, a i navedene vrednosti su često samo procenjene (Heichel, 1980).

Prilikom navodnjavanja javljaju se direktni i indirektni inputi. Energija angažovana za pogon pumpe pripada direktnim troškovima. Indirektno angažovanje energije podrazumeva materijal za proizvodnju i transport elemenata za navodnjavanje, kao i njegovo održavanje u toku eksploatacije. Indirektni energetski input je teže odrediti, i pri proračunu se uzima 18% za mobilne sisteme i 375% za površinsko navodnjavanje brazdama od direktno utrošene energije (Sloggett, 1992).

Proizvodnja povrća se ne može zamisliti bez dobro organizovanog transporta. Transportuju se materijal i oprema koja se koristi u tehnologiji proizvodnje, gotovi proizvodi i radnici. Energija utrošena za transport izražava se preko količine energije po pređenom putu

i utrošku goriva (MJ/t/km). Ukoliko se transport obavlja kamionom, utrošak energije u proseku iznosi 1,6–4,5 MJ/t/km (*Fluck and Baird, 1982*).

U biljnoj proizvodnji a posebno u povrtarskoj proizvodnji, u zemljama u razvoju, energija angažovana putem živog rada i dalje predstavlja značajan faktor angažovane energije i uspešnosti proizvodnje. U razvijenim zemljama gde je poljoprivredna proizvodnja u velikom stepenu mehanizovana, kalorijska vrednost hrane za radnike je zanemrljiva (*Fluck and Baird, 1982*). Energetski ekvivalent od 1,96 MJ/h odgovara složenosti i fizičkim naporima koji se javljaju u toku izvođenja radova u poljoprivrednoj proizvodnji (*Đević i Dimitrijević, 2009*).

### **1.3.5.3. Proračun direktnih i indirektnih energetske inputa**

Na ispitivanom gazdinstvu u setvenoj strukturi mrkva je bila zastupljena sa 60 ha, krompir sa 60 ha, cvekla sa 10 ha, pšenica sa 20 ha i kukuruz sa 10 ha. Na osnovu udela mrkve u setvenoj strukturi korigovana je zastupljenost energetske inputa, za tehnološke operacije, koji su zajednički i za proizvodnju drugih kultura.

Od direktnih energetske inputa u njivskoj proizvodnji mrkve za pogon tehničkih sistema u najvećoj meri korišćeno je dizel gorivo, a u znatno manjoj meri električna energija i LPG. U procesu proizvodnje učestvovali su traktori nominalnih snaga motora 139, 96 i 46,5 kW i dva traktora nominalne snage motora 59,7 kW. Za navodnjavanje, korišćeno je pet dizel agregata nominalne snage 44 kW sa generatorom i elektromotorom maksimalne snage 34 kW.

Potrošnja goriva po jedinici obrađene površine ( $Q_{ha}$ ) za standardne tehnološke operacije usvojena je na osnovu literaturnih podataka. Za specifične tehnološke operacije potrošnja goriva po jedinici obrađene površine izmerena je metodom dosipanja goriva na kraju radnog dana.

Časovna potrošnja goriva ( $Q_h$ ) izračunata je na osnovu potrošnje goriva po jedinici obrađene površine i časovne proizvodnosti ispitivanih mašina ( $W_h$ ), u poljskim uslovima. Provera izračunatih vrednosti za potrošnju goriva po jedinici obrađene površine ( $Q_{ha}$ ) i časovne potrošnje goriva ( $Q_h$ ) izvedena je na osnovu kataloških podataka o časovnoj potrošnji goriva proizvođača navedenih traktora u zavisnosti od stepena opterećenja motora traktora prilikom izvođenja određene tehnološke operacije (*Popović i dr, 1996*).

Za izvođenje tehnoloških operacija u tehnologiji proizvodnje mrkve za obradu zemljišta utrošeno je 198,5 l/ha goriva, od toga 76,5 l/ha za formiranje mini gredica (tab. 1.15.). Za prihranjivanje, setvu, negu i vađenje utrošeno je još 59,4 l/ha. Za navodnjavanje utrošena je najveća količina dizel goriva, 640 l/ha. Za traktorski transport je utrošeno 233 l/ha dizel goriva. U strukturi transporta najveće učešće ima transport mrkve sa parcele do ekonomskog dvorišta i transport mrkve na pranje. Ukupna količina utrošenog dizel goriva u tehnologiji proizvodnje mrkve na mini gredicama bila je 1.130,9 l/ha što predstavlja direktni energetski input od 54.057 MJ/ha.



Tabela 1.15 Potrošnja dizel goriva u tehnologiji proizvodnje mrkve na mini gredicama

R. b.	Tehnološka operacija	$Q_h$ , l/h	$W_h$ , ha/h	$Q_{ha}$ , l/ha	DEI, MJ/ha
1.	Podrivanje 60 cm (2x)	29	1,25	46,4	2.218
2.	Duboko oranje 35 cm	29	1,16	25,0	1.195
3.	Tanjiranje	24	2,55	9,4	450
4.	Osnovno prihranjivanje	15	4,68	3,2	153
5.	Površinska priprema (4x)	25	4,59	21,8	1.041
6.	Površinska priprema, freza	28	1,44	19,4	929
7.	Formiranje mini gredica	26	0,34	76,5	3.655
8.	Setva	8	0,82	9,8	466
9.	Hemijska zaštita (4x)	16,5	7,2	9,2	438
10.	Dopunsko prihranjivanje (2x)	8	5,72	2,8	134
11.	Međuredna kultivacija (2x)	9	2,11	8,5	408
12.	Uklanjanje lisne mase	11	0,98	11,2	537
13.	Izoravanje mrkve	10	0,68	14,7	703
14.	Navodnjavanje (30x)	6	0,281	640,0	30.592
15.	Traktorski transport	–	–	233,0	11.137
Ukupno				1.130,9	54.057

Za manipulaciju korenom mrkve prilikom pakovanja i utovara u transportno sredstvo unutar ekonomskog dvorišta korišćen je samohodni viljuškar sa pogonom na benzin, adaptiran na TNG. Ukupna godišnja potrošnja iznosila je 3.600 kg TNG. Uzimajući u obzir setvenu strukturu i prinos mrkve koja se pere i odmah pakuje, angažovano je 385 kg/godišnje ili 25,67 kg/ha TNG, a za mrkvu koja se skladišti 2.520 kg/godišnje ili 56 kg/ha TNG. Direktni energetske imputi u vidu TNG za pogon viljuškara za mrkvu koja se pere i odmah pakuje iznose 1.466 MJ/ha a za mrkvu koja se skladišti i tek naknadno pere i pakuje iznosi 3.198 MJ/ha.

Ukupna godišnja potrošnja električne energije na ekonomskom dvorištu iznosi 7.680 kWh/godišnje ili 92.160 MJ/godišnje. S obzirom na setvenu strukturu i prinos gajenih povrtarskih kultura pri proizvodnji korena mrkve angažovano je prosečno 768 MJ/ha električne energije.

Direktni energetske imputi po jedinici proizvodne površine predstavlja sumu direktnih energetskih inputa dizel goriva od 54.057 MJ/ha, TNG od 3.198 MJ/ha za koren mrkve koji se skladišti i električne energije od 768 MJ/ha, što iznosi ukupno 58.022 MJ/ha.

Indirektni energetske imputi za tehničke sisteme određeni su korišćenjem energetskih ekvivalenata za pojedine grupe tehničkih sistema (*Pellizzi, 1992*). Na ovaj način određeni su indirektni energetske imputi za korišćene traktore, mašine i skladišni prostor.

Na osnovu mase traktora ( $m_{TR}$ ) i energetskih ekvivalenata (*Pellizzi, 1992*), određen je godišnji indirektni energetske imput za traktore ( $IE_{TR,god}$ , MJ/god). Na osnovu godišnjeg angažovanja traktora ( $Mh$ , h/god), izračunat je indirektni energetske imputent po času rada traktora ( $IEI_{TR,h}$ , MJ/h), tabela 1.16.

Tabela 1.16 Indirektni energetske imputi traktora

R. b.	$P_e$ , kW	$m_{TR}$ , kg	$IEI_{TR,god}$ , MJ/god.	$Mh$ , h/god.	$IEI_{TR,h}$ , MJ/h
1.	139	6.021	57.200	1.050	54,5
2.	96	4.640	44.080	1.250	35,3
3.	59,7 (2 kom)	3.900	37.050	1.300	28,5
4.	46,5	2.868	27.246	900	30,3

Poznavanjem časovne proizvodnosti ( $W_h$ ) za pojedine tehnološke operacije (tab. 1.17) određeni su indirektni energetski inputi traktora po jedinici proizvodne površine ( $IEI_{TR}$ , MJ/ha).

Tabela 1.17 Indirektni energetski inputi za tehničke sisteme

R. b.	Tehnološka operacija	$m_{MAŠ}$ , kg	$IEI_{MAŠ, god}$ , MJ/god	$A_{mrkva}$ , ha/god	$p_{mrkva}$ , %	$IEI_{MAŠ}$ , MJ/ha	$IEI_{TR}$ , MJ/ha
1.	Podrivanje 60 cm	950	7.125	100	50	35,6	87,3
2.	Duboko oranje 35 cm	1.150	8.625	60	40	57,5	47,1
3.	Tanjiranje	1.650	12.375	90	60	82,5	13,8
4.	Osnovno prihranjivanje	190	1.425	60	40	9,5	6,1
5.	Površinska priprema	1.200	9.000	150	65	39,1	47,5
6.	Površinska priprema, freza	1.400	10.500	75	83	116,7	23,6
7.	Formiranje mini gredica	1.550	11.625	75	100	155,0	162,1
8.	Setva	450	3.375	75	82	36,7	37,0
9.	Hemijska zaštita	1.306	9.795	270	52	18,8	15,8
10.	Dopunsko prihranjivanje	190	1.425	115	55	6,8	10,6
11.	Međuredna kultura	320	2.400	115	100	20,9	28,7
12.	Uklanjanje lisne mase	350	2.625	60	44	19,4	30,8
13.	Izoravanje mrkve	250	1.875	60	100	31,3	44,8
14.	Pakovanje	85	637,5	60	50	6,4	–
Ukupno						636,2	555,2

Na osnovu mase mašine ( $m_{MAŠ}$ ) i energetskih ekvivalenata (*Pellizzi, 1992*), određen je godišnji indirektni energetski input za mašine ( $IEI_{MAŠ, god}$ , MJ/god). Poznavanjem površine obrađene svakom od pojedinih mašina u tehnologiji proizvodnje mrkve ( $A_{mrkva}$ , ha/god) i ukupnog angažovanja u toku cele godine, izračunat je procentualni udeo ( $p_{mrkva}$ , %) korišćenja pojedinih mašina u tehnologiji proizvodnje mrkve. Na osnovu indirektnog energetskog inputa za mašine ( $IEI_{MAŠ, god}$ , MJ/godini), ukupne obrađene površine u tehnologiji proizvodnje mrkve ( $A_{mrkva}$ , ha/god) i procentualnog udela ( $p_{mrkva}$ , %), izračunat je indirektni energetski ekvivalent za mašine ( $IEI_{MAŠ}$ , MJ/ha).

Indirektni energetski ekvivalent po jedinici proizvodne površine za traktore iznosi 555,2 MJ/ha, a za mašine 636,2 MJ/ha, što ukupno iznosi 1.191,4 MJ/ha.

Skladište za mrkvu površine 2.000 m<sup>2</sup> i visine 5 m napravljeno je od betonskih stubova i zidova od cigle, a na krovnom delu nalazi se metalna konstrukcija pokrivena metalnim panelima sa staklenom vunom debljine 5 cm. Za pokrivanje navedene vrste objekta potrebno je približno 25 kg čelika/m<sup>2</sup>. Za građevinske objekte napravljene kompletno od čelika, potrebno je približno 35–40 kg čelika/m<sup>2</sup> (usvojeno na bazi internih kalkulacija projektnog biroa "BMMB", Novi Sad). Dužina trajanja amortizacionog veka skladišnog prostora iznosi 40 godina (*Jovanović, 2005*). Na osnovu energije potrebne za izradu, transport, obradu, ugradnju i zaštitu čelika usvojen je koeficijent 95,8 MJ/kg (*Bowers, 1992*).

Indirektni energetska input za skladišni prostor za jednu godinu iznosi 179.625 MJ/godišnje, što preračunato po jedinici površine mrkve koja se skladišti (45 ha) iznosi 3.922 MJ/ha.

Koren mrkve u toku čuvanja u skladištu smešten je u drvenu ambalažu (boks palete) ukupne mase 360.000 kg. Vek korišćenja boks paleta je 20 godina. Koren mrkve pakuje se u plastične vreće sa sadržajem 5 i 10 kg. Masa plastičnih vreća i folije potrebnih za pakovanje mrkve iznosi 10.200 kg/godini. Toplotna moć drveta korišćenog za izradu drvene ambalaže iznosi 9,5 MJ/kg, dok plastična ambalaža ima toplotnu moć jednaku kao i dizel gorivo. Za proizvodnju ambalaže i njen transport angažuje se dodatna količina energije. Usvojeno je da je dodatna količina energije jednaka 40% toplotne moći korišćenih materijala. Indirektni energetska input za drvenu ambalažu iznosio je 239.400 MJ/godišnje. Kada se uzme u obzir i struktura povrtarske proizvodnje (50% upakovanih proizvoda otpada na mrkvu) indirektni energetska input za drvenu ambalažu iznosio je 1.995 MJ/ha. Indirektni energetska input ostvaren korišćenjem plastične ambalaže za pakovanje mrkve iznosio je ukupno 10.200 kg/godišnje, što iznosi 642.600 MJ/godišnje ili 10.710 MJ/ha mrkve.

Od indirektnih energetska inputa koji se u potpunosti utroše u jednom proizvodnom ciklusu određeni su energetska inputi za mineralna hraniva, hemijska zaštitna sredstva, navodnjavanje i semenski materijal.

Na osnovu analize osnovnih hemijska osobina zemljišta i planiranog prinosa, mineralna hraniva su primenjena u tri navrata. Za osnovno, startno prihranjivanje pred osnovnu obradu utrošeno je 1.000 kg/ha sa sadržajem osnovnih elemenata 8% N, 20% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i 30% K<sub>2</sub>O. U toku vegetacije izvedena su dva prihranjivanja sa normom 170 kg/ha hranivom koje ima sadržaj azota 27%. Indirektni energetska inputi na osnovu energetska ekvivalenata (*Mudahar and Hignett, 1987*) za proizvodnju, pakovanje i transport do ekonomskog dvorišta mineralnih hraniva iznose: za azotnu 13.418, za fosforu 3.480 i za kalijumovu komponentu 4.110 MJ/ha, što iznosi ukupno 21.008 MJ/ha. Ovome su dodati energetska inputi za utovar, transport do parcele i aplikaciju mineralnih hraniva (tabele 1.15, 1.16 i 1.17).

U tehnologiji proizvodnje mrkve korišćena je minimalno potrebna količina hemijska zaštitnih sredstava, što je omogućeno klimatskim faktorima (ceo vegetacioni period bez kiše). Granulisani insekticid primenjen je u tri navrata (prilikom formiranja mini gredica, prilikom setve i prilikom prihrane). Ukupna količina utrošenog granulisanog insekticida bila je 30 kg/ha. Pomoću prskalice sa normom 200 l/ha, izvedena su četiri tretiranja. Tretiranja sa herbicidima izvedena su posle setve a pre i nakon nicanja. U toku vegetacije izvedena su dva tretiranja fungicidima (tab. 1.18).

Tabela 1.18 Indirektni energetska input nastao korišćenjem hemijska zaštitnih sredstava

Red. broj tretiranja	Pesticid	Aktivna materija		<i>IEI</i> <sub>zašt. sr</sub> MJ/kg	Doza, l/ha ili kg/ha	<i>IEI</i> <sub>zašt. sr</sub> MJ/ha
		%	MJ/kg			
1	Insekticid	4,7 + 0,3	229 / 160	42,9	30	1.286,8
2	Herbicid	33	460	175,9	4,0	703,6
3	Herbicid	50	290	164,5	1,8	296,1
	Herbicid	15	518	106,7	1,0	106,7
4	Fungicid	20 + 8	400	137,4	0,5	68,7
5	Fungicid	20 + 8	400	137,4	0,5	68,7
Ukupno					37,8	2.530,5

Za poznate vrednosti energetskih ekvivalenata (*Green, 1987*) za proizvodnju aktivne materije, nosača, kao i za pakovanje i transport utvrđeni su indirektni energetski inputi ( $IEI_{zašt. sr}$ , MJ/ha) po jedinici obrađene površine. Indirektni energetski input ostvaren korišćenjem hemijskih zaštitnih sredstava iznosio je ukupno 2.530,5 MJ/ha.

Za navodnjavanje, korišćeni su samohodni sektorski uređaji "tifoni". Izvor vode bio je bušeni bunar. Dizel agregat sa generatorom nominalne snage 44 kW i elektromotorom maksimalne snage 34 kW koji pogoni pumpu, voda je dopremana do dva samohodna sektorska uređaja. Za puštanje u rad angažuje se još jedan traktor nominalne snage motora 59,7 kW, za vuču kolica sa rasprskivačem na drugi kraj parcele i dva radnika u trajanju od 1,5 h. Agregat za dopremu vode prosečno je utrošio 6 l/h dizel goriva. Radni zahvat rasprskivača (topa) na kolicima bio je 56,25 m, uz brzinu namotavanja 25 m/h, pri čemu je ostvarena norma navodnjavanja 24 mm. Navodnjavana površina sa dva samohodna sektorska uređaja iznosila je 2.812,5 m<sup>2</sup>/h. Potrošnja dizel goriva za jedno navodnjavanje bila je 21,33 l/ha. U toku vegetacije izvedeno je 30 navodnjavanja. Ukupna potrošnja dizel goriva po jedinici proizvodnje iznosila je 640 l/ha. Energetski input za gorivo bio je 30.592 MJ/ha a za angažovanje tehničkih sistema 5.507 MJ/ha. Ukupni energetski input za navodnjavanje po jedinici površine bio je 36.099 MJ/ha.

Za setvu, korišćeno je visokokvalitetno tretirano hibridno seme. Sejalica je bila podešena za setvu u redu na razmak 1,9 cm. Na mini gredici zasejana su po dva reda na rastoranju 9 cm, a razmak između mini gredica bio je 75 cm. Teoretski broj biljaka po hektaru iznosio je 137,89 biljke/m<sup>2</sup>, uz utrošak semena od 1,75 kg/ha. Za sitnozrno sortno seme energetska vrednost kreće se u granicama 90–240 MJ/kg (*Heichel, 1980*), pri čemu je za seme mrkve usvojeno 165 MJ/ha. Za razvoj i proizvodnju hibridnog semena angažuje se veća količinu energije u odnosu na sortno seme. Na osnovu razlike između cena sortnog i hibridnog semenskog materijala, usvojeno je da se za proizvodnju hibridnog semena angažuje 5 puta veća količina energije. Procenjena vrednost energetskog ekvivalenta za hibridno seme iznosi 825 MJ/kg. Indirektni energetski input za hibridno tretirano seme mrkve iznosio je 1.443,8 MJ/ha.

Na veličinu energetskog inputa nastalog usled transporta, pored vrste transportnog sredstva utiče i udaljenosti parcele, kao i kvalitet puta. Za transport korena mrkve, repromaterijala (mineralno hranivo), vuču kolica samohodnog sektorskog uređaja (navodnjavanje) i transport radnika, korišćeni su traktorski transportni agregati nominalne snage motora traktora 96, 59,7 i 45,5 kW. Traktor nominalne snage motora 96 kW najčešće je bio agregatiran sa adaptiranom prikolicom, tzv. "perilicom" čiji kapacitet iznosi 2.500 kg korena mrkve. Dva traktora nominalne snage 59,7 kW korišćena su za transport korena mrkve, za vuču kolica samohodnog sektorskog uređaja kao i za ostale transportne radove. Traktor nominalne snage motora 46,5 kW, korišćen je prvenstveno za transport radnika. U tehnologiji proizvodnje mrkve prilikom izvođenja transportnih operacija traktor snage 96 kW angažovan je 500 h/godišnje, traktori snage 59,7 kW angažovani su prosečno po 450 h/godišnje, a traktor nominalne snage motora 46,5 kW angažovan je 400 h/godišnje. Za transport je korišćeno 6 prikolica nosivosti 5.000 kg i perilica. Na jednu prikolicu postavlja se po šest boks paleta. U jednu boks paletu može da stane 400 kg korena mrkve, što iznosi 2.400 kg po jednoj prikolici. Sa jednim traktorom agregatirane su po dve prikolice.

Ukupna potrošnja goriva utrošena za transportne operacije po jedinici površine prilikom proizvodnje korena mrkve iznosila je 233 l/ha, što iznosi 11.137 MJ/ha. Indirektni energetski input za održavanje i amortizaciju traktorskih transportnih sistema iznosi 873 MJ/ha za traktore 700 MJ/ha za prikolice, što iznosi ukupno 1.530 MJ/ha. Ukupni energetski input za transportne operacije iznosio je 12.667 MJ/ha.

Tabela 1.19 Ukupni direktni i indirektni energetske inputi za tehnologiju proizvodnje mrkve na mini gredicama

R. b.	Tehnološka operacija	DEI		IEI		EI	
		MJ/ha	%	MJ/ha	%	MJ/ha	%
1.	Podrivanje 60 cm	2.218	3,82	123	0,23	2.341	2,16
2.	Duboko oranje 35 cm	1.195	2,06	105	0,20	1.300	1,2
3.	Tanjiranje	450	0,78	96	0,18	546	0,5
4.	Osnovno prihranjivanje	153	0,26	16	0,03	169	0,16
5.	Površinska priprema	1.041	1,79	87	0,16	1.128	1,04
6.	Površinska priprema freza	929	1,60	140	0,26	1.069	0,99
7.	Formiranje mini gredica	3.655	6,30	317	0,60	3.972	3,66
8.	Setva	466	0,80	74	0,14	540	0,5
9.	Hemijska zaštita	438	0,75	35	0,07	473	0,44
10.	Dopunsko prihranjivanje	134	0,23	17	0,03	151	0,14
11.	Međuredna kultivacija	408	0,70	50	0,09	458	0,42
12.	Uklanjanje lisne mase	537	0,93	50	0,09	587	0,54
13.	Izoravanje mrkve	703	1,21	76	0,14	779	0,72
14.	Pakovanje	–	–	6	0,01	6	0,01
15.	Navodnjavanje	30.592	52,72	5.507	10,36	36.099	30,75
16.	Traktorski transport	11.137	19,19	1.530	2,88	12.667	11,68
17.	Unutrašnji transport	3.198	5,51	277	0,52	3.475	3,2
18.	Skladište	768	1,32	3.992	7,51	4.760	4,39
19.	Drvena ambalaža	–	–	1.995	3,75	1.995	1,84
20.	Plastična ambalaža	–	–	10.710	20,14	10.710	9,88
21.	Hem. zaštitna sredstva	–	–	2.531	4,76	2.531	2,33
22.	Mineralna hraniva	–	–	21.008	39,51	21.008	19,37
23.	Seme	–	–	1.444	2,72	1.444	1,33
24.	Živi rad	–	–	2.987	5,62	2.987	2,75
Ukupno		58.022	100,00	53.173	100,00	111.195	100,00

Energija angažovana putem živog rada izračunata je na osnovu angažovanog živog rada po jedinici površine i usvojenog energetske ekvivalenta, koji iznosi 1,96 MJ/h (*Ortiz-Cañavate and Hernandez, 1999; Đević i Dimitrijević, 2009*). U tehnologiji proizvodnje mrkve ukupno je angažovano 1.543 h/ha (tab. 1.11). Energetske input za ljudski rad iznosio je 2.987 MJ/ha.

Za posmatranu tehnologiju proizvodnje mrkve na mini gredicama (tab. 1.19) ukupni energetske input iznosi 111.195 MJ/ha. Preko direktnog energetske inputa (dizel gorivo, TNG, električna energija) angažovano je 58.022 MJ/ha što predstavlja 52,18% od ukupnog energetske inputa. Za indirektni energetske input (održavanje i amortizacija tehničkih sistema i objekata, materijal, živi rad) angažovano je 53.173 MJ/ha što predstavlja 47,82% od ukupnog energetske inputa. U strukturi ukupnog energetske inputa najveća količina energije angažovana je posredstvom navodnjavanja 30,75%, mineralnih hraniva 19,37%, traktorskog transporta 11,68% i plastične ambalaže 9,88%. Za obradu zemljišta angažovano je ukupno 9,55%, a od toga najveći deo angažovan je za formiranje mini gredica 3,66%, u odnosu na ukupni energetske input.

Analiza tehnologije proizvodnje korena mrkve obuhvatila je i transport, unutrašnji transport, skladištenje, pranje i pakovanje korena mrkve. Izostavljanjem ovih tehnoloških

operacija, (proizvodnja mrkve za industrijsku preradu), ukupni energetske input imao bi vrednost 76.089 MJ/ha. Na posleubirajuće tehnološke operacije angažovano je 35.107 MJ/ha, ili 31,57% ukupnih energetskekih inputa.

Izračunate vrednosti energetske inputa su u granicama koje se navode u literaturi. Tako pri proizvodnji paradajza na otvorenom polju energetske input iznosi 163.200 MJ/ha (Đević i Dimitrijević, 2009), a za šećernu repu 32.900 MJ/ha (Ortiz-Cañavate and Hernandez, 1999).

#### **1.3.5.4. Analiza eksploatacionih parametara i energetske bilansa proizvodnje mrkve na mini gredicama**

Analizom eksploatacionih parametara u tehnologiji proizvodnje mrkve na mini gredicama sa ručnim sakupljanjem angažovano je 1.543 h/ha živog rada i 10.441 kWh/ha mašinskog rada. Najveća količina živog rada angažovana je za ručno sakupljanje i transport korena mrkve, 834 h/ha (53,99%). Najveća količina mašinskog rada angažovana je za navodnjavanje, 5.893 kWh/ha (58,15%). Za formiranje mini gredica angažovano je 2,98 h/ha živog i 414 kWh/ha mašinskog rada, što predstavlja 0,19% živog i 4,08% mašinskog rada posmatrano u odnosu na celu tehnologiju proizvodnje mrkve sa ručnim sakupljanjem.

Količina angažovanog mašinskog rada, izračunata je iz odnosa nominalne snage vučno-pogonske jedinice ( $P_e$ ) i časovne proizvodnosti ( $W_h$ ) i koje predstavljaju osnovu za proračun potrebnog broja sredstava mehanizacije (Mileusnić i dr, 2008). Prilikom energetske analize potrebno je u obzir uzeti stepen opterećenja motora traktora, kao i dužinu vremena angažovanja prilikom izvođenja pojedinih tehnoloških operacija, tehnološko korisno vreme (Lazić, 1983). Precizna energetske analiza dobijena je merenjem potrošnje goriva (Kheiralla et al, 2004; Đević i Dimitrijević, 2009).

Na ispitivanom ekonomskom gazdinstvu proizvedeno je 3.000 t mrkve na površini od 60 ha, čime je ostvaren prosečan prinos od 50 t/ha. U zavisnosti od parcele i vremena ubiranja, prinos je varirao od 30 do 89,2 t/ha.



Slika 1.28 Mrkva na mini gredicama Slika 1.29 Izgled mrkve pred ubiranje

Energetske vrednost ( $EV$ ) korena mrkve iznosi 1,73 MJ/kg (<http://www.elements4health.com/carrots.html>). Za proračun energetskekih inputa i energetske bilansa korena mrkve na mini gredicama (tabela 1.20) korišćen je prosečni prinos ( $G$ ) od 50.000 kg/ha.

Tabela 1.20 Energetski bilans proizvodnje mrkve na mini gredicama

Parametri	Jedinica mere	Srednja vrednost	Na ravnom	Na mini gredicama
Prinos zadebljalog korena mrkve, $G$	kg/ha	50.000	63.600	89.200
Energetska vrednost korena mrkve, $EV$	MJ/kg	1,73	1,73	1,73
Direktni energetski input, $DEI$	MJ/ha	58.022	62.130	69.953
Indirektni energetski input, $IEI$	MJ/ha	53.173	59.020	70.145
Energetski input, $EI$	MJ/ha	111.195	121.150	140.098
Specifični energetski input, $EI_{sp}$	MJ/kg	2,224	1,905	1,571
Energetski odnos, $ER$	–	0,778	0,908	1,101
Stepen iskorišćenja energije, $EP$	kg/MJ	0,450	0,525	0,637

Na parceli na kojoj su ispitivane fizičke osobine korena mrkve ostvaren je najviši prinos korena mrkve (tab. 1.20). Srazmerno povećanju prinosa, povećan je energetski input za pojedine tehnološke operacije (traktorski i unutrašnji transport, pakovanje, skladištenje, drvena i plastična ambalaža i živi rad). Povećanjem prinosa, vrednosti specifičnog energetskog inputa  $EI_{sp}$  su se smanjivale u granicama 2,224–1,571 MJ/kg, a rasle su vrednosti za energetski odnos  $ER$  u granicama 0,778–1,101 i za stepen iskorišćenja energije  $EP$  u granicama 0,450–0,637 kg/MJ.

Na osnovu izračunatih vrednosti za energetski odnos  $ER$  proizvodnja mrkve namenjena za direktnu realizaciju na tržištu u svežem stanju može da bude energetski pozitivna. Izostavljanjem pojedinih tehnoloških operacija (mrkva za industrijsku preradu) energetski odnos  $ER$  pri prinosu mrkve od 50.000 kg/ha imao bi vrednost 1.204. Šećerna repa pri prinosu od 60.000 kg/ha ima vrednost za energetski odnos 1,3 (Ortiz-Cañavate, 1994).

Za analiziranu tehnologiju proizvodnje mrkve na mini gredicama ukupni energetski input iznosi 111.195 MJ/ha. Za prinos korena mrkve 50.000 kg/ha, vrednost energetskog odnosa od 0,778 je visoka i prihvatljiva s obzirom da je proizvodna godina bila ekstremno sušna i da su analizom obuhvaćene i posleubirajuće tehnološke operacije (skladištenje, unutrašnji transport, pranje i pakovanje mrkve).

#### **1.4. Literatura**

1. Bajkin A. 1994. Mehanizacija u povrtarstvu. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 335.
2. Bajkin A, Žigmanov P. 1994. Effects of the application of new technique of soil cultivation and sowing of root vegetables. AgEng, Milano, 94-D-122.
3. Bajkin A, Ponjičan O, Orlović S, Somer D. 2005. Mašine u hortikulturi. Univerzitet u Novom Sadu. Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 216.
4. Bajkin A. 2006. Primena rotofreze u savremenoj proizvodnji povrća. Savremeni povrtar 18: 20-21.
5. Bajkin A, Ponjičan O, Zoranović M. 2010. The impact of tillage on physical features and yield of carrot root. Journal on processing and energy in agriculture 14(4): 169-172.
6. Bajkin A, Ilin Ž, Ponjičan O, Dimitrijević Aleksandra. 2013. Mehanizacija u povrtarstvu – stanje i potrebe. Traktori i pogonske mašine, 18(1): 37-47.
7. Bajkin A, Ponjičan O, Dimitrijević Aleksandra, Zoranović M, Radojčin M. 2013. Uticaj smera obrtanja rotora rotacione sitnilice na ekološke aspekte obrade zemljišta. Traktori i pogonske mašine, 18(4): 7-15.
8. Bajkin A, Ponjičan O, Radomirović D, Pavkov I, Dulić M. 2014. Energy balance for carrot root production and drying. Journal on processing and energy in agriculture 18(2): 59-61,
9. Belić M, Pejić B, Hadžić V, Bošnjak Đ, Nešić Ljiljana, Maksimović Livija, Šeremešić S. 2004. Uticaj navodnjavanja na strukturno stanje černoze. Zbornik radova, Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo Novi Sad, 40: 141-151.
10. Birkás Márta. 2008. Environmentally-sound adaptable tillage, Akadémiai Kiadó, 351.
11. Bowers W. 1992. Agricultural field equipment. Energy in farm production. Energy in World Agriculture, ed. Fluck R. C, (6): 117-129. Amsterdam: Elsevier.
12. Cervinka V. 1980. Fuel and energy efficiency. Handbook of Energy Utilization in Agriculture, ed. Pimentel, D. Boca Raton, FL: CRC Press, 15-21.
13. Đević M, Dimitrijević Aleksandra. 2009. Analiza potrošnje energije u proizvodnji paradajza na otvorenom polju i u objektima zaštićenog prostora. Savremena poljoprivredna tehnika, 35(3): 169-175.
14. Đurovka M. 2008. Gajenje povrća na otvorenom polju. Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 251.
15. Fluck R. C, Baird C. D. 1982. Agricultural Energetics. Westport, Connecticut: AVI. 87-120.
16. Green M. B. 1987. Energy in pesticide manufacture, distribution and use. Energy in Plant Nutrition and Pest Control. Energy in World Agriculture, ed. Hessel, Z. R, (2): 165-195. Amsterdam: Elsevier.
17. Hadžić V, Belić M, Nešić Ljiljana. 2004. Praktikum iz pedologije. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Departman za ratarstvo i povrtarstvo, 79.
18. Heichel G. H. 1980. Assessing the fossil energy costs of propagating agricultural crops. Handbook of Energy Utilization in Agriculture, ed. Pimentel, D. Boca Raton, FL: CRC Press. Inc. 27-34.
19. Jakovác F. 2002. RUMPSTAD FH4X75 RSF 2000 bakhátkészítő gép. Mezőgazdasági Gépvizsgáló Értésítő. Gödöllo. Teszt-Nr. 103/2002.
20. Jakovác F. 2004. BT-2B ágyás-és bakhátkészít. Mezőgazdasági Gépvizsgáló Értésítő. Gödöllo. Teszt-Nr. 237/2004.
21. Jančić Milena. 2007. Proizvodnja na mini gredicama kao uslov dobijanja pogodnog oblika korena mrkve. Časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi, 11(1-2): 60-63.
22. Jovanović M. 2005. Ekonomska analiza proizvodnje biodizela. Poglavlje u monografiji: Biodizel–alternativno i ekološko tečno gorivo, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 160-180.



23. Kheiralla F, Yahya Azmi, Zohadie M, Ishak W. 2004. Modelling of power and energy requirements for tillage implements operating in Serdang sandy clay loam, Malaysia. *Soil & Tillage Research* 78: 21-34.
24. Konstantinović M, Lammers P. S. 2005. Gajenje šećerne repe u gredicama. *Agronomska revija* 5: 15-22.
25. Lazić Branka, Đurovka M, Marković V, Ilin Ž. 2001. Povrtarstvo. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 472.
26. Lazić V. 1983. Teorijske osnove eksploatacije poljoprivredne tehnike. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 307.
27. Lee K. S, Park S. H, Park W. Y, Lee C. S. 2003. Strip tillage characteristic of rotary tiller blades for use in a dryland direct rice seeder. *Soil & Tillage Research* 71: 25-32.
28. Marković D, Veljić M, Mitrović Z. 1995. Energetska analiza tehničkih sistema u obradi zemljišta. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 21(3): 121-128.
29. Матяшин Ю. И, Гринчук И. М, Егоров, Г. М. 1988. Расчет и проектирование потационных машин, Агропромиздат, Москва, 176.
30. Meši M, Malinović N, Anđelković S, Kostić M. 2009. Proizvodnja šećerne repe u konzervacijskoj obradi zemljišta. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 35(1-2): 95-102.
31. Mileusnić Z, Đević M, Petrović D, Miodragović R. 2008. Optimalizacija traktorsko-mašinskih sistema za obradu zemljišta. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 34(1-2): 197-108.
32. Milošev D, Šeremešić S. *Agroekologija-praktikum*. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, 2010.
33. Miljković N. 1996. Osnovi predologije. Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, 274.
34. Molnar I. 1999. Pravci i dostignuća u razvoju obrade zemljišta kod nas i u svetu. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 25(1-2): 32-45.
35. Molnar I. Opšte ratarstvo, drugo dopunjeno izdanje. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, 2004.
36. Mudahar M. S, Hignett T. P. 1987. Energy requirements, technology and resources in fertilizer sector. *Energy in Plant Nutrition and Pest Control. Energy in World Agriculture*, ed. Helsen, Z. R, (2): 25-61. Amsterdam: Elsevier.
37. Nejgebauer V, Živković B, Tanasijević Đ, Miljković N. 1971. Pedološka karta Vojvodine, razmera 1:50.000. Institut za poljoprivredna istraživanja, Novi Sad.
38. Nešić Ljiljana, Hadžić V, Belić M, Vasin J. 1999. Uticaj sabijanja zemljišta na strukturni sastav i stabilnost makro i mikrostrukturnih agregata humogleja. *Zbornik radova, Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo* 32: 253-261.
39. Nešić Ljiljana. 2002. Svojstva soloda i njegovo mesto u klasifikaciji zemljišta. *Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad*, 218.
40. Ortiz-Cañavate J. 1994. Characteristics of different types of gaseous and liquid biofuels and their energy balance. *J. Agric. Eng. Res.* 59: 231-238.
41. Ortiz-Cañavate J, Hernanz J.L. 1999. Energy Analysis and Saving in Energy for Biological Systems, In *CIGR Handbook* 3: 13-37.
42. Páltik J, Findura P, Polc M. 2003. Stroje pre rastlinnú výrobu, obrábanie pôdy, sejba. *Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre*, 241.
43. Pellizzi G. 1992. Use of energy and labour in italian agriculture. *J. Agric. Eng. Res.* 52: 231-238.
44. Poničan J, Jech J, Angelovič M, Žitňak M. 2004a. Vplyv predsejbovej prípravy pôdy na jej vlastnosti ovplyvňujúce pestovanie koreňovej zeleniny v podmienkach precízneho poľnohospodárstva. *Acta technologica agriculturae* (1): 7-10.
45. Poničan J, Jech J, Angelovič M, Žitňak M. 2004b. Vplyv vlastností pôdy na agrofyzikálne vlastnosti koreňovej zeleniny. *Acta technologica agriculturae* (4): 94-98.

46. Ponjičan O. 2009. Analiza parametara mašine za formiranje mini gredica pri proizvodnji korenastog povrća. Doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet Novi Sad.
47. Ponjičan O, Bajkin A, Matić-Kekić Snežana, Dedović N. 2011. Influence of the rotary tiller construction on tillage quality and soil degradation. 22<sup>nd</sup> International Symposium Food safety production, PROCEEDINGS. Trebinje, Bosnia and Herzegovina, 2011, 449-451.
48. Ponjican O, Bajkin A, Dimitrijevic Aleksandra, Savin L, Tomic M, Simikic M, Dedovic N, Zoranovic M. 2011. The effects of working parameters and tillage quality on rotary tiller specific work requirement. African Journal of Agricultural Research, 6(31): 6513-6524.
49. Ponjičan O, Bajkin A, Jaćimović G, Tomić M, Savin L, Dedović N, Simikić M. 2012. Tillage quality affecting physical characteristics, number of plants and carrot root yield under flat and ridge cultivation. Journal of Food, Agriculture & Environment, 10(2): 304-311.
50. Popović Z, Nikolić R, Furman T, Gligorić Radojka, Oparnica S, Savin L. 1996. Potrošnja goriva pri izvođenju prolećnih njivskih operacija. Revija agronomska saznanja 6(4): 29-34.
51. Resulović Husinija, Čustović H. 2002. Pedologija. Univerzitet u Sarajevu, 318.
52. Rafiee S, Avval S, Mohammadi A. 2010. Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran, Energy 35: 3301-3306.
53. Salokhe M, Ramalingam N. 2001. Effect of direction of rotation of a rotary tiller on properties of Bangkok clay soil. Soil & Tillage Research, 63: 65-74.
54. Salokhe M, Ramalingam N. 2003. Effect of rotation direction of rotary tiller on draft and power requirements in a Bangkok clay soil. Journal of Terramechanics 39: 195-205.
55. Savin L. 1999. Uticaj traktora različitih kategorija na promene u zemljištu. Magistarska teza, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 111.
56. Sloggett, G. 1992. Estimating energy use in world irrigation. Energy in Farm Production. Energy in World Agriculture, ed. Fluck, R. C., (6): 203-218. Amsterdam: Elsevier.
57. Turan J. 2005. Optimizacija transporta u žetvi. Savremena poljoprivredna tehnika, 31(3): 136-142.
58. Шейн Б, Архангельская А, Гончаров М, Губер К, Початкова Н, Сиборова А, Смагин В, Умарова Б. 2001. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв. Издательство Московского университета, Москва, 20-22.
59. Vučić N. 1987. Vodni, vazdušni i toplotni režim zemljišta. Vojvodanska akademija nauka i umetnosti, Novi Sad, 320.
60. EU No 730/99
61. ISO 7256/1.
62. JDPZ 1966. Priručnik za ispitivanje zemljišta. Knjiga I, Hemijske metode ispitivanja zemljišta, Beograd, 184-188.
63. JDPZ 1997. Metode istraživanja i određivanja fizičkih svojstava zemljišta, Komisija za fiziku zemljišta, Novi Sad, 70.
64. The Scientific Association Dedicated to Analytical Excellence. 2002. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th Edition, Current Through Revision #1, editor William Horwitz. On CD
65. <http://www.elements4health.com/carrots.html>
66. [www.dlg-test.de/pbdocs/I-4976.pdf](http://www.dlg-test.de/pbdocs/I-4976.pdf)
67. [www.jugopetrol.co.yu](http://www.jugopetrol.co.yu)
68. [www.rgf.bg.ac.rs](http://www.rgf.bg.ac.rs)
69. ISO/IEC 17025:2006. Opšti zahtevi za kompetentnost laboratorija za ispitivanje i laboratorija.

## 2. DEFINISANJE OPTIMALNOG REŽIMA RADA ROTACIONE SITNILICE U CILJU ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE, EKOLOGIJE I ENERGETSKE EFIKASNOSTI

## 2. DEFINING THE OPTIMAL MODE ROTARY TILLER TO PROTECT THE ENVIRONMENT, ECOLOGY AND ENERGY EFFICIENCY

Dr Ondrej PONJIČAN

### Rezime

Poljska ispitivanja su izvedena u zavisnosti od radne brzine i smera obrtanja rotora u različitim uslovima stanja zemljišta. Energetska efikasnost rotacione sitnilice određena je preko energije potrebne za vuču rotacione sitnilice i specifične energije predate preko priključnog vratila traktora. U zavisnosti od stanja zemljišta i režima rada vrednosti specifične energije angažovane na priključnom vratilu kretale su se u granicama od 83,0 do 345,6 kJ/m<sup>3</sup>. Za suprotnosmerno obrtanje utvrđene su od -2,15-27,74% niže vrednosti (14,35% srednje) specifične energije angažovane na priključnom vratilu traktora. Izbor režima rada rotacione sitnilice sa stanovišta zaštite životne sredine i ekologije ocenjena je merenjem kvaliteta obrade preko zapreminske mase i koeficijenta strukturalnosti. Prilikom obrade zemljišta u režimu rada sa suprotnosmernim obrtranjem utvrđen je statistiki značajno veći broj i pravilna raspodela makro-strukturalnih agregata (0,25 to 10 mm).

**Ključne reči:** rotaciona sitnilica, specifična energija, kvalitet obrade zemljišta

### Summary

Rotary tiller tests were carried out at field conditions according to the working speed and rotor rotation direction in the various soil conditions. Energy efficiency rotary tiller was determined over the drawbar energy needed for a rotary tiller and PTO specific work requirement. Depending on the soil conditions and the mode regimes, PTO specific work requirement were in the range of 83.0-345.6 kJ/m<sup>3</sup>. For the reverse rotor rotation direction are determined by -2.15-27.74% lower values (14.35% on average) PTO specific work requirement. The mode rotary tiller from the standpoint of environmental protection and ecology was evaluated by measuring the tillage quality over bulk density and structure coefficient. During cultivation with reverse rotor rotation direction mode was determined statistical significantly higher number and proper distribution of macro-structural aggregates (0.25 to 10 mm).

**Keywords:** rotary tiller, specific work requirement, soil tillage quality

## 2.1. Konstrukcioni parametri rotacionih sitnilica

Sitnilice su mašine koje dobijaju pogon od priključnog vratila traktora (PVT), od hidraulične instalacije ili mogu da imaju električni pogon. Rotori mogu biti cilindričnog ili koničnog oblika postavljeni normalno u odnosu na pravac kretanja agregata, simetrično ili asimetrično u odnosu na traktor, normalno u odnosu na površinu zemljišta, koso pod određenim uglom u odnosu na pravac kretanja i površinu zemljišta (Matjašin et al, 1988).

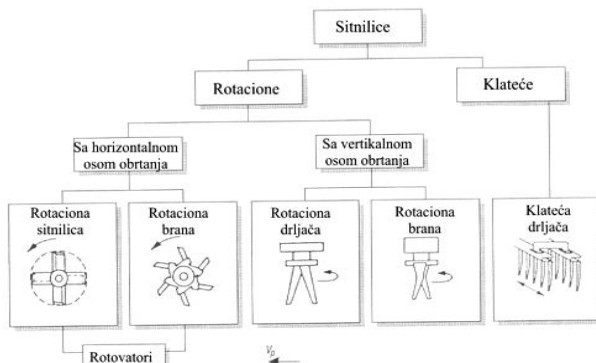
Sitnilice sa aktivnim pogonom od priključnog vratila traktora do pre nekoliko godina bile su prvenstveno namenjene za predsetvenu obradu teških zemljišta. Danas se uglavnom koriste kao sastavni deo kombinovanih mašina za predsetvenu pripremu i setvu. Danas se koristi više vrsta sitnilica, čime je omogućeno (Páltik et al, 2003):

- promena intenziteta rada u zavisnosti od uslova obrade i zahteva biljaka,
- izborom dimenzija i odgovarajućim oblikom režućih alata omogućava se veliki broj kombinacija sa drugim vrstama mašina, a posebno sa sejalicama,
- korišćenjem odgovarajuće kombinacije radnih alata dobija se manji utrošak rada, niža cena, manji broj prohoda i manja zavisnost od vremenskih prilika, ...

Korišćenje rotacionih sitnilica preporučuje se kod obrade tvrdog i suvog zemljišta i kod unošenja hraniva u zemljište (Kühn, 1984). Ukoliko se na površini zemljišta nalazi stajnjak ili zelena masa pogoršava se kvalitet obrade. Korišćenjem alata sa aktivnim pogonom kod rotacionih sitnilica bolje se koristi efektivna snaga motora traktora u odnosu na obradu zemljišta sa pasivnim radnim alatima. Rotacione sitnilice mogu imati kruto ili elastično vezan rezni alat. Ukupna energija angažovana po jedinici površine je veća u odnosu na obradu plugom.

Ukupna snaga potrebna za rad sitnilica sa aktivnim pogonom sastoji se iz snage potrebne za vuču mašine i snage predate preko PVT za pogon radnih alata. Ukupna snaga je u funkciji dubine obrade, radne brzine, vrste i stanja zemljišta, kao i potrebnog intenziteta drobljenja zemljišta, vrste korišćenih noževa i ostalih faktora. Izbor sitnilice sa aktivnim pogonom izvodi se na osnovu utrošene energije za obradu zemljišta i ostvarenog učinka (Páltik et al, 2003). Sitnilice sa aktivno pogonjenim radnim alatima u odnosu na mašine sa pasivnim radnim alatima po pravilu zahtevaju veću angažovanu snagu po metru radnog zahvata uz manje vrednosti radne brzine a time i manje učinke. Njihovo korišćenje opravdava se smanjenjem broja prohoda, njihovom manjom masom i dimenzijama, što je naročito bitno kod kombinovanih nošenih mašina. Na osnovu načina kretanja režućih alata i položaja ose oko koje rotiraju, sitnilice se dele na rotacione i klateće (Bajkin, 1994).

Rotacione brane (sl. 2.1) u procesu predsetvene pripreme zemljišta imaju manju radnu dubinu i manji intenzitet mešanja u odnosu na rotacione sitnilice.

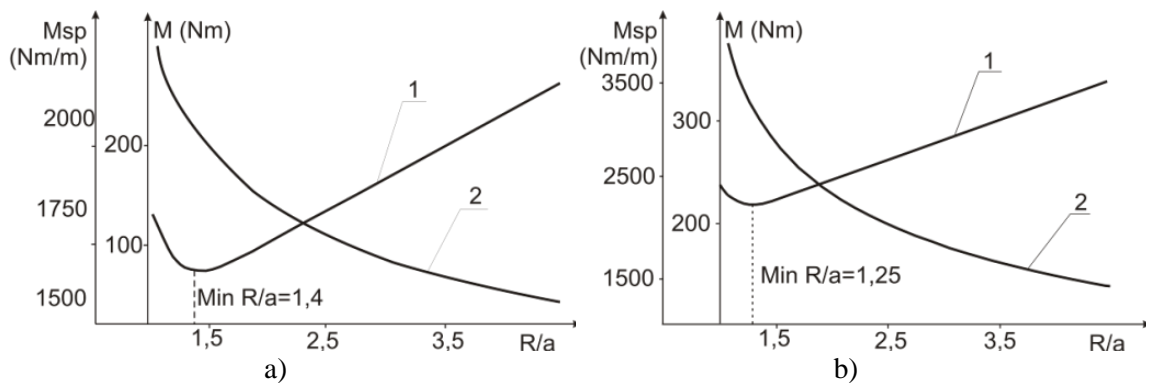


Slika 2.1 Podela aktivno pogonjenih sitnilica (Páltik et al, 2003)

### 2.1.1. Prečnik rotora

Prilikom teoretskih razmatranja kinematičke analize za isti smer obrtanja rotora, angažovana energija proporcionalna je dužini puta rezanja, koja zavisi od dubine obrade i izabranog prečnika rotora (*Radomirović i dr, 2008b, 2009*).

Eksperimentalnu proveru uticaja prečnika rotora na snagu angažovanu za rad rotacione sitnilice navodi više autora. Najveći deo od njih utvrdilo je da se smanjuje angažovana snaga potrebna za obradu zemljišta sa smanjenjem prečnika rotora (*Matjašin et al, 1988*). Eksperimentalna i poljska ispitivanja za tri poluprečnika rotora ( $R = 160; 240$  i  $320$  mm) izvedena su pri radu sa noževima L-tipa, pri čemu je meren obrtni moment na PVT, broj obrtaja rotora, vučna sila i radna brzina. Ispitivanje je izvedeno za iste vrednosti zahvata noža  $x_z$ , i obimne brzine  $v_o$  a time i apsolutne brzine  $v_a$  (brzine rezanja), što je postignuto promenom broja obrtanja rotora i broja noževa na disku. Osnovni razlog smanjenja angažovane energije sa smanjenjem prečnika rotora je smanjenje dužine puta rezanja  $S$  koji prolazi nož kroz zemljište pri nepromenjenoj dubini obrade  $a$  i jednakoj dužini zahvata noža  $x_z$ . Smanjenjem poluprečnika rotora sa 320 na 160 mm angažovana energija bila je manja za 34%. Povećanjem radne dubine iznad optimalnih vrednosti, gubici energije naglo rastu.



Slika 2.2 Promena specifičnog  $M_{sp}$  (1) i obrtnog momenta  $M$  (2), od stepena prodiranja rotora  $R/a$  (*Matjašin et al, 1988*):

a) pri istosmernom obrtanju rotora; b) suprotnosmernom obrtanju rotora

Obrtni moment i angažovana snaga rastu sa povećanjem dubine obrade zemljišta i sa smanjenjem odnosa  $R/a$ . Promena obrtnog momenta je istovetna promeni dužini puta rezanja  $S$  u zavisnosti od dubine obrade  $a$  (sl. 2.2.).

Najniže vrednosti angažovane energije dobijene su za vrednosti odnosa poluprečnika rotora i radne dubine u granicama od  $R/a = 1,2-1,4$  za istosmerno i  $R/a = 1,10-1,25$  za suprotnosmerno obrtanje rotora (sl. 2.2). Posmatrano sa gledišta angažovane energije, najpogodniji režim rada rotacione sitnilice je pri dubirni obrade od  $(0,71-0,83) \cdot R$  pri istosmernom obrtanju i  $(0,8-0,93) \cdot R$  pri suprotnosmernom obrtanju rotora.

### 2.1.2. Broj radnih alata na nosaču

Na postojećim izvedenim konstrukcijama rotacionih mašina za obradu zemljišta sa pogonom od PVT, na jednom nosaču postavljeno je 2–8 radnih alata (*Sucek and Günter, 1990*). Jedan radni alat, nikad se ne postavlja, jer bi u tom slučaju odsečena plastice bila neodgovarajućeg oblika uz prekomerno veliku obimnu brzinu.

Za istu vrenost zahvata noža, veći broj noževa omogućava nižu obimnu brzinu. Povećanjem broja noževa dolazi do intenzivnijeg mešanja i drobljenja zemljišta (*Páltik et al, 2003*).

Izbor broja noževa izvodi se na osnovu analize konstrukcionih i agrotehničkih parametara. Broj noževa zavisi i od visine grebenova na dnu brazde i režima rada (kinematičkog pokazatelja  $\lambda$ ). Sa povećavanjem broja noževa za isti radni režim, visina grebenova i zahvat noža se smanjuju. Za veće vrednosti kinematičkog pokazatelja  $\lambda$ , broj noževa treba da je manji, a za veći prečnik rotora treba da bude veći i broj noževa. Sa povećanjem broja noževa smanjuje se i maksimalna debljina odrezane plastice i relativna dužina puta rezanja  $S/a$ . Da bi se smanjila količina angažovane energije treba koristiti veći broj noževa na jednom nosaču. Povećanjem broja noževa može se značajno smanjiti kinematički pokazatelj, a da zahvat noža ostane isti i visina grebenova ostane u agrotehnički dozvoljenim granicama (*Matjašin et al, 1988*).

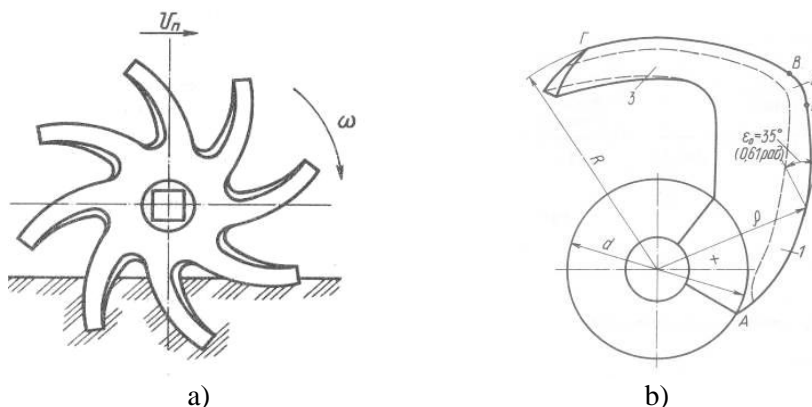
### 2.1.3. Oblik radnih alata

Svi radni alati koji se koriste na rotacionim sitnilicama dele se na (*Matjašin et al, 1988*):

- radne alate (noževe) za rahljenje (sl. 2.3,a) i
- radne alate (noževe) za rezanje (sl. 2.3,b).

Radni alati za rahljenje postavljaju se radijalno na rotor. Intenzitet udara sa zupcem ili dletom menja se proporcionalno rastojanju krajnje tačke zuba od centra rotiranja rotora.

Od radnih alata (noževa) za rezanje najviše su rasprostranjeni noževi L-tipa (sl. 2.3.,b). Ukoliko noževi ovakvog tipa režu zemljište i korovske biljke bez klizanja dolazi do njihovog zagušenja.



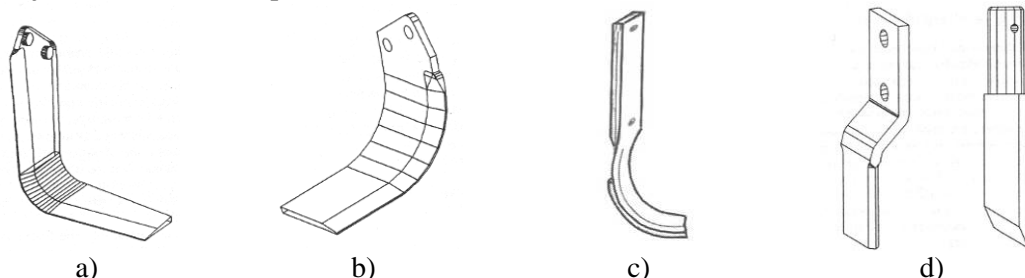
Slika 2.3 Oblici radnih alata na rotacionim sitnilicama (*Matjašin et al, 1988*):

a) radni alat za rahljenje; b) radni alat za rezanje L-tipa

Oblik noža bira se na osnovu vrste zemljišta, njenog trenutnog stanja, kao i namene za koju će biti korišćeno (*Páltik et al, 2003*). Noževi L-tipa (sl. 2.4,a) daju odlično pripremljenu površinu zemljišta. Koriste se na teško obradivim zemljištima bez prethodnog oranja, kao i za dodatno usitnjavanje i unošenje biljnih ostataka i stajnjaka. U toku njihovog rada veliki je utrošak energije, male su radne brzine i veliko je trošenje noževa. Drugi tip su lučno povijeni noževi C-tipa (sl. 2.4,b), koji su pogodni za rad na lakšim zemljištima, ostvaruju lošiju obradu zemljišta u odnosu na noževe L-tipa i imaju manji utrošak energije. Najintenzivnije drobljenje

zemljišta postiže se noževima u obliku povijenih klinova i noževima I-tipa (sl. 2.4,c i sl. 2.4,d).

U Koreji se na rotacionim sitnilicama koristi više tipova noževa sa različitim oblikom oštrice (*Lee et al, 2003*). Noževi L-tipa koriste se za rotacione sitnilice velikog radnog zahvata u agregatu sa većim traktorima, dok se za male traktore i motokopačice koriste noževi sa zakrivljenom oštricom C-tipa.



Slika 2.4 Tipovi noža (*Marković i dr, 1994b*):

a) nož L-tipa; b) nož C-tipa; c) nož povijen u obliku klina; d) nož I-tipa

Uticaj različite konstrukcije noževa na potrebnu energiju za obradu zemljišta ispitivao je *Salokhe et al, (1993)*. Ispitivanje je izvedeno sa noževima:

- C-tipa,
- L-tipa i
- kombinovani C-L-tip.

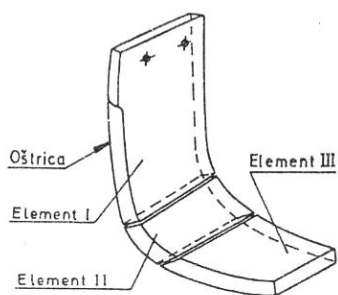
Prilikom rada noža sa oblikom oštrice L-tipa angažovana je 33, 24 i 14% veća količina energije u poređenju sa noževima koji imaju oštricu C-tipa, pri radnoj brzini od 1; 1,5 i 2 km/h. Pri radu noževa sa oštricom C-L-tipa angažovana je veća količina energije za 14, 12 i 4% u poređenju sa noževima C-tipa.

Razvoj i osvajanje novih rešenja aktivnih radnih organa nameće potrebu za modelovanjem, analizom i optimizacijom oblika i geometrije radnih organa, ugla postavljanja, uglova rezanja, poluprečnika, broja radnih organa, načina njihovog pričvršćenja i rasporeda na nosačima i po obimu rotora. Osnovni kriterijum pri optimizaciji oblika noževa za obradu zemljišta je da oblik noža treba da obezbedi optimalne uslove rezanja u bilo kojoj tački oštrice (*Marković, 1992b*). Da bi se obezbedili isti uslovi rezanja, ugao klizanja po celoj dužini oštrice noža mora biti konstantan i veći ili jednak uglu trenja zemljišta i biljnih ostataka o materijal noža.

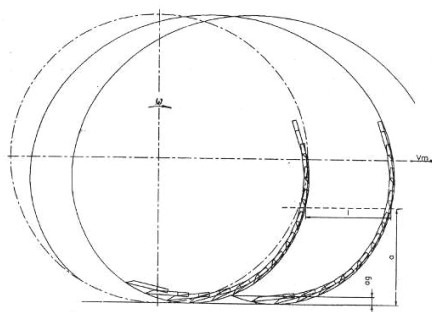
Rezultate istraživanja razvoja nove generacije noževa za obradu zemljišta postavljenim na brzo izmenljivim rotorima navodi *Marković i dr, (1994b)*. Noževi različitog oblika i geometrije treba da postignu optimalni radni efekat za različite uslove, vrste i stanja zemljišta. Pri radu noževa I-tipa (sl. 2.4,d) angažuje se i do 50% manje energije u odnosu na noževe L-tipa.

Analiza konstrukcije noža L-tipa (sl. 2.5) izvodi se iz tri dela (*Marković, 1992b*):

- element I, nosač noža koji odseca zemljište u vertikalnoj ravni,
- element II, zakrivljenje (prelazni deo koji povezuje nosač i krilo noža) i
- element III, podrezivajuće krilo noža.



Slika 2.5 Delovi noža L-tipa (Marković, 1992b)



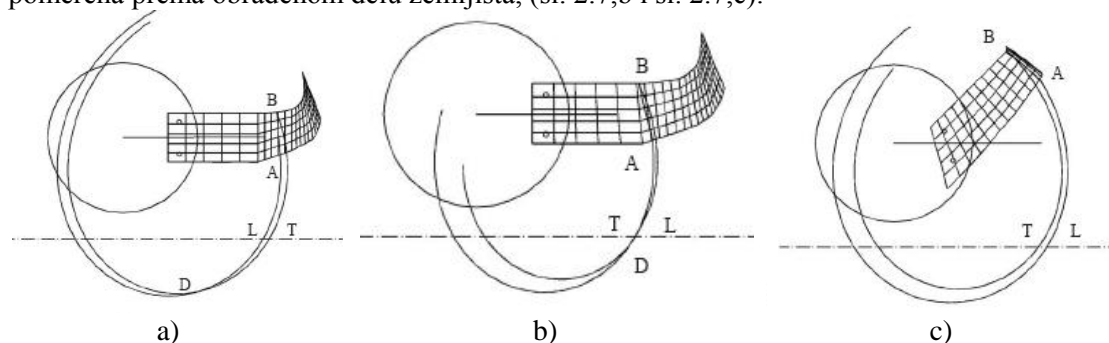
Slika 2.6 Simulacija kretanja krila noža (III element noža) (Marković, 1992c)

Simulacija rada i provera modela oblika i geometrije radnih alata izvedena je na osnovu dva kriterijuma:

- uzajamno delovanje zemljište – radni alat (definisane oblika geometrije radnih organa na osnovu optimalne putanje u odnosu na zemljište, sl. 2.6) i
- optimiziranje parametara radnih alata u cilju povećanja kvaliteta rada i smanjenja utroška energije.

Pri obradi zemljišta rotacionom sitnilicom dolazi do prekomernog utroška energije ako zadnji deo noža udara, klizi i sabija zemljište, usled čega dolazi do vibracija rotora i cele mašine. *Saimbhi et al, (2004)* pomoću metode trodimenzionalnih kompjuterskih grafika razvili su oblik sečiva noža koji svojom zadnjom stranom neće dodirivati neobrađeno zemljište.

Trajektorija svake tačke oštrice noža je trohoida. Posmatranjem trohoide tačke (A) na prednjem delu oštrice noža i tačke (B) na zadnjem delu noža dobija se njihov međusobni položaj u toku njihovog kretanja kroz zemljište. Tačka zadnjeg dela noža (B) treba da bude pomerena prema obrađenom delu zemljišta, (sl. 2.7,b i sl. 2.7,c).



Slika 2.7 Rastojanje (LT) između trajektorije prednjeg dela oštrice noža (A) i zadnjeg dela noža (B), (*Simbhi et al, 2004*):

- a) rastojanje pozitivno (LT+); b) rastojanje nula (LT 0); c) rastojanje negativno (LT-)

Predznak rastojanja tačaka LT (sl. 2.7), zavisi od prečnika rotora, broja obrtaja rotora, radne brzine i radne dubine. U toku simulacije osa rotora bila je na konstantnom rastojanju od površine zemljišta na 225 mm, a radna dubina je varirana u opsegu 20–120 mm sa korakom promene 10 mm. Broj obrtaja rotora kretao se 180–220 min<sup>-1</sup> a radna brzina 3,0; 3,25 i 3,5 km/h. Broj noževa 6.

Modifikacija noža izvedena je za granični slučaj: minimalna vrednost broja obrtaja rotora od 180 min<sup>-1</sup> i maksimalna vrednost radne brzine 3,5 km/h. Ako se za dati kinematski režim rada dobiju vrednosti rastojanja LT0 ili LT- (rezanje zemljišta bez trenja zadnjeg dela



noža o površinu neodrezanog zemljišta) onda će isti predznak zadržati i za ostale kombinacije (Saimbhi et al, 2004).

Analizom radnih alata i njihovog oblika (Matjašin et al, 1988) može se zaključiti da se geometrijske dimenzije noževa L-tipa kreću u širokim granicama, a njihov oblik je različit. Ugao rezanja vertikalnog nosača iznosi  $\varepsilon_o = 30\text{--}90^\circ$  (sl. 2.3,b), poluprečnik zakrivljenja  $r_l = 15\text{--}80$  mm, režuća oštrica (obod) vertikalnog nosača i krila za neke tipove rotacionih sitnilica je može da ima pravolinijski ili krivolinijski oblik. Da bi se obezbedilo rezanje zemljišta i korovskih biljaka klizanjem i izbegla udarna opterećenja oblik oštrice držača noža treba da bude krivolinijski u obliku logaritamske spirale. Preporuka je da na ravnom delu oblik oštrice treba da bude izveden prema ravnoj a na zakrivljenom delu prema prostornoj logaritamskoj spirali. Drugi autori pak preporučuju da režući deo noževa L-tipa treba da ima oblik oštrice prema vintovoj liniji. Pri radu sa rotacionom sitnilicom sa zatupljenom oštricom noža dolazi do porasta angažovane energije za obradu zemljišta.

Prednji deo podrezivajućeg dela noža (krila) mora da bude postavljen pod određenim uglom u odnosu na poluprečnik rotora,  $\gamma$  (ugao postavljanja noža). Radi obezbeđenja optimalnih uslova rezanja u bilo kojoj tački rezanja, ugao postavljanja noža treba da bude nepromenjen, a takođe i ugao rezanja  $\varepsilon$  da bi se obezbedio kontinualan ulazak noža u zemljište. Zbog toga je neophodno liniju oštrice postaviti prema vintovoj liniji.

Pri ispitivanju noževa L-tipa utvrđeno je da se pri radu podrezavajućeg dela (krila noža) angažuje 20%, držača noža 30–36% i za otkidanje plastice u bočnoj ravni 40–50% od ukupne angažovane energije za rezanje plastice zemljišta. Evidentno je da se mali deo energije angažuje na horizontalno rezanje i treba ići na povećanje dužine noža u horizontalnoj ravni. Merenjem obrtnog momenta prilikom ocenjivanja oblika radnog alata (noža), ustanovljeno je da poluprečnik zakrivljenja  $r_l$  treba da bude veći od 30 mm a širina podrezivajućeg horizontalnog dela noža da bude veća od 65 mm. Za vrednost zakrivljenja  $r_l = 15$  mm, obrtni moment se povećava za 30–40%.

Rotacione kopačice sa suprotnosmernim obrtanjem rotora treba da su opremljene sa noževima specijalnog oblika kojim se uspešno redukuje potrebna snaga za pogon, a u isto vreme obezbeđuje pravilno odbacivanje odrezanog zemljišta unazad (Kataoka et al, 1995). Kvalitet duboke obrade zemljišta rotacionom sitnilicom (kopačicom) zavisi od oblika i površine lopatice (noža), kao i stanja i tipa zemljišta.

#### 2.1.4. Oblik oplata rotora rotacione sitnilice

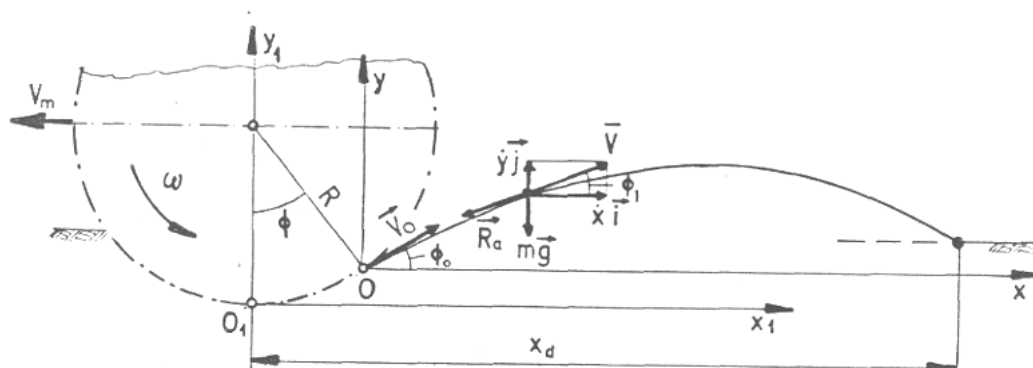
Rotacione sitnilice imaju oplatu sa poklopcem na zadnjoj strani, čiji je zadatak da poboljša usitnjavanje zemljišta. Zemljište se pri radu rotacionih sitnilica više usitnjava pri udaru zemljišta o oplatu i poklopac nego usled rada radnih alata u zemljištu. Pri radu rotacione sitnilice bez oplata i poklopca manji je utrošak energije za 24% nego kada su oni postavljeni. Komad zemljišta izbačen sa noža rotacione sitnilice u određenoj tački A, ima pravac i smer tangente na trohoidu kretanja radnih organa (noža), sa brzinom koja je jednaka apsolutnoj brzini kretanja noža. Kriva kretanja izbačene plastice zemljišta ima oblik parabole (2.1.):

$$y = \frac{g}{2v_o^2} \left[ \left( \frac{v_o^2}{g} + R^2 \right) - x^2 \right] \quad (2.1)$$

Konstrukcija oblika oplata na osnovu navedene jednačine obezbeđuje manje lepljenje vlažnog zemljišta, smanjuje prekomerno usitnjavanje suvog zemljišta i poboljšava protok zemljišta ispod oplata. Zahvaljujući ovakvom obliku oplata može da se smanji energija potrebna za obradu zemljišta i do 20% (Matjašin et al, 1988).

Matematički opis i kompjutersku analizu raspodele mlaza zemljišta iza rotora navode Marković i dr, (1994a). Kretanje odbačenih čestica zemljišta posmatrano je kao kretanje

slobodne materijalne tačke mase  $m$ , koja se odbacuje početnom obimnom brzinom  $v_o$ , pod uglom  $\phi_o$ , u odnosu na horizontalnu ravan nakon čega započinje kretanje u otpornoj sredini, (sl. 8.).



Slika 2.8 Šema kretanja čestice zemljišta posle odbacivanja rotorom (Marković i dr, 1994a)

Istraživanje putanje kretanja čestice zemljišta zahteva primenu metoda numeričke analize, kompjutersku simulaciju i eksperimentalnu proveru u realnim uslovima (Marković i dr, 1994a). Na česticu u proizvoljnom položaju na trajektoriji deluju sila zemljine teže  $m \cdot \vec{g}$ , i sila aerodinamičkog otpora  $\vec{R}_a$  koja je proporcionalna kvadratu brzine. Nakon projektovanja drugog Njutnovog zakona za kretanje čestice ( $m \cdot \vec{a} = \vec{R}_a + m\vec{g}$ ) na ose Dekartovog pravougaonog koordinatnog sistema  $xOy$  dobijaju se skalarne diferencijalne jednačine kretanja (2.2 i 2.3):

$$m \cdot \ddot{x} = -k_{op} \cdot \dot{x} \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}, \quad (2.2)$$

$$m \cdot \ddot{y} = -k_{op} \cdot \dot{y} \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} - m \cdot g. \quad (2.3)$$

Analizom je utvrđeno da kretanje mlaza zemljišta iza rotora zavisi od:

- brzine odbacivanja čestica zemljišta i ugla pod kojim se čestice zemljišta odbacuju u odnosu na horizontalnu ravan,
- vrste i stanja zemljišta i
- dubine obrade.

Izvedene matematičke analize pokazale su da najveći uticaj na karakteristike mlaza zemljišta ima obimna brzina radnih organa i ugao pod kojim se čestice zemljišta odbacuju. Ovi sistemi u praksi najčešće rade u opsegu obimne brzine rotora od  $v_o = 3,6-10$  m/s i kinematičkog pokazatelja  $\lambda = 4-10$ , pri čemu se dobija struktura obrađenog zemljišta  $d_{sr} = 10-50$  mm. Ugao pod kojim se odbacuju čestice zemljišta najčešće iznosi  $\phi_o = 30^\circ$ .

Povećanjem kinematičkog pokazatelja  $\lambda$  i poluprečnika rotora  $R$ , raste količina angažovane energije za rezanje i odbacivanje zemljišta (Matjašin et al, 1988).

Problematikom odbacivanja čestica zemljišta rotacionom sitnilicom sa suprotnosmernim obrtanjem rotora bavili su se Kataoka et al, (1995), koji su razvili novi model koji opisuje odbacivanje komada zemlje unazad, a koji kružno i pravolinijsko kretanje redukuje u težište odsečene čestice zemljišta. Osobine odbacivanja zemljišta se pogoršavaju kad su čestice zemljišta veće od longitudinalne dužine lopatice, usled čega dolazi do povećanog utroška snage.

## 2.2. Analiza energetskih parametara i kvaliteta obrade zemljišta

Za obradu zemljišta u biljnoj proizvodnji angažuje se velika količina energije. Jedino pri navodnjavanju je veći energetski input u odnosu na obradu zemljišta (Simbhi et al, 2004).

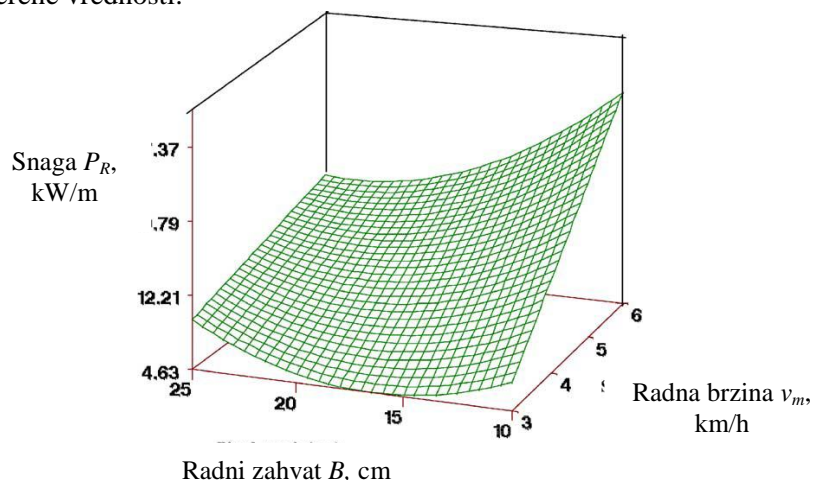
U obradi zemljišta, pored konvencionalne mehanizacije, sve veći značaj dobijaju modulske koncepcije izvedene od aktivnih i/ili pasivnih alata, gde se deo snage motora traktora predaje preko priključnog vratila, a deo preko pogonskih točkova. I ako je neosporan bolji kvalitet obrađenog zemljišta, relativno velika snaga potrebna za obradu zahteva dalja izučavanja i analize (Marković i dr, 1995).

### 2.2.1. Model snage i energije za obradu zemljišta

Model snage i energije potrebne za obradu zemljišta (ASAE Standard D497.3) plugom, diskosnim plugom, tanjiračom i rotacionom sitnilicom, razvili su Kheiralla et al, (2004). Plug, diskosni plug i dvostruka tanjirača ispitivani su pri brzini od 3; 4; 5 i 6 km/h. Dubina oranja za plugove iznosila je 12, 17,5 i 23 cm, a za tanjiraču 12, 15 i 18 cm. Rotaciona sitnilica je ispitivana za radne brzine 3,3; 4,2; 5,1 i 6,2 km/h. Broj obrtaja priključnog vratila traktora iznosio je  $540 \text{ min}^{-1}$ . Pomoću menjačke kutije ostvaren je broj obrtaja rotora od 140, 175 i 200  $\text{min}^{-1}$ . Radna dubina za sve varijante ispitivanja iznosila je 10 cm. U poljskim uslovima izmereni su podaci za vučnu silu, brzinu kretanja, dubinu obrade, potrošnju goriva, obrtni moment na točkovima, proklizavanje točkova, obrtni moment na PVT i sadržaj vlage u zemljištu. Na osnovu izmerenih parametara izračunate su vrednosti za vučnu snagu i energiju potrebnu za obradu zemljišta. Takođe su određeni matematički modeli vučne sile za plug obrtač, diskosni plug i tanjiraču. Model snage potrebne za obradu zemljišta po jedinici radnog zahvata ( $P_R$ ) za rotacionu sitnilicu (sl. 9.), izražen matematički, ima oblik (2.4):

$$P_R = -6,7903 - 1,2593 \cdot B + 0,0684 \cdot B^2 + 9,9205 \cdot v_m - 0,3269 \cdot B \cdot v_m, \quad (\text{kW/m}) \quad (2.4)$$

U navedenoj jednačini širina radnog zahvata,  $B$  je u cm, a radna brzina  $v_m$  u km/h. Koeficijent determinacije navedenog matematičkog modela iznosi  $R^2 = 79,5\%$ . Snaga za obradu zemljišta rotacionom sitnilicom izračunata preko navedenog modela niža je za 2,9% u odnosu na izmerene vrednosti.



Slika 2.9 Trodimenzionalni prikaz modela snage za obradu zemljišta rotacionom sitnilicom (Kheiralla et al, 2004)

Matematički modeli za vučnu silu za plug obrtač i tanjiraču daju vrednosti u granicama dozvoljenim po standardu *ASAE Standards D497.3*. Vučna sila za diskosni plug i snaga potrebna za obradu zemljišta rotacionom sitnilicom nije definisana ovim standardom.

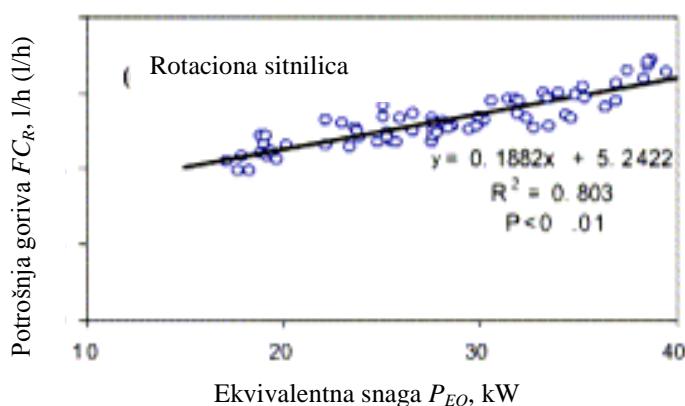
Ekvivalentna snaga na priključnom vratilu angažovana pri radu sa rotacionom sitnilicom  $P_{EQ}$  (2.5), može da se izračuna na osnovu poznate vučne snage  $P_{DB}$ , i efikasnosti vuče  $TE$  preko izraza:

$$P_{EQ} = \frac{P_{DB}}{0,96 \cdot TE}, \text{ kW.} \quad (2.5)$$

Između količine utrošenog goriva  $FC_R$  i ekvivalentne snage  $P_{EQ}$  pri radu rotacione sitnilice, utvrđena je linearna zavisnost (sl. 10). Količina utrošenog goriva  $FC_R$ , pri radu sa rotacionom sitnilicom predstavljena je matematičkim modelom (2.6):

$$FC_R = 0,1882P_{EQ} + 5,2422, \text{ l/h.} \quad (2.6)$$

Koeficijent determinacije navedenog matematičkog modela iznosi  $R^2 = 0,803$ . Potrošnja goriva izračunata prema matematičkom modelu viša je za 3,4% od izmerene potrošnje goriva. Potrošnja goriva prema navedenom matematičkom modelu je u granicama vrednosti koja je predviđena OECD traktor testom.



Slika 2.10 Model potrošnje goriva za rotacionu sitnilicu (Kheiralla et al, 2004)

Utvrđena je zavisnost snage i energije za pogon rotacione sitnilice u zavisnosti od obimne brzine rotora i radne brzine (tab. 2.1). Angažovana snaga na PVT se značajno povećala sa povećanjem zahvata noža pri povećanju radne brzine. Takođe dolazi do povećanja angažovane snage na PVT i specifične energije sa smanjenjem zahvata noža usled povećanja broja obrtaja rotora pri istoj radnoj brzini. Angažovana snaga na točku traktora bila je od 6,5–8,8 kW.

Tabela 2.1 Ukupna snaga i energija za pogon rotacione sitnilice (*Kheiralla et al, 2004*)

Broj obrtaja rotora, min <sup>-1</sup>	Radna brzina, km/h	Zahvat noža, cm	Snaga na PVT, kW	Potrošnja goriva, l/ha	Proklizavanje točkova, %	Snaga na točkovima, kW	Specifična energija, kWh/ha
140	3,3	13,1	11,9	16,5	3	6,5	28,4
140	4,3	17,1	16,3	14,7	3	7,5	29,6
140	5,1	20,2	19,2	13,6	4	8,7	30,4
140	6,2	24,6	23,4	11,2	4	9,7	29,7
175	3,3	10,5	14,4	18,3	3	6,3	34,2
175	4,3	13,7	18,0	15,3	3	8,2	32,7
175	5,1	16,2	22,3	13,9	3	8,6	34,4
175	6,2	19,6	24,2	11,7	4	9,1	30,8
200	3,3	9,2	15,6	19,0	3	6,4	37,1
200	4,3	11,9	20,6	16,0	3	7,3	37,5
200	5,1	14,2	25,8	15,0	4	9,3	39,8
200	6,2	17,2	29,9	13,9	4	8,5	38,0

Potrošnja goriva (tab. 2.2) za plug obrtač bila je veća za 12% a diskosni plug za 6% u odnosu na rotacionu sitnilicu. Najniža potrošnja goriva izmerena je za tanjiraču, 37% niža u odnosu na rotacionu sitnilicu. Snaga angažovana na točkovima traktora bila je veća za plug obrtač 92%, za diskosni plug 104% i tanjiraču za 184% u poređenju sa rotacionom sitnilicom.

Tabela 2.2 Snaga i energija potrebna za rad sa različitim oruđima za obradu zemljišta na dubini 10–12 cm (*Kheiralla et al, 2004*)

Oruđe	Parametri			
	Potrošnja goriva, l/ha	Proklizavanje točkova, %	Snaga na točkovima, kW	Specifična energija, kWh
Plug obrtač	15,7 <sup>A</sup>	11,3 <sup>A</sup>	15,7 <sup>B</sup>	43,8 <sup>A</sup>
Diskosni plug	14,9 <sup>B</sup>	10,3 <sup>B</sup>	16,6 <sup>C</sup>	42,1 <sup>A</sup>
Tanjirača	7,0 <sup>D</sup>	22,0 <sup>A</sup>	23,0 <sup>A</sup>	18,5 <sup>C</sup>
Rotaciona sitnilica	14,1 <sup>C</sup>	3,1 <sup>D</sup>	8,1 <sup>D</sup>	29,2 <sup>B</sup>
L.S.D. (P<0,05)	0,7	1,3	0,7	1,9

Specifična energija za rad sa plugom obrtačem je bila viša za 50% i sa diskosnim plugom za 44% u poređenju sa rotacionom sitnilicom. Za rad sa tanjiračom angažovano je 37% manje specifične energije u poređenju sa rotacionom sitnilicom.

Na osnovu navedenih rezultata istraživanja vidi se da rotaciona sitnilica postiže višu energetska efikasnost od klasičnog pluga obrtača i diskosnog pluga koja proizilazi iz izmerenih vrednosti potrošnje goriva i izračunate specifične energije. Međutim, rotaciona sitnilica ima manju energetska efikasnost od tanjirače koja ima manje vrednosti izmerene potrošnje goriva i izračunate specifične energije (*Kheiralla et al, 2004*).

Kod mašina sa aktivnim radnim alatima sa horizontalnom osom obrtanja, veći je stepen iskorišćenja energije između pogonskog motora i alata (*Marković i dr, 1995*). Od snage dovedene radnoj mašini jedan deo se preko alata predaje zemljištu, a drugi deo se koristi za druge potrebe radne mašine, (pogon drugih alata, oslonci, točkovi, ...).

### 2.2.2. Metod proračuna snage rotacione sitnilice

Metod proračuna snage pri radu rotacione sitnilice navodi *Dukuć (1983)*. Pri obradi zemljišta rotacionom sitnilicom, ukupna snaga angažovana za rad mašine  $P_{uk}$ , se sastoji od snage za obradu zemljišta  $P_o$ , snage potrebne za vuču  $P_v$  i snage utrošene u transmisiji  $P_{tr}$ :

$$P_{uk} = P_o + P_v + P_{tr}, W. \quad (2.7)$$

Snaga za obradu zemljišta se sastoji od: snage za odsecanje plastice, snage za trenje plastice o radni alat i snage za odbacivanje plastice. Snaga za savlađivanje horizontalne komponente  $P_x$  sile rezanja zemljišta  $F_x$  dobija se na osnovu jednačine (2.8):

$$P_x = F_x \cdot v_p = F_r \cdot \cos \varphi \cdot v_p = F_o \cdot \frac{\cos \varphi}{\cos \psi} \cdot v_m \cdot \quad (2.8)$$

Ukoliko je horizontalna komponenta sile rezanja veća od otpora kretanja mašine i traktora dobija se negativan pravac tangentne sile vuče i dolazi do pojave negativnih vrednosti klizanja točkova traktora. Na taj način dobijena suvišna snaga manifestuje se kao parazitna snaga, koja ne služi kao dodatni izvor energije već samo opterećuje transmisiju rotacione sitnilice i traktora, izazivajući suvišno mehaničko naprezanje i vibracije. Eliminisanje suvišne snage izvodi se postavljanjem kultivatorskih ili sličnih motičica ispred rotora.

Uzimajući u obzir sve komponente dobijene analizom utroška energije kod rotacione sitnilice, izraz za ukupan energetski bilans snage je (2.9):

$$P_{uk} = a \cdot B \cdot v_p \cdot (k_r + k_{od} \cdot \lambda^2 \cdot v_p^2) + \mu \cdot (G_m \mp F_y) \cdot v_p + (1 - \eta_{tr}) \cdot [a \cdot B \cdot v_p (k_p + k_{od} \cdot \lambda^2 \cdot v_p^2) + P_x] \quad (2.9)$$

Da bi se izračunala ukupna snaga  $P_{uk}$ , potrebno je poznavati veliki broj koeficijenata koji se dobijaju eksperimentalno.

Nedostatak određenih metoda izračunavanja potrebne energije za obradu zemljišta pomoću rotacionih sitnilica je u tome što u njima nije uključen osnovni pokazatelj kvaliteta rada, stepen usitnjavanja zemljišta sa kojim su tesno povezane karakteristike zemljišta kao što su zapreminska masa, poroznost, sabijenost zemljišta i dr.

Izračunavanje specifične angažovane energije za obradu zemljišta pomoću mašina sa rotacionim radnim organima, koja uključuje osnovne konstrukcione parametre i režime rada tih mašina a takođe i pokazatelje kvaliteta usitnjavanja zemljišta (2.10), navode *Matjašin et al, (1988)*:

$$E_{sp} = k_1 \left[ \left( \frac{l_p}{a} \right) \cdot \left( \frac{1}{x_z} \right) + \frac{1}{b} \right], N/m^2, Ws/m^3, J/m^3, \quad (2.10)$$

gde je  $k_1$  koeficijent proporcionalnosti, N/m.

### 2.2.3. Step en usitnjavanja zemljišta

Analitička zavisnost između stepena usitnjavanja (strukturni sastav) i ukupne površine zemljišnih agregata utvrđuje se saglasno teoriji Ritingera, koja glasi, da rad neophodan za drobljenje materijala, direktno je proporcionalan novoformiranoj površini prilikom obrade. Da bi se proračun uprostito usvaja se da zemljišni agregati imaju oblik kocke. Poznavanjem dimenzija i zastupljenosti pojedinih frakcija može da se izračuna ukupna površina zemljišnih agregata  $A_{za}$  po kubnom metru zemljišta pomoću jednačine (2.11):

$$A_{za} = 6 \left( \frac{n_1}{K_1} + \frac{n_2}{K_2} + \dots + \frac{n_n}{K_n} \right), m^2/m^3. \quad (2.11)$$

Ukupna površina čestica  $A_{ukza}$  pri radu mašine iznosi (3.12):

$$A_{ukza} = a \cdot b \cdot v_m \cdot A_{za}, \text{ m}^2/\text{s}. \quad (2.12)$$

Poznavajući snagu neophodnu za rad sa mašinom za obradu zemljišta  $P_{uks}$  ili časovnu potrošnju goriva  $Q_h$ , može da se izračuna specifična angažovana energija (2.13.) ili specifična potrošnja goriva po jedinici površine usitnjenih čestica zemljišta (2.14.), (Đukić, 1983):

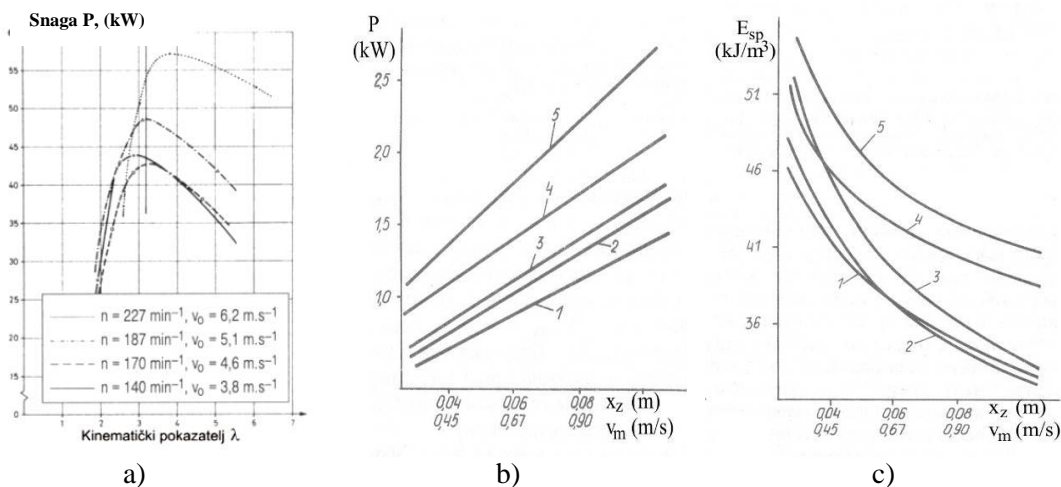
$$E_{sp} = \frac{P_{uk}}{A_{ukza}}, \text{ W s/m}^2, \text{ J/m}^2, \quad (2.13)$$

$$E_{sq} = \frac{Q_h}{A_{ukza}}, \text{ g/m}^2. \quad (2.14)$$

Pri obradi zemljišta istih karakteristika različitim mašinama dobija se i različit stepen usitnjavanja zemljišta uz različitu količinu angažovane energije za usitnjavanje zemljišta. Zato je prilikom ocenjivanja mašina sa rotacionim radnim organima potrebno uporediti rezultate analize usitnjavanja zemljišta i sa odgovarajućom količinom angažovane energije (Matjašin et al, 1988).

#### 2.2.4. Specifična angažovana energija i stepen usitnjavanja zemljišta

Pri višim vrednostima kinematičkog pokazatelja  $\lambda$  (manji zahvat noža) rotor zahvata manju zapreminu zemljišta i iz tog razloga opada ukupna angažovana snaga. Ukupna angažovana snaga opada i pri smanjenju vrednosti kinematičkog pokazatelja (za isti obrtaja rotora i viša vrednost radne brzine) čime se dobija veća debljina odrezane plastice. Ukupna angažovana snaga dostiže svoju maksimalnu vrednost pri odnosu obimne i radne brzine (kinematički pokazatelj  $\lambda = 3-3,5$ ). U tom slučaju najveći deo energije iskoristi se za obradu zemljišta (sl. 2.11.,a).



Slika 2.11 Zavisnosti angažovane snage i specifične energije:

- a) zavisnost angažovane snage od kinematičkog pokazatelja (Páltik et al, 2003);
- b) zavisnost angažovane snage od zahvata noža i radne brzine (Matjašin et al, 1988);
- c) zavisnost specifične energije od zahvata noža i radne brzine (Matjašin et al, 1988)

Uticaj zahvata noža na energetske parametre prilikom obrade zemljišta rotacionom sitnilicom pri nepromenjenom broju obrtaja rotora, što je i najčešće slučaj u praksi, navodi Matjašin et al, (1988). Na osnovu rezultata ispitivanja utvrđeno je da obrtni moment na vratilu

rotora rotacione sitnilice raste sporije od dužine zasecanja zemljišta. Povećanjem radne brzine 3,75 puta (0,32–1,2 m/s), angažovana snaga bila je veća za 2,34–2,84 puta (sl. 2.11,b).

Pri povećanju zahvata noža (28–107 mm), specifična angažovana energija (sl. 2.11,c) smanjila se u granicama od 24 do 33%. Razlog treba tražiti u smanjenju dužine puta rezanja nožem po jedinici zapremine zemljišta. Zbog povećanja debljine odrezane plastice dolazi do manjih deformacija i lošijeg usitnjavanja obrađenog zemljišta.

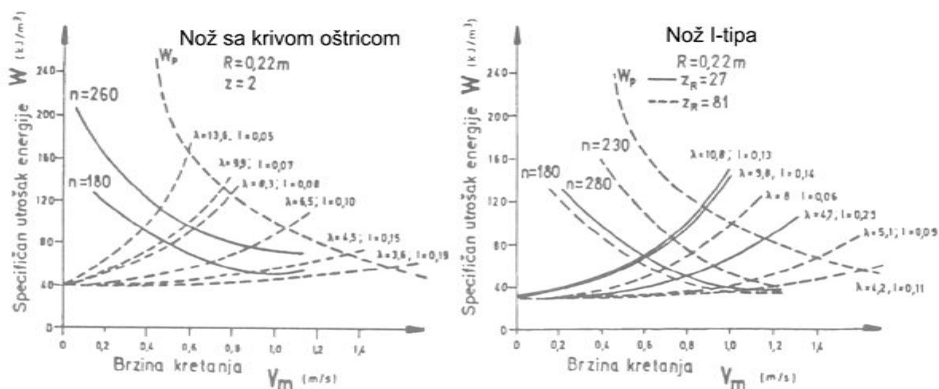
Potrebna snaga za rad sa rotacionom sitnilicom raste porastom obimne brzine rotora, radne brzine i dubine obrade. Navedeni parametri zavise od osobina zemljišta (Nimayara et al, 1994).

Ispitivanje rotacione sitnilice u cilju utvrđivanja i analize energetskog bilansa pri letnjoj obradi zasada jabuka navodi Đukić (1983). U trenutku ispitivanja vlažnost zemljišta iznosila je 11,3% na dubini od 5 cm, 12,8% na dubini od 10 cm i 13,5% na dubini od 20 cm. Zemljište je bilo suvo i nepogodno za obradu mašinama koje imaju pasivne radne organe. Sabijenost zemljišta je iznosila 0,7 MPa u sredini međurednog prostora i 3,4 MPa na tragu mašina iz predhodne obrade. Dubina obrade u toku ispitivanja se menjala bez obzira na podešenost klizača (prenosna brzina i dužina zasecanja nije bila prilagođena stanju zemljišta).

Na osnovu izmerenih vrednosti obrtnog momenta korišćenjem dinamometra, izvedena je analiza energetskog bilansa rotacione sitnilice. Najveći deo energije angažuje se na rezanje ( $P_r$ ), odbacivanje zemljišta ( $P_{od}$ ) i savladavanje horizontalne sile  $F_x$ . Angažovana snaga za vuču i u transmisiji mašine je ima malu vrednost i u analizi može da se izostavi. Snaga za savlađivanje horizontalne sile  $F_x$  obrnuto je proporcionalna obimnoj brzini. Pri postojanoj vrednosti radne brzine  $v_m$ , snaga potrebna za rezanje raste sa kvadratom povećanja obimne brzine. Povećanje obimne brzine izaziva porast angažovane snage po kvadratnoj funkciji. U cilju smanjenja količine angažovane energije, rotaciona sitnilica treba da radi sa što manjim obimnim brzinama, uz zadržavanje potrebnog kvaliteta obrade zemljišta.

Za relativno male vrednosti radne brzine  $v_m$ , kinematički pokazatelj ima visoku vrednost, a specifična angažovana energija po jedinici zapremine obrađenog zemljišta je najveća. Za maksimalne vrednosti radne brzine, vrednosti kinematičkog parametra su manje, zahvat noža se povećava i smanjuje se angažovana specifična energija (Đukić, 1983).

Marković i dr, (1994), navode promenu srednjeg specifičnog utroška energije na rotoru po jedinici zapremine obrađenog zemljišta u zavisnosti od brzine kretanja, broja obrtaja rotora, broja, oblika i geometrije radnih organa, kinematskog pokazatelja režima rada i strukture obrađenog zemljišta prikazane preko dužine odrezanih (odvojenih) frakcija (grudvi) zemljišta (sl. 2.12).



Slika 2.12 Specifična angažovana energija pri radu rotacione sitnilice (Marković i dr, 1994b)



Pri ispitivanju nove koncepcije rotora u poređenju sa rezultatima drugih autora, izmerene su niže vrednosti specifične potrošnje energije. Posebno su interesantna rešenja rotora sa klinovima sa jednom zavojnicom i većim brojem radnih alata – klinova na rotoru. Isto tako i uz određene izmene na rotorima sa savijenim noževima dobijaju se još bolji efekti rada. Izbor optimalnog tipa rotora zavisi od namene i konkretnih uslova rada (Marković i dr, 1994b).

Uticao oblika i broja noževa (sl. 2.13), pri istosmernom obrtanju rotora na obrtni moment i stepen usitnjavanja zemljišta navodi Lee et al, (2003). Poređena su tri oblika noža:

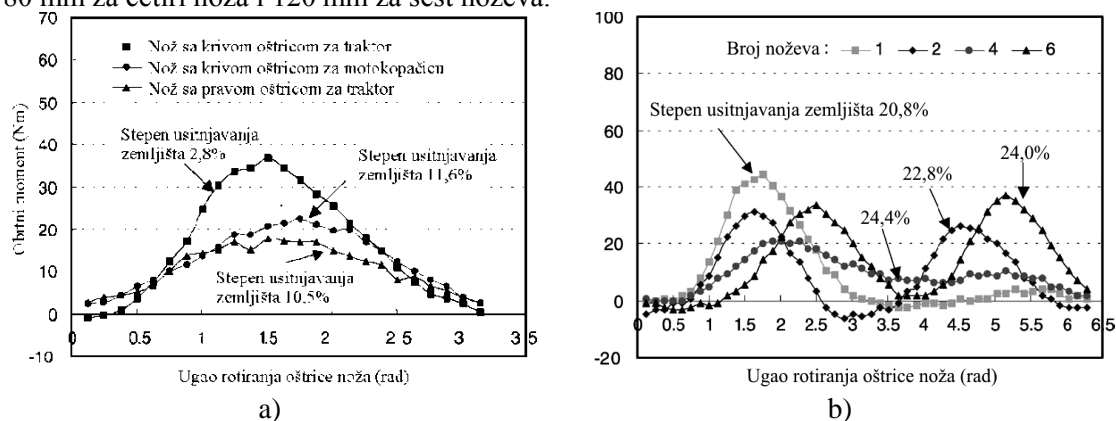
- nož sa krivom oštricom za traktorsku rotacionu sitnilicu (oštrica 50 mm,  $R = 240$  mm),
- nož sa krivom oštricom za motokopačicu (oštrica 40 mm,  $R = 200$  mm) i
- nož sa ravnom oštricom za traktorsku rotacionu sitnilicu (oštrica 45 mm,  $R = 168$  mm).

Intenzitet obrade zemljišta izražen je preko stepena usitnjavanja zemljišta ( $R_{SB}$ ), pri čemu je ( $W_{TS}$ ) ukupna masa uzorka zemljišta a ( $W_{OS}$ ) masa strukturnih agregata većih od 20 mm, (2.15):

$$R_{SB} = \frac{W_{TS} - W_{OS}}{W_{TS}} \cdot 100, (\%) \quad (2.15)$$

Obrtni moment se menja u toku vremena i raste sa povećanjem poluprečnika i dužine oštice, na osnovu čega se objašnjava veća vrednost obrtnog momenta za nož sa krivom oštricom za traktorsku rotacionu sitnilicu (sl. 2.13,a). Obrtni moment i stepen usitnjavanja zemljišta ima približno iste vrednosti za drugi i treći tip ispitivanog noža, (Lee et al, 2003).

Uticao broja noževa pri istosmernom obrtanju rotora na obrtni moment i stepen usitnjavanja prikazan je na sl. 2.13,b. Za ispitivanje korišćen je nož sa krivom oštricom za motokopačicu. Ugao između dva noža je bio  $180^\circ$ . Četiri noža su postavljena na dva nosača međusobno pod uglom  $90^\circ$ . Šest noževa je postavljeno na tri nosača, a noževi su međusobno postavljeni pod uglom od  $90^\circ$  tako da po dva noža u istom trenutku zasecaju zemljište usled čega dolazi do udarnih opterećenja. Širina obrađene trake bila je 40 mm za jedan ili dva noža, 80 mm za četiri noža i 120 mm za šest noževa.



Slika 2.13 Promena obrtnog momenta i stepena usitnjavanja zemljišta u zavisnosti od (Lee et al, 2003): a) oblika noževa; b) broja noževa

Maksimalna vrednost obrtnog momenta (udarno opterećenje) izmerena je pri radu sa jednim nožem na rotoru. Najveći obrtni moment je potreban za pogon šest noževa zato što se obrađuje najveća širina trake od 120 mm. Najniže i najjednaciije vrednosti obrtnog momenta izmerene su pri korišćenju četiri noža, uz naviši stepen usitnjavanja od 24,4%.

Energetske parametre rada traktorsko-mašinskih agregata za različite varijante sistema obrade ispitivali su *Đević i dr, (2001)*. Izbor optimalnog sistema obrade dobijen je analizom rezultata koji ukazuju na prednosti i nedostatke odgovarajuće varijante obrade. Analizirana su dva sistema obrade od kojih je prvi baziran na izvođenju osnovne obrade sa plugom i dopunske sa rotacionom sitnilicom. Drugi sistem predstavlja integrisanu obradu zemljišta koja se bazira na upotrebi kombinovanih agregata. Kod ovog sistema ispitivane su dve varijante korišćenjem agregata:

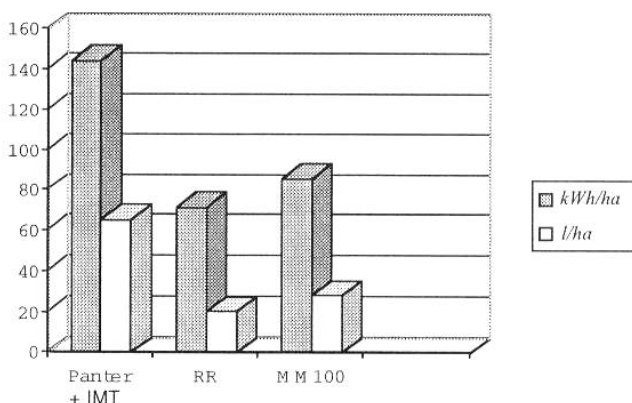
- razrivač + rotaciona mašina i
- rotaciona motika.

Energetski parametri određeni su merenjem: vučne sile na poteznici, radne brzine, klizanja pogonskih točkova, časovne potrošnje goriva, potrošnje goriva po jedinici površine i obrtnog momenta na priključnom vratilu. Kvalitet obrade izveden je analizom strukturnih agregata zemljišta dobijenih prosejavanjem pomoću mernih sita. Osnovna obrada zemljišta izvedena je na dubinu 25–30 cm. Potrošnja goriva je iznosila 45,47 l/ha, uz angažovanje energije od 107,83 kWh/ha.

Merenjem energetske parametara agregata sa rotacionom sitnilicom utvrđene su vrednosti potrošnje goriva po hektaru od 19,95 do 56,5 l/ha uz angažovanje energije od 36,59 do 120,08 kWh/ha. Broj obrtaja priključnog vratila traktora bio je ujednačen i kretao se u granicama od 548 do 563 min<sup>-1</sup>. Najekonomičniji radni režim postignut je pri najvišoj merenoj vrednosti radne brzine od 3,61 km/h, u poređenju sa izmerenom radnom brzinom od 1,33 i 1,35 km/h. Ukupna angažovana energija za osnovnu i dopunsku obradu za najpovoljniji radni režim iznosi 144,22 kWh/ha, a za najnepovoljniji radni režim ide čak do 243,51 kWh/ha. Vrednosti obrtnog momenta na PVT u zavisnosti od uslova rada kretali su se u granicama od 249 do 368 Nm. Pri radnoj brzini od 3,61 km/h izmerena je vrednost obrtnog momenta od 250 Nm.

Za rad kombinovane mašine (razrivač + rotaciona mašina) angažovana je energija od 71,79 kWh/ha pri radnoj brzini od 4,84 km/h. Za radnu brzinu od 1,62 km/h angažovana energija bila je 357,40 kWh/ha. Izmerene su ujednačene vrednosti obrtnog momenta na PVT u granicama od 905 do 920 Nm, bez obzira na promenu radne brzine.

Pri radu agregata sa rotacionom motikom, najmanja angažovana energija od 85,50 kWh/ha izmerena je za najvišu vrednost radne brzine od 3,3 km/h. Vrednosti obrtnog momenta izmerene na PVT pri promeni radne brzine ostale su ujednačene i kretale su se u granicama od 725 do 750 Nm.



Slika 2.14 Energetski parametri rada datih sistema obrade zemljišta (*Đević i dr, 2001*)

Obrada zemljišta kombinovanim agregatima je prihvatljivo rešenje (sl. 2.14.) jer se smanjuje broj prohoda, manje je gaženje zemljišta i niži su troškovi obrade zemljišta (*Đević i dr, 2001*).

### 2.2.5. Optimalizacija režima rada rotacione sitnilice

Uslov za potpunu obradu površine zemljišta rotacionom sitnilicom sa istosmernim obrtanjem rotora je da obimna brzina ima minimalno tri puta veću vrednost od radne brzine (Páltik *et al*, 2003). Iz navedenog sledi da za svaki broj obrtaja rotora postoji vrednost radne brzine kada će biti ispunjen ovaj uslov.

Primena savremenih metoda projektovanja, konstruisanja i optimalizacije u cilju izbora optimalnih parametara, uslov je bržeg osvajanja i uvođenja u poljoprivrednu proizvodnju novih rešenja mašina za obradu zemljišta (Marković, 1991b).

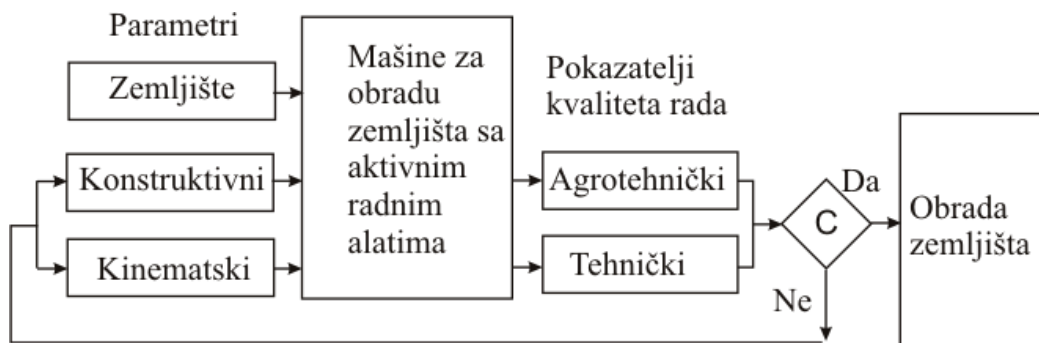
Optimalizacija režima rada mašina za obradu zemljišta (sl. 2.15.) izvodi se optimalizacijom funkcija koje definišu režim rada tako da se ostvari željeni kvalitet rada i ispune agrotehnički zahtevi uz što manje angažovanje energije po jedinici zapremine obrađenog zemljišta (Marković 1992b).

Osnovni pokazatelji funkcije kvaliteta rada  $C$  su:

- agrotehnički i
- tehnički pokazatelji.

U agrotehničke pokazatelje kvaliteta rada ubrajaju se: struktura obrađenog zemljišta, stepen usitnjenosti zemljišta, dubina obrade, visina grebenova na dnu brazde, sabijenost zemljišta, usitnjavanje i inkorporacija biljnih ostataka.

U tehničke pokazatelje ubrajaju se: energetske pokazatelji (angažovana energija po jedinici zapremine obrađenog zemljišta, rezultujuća sila otpora na radnim alatima koji se istovremeno nalaze u zahvatu), dinamički procesi agregiranja, stabilnost, pouzdanost u radu, ...



Slika 2.15 Optimizacioni algoritam rada mašina za obradu zemljišta (Marković, 1991b)

Agrotehnički i tehnički pokazatelji kvaliteta rada zavise od:

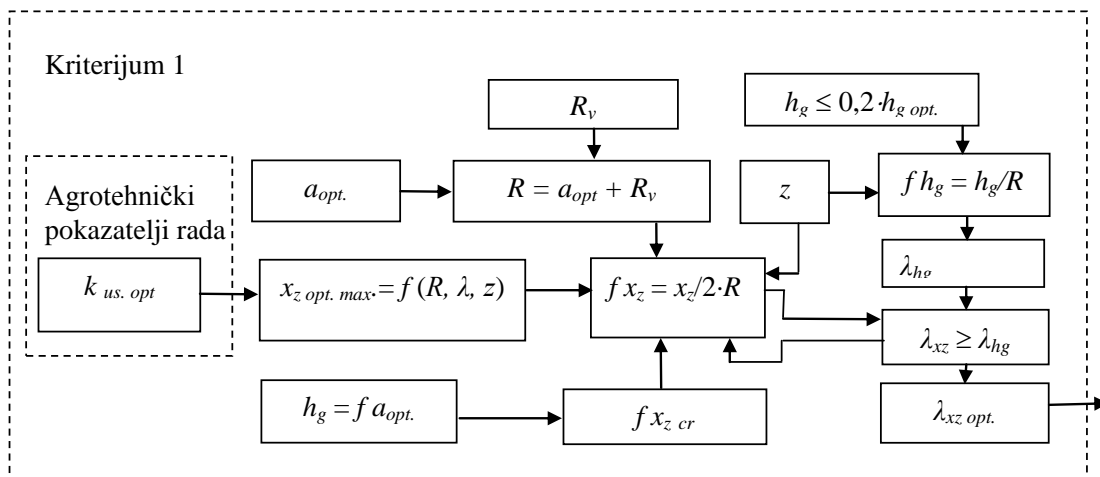
- kinematičkih parametara (obimna i prenosna brzina, kinematički pokazatelj, apsolutna brzina rezanja, ubrzanje, vrsta kretanja, itd),
- konstrukcionih parametara (prečnik, oblik i položaj rotora, transmisijska koncepcija mašine, broj oblik i raspored radnih alata na jednom nosaču i po obimu rotora, širina radnog zahvata, masa mašine itd) i
- parametara zemljišta (vrsta i stanje zemljišta, klimatski i drugi parametri).

Optimizacija se izvodi pomoću dva kriterijuma:

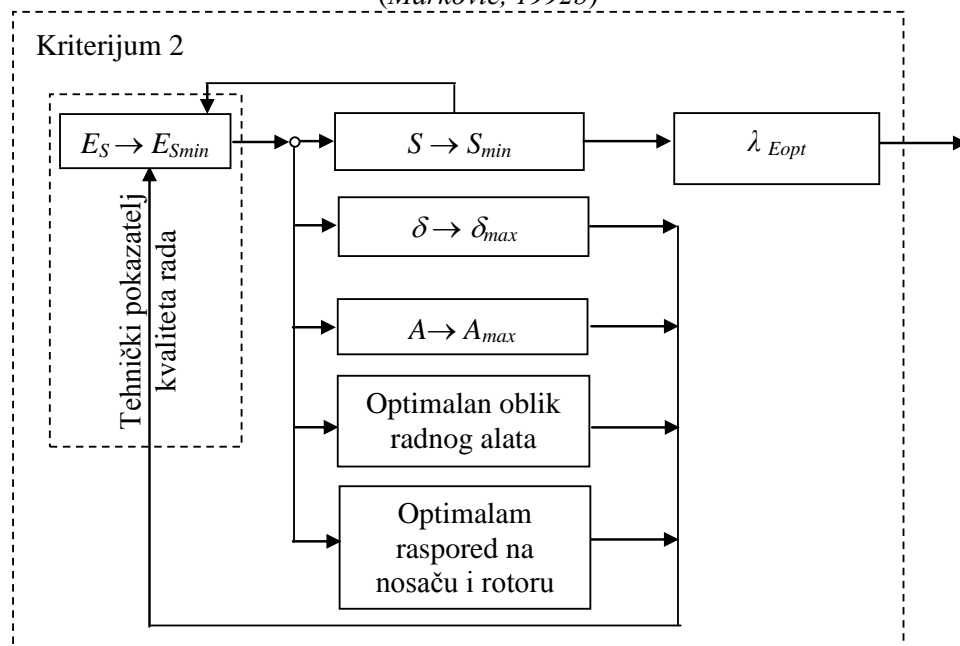
Kriterijum 1: Kriterijum optimalnog maksimalnog radnog zahvata radnih alata ( $x_z$ ), kojim se obezbeđuje željena struktura obrade za različite vrste i stanja zemljišta (sl. 2.16).

Kriterijum 2: Kriterijum minimalne specifične angažovane energije (sl. 2.17) sa podkriterijumima:

- minimalna dužina rezanja,
- maksimalna debljina odsečka,
- maksimalna bočna površina odsečka,
- optimalan raspored radnih organa na nosačima i po obimu rotora i
- optimalan oblik radnih organa u zavisnosti od namene, vrste i stanja zemljišta.



Slika 2.16 Optimalizaciona strukturalna šema maksimalnog radnog zahvata (Marković, 1992b)



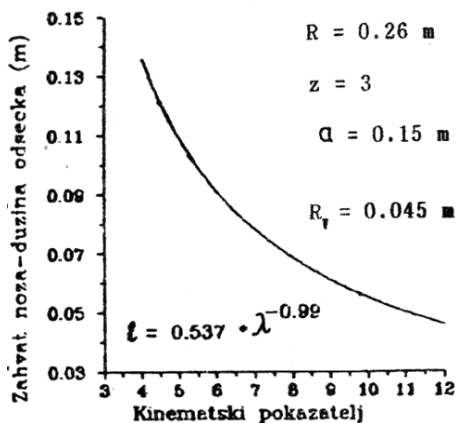
Slika 2.17 Optimalizaciona strukturalna šema minimalne specifične angažovane energije (Marković, 1992b)

Komponente angažovane energije:

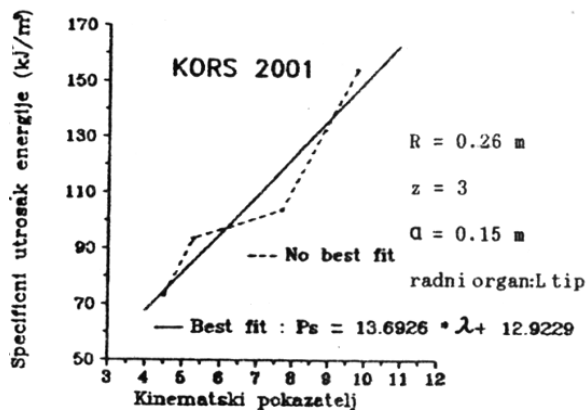
- energija odsecanja,
- energija trenja i
- energija ubrzanja.

Na slici 2.18, prikazana je promena dužine zahvata noža ( $x_z$ ) u zavisnosti od kinematičkog pokazatelja režima rada (kriterijum 1). Između kinematičkog pokazatelja režima rada i specifične angažovane energije (sl. 2.19), mogu se uspostaviti relacije dobijene na osnovu rezultata eksperimentalnog istraživanja (kriterijum 2).

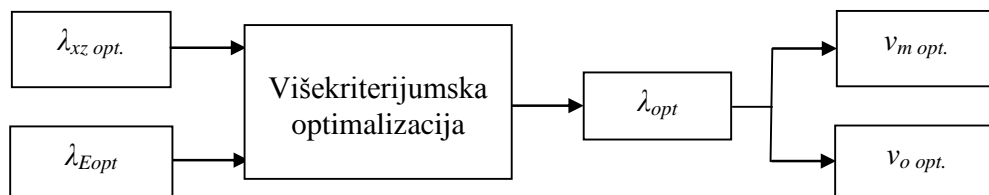
Optimalizacija kinematičkog pokazatelja režima rada  $\lambda_{xz \text{ opt.}}$  iz prvog kriterijuma (kriterijuma optimalnog maksimalnog radnog zahvata radnih organa) i kinematskog pokazatelja rada  $\lambda_{E \text{ opt.}}$  iz drugog kriterijuma (kriterijum minimalne specifične angažovane energije) izvodi se dvokriterijumskom optimizacijom prema "min-max" koncepciji u zavisnosti od stepena prioriteta (sl. 2.20.).



Slika 2.18 Promena dužine zahvata noža u funkciji kinematičkog pokazatelja (Marković, 1992b)



Slika 2.19 Specifična angažovana energija u zavisnosti od promene kinematičkog pokazatelja (Marković, 1992b)



Slika 2.20 Strukturna šema višekriterijumske optimalizacije

Dobijena vrednost kinematičkog pokazatelja  $\lambda_{opt.}$  obezbeđuje rad u optimalnom režimu i direktno je primenljiva u praksi.

### 2.2.6. Uticaj smera obrtanja na energetske parametre i kvalitet rada

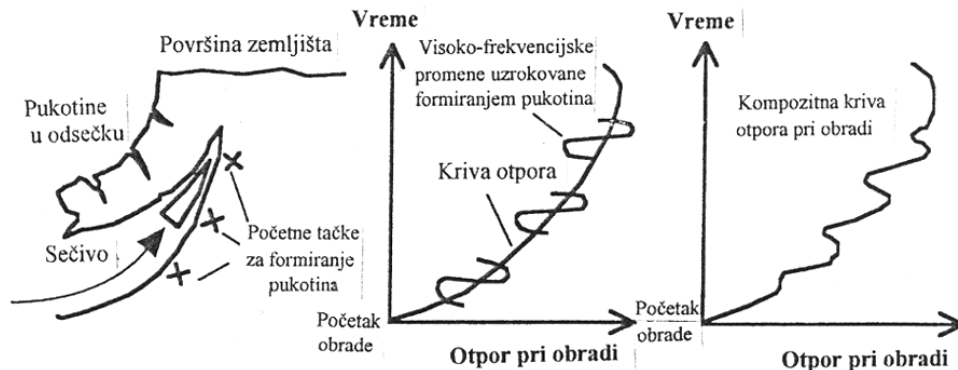
Veći broj istraživača bavio se istraživanjem dinamike noževa i ponašanjem zemljišta iz razloga što je obrada zemljišta rotacionom sitnilicom veoma kompleksna. Pri obradi zemljišta rotacionom sitnilicom razlikuju se tri faze (Kataoka and Sibusawa, 2002):

- faza zasecanja, gde oštrica noža zaseca deo zemljišta,
- faza u kojoj se odsečeni deo zemljišta zadržava na nožu i
- faza u kojoj je nož prazan, zemljište se baca u vazduh nakon čega može doći u kontakt sa nekom površinom o koju udara i dodatno se usitnjava.

Ove faze je neophodno poznavati da bi se razumela dinamička povezanost alata za obradu i zemljišta pri projektovanju alata za obradu.

Kataoka and Sibusawa (2002) ispitivali su međuzavisnost između formiranja pukotina u zemljištu (sl. 2.21.) prilikom formiranja grudvi i otpora koji se javlja u toku obrade zemljišta

pri suprotnosmernom obrtanju rotora. Proučavanje i poznavanje navedenih pojava je preduslov za razvoj i konstruisanje efikasnijih metoda obrade zemljišta.

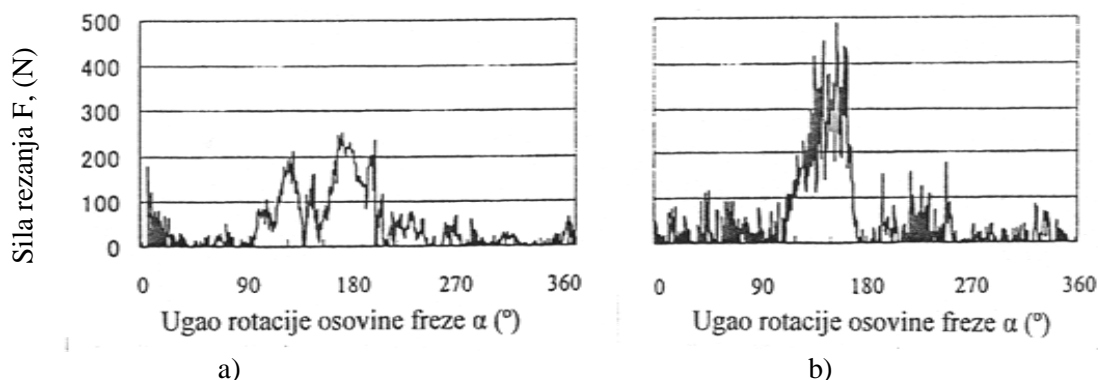


Slika 2.21 Koncept promenljivog otpora pri obradi zemljišta  
(Kataoka and Sibusawa 2002)

Usled kretanja noža u zemljištu pojavljuju se pukotine koje se prostiru u istom pravcu. Na liniji koja predstavlja promenu otpora primećuju se visokofrekventne oscilacije male amplitude u obliku sinusoide, snimljene za oba tipa zemljišta (meko i tvrdo). Promene otpora pri obradi zemljišta posledica su porasta i prestanka naprezanja usled nastajanja pukotina u zemljištu (sl. 2.21). U procesu obrade dobija se ujednačena kriva otpora koja odgovara geometriji odsečene plastice zemljišta.

Ispitivanje rotacione sitnilice radnog zahvata 1,2 m, sa suprotnosmernim obrtanjem rotora na kojem je postavljeno 26 noževa "lopatičastog tipa", navode *Kataoka and Sibusawa (2002)*. Na svakom nosaču postavljen je po jedan nož širine oštrice horizontalnog dela 60 mm. Broj obrtaja rotora  $165 \text{ min}^{-1}$ , broj obrtaja PVT  $540 \text{ min}^{-1}$ , radna brzina 0,5 m/s, poluprečnik rotora 250 mm. Potrebna snaga motora traktora za pogon rotacione sitnilice iznosi 11 kW. Na nožu su postavljena merna mesta za merenje momenta savijanja, sprege i rezultantne sile otpora pri obradi zemljišta.

Otpor pri obradi zemljišta prikazan je preko rezultantne sile rezanja  $F$  (sl. 2.22), koja ima napadnu tačku u centru horizontalnog dela noža.



Slika 2.22 Izmerene vrednosti otpora obrade zemljišta,  
(Kataoka and Sibusawa, 2002): a) meko zemljište; b) tvrdo zemljište

Vrednosti rezanja otpora zemljišta (sl. 2.22) izmerene su za jedan obrtaj rotora ( $360^\circ$ ). Proračunom geometrijskih parametara, utvrđeno je da odsecanje počinje pri uglu od  $102^\circ$  (dno brazde) a završava se pri uglu od  $205^\circ$  (površina zemljišta). Otpor obrade (rezanja) za mekše

zemljište izmeren je između 90 i 190°, a za tvrde zemljište između 120° i 175°, na osnovu čega je utvrđeno da otpor obrade traje duže na mekom zemljištu. Intenzitet otpora obrade za tvrdo zemljište bio je 1,5 do 2 puta veći u odnosu na meko zemljište. Maksimalne vrednosti otpora za oba tipa zemljišta pojavile su se pri uglu od 170°, nakon čega otpor obrade naglo opada. Najviša vrednost korelacije između dužine zasecanja i promene otpora obrade zemljišta je na početku odsecanja pri uglu rotiranja vratila rotacione sitnilice 100–140° za tvrdo zemljište i pri uglu 150–180° za meko zemljište.

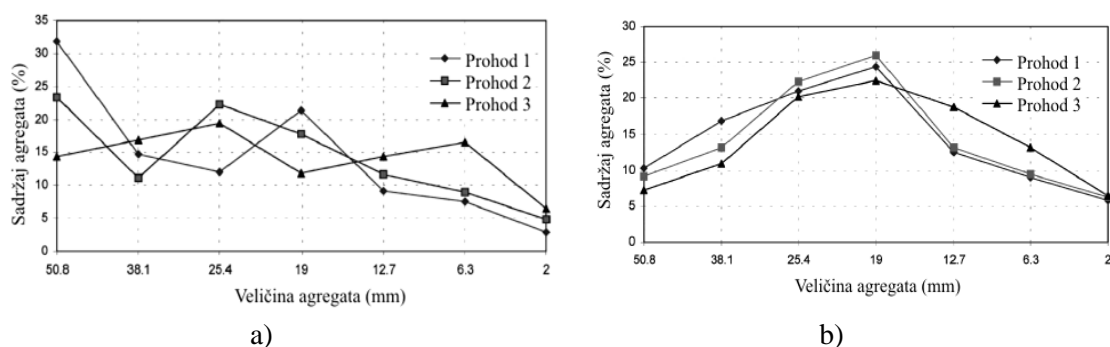
Zastupljenost veličine zemljišnih čestica, predstavljenih masom u procentima, izmerena je sortiranjem pomoću sita veličine otvora 10, 20, 40 i 80 mm. Veličina otvora sita predstavlja i najveću dimenziju zemljišnih čestica. Zemljišne čestice dužime 40–80 mm zastupljene su oko 70%. Ovi rezultati pokazuju da su promene na liniji otpora pri obradi zemljišta u direktnoj su vezi sa formiranjem pukotina na plastici i direktno utiču na njenu veličinu, (*Kataoka and Sibusawa, 2002*).

Poređenje kvaliteta obrade zemljišta rotacionom sitnilicom sa istosmernim i suprotnosmernim obrtanjem navode *Salokhe and Ramalingam (2001)*. Na vlažnom zemljištu izmerene su niže vrednosti za zapreminsku masu zemljišta pri radu sa rotacionom sitnilicom sa suprotnosmernim obrtanjem rotora i "kašikastim" noževima. Na suvom zemljištu izmerene su neznatno niže vrednosti za zapreminsku masu pri radu sa rotacionom sitnilicom sa istosmernim obrtanjem rotora i lučno povijenim noževima C-tipa.

Sabijenost zemljišta opada sa povećanjem broja prohoda, a raste povećanjem radne brzine. Pri radu rotacione sitnilice sa suprotnosmernim obrtanjem rotora na suvom zemljištu izmerene su niže vrednosti za sabijenost zemljišta (otpor penetracije) nakon prvog prohoda za 42,9%, a nakon trećeg prohoda za 50,19%. Kod istosmernog obrtanja rotora nakon tri prohoda izmerene su niže vrednosti za sabijenost zemljišta za 18,8%.

Povećanjem broja prohoda raste, a povećanjem radne brzine smanjuje se poroznost zemljišta. Pri istosmernom obrtanju rotora izmerene su više vrednosti za poroznost zemljišta.

Radom rotacione sitnilice sa istosmernim obrtanjem formiraju se krupniji zemljišni agregati u poređenju sa rotacionom sitnilicom sa suprotnosmernim obrtanjem rotora. Povećanjem broja prohoda, za obe konstrukcije, došlo je do dodatnog usitnjavanja zemljišta (sl. 2.23.).



Slika 2.23 Veličina strukturnih agregata zemljišta posle obrade rotacionom sitnilicom (*Salokhe and Ramalingam, 2001*):

a) sa istosmernim obrtanjem rotora; b) sa suprotnosmernim obrtanjem rotora

Na osnovu ispitivanja fizičkih osobina zemljišta izveden je zaključak da je rotaciona sitnilica sa suprotnosmernim obrtanjem rotora sa noževima u obliku kašike, ostvarila bolji kvalitet rada od rotacione sitnilice sa istosmernim obrtanjem rotora sa noževima C-tipa, (*Salokhe and Ramalingam, 2001*). Zaključak se odnosi na rezultate dobijene pri radu na

vlažnom i suvom zemljištu, za sve ispitivane radne brzine (1; 1,5 i 2 km/h) i za svaki od tri ispitivana prohoda.

*Salokhe and Ramalingam (2003)* navode ispitivanje uticaja smera rotacije rotacione sitnilice na silu rezanja i angažovanu snagu na PVT. Klasična rotaciona kopačica bila je opremljena sa noževima C-tipa, a rotaciona sitnilica sa suprotnosmernim obrtanjem rotora opremljena je sa novim "lopaticastim tipom" noževa. Testiranje je izvedeno pri radnoj brzini 1,0; 1,5 i 2,0 km/h, u tri prohoda na istom zemljištu. Širina rotora iznosila je 1.380 mm, a prečnik 440 mm. Na rotoru je bilo postavljeno 32 noža. Dubina obrade 150 mm.

Na osnovu izmerenih vrednosti (tab. 2.3), utvrđeno je da se za rad rotacionom sitnilicom sa suprotnosmernim obrtanjem i "lopaticastim noževima", angažuje se manja snaga na PVT u poređenju sa rotacionom sitnilicom sa istosmernim obrtanjem i noževima C-tipa za sve prohode i brzine na vlažnim i suvim glinovitim zemljištima.

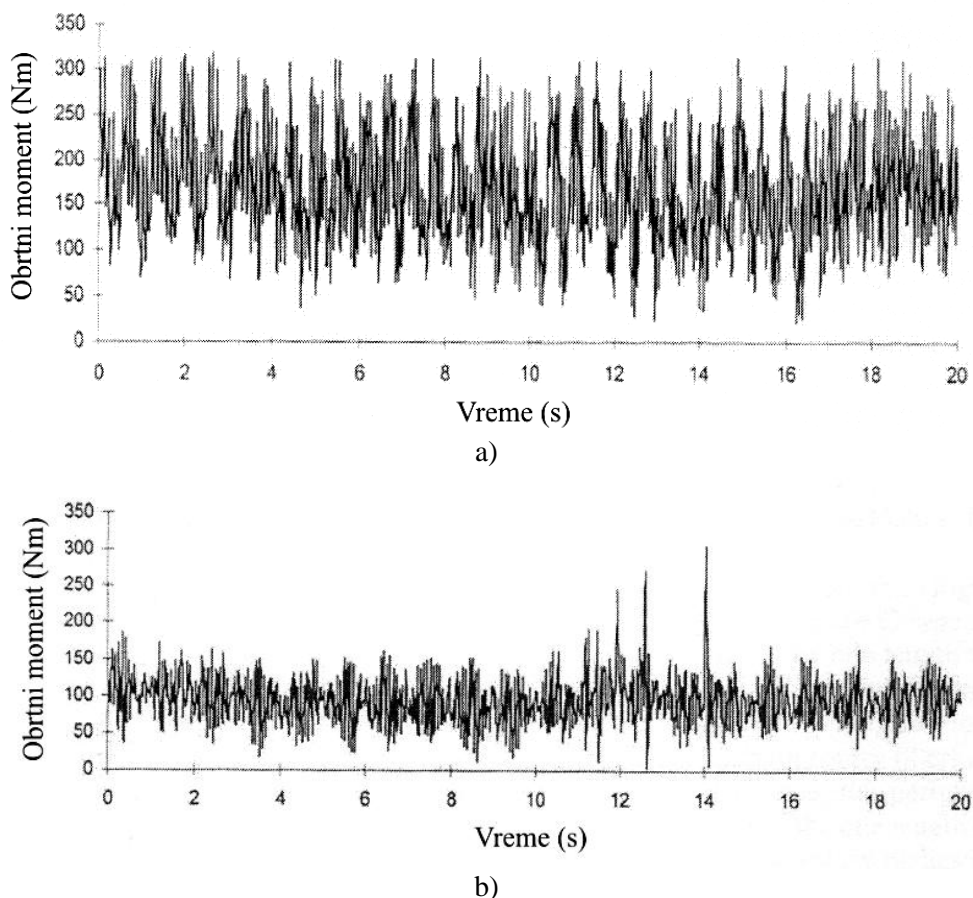
Tabela 2.3 Uticaj broja prohoda i radne brzine na snagu angažovanu na PVT (*Salokhe and Ramalingam, 2003*)

Tip rotora	Radna brzina, km/h	Broj prohoda	Obrtni moment, Nm	Broj obrtaja na PVT, min <sup>-1</sup>	Snaga na PVT, kW
"Lopaticasti" noževi, suprotnosmerno obrtanje rotora	1,0	I	97,7	619	6,4 d*
		II	77,1	634	5,4 e
		III	69,0	638	4,6 e
	1,5	I	116,1	628	7,7 c
		II	93,3	635	6,2 d
		III	83,1	639	5,6 e
	2,0	I	135,2	631	9,0 b
		II	103,6	636	6,9 d
		III	91,1	640	6,1 e
Noževi C-tipa, istosmerno obrtanje rotora	1,0	I	145,1	631	9,6 ab
		II	111,8	642	7,5 c
		III	86,2	647	5,7 de
	1,5	I	149,6	637	10,0 a
		II	120,6	648	8,2 c
		III	94,8	652	6,5 d
	2,0	I	166,5	632	11,1 a
		II	128,6	638	8,6 b
		III	111,8	648	87,6 c

\*Različita slova upućuju na statistički značajnu razliku LSD = 5% = 1,71

Za rad rotacione sitnilice sa suprotnosmernim obrtanjem angažovano je 34, 32 i 20% manje snage u odnosu na rotacionu sitnilicu sa istosmernim obrtanjem u toku prvog prohoda, pri radnim brzinama od 1,0; 1,5 i 2,0 km/h u vlažnim uslovima (tab. 2.3). Rotaciona sitnilica sa suprotnosmernim obrtanjem rotora, na suvom zemljištu angažuje 23, 34 i 31% manje snage na PVT od rotacione sitnilice sa istosmernim obrtanjem tokom I, II i III prohoda pri radnoj brzini od 1,5 km/h. Brzina kretanja traktora ima značajan uticaj na angažovanu snagu preko PVT. Povećanjem radne brzine, angažovana snaga raste i na vlažnom i na suvom zemljištu. Povećanjem broja prohoda, angažovana snaga se smanjuje pri svim vrednostima radnih brzina i na vlažnom i na suvom zemljištu. (*Shoke and Ramalingam, 2003*).





Slika 2.24 Obrtni moment pri radu rotacione sitnilice (Shoke and Ramalingan, 2003):  
a) pri istosmernom; b) pri suprotnosmernom obrtanju rotora

Pri suprotnosmernom obrtanju rotora sa "lopaticastim" noževima izmerene su niže vrednosti amplituda signala obrtnog momenta (sl. 2.24) u odnosu na rotacionu sitnilicu sa istosmernim obrtanjem i noževima C-tipa i na vlažnom i na suvom zemljištu (Shoke and Ramalingan, 2003).

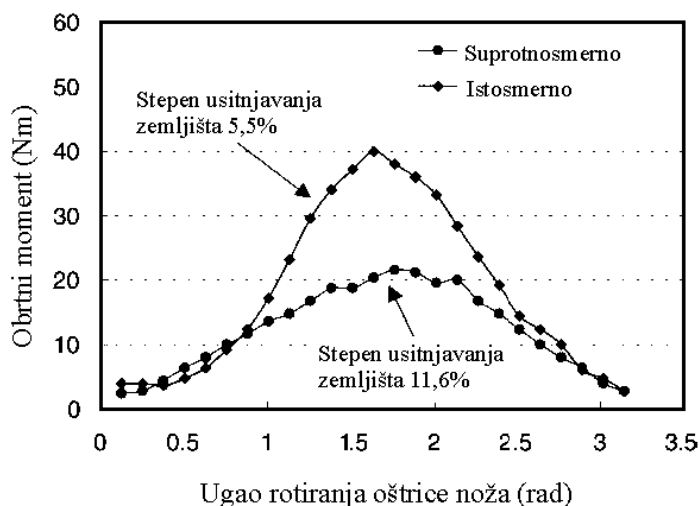
Dužina oštrice za oba tipa ispitivanih noževa iznosila je približno 40 mm. Zahvat noža kretao se u granicama od 70 do 80 mm. Sečenje i unošenje korova bilo je bolje pri radu rotacione sitnilice sa suprotnosmernim obrtanjem i "lopaticastim" noževima pri svim brzinama kretanja na suvom zemljištu. Kod rotacione sitnilice sa suprotnim smerom obrtanja odsecaju se veći komadi zemljišta.

Uticao oblika oštrice noža, smer obrtanja, broja noževa na jednom nosaču i na celom vratilu na vrednost obrtnog momenta pri radu rotacione sitnilice ispitivali su (Lee et al, 2003).

Za ispitivanje korišćeni su noževi sa krivom oštricom širine 40–50 mm i poluprečnikom većim od 150 mm (240; 200 i 186 mm). Širina obrađene trake bila je 40 mm (jedan ili dva noža pri čemu se oštrice preklapaju), 80 mm (četiri noža čije su oštrice u dve ravni) i 120 mm (šest noževa čije su oštrice postavljene u tri ravni). Broj obrtaja rotora sa noževima bio je  $234 \text{ min}^{-1}$ , radna brzina se kretala u opsegu od 0,31 do 0,55 m/s, a radna dubina iznosila je približno 70 mm.

Uticao smer obrtanja noževa na izmerene vrednosti obrtnog momenta ima promenljivu vrednost u toku jednog obrtaja (posmatran je jedan nož). Opterećenje se javlja na jednoj

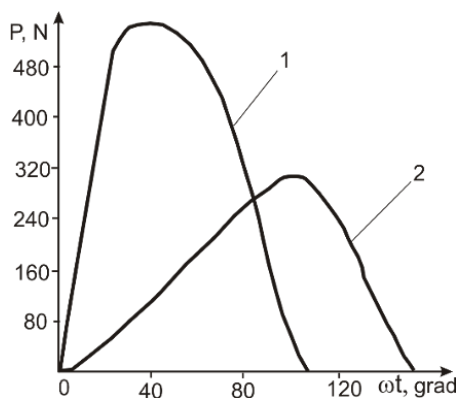
polovini kruga (ugao  $\pi = 180^\circ$ ). Za istosmerno obrtanje izmerene su do 50% veće maksimalne vrednosti obrtnog momenta u odnosu na suprotnosmerno obrtanje (sl. 2.25). Izmerene vrednosti se slažu sa rezultatima koje navode *Hendrick and Gill (1971)*, koji navode da je pri suprotnosmernom obrtanju obrtni moment za 20–30% manji u odnosu na istosmerno obrtanje rotora.



Slika 2.25 Promena obrtnog momenta i stepena usitnjavanja zemljišta pri istosmernom i suprotnosmernom obrtanju rotora (*Lee et al, 2003*)

Kod suprotnosmernog obrtanja izmerene su više vrednosti stepena usitnjavanja od 11,6% u odnosu na 5,5% kod istosmernog obrtanja rotora. Prilikom suprotnosmernog obrtanja odsečeni komadi zemljišta odbačeni su izvan brazdice (ostaje otvorena brazdica) što je veliki nedostatak kad se obrađuju samo uske trake. Pri istosmernom obrtanju usitnjeno zemljište ostaje unutar brazdice (*Lee et al, 2003*).

Promenom ugla obrtanja  $\omega t$  menja se sila rezanja plastice (sl. 2.26., *Matjašin et al, 1988*).



Slika 2.26 Promena sile rezanja u funkciji ugla obrtanja (*Matjašin et al, 1988*):  
a) istosmerno obrtanje rotora; b) suprotnosmerno obrtanje rotora

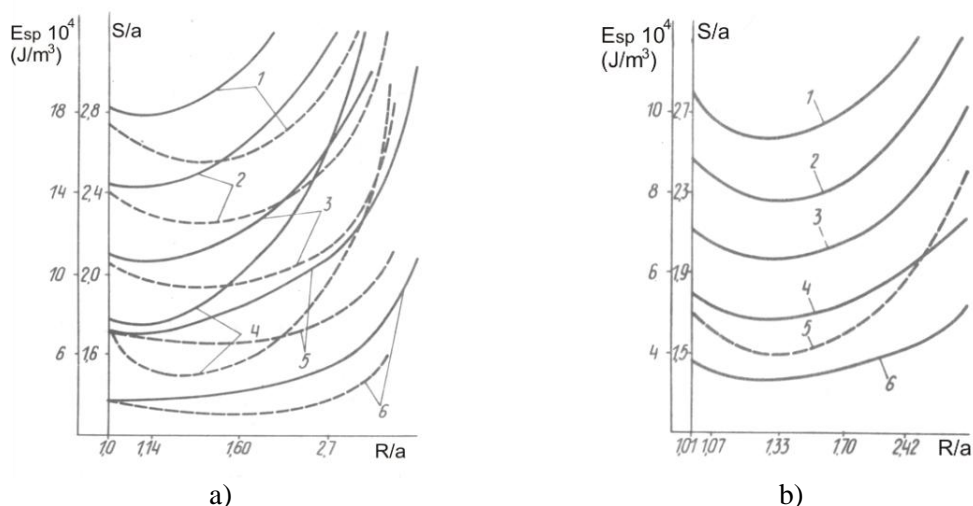
Za istosmerno obrtanje rotora, na početku sila rezanja naglo raste ( $\omega t = 0-40^\circ$ ), a zatim se naglo smanjuje, kao i debljina odrezane plastice. Maksimalna sila rezanja odgovara trenutku kad se odrezuje plastica najveće debljine (sl. 2.26). Istovremenim posmatranjem krive otpora rezanja za istosmerno i suprotnosmerno obrtanje, uočava se da sila rezanja kod

suprotnosmernog obrtanja ima nižu maksimalnu vrednost, ali rezanje traje duži period. Promena otpora rezanja odgovara promeni debljine odrezane plastice.

U Japanu u eksperimentalnim uslovima potvrđeno je da rotaciona sitnilica sa suprotnosmernim obrtanjem odseca i odbacuje unazad veće komade zemljišta, zbog čega se angažuje manje snage za obradu (*Shibusawa, 1993*).

S druge strane pojedini autori navode da prilikom suprotnosmernog obrtanja, brzina noževa je značajno veća usled čega dolazi do neželjenih posledica u vidu oštećenja strukture zemljišta i veće količine angažovane energije, *Páltik et al, (2003)*. Iz navedenog razloga konstrukcije rotacionih sitnilica po pravilu imaju smer obrtanja rotora jednak smeru obrtanja točkova traktora.

Na slici 2.27, prikazana je zavisnost angažovane specifične energije  $E_{sp}$  i relativne dužine puta rezanja  $S/a$  od stepena prodiranja rotora  $R/a$  za različite vrednosti zahvata noža i broja noževa za oba smera obrtanja radnog alata. Povećanjem stepena prodiranja  $R/a$  specifična angažovana energija i relativna dužina puta rezanja rastu. Za vrednosti  $R/a = 1,13$ – $1,33$  za istosmerno obrtanje i za  $R/a = 1,03$ – $1,14$  za suprotnosmerno obrtanje specifična angažovana energija ima minimalnu vrednost. Povećanjem prečnika rotora raste energija angažovana za obradu zemljišta. Za manje radne dubine ( $R/a > 2$ ) specifična angažovana energija je manja pri istosmernom obrtanju, a pri odnosu  $R/a$  bliskom optimalnom približno je jednaka angažovana specifična energija za oba smera obrtanja.



Slika 2.27 Zavisnost specifične angažovane energije  $E_{sp}$  i relativne dužine puta rezanja  $S/a$  od stepena prodiranja rotora  $R/a$  u zavisnosti od (*Matjašin et al, 1988*):

a) zahvata noža  $x_z$ ; b) broja noževa  $z$

Povećanjem zahvata noža ukoliko je po obimu rotora postavljen jedan nož, kao i povećanjem broja noževa za isti zahvat noža, smanjuje se dužina puta rezanja po jedinici zapremine obrađivanog zemljišta, usled čega dolazi do smanjenja specifične angažovane energije (sl. 2.27, *Matjašin et al, 1988*).

*Shibusawa (1993)* navodi da pri istom odnosu obimne i radne brzine, pri promeni smera obrtanja rotora, oblik odsečene plastice je različit, dok je zapremina jednaka u oba slučaja. Kod suprotnosmernog obrtanja, nož za obradu zemljišta kreće se prema rastresitijem zemljištu (površina zemljišta). Snaga potrebna za sečenje je manja 1,5 puta, bolje se održava radna dubina, manja su oštećenja alata za obradu zemljišta posebno u kamenitom zemljištu, i omogućava primenu u široj oblasti odnosa obimne i radne brzine (kinematičkog parametra).

Korišćenjem rotacionih sitnilica sa suprotnosmernim obrtanjem rotora u praksi, dobija se potpuna obrada zemljišta u jednom proходу (*Kataoka and Shibusawa, 2002*).

### 2.3. Teoretska analiza kinematičkih i geometrijskih parametara rotacione sitnilice

Teorijskom analizom kinematičkih parametara rotacione sitnilice bavio se veliki broj autora (Matjašin et al, 1988; Radomirović i dr, 2005, 2006a, 2006b, 2008a, 2008b, 2009a, 2009b, 2010; Celik and Altikat, 2008; Ponjičan et al, 2013, 2014), pri čemu se u literaturi navode jednačine za izračunavanje kinematičkih parametara sa većom i manjom klasom tačnosti. U ovom radu izvedene su jednačine za tačno, a za praktičnu primenu u zavisnosti od potrebne klase tačnosti i za približno izračunavanje kinematičkih i geometrijskih parametara. Analizom su obuhvaćeni sledeći parametri: trajektorija vrha noža, kinematički pokazatelj  $\lambda$ , zahvat noža  $x_z$ , brzina rezanja  $v_a$ , ugao postavljanja noža  $\gamma$ , ugao rezanja  $\varepsilon$ , radna dubina  $a$ , maksimalna radna dubina  $a_{max}$ , visina grebenova na dnu brazde  $h_g$ , površina plastice  $A_p$ , zapremina plastice  $V_p$ , dužina puta rezanja  $S$  i maksimalna debljina plastice  $\delta_{max}$ .

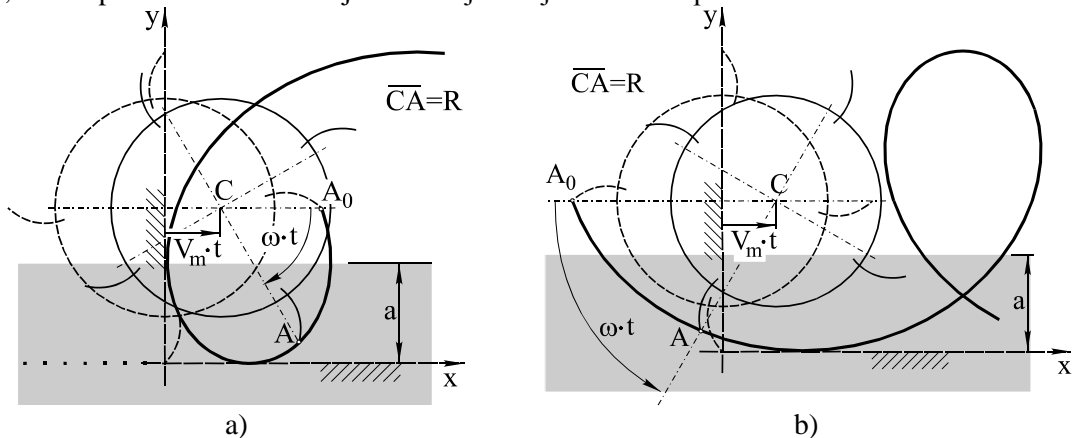
#### 2.3.1. Trajektorija vrha noža

U procesu obrade zemljišta rotacionom sitnilicom vrh noža ima složeno kretanje koje se sastoji od pravolinijskog (prenosnog) i obrtnog (relativnog) kretanja. Parametarske jednačine trohoide koju opisuje vrh noža rotacione sitnilice, u prikazanom koordinatnom sistemu (sl. 2.28), imaju oblik:

$$x(t) = v_m \cdot t \pm R \cdot \cos \omega t, \quad (2.16)$$

$$y(t) = R - R \cdot \sin \omega t. \quad (2.17)$$

Kod jednačine vrha noža u pravcu x-ose za istosmerno obrtanje rotora koristi se znak "+", a za suprotnosmerno obrtanje "-". Trajektorije vrha noža prikazane su na slici 27.



Slika 2.28 Trajektorija vrha noža (Radomirović i dr, 2005, 2006a):  
a) pri istosmernom obrtanju rotora; b) pri suprotnosmernom obrtanju rotora

U početnom trenutku vremena, položaj vrha noža je tačka  $A_0$ . U proizvoljnom trenutku vremena  $t$ , vrh noža nalazi se u tački  $A$ , pri čemu je rotor zakrenut za ugao  $\omega t$  (sl. 2.28.).

Pri suprotnosmernom obrtanju trajektorija vrha noža postavljena je tako da se radni deo trajektorije vrha noža (trohoide) nalazi sa suprotne strane, što ima za posledicu mogućnost korišćenja kinematičkog pokazatelja a time i same rotacione sitnilice u znatno širem opsegu.

### 2.3.2. Kinematički pokazatelj

Kinematički pokazatelj rada rotacione sitnilice definiše se kao odnos obimne ( $v_o$ ) i prenosne ( $v_m$ ) brzine:

$$\lambda = \frac{v_o}{v_m} = \frac{R \cdot \omega}{v_m} \quad (2.18)$$

### 2.3.3. Zahvat noža

Rotor (sl. 2.28) obrne se za pun krug ( $2\pi$  radijana) za vremenski interval  $T$ :

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.19)$$

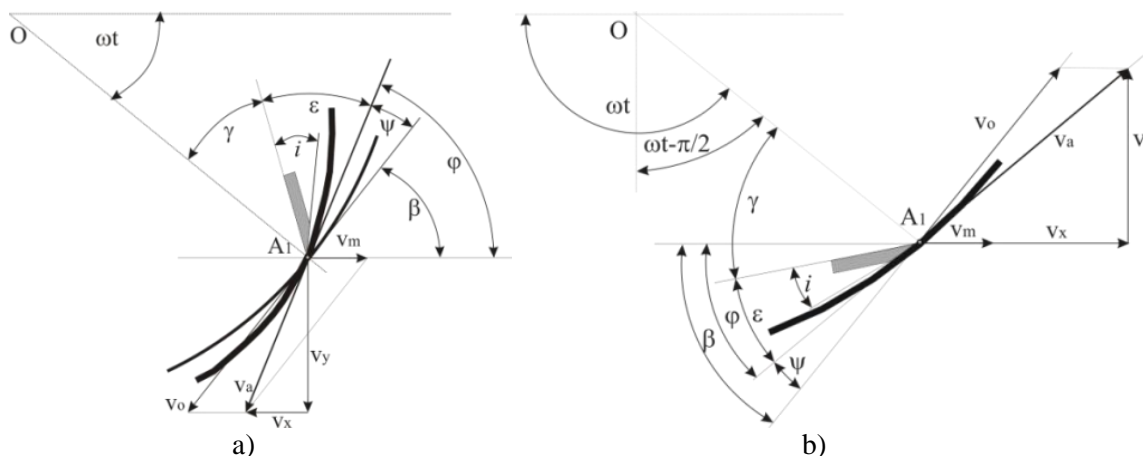
Za to vreme mašina se pomeri pravolinijski za  $v_m \cdot T$ , tako da pomenost trohoida dva susedna vrha noža (zahvat noža,  $x_z$ ), (sl. 2.28), iznosi:

$$x_z = \frac{v_m \cdot T}{z} = \frac{2 \cdot \pi \cdot v_m}{\omega \cdot z} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{\lambda \cdot z} = \frac{D \cdot \pi}{\lambda \cdot z}, \quad (2.20)$$

gde je  $z$  broj noževa na disku rotora.

### 2.3.4. Brzina rezanja

Brzina rezanja (apsolutna brzina noža,  $v_a$ , sl. 2.29) menja se u zavisnosti od trenutnog ugla  $\omega t$ . Prilikom promene radne (prenosne)  $v_m$  ili obimne  $v_o$  brzine dolazi do promene apsolutne brzine vrha radnog alata. Kod istosmernog obrtanja rezanje se odvija u zoni minimalnih a kod suprotnosmernog obrtanja rotora u zoni maksimalnih vrednosti apsolutne brzine.



Slika 2.29 Vektori brzina i karakteristični uglovi rotacione sitnilice:  
a) pri istosmernom obrtanju; b) pri suprotnosmernom obrtanju

Vektor apsolutne brzine jednak je zbiru vektora obimne brzine i brzine kretanja. Intenzitet brzine rezanja u funkciji vremena, određuje izraz:

$$v_a(t) = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_m^2 + R^2 \omega^2 \mp 2v_m R \omega \sin \omega t} = v_m \sqrt{1 + \lambda^2 \mp 2\lambda \sin \omega t} \quad (2.21)$$

### 2.3.5. Ugao postavljanja noža i ugao rezanja

Ugao rezanja raonika kod plugova, kultivatorskih motičica i drugih radnih organa sa pravolinijskim kretanjem, za minimalnu angažovanu energiju kreće su granicama 20–30° (Matjašin *et al.*, 1988). Kod rotacionih radnih alata ovaj ugao se stalno menja i znatno je veći, pa je to jedan od razloga povećanja angažovane energije pri njihovom radu. Za manje vrednosti ugla rezanja  $\varepsilon$  (sl. 2.28), krilo noža nekim svojim delovima može dodirivati neobrađeno zemljište, a za veće vrednosti ugla  $\varepsilon$ , povećava se angažovana energija za rezanje i odbacivanje zemljišta.

Prilikom kretanja noža L-tipa kroz zemljište uočavaju se sledeći uglovi, (sl. 2.29):

- ugao postavljanja noža,  $\gamma$ ,
- ugao rezanja,  $\varepsilon$ ,
- ugao oštrice noža,  $i$ ,
- ugao između tangente na kružnicu i horizontale,  $\beta$ ,
- ugao između tangente na trohoidu i horizontale,  $\varphi$  i
- ugao između tangente na trohoidu i tangente na kružnicu,  $\psi$ .

Prilikom obrtanja rotora rotacione sitnilice dolazi do promene ugla  $\omega t$ , koji opisuje tačka  $A_1$ . Apsolutna vrednost ugla između tangente na kružnicu i horizontale  $\beta$ , za oba smera obrtanja rotora ima vrednost:

$$\beta = \left| \frac{\pi}{2} - \omega t \right|. \quad (2.22)$$

Pravac tangente na trohoidu poklapa se sa pravcem apsolutne brzine rezanja ( $v_a$ ). Ugao između tangente na trohoidu i horizontale izračuna se na osnovu poznatih vrednosti apsolutne brzine i njenih komponenti u pravcu x i y-ose, pri čemu važi da je:

$$\sin \varphi = \frac{\dot{y}}{v_a} = \frac{|-R\omega \cos \omega t|}{\sqrt{(v_m \mp R\omega \sin \omega t)^2 + (-R\omega \cos \omega t)^2}}. \quad (2.23)$$

Nakon određivanja ugla  $\varphi$ , ugao između tangenti na trohoidu i kružnicu određuje se korišćenjem jednačine:

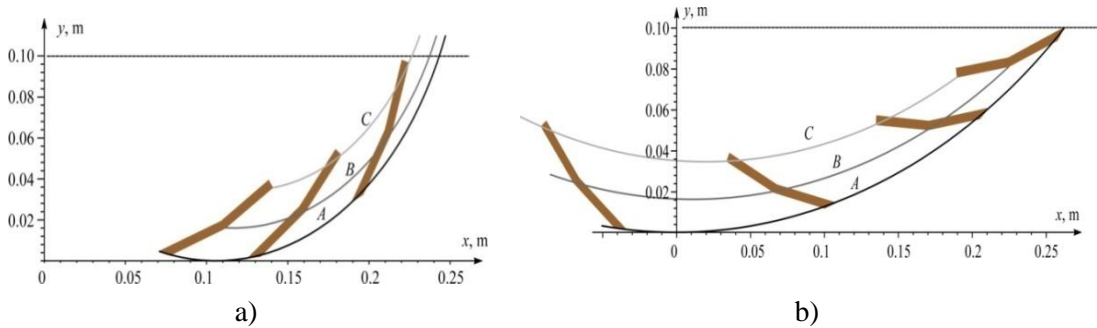
$$\psi = \mp(\beta - \varphi). \quad (2.24)$$

Znak “-” važi za istosmerno a znak “+” za suprotnosmerno obrtanje rotora.

Na osnovu slike 2.29, važi da je suma uglova:

$$\gamma + \varepsilon + \psi = \frac{\pi}{2}. \quad (2.25)$$

Ugao postavljanja noža  $\gamma$  određen je prilikom izrade rotora. Zbog promenljive vrednosti ugla  $\psi$  menja se i ugao rezanja  $\varepsilon$ . Ugao postavljanja noža  $\gamma$  definiše se još prilikom konstrukcije rotora rotacione sitnilice. Treba ga izabrati tako da krilo noža nekim svojim delovima ne dodiruje neobrađeno zemljište, jer time dolazi do dodatnog nepotrebnog trenja i povećanja angažovane energije za obradu zemljišta.



Slika 2.30 Položaj noža u toku rezanja plastice: (Ponjičan i dr, 2013; 2014)  
a) za istosmerno obrtanje; b) za suprotnosmerno obrtanje

Kritična vrednost ugla postavljanja noža  $\gamma_{kr}$  za istosmerno obrtanje određuje se kao trenutak vremena  $t_{Bp}$ , kada se posmatrana tačka na krilu noža (tačka B), nalazi na nivou zemljišta, i njena putanja se poklapa sa putanjom oštrice istog tog noža (tačka A). Rešenje sistema nelinearnih algebarskih jednačina (2.26) i (2.27) predstavlja rešenje kritične vrednosti ugla postavljanja noža.

$$R - a - [(R - \xi_B) \sin \omega t - \eta_B \cos \omega t] \Big|_{\substack{t=t_{Bp} \\ \gamma=\gamma_{kr}}} = 0, \quad (2.26)$$

$$\left[ v_m \cdot t + (R - \xi_B) \cos \omega t + \eta_B \sin \omega t \right] \Big|_{\substack{t=t_{Bp} \\ \gamma=\gamma_{kr}}} - v_m \frac{1}{\omega} \arccos \frac{R-a}{R} - \sqrt{2Ra - a^2} = 0. \quad (2.27)$$

Kritična vrednost ugla postavljanja noža  $\gamma_{kr}$  za suprotnosmerno obrtanje određuje se kao trenutak vremena  $t_{Bk}$ , kada se tačka B, nalazi na izlasku iz nivoa zemljišta, i nalazi na putanji tačke A. Rešenje sistema nelinearnih algebarskih jednačina (2.26) i (2.27) predstavlja rešenje kritične vrednosti ugla postavljanja noža.

$$R - a - [(R - \xi_B) \cdot \cos \omega t + \eta_B \sin \omega t] \Big|_{\substack{t=t_{Bk} \\ \gamma=\gamma_{kr}}} = 0, \quad (2.28)$$

$$\left[ v_m \cdot t + (R - \xi_B) \sin \omega t - \eta_B \cos \omega t \right] \Big|_{\substack{t=t_{Bk} \\ \gamma=\gamma_{kr}}} - v_m \frac{1}{\omega} \arccos \frac{R-a}{R} - \sqrt{2Ra - a^2} = 0. \quad (2.29)$$

Rešavanje ovih sistema jednačina, izvodi se numerički uz pomoć nekog od kompjuterskih programa. Na vrednost ugla postavljanja noža pored geometrijskih, utiču i eksploatacioni parametri rotacione sitnilice (radna brzina, radna dubina, mroj obrtanja rotora), a takođe i smer obrtanja rotora.

### 2.3.6. Maksimalna radna dubina

Pri suprotnosmernom obrtanju rotora nema ograničenja u pogledu radne dubine i bira se na osnovu agrotehničkih zahteva (Matjašin et al, 1988). Maksimalna radna dubina pri istosmernom obrtanju rotora određuje se preko odnosa prenosne i obimne brzine (Paltik et al, 2003). Obimna brzina ima pravac normalan na poluprečnik (sl. 2.29) i može da se razloži na komponente u pravcu x i y-ose, pri čemu vektorski zbir ima oblik:

$$\vec{v}_o = \vec{v}_{ox} + \vec{v}_{oy}. \quad (2.30)$$

Najnepovoljniji položaj je u trenutku početka kontakta noža sa zemljištem. Nož pri ulasku u zemljište usled pravolinijskog kretanja ne bi trebalo da zadnjim delom pritiska neobrađeni deo zemljišta. Apsolutna vrednost horizontalne komponente obimne brzine mora da ima vrednost veću ili jednaku kao prenosna brzina,  $v_{ox} \geq v_m$ . Za granični slučaj  $v_{ox} = v_m$ , važi da je:

$$\sin \omega t = \frac{v_{ox}}{v_o} = \frac{v_m}{v_o} . \quad (2.31)$$

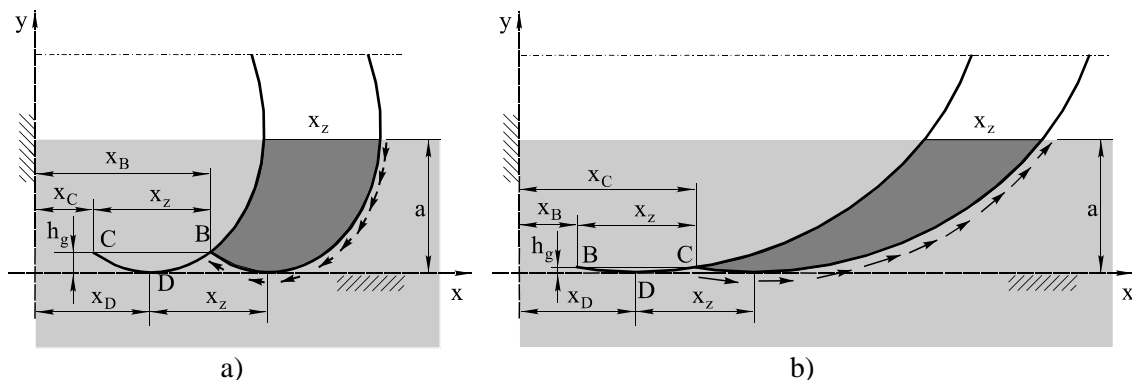
Maksimalna vrednost radne dubine iznosi:

$$a_{\max} = R - R \sin \omega t = R - R \cdot \frac{v_m}{v_o} = R \cdot \left( 1 - \frac{v_m}{v_o} \right) = R \cdot \left( 1 - \frac{1}{\lambda} \right) . \quad (2.32)$$

### 2.3.7. Visina grebenova na dnu brazde

Specifičnost obrade zemljišta rotacionim radnim alatima je neravna površina dna brazde ispod obrađenog sloja zemljišta. Grebenovi se obrazuju usled složenog kretanja radnih alata (noževa). Najviša tačka grebena je mesto gde se presecaju putanje noža koji izlazi iz zemljišta i sledećeg noža koji ulazi u zemljište. Rastojanje između vrha grebenova jednako je zahvatu noža  $x_z$ .

Prva trohoida (sl. 2.31), sa najnižom tačkom na mestu D predstavlja trajektoriju vrha jednog od noževa. Ista takva trohoida, pomerena u desno za  $x_z$  predstavlja trajektoriju vrha sledećeg noža. Koordinata na y-osi preseka ovih trohoida ( $y_B$ ) predstavlja visinu grebena  $h_g$  ali istovremeno visinu grebena predstavlja i ( $y_C$ ).



Slika 2.31 Geometrija definisana dvema susednim trohoidama (Radomirović i dr, 2005, 2006a): a) pri istosmernom obrtanju rotora; b) pri suprotnosmernom obrtanju rotora

Zadovoljavajuću tačnost za visinu grebenova za praktična izračunavanja daje uprošćena jednačina:

$$h_g = R - R \cdot \cos \frac{\pi}{z(\lambda \mp 1)} = R \left( 1 - \cos \frac{\pi}{z(\lambda \mp 1)} \right) . \quad (2.33)$$

Znak "-" je za istosmerno a znak "+" je za suprotnosmerno obrtanje rotora.

### 2.3.8. Površina plastice

Bočna površina odrezane plastice u praksi približno se određuje kao proizvod zahvata noža  $x_z$  i dubine obrade  $a$ . Tačna vrednost površine plastice  $A_p$ , odsečene jednim nožem (sl. 2.31) jednaka je razlici površine koja se računa kao proizvod zahvata noža i radne dubine i površine neobrađenog dela zemljišta koji ostaje usled formiranja grebenova:

$$A_p = a \cdot x_z - A_g . \quad (2.34)$$



Površina neobrađenog dela zemljišta usled formiranja grebenova (sl. 2.31) dvostruko je veća od površine koja se nalazi ispod trohoida između tačaka D i C:

$$A_g = 2 \cdot \left| \int_{x_D}^{x_C} y \cdot dx \right|. \quad (2.35)$$

Konačno, površina odsečene plastice za istosmerno obrtanje na osnovu jednačine određuje se korišćenjem jednačine:

$$A_p = a \cdot x_z - \frac{R}{\omega} \cdot \left| (2v_m \alpha_1 + R\omega \alpha_1 - 2R\omega \sin \alpha_1 - 2v_m \sin \alpha_1 + R\omega \sin \alpha_1 \cos \alpha_1) \right|. \quad (2.36)$$

Površina odsečene plastice za suprotnosmerno obrtanje određuje se korišćenjem jednačine:

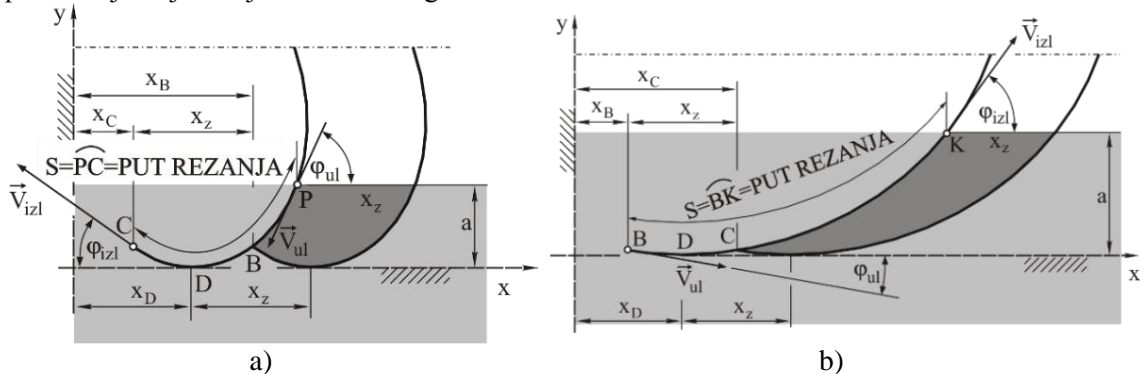
$$A_p = a \cdot x_z - \frac{R}{\omega} \cdot (2v_m \alpha_2 - R\omega \alpha_2 + 2R\omega \sin \alpha_2 - 2v_m \sin \alpha_2 - R\omega \sin \alpha_2 \cos \alpha_2). \quad (2.37)$$

Zapremina plastice ( $V_p$ ) određuje se kao proizvod površine plastice ( $A_p$ ) i radnog zahvata noža ( $b$ ):

$$V_p = A_p \cdot b. \quad (2.38)$$

### 2.3.9. Dužina puta rezanja

U cilju određivanja dužine puta rezanja  $S$  potrebno je znati trenutke vremena  $t_P$  i  $t_C$ , pri istosmernom obrtanju, i trenutke vremena  $t_B$  i  $t_K$ , pri suprotnosmernom obrtanju, u kojima vrh prvog noža ulazi, odnosno izlazi iz zemljišta. Vrh noža prve trohoida pri istosmernom obrtanju (sl. 2.32,a) kreće se kroz zemljište od tačke P do tačke C, a pri suprotnosmernom obrtanju (sl. 2.32,b) od tačke B do tačke K. Prva trohoida, sa najnižom tačkom na mestu D predstavlja trajektoriju vrha jednog od noževa. Ista takva trohoida, pomeren u desno za  $x_z$  predstavlja trajektoriju vrha sledećeg noža.



Slika 2.32 Put rezanja, ulazna i izlazna brzina rezanja (Radomirović i dr, 2008b, 2009):  
a) pri istosmernom obrtanju rotora; b) pri suprotnosmernom obrtanju rotora

Ulazna i izlazna brzina  $v_{ul}$  i  $v_{izl}$  pri istosmernom obrtanju rotora (sl. 2.32,a), izračunava se uvrštavanjem poznatih vrednosti za  $t_P$  i  $t_C$  u izraz za brzinu rezanja, odakle sledi:

$$v_{ul} = v(t_P) = \sqrt{v_m^2 + R^2 \omega^2 - 2v_m R \omega \sin \omega t_P} \quad i \quad (2.39)$$

$$v_{izl} = v(t_C) = \sqrt{v_m^2 + R^2 \omega^2 - 2v_m R \omega \sin \omega t_C}. \quad (2.40)$$

Ulazna i izlazna brzina  $v_{ul}$  i  $v_{izl}$  pri suprotnosmernom obrtanju (sl. 2.32,b), dobijene su uvrštavanjem vrednosti za  $t_B$  i  $t_K$  u izraz za brzinu rezanja, odakle sledi:

$$v_{ul} = v(t_B) = \sqrt{v_m^2 + R^2\omega^2 + 2v_m R\omega \sin \omega t_B} \quad \text{i} \quad (2.41)$$

$$v_{izl} = v(t_K) = \sqrt{v_m^2 + R^2\omega^2 + 2v_m R\omega \sin \omega t_K} \quad . \quad (2.42)$$

S obzirom da su poznati vremenski trenuci početka  $t_p$  i kraja rezanja  $t_c$ , i da je poznat intenzitet brzine vrha noža u funkciji vremena, dužina puta rezanja  $S$  za istosmerno obrtanje određena je na osnovu jednačine:

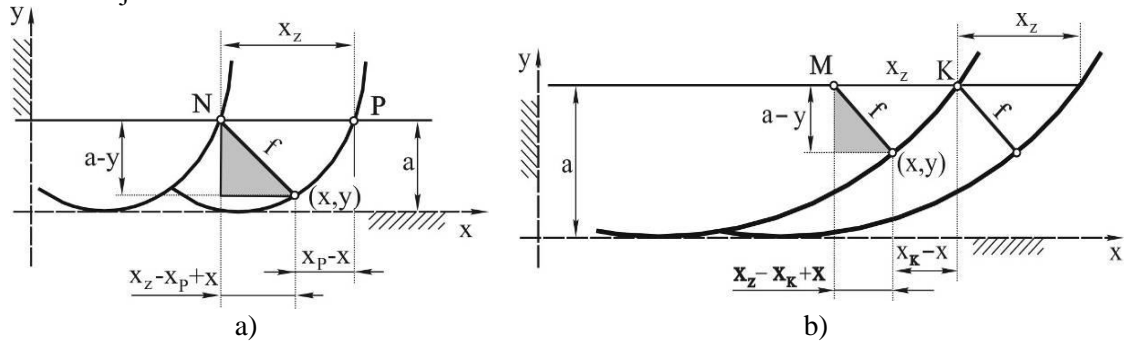
$$S = \int_{t_p}^{t_c} V(t) dt = \int_{t_p}^{t_c} \sqrt{V_m^2 + R^2\omega^2 - 2V_m R\omega \sin \omega t} dt \quad . \quad (2.43)$$

Na osnovu poznatih vrednosti vremenskih trenutaka početka  $t_B$  i kraja rezanja  $t_K$ , za poznat intenzitet brzine vrha noža u funkciji vremena, dužina puta rezanja  $S$ , za suprotnosmerno obrtanje određena je na osnovu jednačine:

$$S = \int_{t_B}^{t_K} V(t) dt = \int_{t_B}^{t_K} \sqrt{V_m^2 + R^2\omega^2 + 2V_m R\omega \sin \omega t} dt \quad . \quad (2.44)$$

### 2.3.10. Maksimalna debljina plastice

Maksimalna debljina plastice za slučaj istosmernog i suprotnosmernog obrtanja rotora određena je na osnovu slike 2.33.



Slika 2.33 Određivanje maksimalne debljine plastice (Ponjičan, 2009c):  
a) pri istosmernom obrtanju rotora; b) pri suprotnosmernom obrtanju rotora

Tačna vrednost debljine plastice za istosmerno obrtanje rotora rotacione sitnilice može da se odredi iz izraza:

$$\delta_{\max} = \sqrt{\left(x_z - \frac{v_m}{\omega} \arcsin \frac{R-a}{R} - \sqrt{2aR - a^2} + v_m \bar{t} + R \cos \omega \bar{t}\right)^2 + (a - R + R \sin \omega \bar{t})^2} \quad . \quad (2.45)$$

Tačna vrednost debljine plastice za suprotnosmerno obrtanje rotora rotacione sitnilice može da se odredi iz izraza:

$$\delta_{\max} = \sqrt{\left(x_z - \frac{v_m}{\omega} \left(\frac{\pi}{2} + \arccos \frac{R-a}{R}\right) - \sqrt{2aR - a^2} + \frac{v_m}{\omega} \left(\frac{\pi}{2} + \alpha_3\right) + R \sin \alpha_3\right)^2 + (a - R + R \cos \alpha_3)^2} \quad (2.46)$$

### 2.3.11. Analiza kinematičkih parametara rotacione sitnilice i geometrijskih parametara odrezane plastice u zavisnosti od smera obrtanja rotora

Na osnovu izmerenih vrednosti za eksploatacione pokazatelje prilikom poljskih ispitivanja utvrđen je uticaj smera obrtanja na kinematičke parametre rotacione sitnilice i

geometrijske parametre odrezane plastice (tab. 2.4). Analiza kinematičkih parametara rotacione sitnilice izvedena je analitički. Za egzaktno određivanje matematičkih zavisnosti korišćen je softverski paket "*Scientific work place*".

Pri promeni radne brzine i smera obrtanja za broj obrtaja rotora od  $153,23 \text{ min}^{-1}$ , obimna brzina je imala nepromenjenu vrednost od  $4,001 \text{ m/s}$ . Navedena vrednost nalazi se u preporučenim granicama za rad rotacione sitnilice u optimalnom radnom režimu (Matjašin et al, 1988). Vrednosti kinematičkog pokazatelja kretale su se u granicama od  $13,826$  do  $3,7125$ . Kinematički parametar mora da ima vrednost veću od  $\lambda \geq 3$ , što predstavlja uslov za potpunu obradu zemljišta (Páltik et al, 2003).

Zahvat noža raste sa povećanjem radne brzine od  $0,038$  do  $0,140 \text{ m}$ . Povećanjem radnog zahvata smanjuje se energija potrebna za obradu zemljišta ali i kvalitet obrade tj. usitnjavanja zemljišta (Matjašin et al, 1988). Na osnovu vrednosti zahvata noža konstatovano je da je vrednost radne brzine od  $1,08 \text{ m/s}$  maksimalna dozvoljena na osnovu konstrukcije i dimenzija rotora ispitivane rotacione sitnilice.

Vrednosti karakterističnih uglova pri ulasku i izlasku noža iz zemljišta, kao i u trenutku odsecanja maksimalne debljine plastice, pri radu rotacione sitnilice prikazane su u zavisnosti od promene radne brzine.

Tabela 2.4 Analiza kinematičkih parametara rotacione sitnilice i geometrijskih parametara odrezane plastice u zavisnosti od smera obrtanja rotora

Parametri	Jedinica mere	Izmerena ili izračunata vrednost				
Radna brzina, $v_m$	m/s	0,29	0,43	0,55	0,77	1,08
Obimna brzina, $v_o$	m/s	4,001	4,001	4,001	4,001	4,001
Kinematički pokazatelj, $\lambda$	-	13,826	9,3244	7,2900	5,2071	3,7125
Zahvat noža, $x_z$	m	0,03787	0,05615	0,07182	0,10055	0,14104
Maks. ugaopostavljanja noža, $\gamma_{IS}$	°	–	74,47	72,88	69,81	65,17
Maks. ugao postavljanja noža, $\gamma_{SS}$	°	–	75,08	73,89	7,83	69,18
Maks. radna dubina, $a_{max}$	m	0,2319	0,2232	0,2157	0,2020	0,1827
Visina grebenova IS, $h_{gIS}$	m	0,00083	0,00197	0,00346	0,00770	0,01839
Visina grebenova SS, $h_{gSS}$	m	0,00062	0,00128	0,00199	0,00355	0,00615
Količnik, $h_{gIS}/h_{gSS}$	-	1,34	1,54	1,74	2,17	2,99
Ulazna brzina rezanja IS, $v_{aP}$	m/s	3,843	3,767	3,706	3,601	3,471
Izlazna brzina rezanja IS, $v_{aC}$	m/s	3,721	3,583	3,468	3,269	3,036
Ulazna brzina rezanja SS, $v_{aB}$	m/s	4,299	4,438	4,556	4,770	5,069
Izlazna brzina rezanja SS, $v_{aK}$	m/s	4,190	4,281	4,361	4,513	4,737
Dužina puta rezanja, $S_{IS}$	m	0,2364	0,2390	0,2409	0,2453	0,2519
Dužina puta rezanja, $S_{SS}$	m	0,2657	0,2819	0,2957	0,3217	0,3579
Razlika, $(S_{SS} - S_{IS})/S_{IS}$	%	12,38	17,97	22,71	31,15	42,08
Debljina plastice, $\delta_{maxIS}$	m	0,03052	0,04530	0,05788	0,08012	–
Debljina plastice, $\delta_{maxSS}$	m	0,02779	0,03927	0,04809	0,06183	0,07640
Razlika, $(\delta_{maxIS} -$	%	8,95	13,30	16,92	22,82	–

$\delta_{maxSS})/\delta_{maxIS}$						
----------------------------------	--	--	--	--	--	--

Maksimalni dozvoljeni ugao postavljanja noža  $\gamma$  opada sa povećanjem radne brzine za oba smera obrtanja rotora rotacione sitnilice. Za suprotnosmerno obrtanje moguće je koristiti veće vrednosti ugla postavljanja noža (Ponjičan *et al*, 2013, 2014).

Maksimalna dozvoljena radna dubina na osnovu jednačine opada sa 0,2319 na 0,1827 m sa povećanjem radne brzine. Podešena radna dubina ( $a = 0,1$  m) u toku ispitivanja imala je vrednost koja se u praksi najviše koristi i nalazi se u oblasti dozvoljenih vrednosti radne dubine.

Rezanje zemljišta pri istosmernom obrtanju odvija se u zoni minimalnih, a pri suprotnosmernom obrtanju u zoni maksimalnih vrednosti apsolutne brzine noža. Brzina rezanja  $v_a$  za suprotnosmerno obrtanje ima veću vrednost prilikom ulaska noža u zemljište od 11,87 do 46,02%, prilikom izlaska noža iz zemljišta od 12,61 do 55,99% i na mestu sa maksimalnom debljinom plastice od 10,29 do 70,08%. Pri suprotnosmernom obrtanju javlja se veća brzina rezanja, a time i bolji kvalitet usitnjavanja zemljišta.

Povećanjem radne brzine, dužina puta rezanja pri istosmernom obrtanju  $S_{IS}$ , se smanjuje, a pri suprotnosmernom obrtanju  $S_{SS}$  se povećava. Dužina puta rezanja pri suprotnosmernom obrtanju ima veću vrednost u odnosu na istosmerno obrtanje u zavisnosti od radne brzine, od 12,38 do 42,08%. Pri suprotnosmernom obrtanju javlja se veća dužina rezanja, što utiče na bolji kvalitet usitnjavanja zemljišta.

Maksimalna debljina plastice  $\delta_{max}$  raste sa povećanjem radne brzine za oba smera obrtanja. Za slučaj istosmernog obrtanja maksimalna debljina plastice ima veće vrednosti od 8,95 do 22,82% u odnosu na suprotnosmerno obrtanje, čime dolazi do intenzivnijeg usitnjavanja zemljišta u odnosu na istosmerno obrtanje. Radi sveobuhvatnog sagledavanja uticaja smera obrtanja rotora, potrebno je analizirati energetske parametre i kvalitet rada rotacione sitnilice u cilju zaštite životne sredine, ekologije i energetske efikasnosti (Ponjičan *et al*, 2011a).

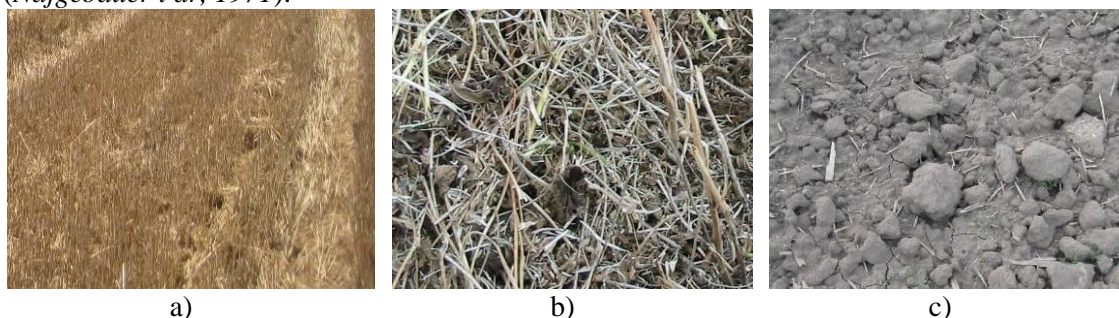
## 2.4. Metod ispitivanja rotacione sitnilice u zavisnosti od preduseva u cilju zaštite životne sredine, ekologije i energetske efikasnosti

Na osnovu izmerenih vrednosti u toku ispitivanja rotacione sitnilice, korišćenjem jednačina navedenih u algoritmu (sl. 2.45), određena je specifična angažovana energija na priključnom vratilu ( $E_{pvt}$ ) i specifična ukupna angažovana energija ( $E_{uk}$ ) po jedinici zapremine obrađenog zemljišta.

### 2.4.1. Izbor parcele i postavljanje ogleda

Izbor lokaliteta i uzimanje uzoraka radi određivanja stanja parcele i fizičkih osobina zemljišta pre i nakon obrade sa ispitivanim mašinama izvedeno je prema standardu *ISO 10381-6*.

Ispitivanje energetske parametara i kvaliteta obrade zemljišta rotacionom sitnilicom pri istosmernom i suprotnosmernom obrtanju rotora izvedeno je u poljskim uslovima u ataru sela Kisač (geografska širina  $45^{\circ} 21' 58''$  i geografska dužina  $19^{\circ} 45' 23''$ , sl. 2.34), na zemljištu tipa černozem, na lesu i lesolikim sedimentima, karbonatni, oglejeni, srednje duboki (*Najgebauer i dr, 1971*).

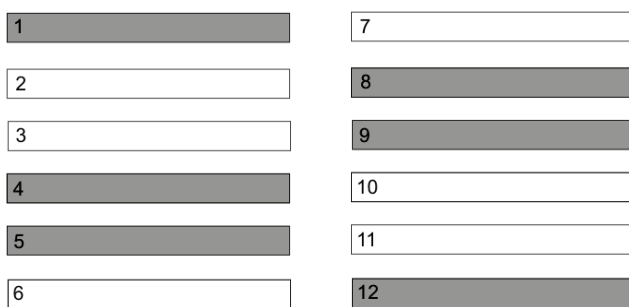


Slika 2.34 Vrste ispitivanih parcela (*Ponjičan 2009c*):  
a) strnište; b) sojište; c) orano strnište

U zavisnosti od predkulture i prethodnog načina obrade, ispitivanja su izvedena na tri parcele:

- na strništu,
- na sojištu i
- na oranom zemljištu.

Svaka od ispitivanih parcela (strnište, sojište, orano), podeljena je na dvanaest jednakih potparcela širine 2,5 i dužine 150 m (sl. 2.35). Na svakoj pojedinačnoj potparceli, rotaciona sitnilica je ispitivana pri radu sa minimalno četiri radne brzine počevši od najnižeg stepena prenosa traktora.



Slika 2.35 Šema ogleđa pri ispitivanju rotacione sitnilice

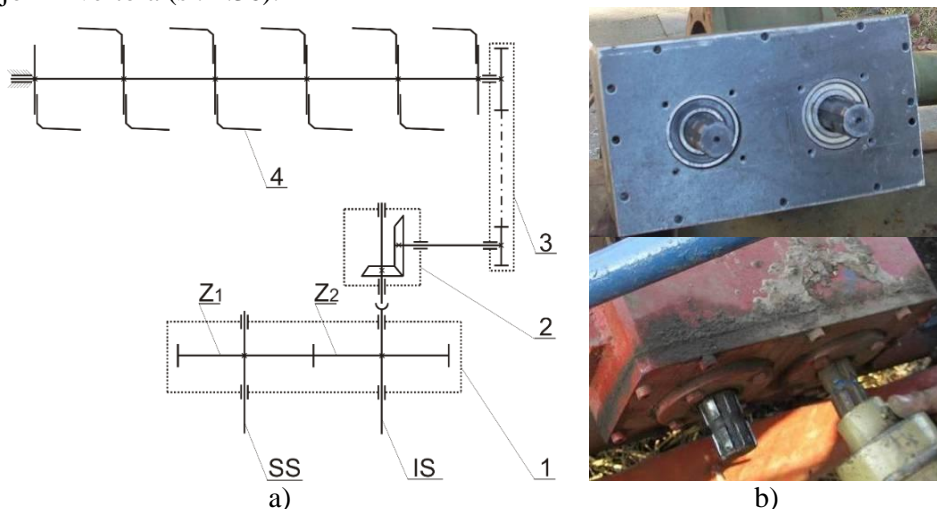
Zatamnjena polja (sl. 2.35) predstavljaju potparcele, na kojima je rotaciona sitnilica imala istosmerno a na belim poljima suprotnosmerno obrtanje. Raspored potparcela prikazanih na slici 2.35, omogućio je nepristrasno utvrđivanje uticaja smera obrtanja rotora rotacione sitnilice na energetske parametre i kvalitet rada, uz eliminisanje uticaja veoma promenljivih parametara stanja parcele.

Prilikom poljskih ispitivanja rotacione sitnilice utvrđena je prethodno primenjena tehnologija obrade i prethodno korišćene mašine za obradu zemljišta. Kvalitet rada rotacione sitnilice određen je merenjem fizičkih osobina zemljišta pre i nakon obrade, kao i sa promenom dubine, pri čemu je mereno:

- specifična masa zemljišta,  $SM_p$ ,
- zapreminska masa zemljišta,  $SM_z$ ,
- strukturni sastav zemljišta, koji je određen preko koeficijenta strukturnosti,  $k$  i
- sabijenost zemljišta.

#### 2.4.2. Adaptacija rotacione sitnilice

Za potrebe ispitivanja rotacione sitnilice u zavisnosti od preduseva u cilju zaštite životne sredine, ekologije i energetske efikasnosti, postojeća rotaciona sitnilica adaptirana je ugradnjom invertora (sl. 2.36).

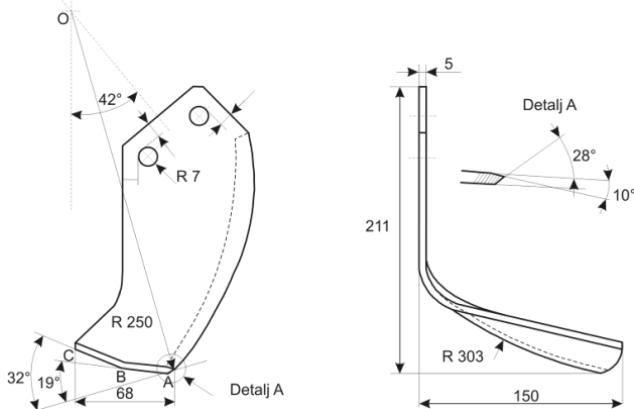


Slika 2.36 Elementi za prenos snage na adaptiranoj rotacionoj sitnilici (Ponjičan, 2009c):  
 a) kinematička šema prenosa snage; b) inverter smera obrtanja  
 1-invertor sa izvodom za PVT za istosmerno obrtanje (IS) i suprotnosmerno obrtanje (SS);  
 2-reduktor sa koničnim zupčanicama; 3-reduktor sa lančastim prenosnikom; 4-rotor sa noževima

Invertor je napravljen od dva zupčanika sa po 50 zubaca ( $Z_1$  i  $Z_2$ ), zbog čega ne dolazi do promene prenosnog odnosa. Na invertoru se nalaze dva priključna (nažljebljena) vratila za priključivanje kardanskog vratila. Priključivanjem kardanskog vratila na levo priključno vratilo, posmatrano u pravcu kretanja mašine, rotaciona sitnilica ima isti smer obrtanja rotora kao i smer obrtanja točkova traktora, tzv. istosmerno obrtanje (IS). Postavljanjem kardanskog vratila na desno priključno vratilo menja se smer obrtanja, i dobija se tzv. suprotnosmerno obrtanje (SS).

Rastojanje između dva priključna vratila, na koje se postavlja kardansko vratilo iznosi 132 mm. Prilikom ispitivanja, korišćeno je kardansko vratilo sa zupčastom zaštitnom spojnicom minimalne dužine 760 mm, sa razmakom sredina zblobova 560 mm. Merni instrument za merenje obrtnog momenta i broja obrtaja, bio je dužine 180 mm. Zbog postavljanja mernog instrumenta, tri tačke za prikopčavanje produžene su za 225 mm u saglasnosti sa standardom *JUS M.L1.013:1998* i *ISO 730/III1979(E)*. Rastojanje između priključnog vratila na traktoru i na mašini iznosilo je 1.010 mm. Visina priključnog vratila na traktoru bila je 650 mm a na mašini u toku obrade zemljišta 520 mm. Zakošenost kardanskog vratila (oblik veze "Z", *ISO 5673-2:2005*) u toku rada u vertikalnoj ravni iznosila je  $13,4^\circ$ . Zakošenost kardanskog vratila u horizontalnoj ravni javila se samo pri suprotnosmernom obrtanju i iznosila je  $12,1^\circ$ . Agregatiranje rotacione sitnilice i traktora izvedeno je u saglasnosti sa važećim standardima.

Usled promene smera obrtanja rotora neophodno je promeniti i položaj noževa na rotoru (sl. 2,37), što je izvedeno zakretanjem celog rotora za  $180^\circ$  u horizontalnoj ravni (sl. 2.38). Radi zakretanja rotora potrebno je skinuti po šest vijaka sa kojima je rotor pričvršćen sa leve i desne strane za klizne ležajeve i ramsku konstrukciju cele mašine. Zakretanje rotora izvedeno je ručno.



Slika 2.37 Oblik noževa na rotacionoj sitnilici  
(Ponjičan et al, 2011a)



Slika 2.38 Zakretanje rotora za  $180^\circ$   
(Ponjičan, 2009c)

Pri suprotnosmernom obrtanju prilikom puštanja u rad (za male vrednosti radne dubine) dolazi do odbacivanja zemljišta unapred. Iz tog razloga, sa prednje strane postavljena je dodatna limena oplata. Dodatna limena oplata zavarena je za ramsku konstrukciju mašine tako da dozvoljava dubinu obrade do 15 cm. Za ograničavanje radne dubine, sa leve strane mašine proširen je klizač.

Traktor nominalne snage motora 49 kW agregatiran je sa rotacionom sitnilicom. Traktor nominalne snage motora 47,5 kW korišćen je za vuču agregata sa rotacionom sitnilicom prilikom merenja vučne sile.

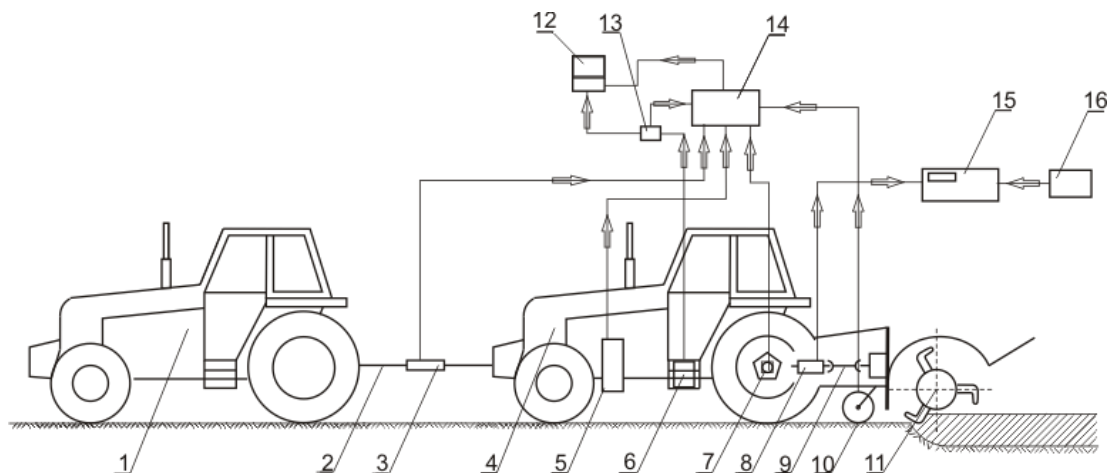
### 2.4.3. Merenje energetskih parametara

Prilikom terenskih ispitivanja eksploatacionih i energetskih parametara korišćena je metodologija i merna oprema akreditovane Laboratorije za pogonske mašine i traktore, koja se nalazi u okviru Departmana za poljoprivrednu tehniku, Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu. Laboratorija za pogonske mašine i traktore akreditovna je prema standardu *JUS ISO/IEC 17025:2001* od strane Akreditacionog tela Srbije *JUAT*, Beograd i *OECD* Paris.

Prilikom određivanja energetskih parametara rotacione sitnilice u zavisnosti od smera obrtanja rotora (sl. 2.39) izmereni su sledeći pokazatelji:

- vučna sila,  $F_v$ ,
- broj obrtaja,  $n$ , moment,  $M_{pvt}$ , i angažovana snaga na priključnom vratilu traktora  $P_{pvt}$ ,
- časovna potrošnja goriva,  $Q_h$ ,
- teoretska,  $v_{mTEOR}$ , i stvarna,  $v_m$ , radna brzina agregata i
- radna dubina,  $a$ .

Na osnovu izmerenih podataka izračunata je specifična angažovana energija po jedinici zapremine obrađenog zemljišta ( $E_{sp}, J/m^3$ ), u zavisnosti od smera obrtanja.



Slika 2.39 Šema merenja vučnog otpora, potrošnje goriva, radne brzine i snage na PVT (Ponjičan, 2009c): 1-traktor za vuču; 2-čelično užje; 3-davač sile; 4-traktor agregatiran sa rotacionom sitnilicom; 5-uređaj za merenje potrošnje goriva; 6-akumulator; 7-davač broja obrtaja pogonskog točka; 8-obrtni dinamometar; 9-kardansko vratilo; 10-davač pređenog puta; 11-adaptirana rotaciona sitnilica; 12-notebook; 13-punjač; 14-akvizicija podataka; 15-merni pojačivač sa displejom; 16-energetski pretvarač 24/220 V

#### 2.4.3.1. Metod merenja vučnog otpora

Vučni otpor mašine i otpor kretanja traktora izmereni su metodom vuče. Za merenje vučnog otpora potrebno je, pored standardnih mernih uređaja, obezbediti i traktor koji vuče ispitivani traktorski agregat. Prvi traktor vuče drugi traktor koji je agregatiran sa ispitivanom mašinom preko čeličnog užeta i davača sile. Ukupni vučni otpor sastoji se od dve komponente:

- otpora kretanja samog traktora ( $F_{fTR}$ ) i
- otpora ispitivane mašine ( $F_{VM}$ ).



Otpor kretanja samog traktora određuje se kada je ispitivana mašina podignuta u transportni položaj. Vrednost koju pokazuje davač sile odnosi se na otpor kretanja samog traktora ( $F_{VI}$ ). Ukupni vučni otpor meri se kad je ispitivana mašina spuštena u radni položaj ( $F_{V2}$ ). Otpor ispitivane mašine računa se kao razlika između ova dva merenja ( $F_{VM} = F_{V2} - F_{VI}$ ).

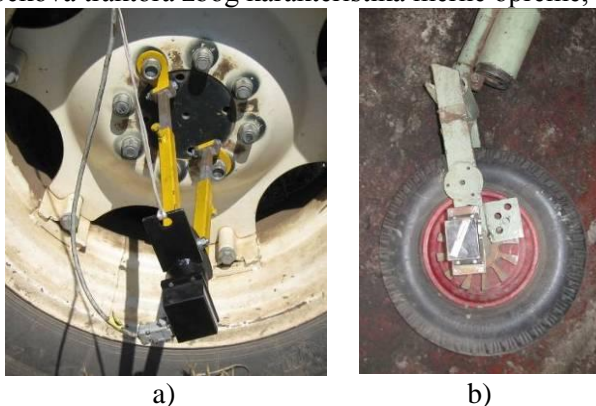
Za određivanje vučnog otpora traktora i mašine korišćen je *elektronski dinamometar D-20 T* sa opsegom merenja od 200 kN, proizvođač *TRC Novi Sad*. Merenje vučne sile obavljeno je na strništu za četiri radne brzine pri istosmernom i suprotnosmernom obrtanju rotora rotacione sitnilice (sl. 2.40).



Slika 2.40 Merenje vučnog otpora na strništu (Ponjičan, 2009c)

#### 2.4.3.2. Metod merenja radne brzine

U toku ispitivanja merena je teoretska brzina postavljanjem *induktivnog davača broja obrtaja točka* (sl. 2.41,a) sa rozetom na zadnjem točku traktora (proizvođač *TRC Novi Sad*). Prilikom merenja vučne sile teoretska brzina na točkovima traktora agregatiranog sa ispitivanom mašinom jednaka je radnoj brzini. Stvarna radna brzina, kada se traktor sam pokreće i u isto vreme pogoni ispitivanu mašinu, određena je pomoću *davača pređenog puta – petog točka* (proizvođač *TRC Novi Sad*) koji se kretao po površini parcele (sl. 2.41,b). Klizanje pogonskih točkova traktora zbog karakteristika merne opreme, mereno je naknadno.



Slika 2.41 Merenje radne brzine (Ponjičan, 2009c):

- a) induktivni davač broja obrtaja točka sa rozetom na zadnjem točku traktora;
- b) davač pređenog puta

#### 2.4.3.3. Metod merenja potrošnje dizel goriva

Potrošnja goriva merena je protočnim uređajem za merenje potrošnje goriva *Flowmeter PLU 116H* (sl. 2.42). Uređaj za merenje potrošnje goriva prema potrebi daje na izlazu digitalni signal koji može da se konektuje preko elektronske jedinice sa displejom za

očitanje, a takođe i naponski signal sa analognim izlazom dostupan za očitavanje analognim instrumentima.



Slika 2.42 Uređaj za merenje potrošnje goriva *Flowmeter PLU 116H (Ponjičan, 2009c)*



Slika 2.43 Akvizicija *PC measurement electronic Spider 8* i notebook računara (Ponjičan, 2009c)

Analogni signali dobijeni od davača sile, davača broja obrtaja pogonskog točka traktora, davača pređenog puta i uređaja za merenje potrošnje goriva preko kablova dovode se do osmokanalne akvizicije. Akvizicija *PC measurement electronic Spider 8* (sl. 2.43) proizvođača *Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM)*.

U akviziciji se prispeli analogni signali procesiraju, pojačavaju i transformišu u digitalne signale, koji se dalje prenose do notebook računara *Hewlett Packard* sa procesorom *Intel 1,4 GHz*. U računaru se prispeli podaci obrađuju softverskim paketom *beam* i snimaju na memorijskoj jedinici da bi se kasnije obradili odgovarajućim softverskim programom.

#### **2.4.3.4. Metod merenja obrtnog momenta i broja obrtaja na priključnom vratilu traktora**

Angažovana snaga preko priključnog vratila traktora izračunata je na osnovu izmerenih vrednosti za obrtni moment i broj obrtaja na priključnom vratilu traktora. Merenje obrtnog momenta i broja obrtaja na izvodu priključnog vratila izvedeno je obrtnim dinamometrom "TD2", mernog opsega do 2 kNm, koji se postavlja između izvoda za priključno vratilo traktora i kardanskog vratila za pogon radne mašine (sl. 2.44).



a)



b)

Slika 2.44 Merenje snage na priključnom vratilu traktora (Ponjičan, 2009c): a) obrtni dinamometar "TD2"; b) merni pojačivač sa displejom "TRC MMN-1"

Obrtni dinamometar "TD2" predstavlja elektromehanički merni sistem koji se sastoji od mernog pretvarača za moment i integrisanog sistema za merenje broja obrtaja. Obrtni dinamometar je preko 8-žilnog kabla spojen sa mernim pojačivačem "TRC MMN-1" koji

posедуje displej i sa koga se mogu očitavati vrednosti. Brzina očitavanja i prikazivanja vrednosti na displeju mernog pojačivača iznosi 0,5 s. Merni pojačivač se priključuje na izvor naizmenične struje napona 220 V i frekvencije 50 Hz. Za potrebe napajanja instrumenta u poljskim uslovima korišćen je digitalni energetski pretvarač *Digital Energy<sup>TM</sup> Series* snage 500 VA. Izmerene vrednosti snimljene su pomoću digitalnog fotoaparata. Pre početka rada podešena je osetljivost rada mernog pojačivača "TRC MMN-1" prema uputstvu proizvođača.

#### 2.4.4. Određivanje dubine obrade i profila zemljišta

Dubina obrade zemljišta ispitivanih mašina i oblik površine zemljišta pre i nakon obrade meren je pomoću uređaja za određivanje profila zemljišta. Određivanje dubine obrade i oblika površine zemljišta izvedeno je u deset merenja za svaku posmatranu varijantu.

#### 2.4.5. Atmosferski uslovi

Atmosferski uslovi određeni su standardnom metodom, korišćenjem instrumenata:

- barometar *Fischer*, (pritisak) i
- vlagomer *CIBA-GEIGY*, (relativna vlažnost vazduha).

#### 2.4.6. Ocena stanja parcele i kvaliteta obrade zemljišta

Prilikom ocene stanja zemljišta pre ispitivanja, kao i ocene kvaliteta obrade zemljišta ispitivanim mašinama, korišćena je metodologija i laboratorijska oprema Laboratorije za zemljište i agroekologiju, akreditovane prema standardu *SRPS ISO/IEC 17025:2005*, Instituta za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad. Uzorci zemljišta uzimani su u rasutom (poremećenom) stanju u prirodnom neporemećenom stanju pomoću cilindra po Kopecky-om.

Momentalna vlažnost zemljišta određena je uzimanjem uzoraka do dubine 30 cm na svakih 5 cm dubine termogravimetrijskom metodom. Ova standardna metoda se zasniva na sušenju uzoraka u sušnici (*JDPZ, 1997*).

Mehanički sastav zemljišta određen je korišćenjem pipet metode iz prosečnog uzorka sa dubine do 20 cm. Uzorak je pripremljen Na-pirofosfatom po Thun-u, a teksturna klasa određena je na osnovu klasifikacije po Tommerup-u, (*Hadžić i dr, 2004*).

Analiza strukturnog sastava zemljišta izvedena je *poljskom terenskom metodom* (*Vučić, 1987*). Uzorci su uzimani na svakih 5 cm do dubine 30 cm. Za prosejavanje korišćena su sita veličine otvora 25; 19; 16; 10; 5; 3; 1; 0,5 i 0,25 mm po metodi Savvinov-a, (*Hadžić i dr, 2004*). Strukturni sastav zemljišta izražen je preko koeficijenta strukturnosti zemljišta *k* (*Šein et al, 2001*). Koeficijent strukturnosti zemljišta *k*, predstavlja odnos izmerene mase makro agregata ( $m_{makro}$ , 0,25–10 mm) prema zbiru mikro ( $m_{mikro}$  <0,25 mm) i mega ( $m_{mega}$ , >10 mm) agregata zemljišta (2.47).

$$k = \frac{m_{makro}}{m_{mikro} + m_{mega}} .$$

(2.47)

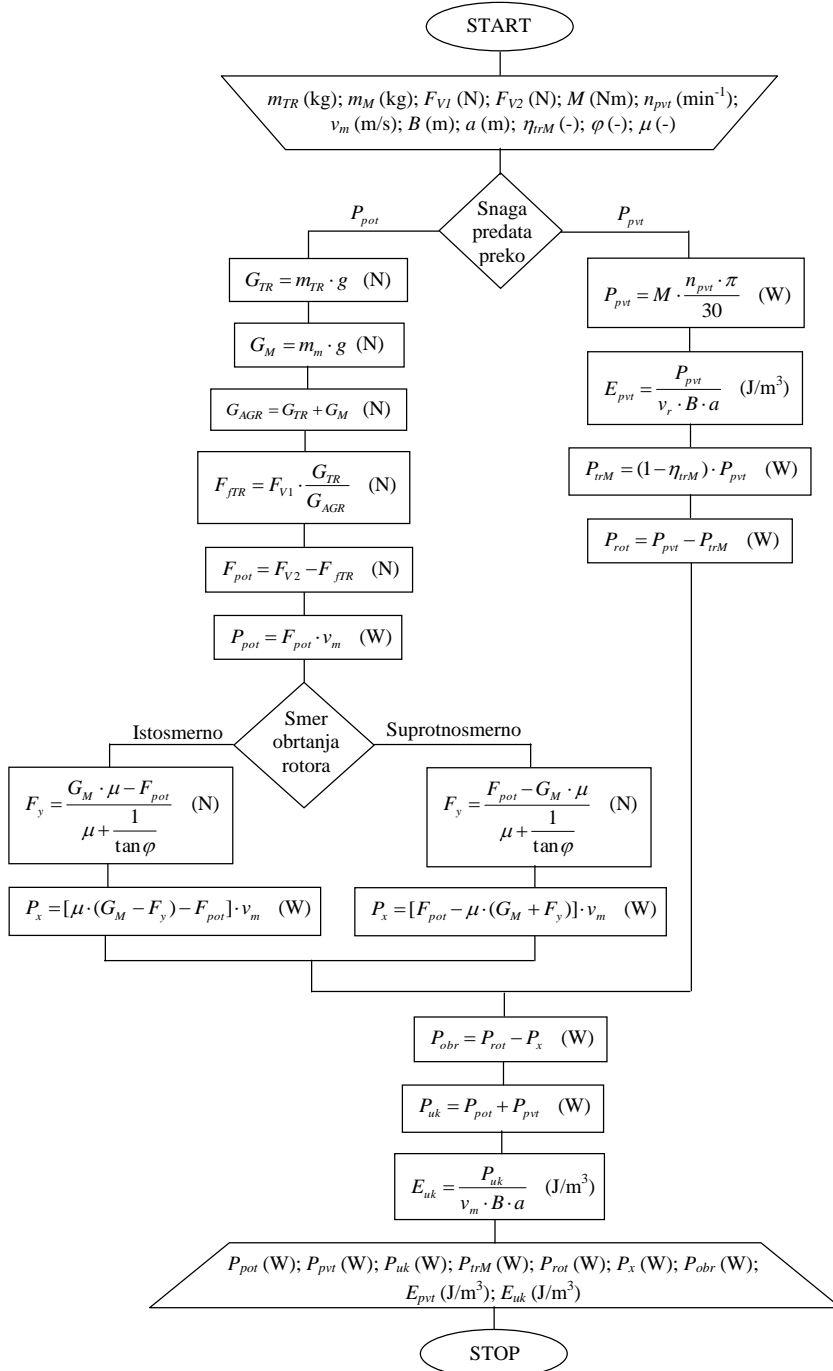
Specifična masa zemljišta (*SM<sub>p</sub>*) određena je preko prosečnog uzorka sa dubine do 20 cm Albert-Bogsovom metodom, (*Hadžić i dr, 2004*).

Zapreminska masa zemljišta (*SM<sub>z</sub>*) određena je do dubine 30 cm na svakih 5 cm dubine pomoću cilindra po Kopecky-om, termogravimetrijskom metodom, (*Hadžić i dr, 2004*).

Za određivanje intenziteta sabijenosti zemljišta korišćen je elektronski penetrometar proizvođača "*Finland, Irvine Ltd.*". Prilikom ispitivanja korišćen je konus prečnika 12,83 mm sa uglom 30°. Merenje sabijenosti zemljišta za svako merno mesto izvedeno je u deset ponavljanja.

**2.4.7. Algoritam za određivanje energetskih parametara rotacione sitnilice**

Preko algoritma (sl. 2.45) prikazan je način određivanja specifične energije angažovane na priključnom vratilu ( $E_{pvt}$ ), kao i specifične ukupne angažovane energije ( $E_{uk}$ ) po jedinici zapremine obrađenog zemljišta u zavisnosti od radne brzine pri istosmernom i suprotnosmernom obrtanju rotora. Ukupna snaga ( $P_{uk}$ ) angažovana za rad rotacione sitnilice sastoji se iz snage koja se predaje preko poteznice ( $P_{pot}$ ) i izvoda za priključno vratilo traktora ( $P_{pvt}$ ).



Slika 2.45 Algoritam za određivanje energetskih parametara rotacione sitnilice pri istosmernom i suprotnosmernom obrtanju rotora (Ponjičan 2009c)

U toku ispitivanja izmereni su sledeći polazni podaci:

- masa traktora  $m_{TR}$ , kg,
- masa mašine  $m_M$ , kg,
- vučna sila za ispitivani agregat sa podignutom rotacionom sitnilicom  $F_{V1}$ , N,
- vučna sila za ispitivani agregat sa rotacionom sitnilicom u radu  $F_{V2}$ , N,
- obrtni moment na priključnom vratilu traktora  $M$ , Nm,
- broj obrtaja na priključnom vratilu traktora  $n_{pvt}$ ,  $\text{min}^{-1}$ ,
- teoretska  $v_{mTEOR}$  i radna brzina  $v_m$ , m/s,
- radni zahvat rotacione sitnilice  $B$ , m i
- radna dubinu  $a$ , m.

Za izračunavanje pojedinih komponenti bilansa snage na osnovu literaturnih podataka usvojeni su koeficijenti za:

- stepen korisnog dejstva transmisije rotacione sitnilice  $\eta_{trM} = 0,95$ , (Miltenović, 2001)
- koeficijent otpora klizanja čelika po zemljištu (strnjici)  $\mu = 0,5$  (Oljača i Raičević, 1999) i
- ugao između tangente na trohoidu i horizontale u trenutku odsecanja maksimalne debljine plastice  $\varphi_{\delta maxIS}$  i  $\varphi_{\delta maxSS}$  u zavisnosti od smera obrtanja i radne brzine (tab. 9).

U zavisnosti od radne brzine ( $v_m$ ) i radne dubine ( $a$ ), izračunate su sledeće komponente bilansa snage i specifične angažovane energije:

- snaga na poteznici traktora  $P_{pot}$ , kW,
- snaga na priključnom vratilu traktora  $P_{pvt}$ , kW,
- snaga za pogon transmisije rotacione sitnilice, tj. mašine  $P_{trM}$ , kW,
- snaga na rotoru rotacione sitnilice  $P_{rot}$ , kW,
- snaga za obradu zemljišta  $P_{obr}$ , kW,
- snaga koja se prenosi od rotora na poteznicu u horizontalnom pravcu  $P_x$ , kW,
- snaga koja se prenosi od rotora na poteznicu u vertikalnom pravcu  $P_y$ , kW,
- ukupna snaga pri radu rotacione sitnilice  $P_{uks}$ , kW,
- specifična angažovana energija na priključnom vratilu traktora  $E_{pvt}$ ,  $\text{kJ/m}^3$  i
- ukupna specifična angažovana energija  $E_{uks}$ ,  $\text{kJ/m}^3$ .

## 2.5. Energetski parametri rotacione sitnilice u zavisnosti od smera obrtanja i preduseva u cilju zaštite životne sredine, ekologije i energetske efikasnosti

Ispitivanje energetskih parametara rotacione sitnilice pri istosmernom i suprotnosmernom obrtanju rotora izvedeno je u zavisnosti od preduseva (strnište, sojište, orano zemljište) na istom tipu zemljišta.



Slika 2.46 Merenje energetskih parametara rotacione sitnilice za različite uslove parcele (Ponjičan, 2009c): a) na strništu; b) na oranom zemljištu

Prilikom merenja energetskih parametara rotacione sitnilice izmerene su vrednosti atmosferskih uslova (tab. 2.5).

Tabela 2.5 Atmosferski uslovi u toku merenja energetskih parametara rotacione sitnilice (Ponjičan, 2009c)

Parcela	Atmosferski pritisak, kPa	Temperatura vazduha, °C	Relativna vlažnost vazduha, %
Strnište	100,4	29,6	45
Sojište	100,2	24,5	62
Orano zemljište	100,2	26,3	57

### 2.5.1. Vučna sila i snaga na poteznici traktora

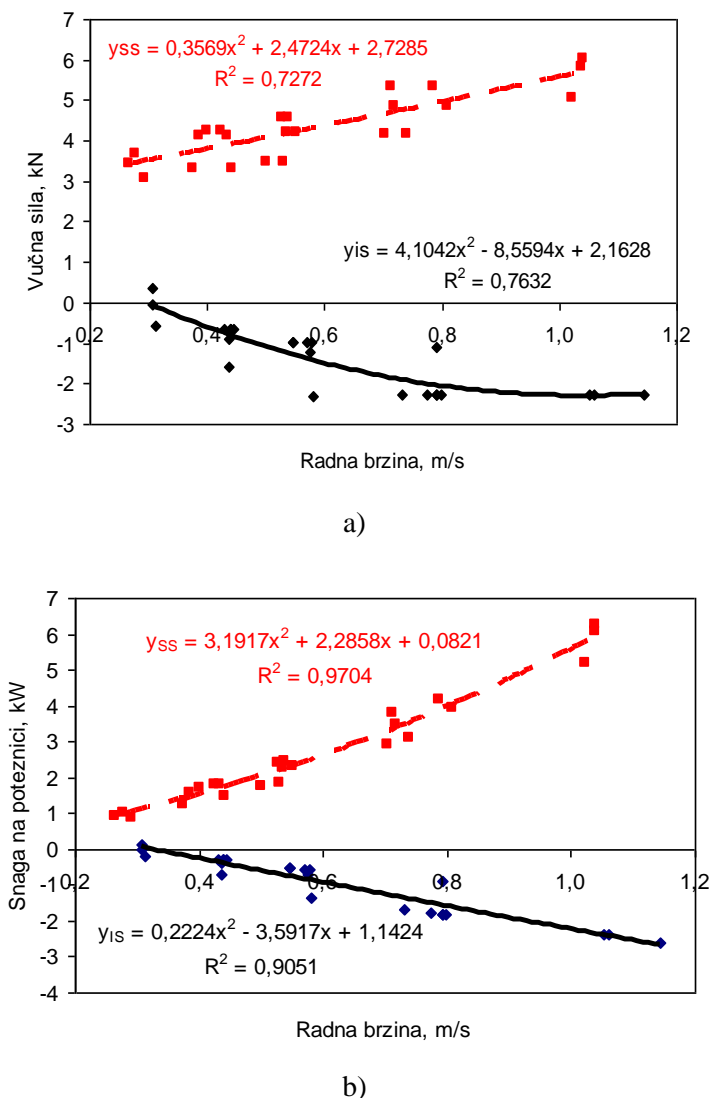
Vučna sila ( $F_{pot}$ ) izmerena je pomoću davača sile, a radna brzina ( $v_m$ ) pomoću davača broja obrtaja pogonskog točka. Snaga na poteznici traktora ( $P_{pot}$ ) izračunata je kao proizvod vučne sile i radne brzine.

Na slici 2.47 i u tabeli 2.6, prikazane su izmerene vrednosti za vučnu silu i izračunate vrednosti za snagu na poteznici traktora za istosmerno i suprotnosmerno obrtanje rotora u zavisnosti od radne brzine, tj. stepena prenosa, prilikom merenja na strništu.

Za istosmerno obrtanje rotora, povećanjem radne brzine rastu vrednosti negativne vučne sile i snage na poteznici. Pri radu sa rotacionom sitnilicom sa istosmernim obrtanjem negativne vrednosti vučne sile mogu se tolerisati do vrednosti sile koja je potrebna za sopstveno kretanje traktora i čija srednja vrednost za ispitivanje izvedeno na strništu iznosi

$F_{fTR} = 2,62$  kN. Viša vrednost negativne vučne sile izaziva opasan i rizičan rad agregata za obradu zemljišta.

Negativna vučna sila i snaga javlja se kao parazitna snaga i ne služi kao dopunski izvor energije već samo opterećuje transmisiju rotacione sitnilice i traktora, izazivajući suvišno mehaničko opterećenje i vibracije (Đukić, 1983).



Slika 2.47 Vučna sila i snaga na poteznici u zavisnosti od radne brzine i smera obrtanja na strništu (Ponjičan, 2009c): a) vučna sila na poteznici; b) snaga na poteznici

Pomoću nelinearne polinomne regresije određene su matematičke zavisnosti vučne sile i snage na poteznici u zavisnosti od radne brzine. Stepenn determinacije ( $R^2$ ) za vučnu silu imao je nižu vrednost zbog nehomogenog otpora koji se po pravilu javlja u zemljištu, kao i zbog promenljive radne brzine. Stepenn determinacije za snagu na poteznici imao je višu vrednost, posebno pri suprotnosmernom obrtanju rotora rotacione sitnilice ( $R^2 = 97,04\%$ ).

Pomoću  $F$ -testa analize varijanse na pragu značajnosti od 5%, utvrđeno je da postoje statistički značajne razlike između istosmernog i suprotnosmernog obrtanja rotora. Postojanje

statistički značajnih razlika precizno je određeno preko Duncan-ovog testa na pragu značajnosti od 5% (tab. 2.6).

Tabela 2.6 Vučna sila ( $F_v$ ) i snaga na poteznici ( $P_{pot}$ ) pri radu rotacione sitnilice na strništu (Ponjičan, 2009c)\*

Stepen prenosa	Smer obrtanja rotora	Vučna sila, kN	Snaga na poteznici, kW
1sp	Istosmerno	-0,100 e	-0,032 e
	Suprotnosmerno	3,386 f	0,942 f
1	Istosmerno	-0,842 d	-0,368 d
	Suprotnosmerno	3,886 b	1,594 g
2	Istosmerno	-1,252 c	-0,712 c
	Suprotnosmerno	4,077 b	2,165 h
3	Istosmerno	-2,082 a	-1,622 b
	Suprotnosmerno	4,788 g	3,572 i
4	Istosmerno	-2,260 a	-2,454 a
	Suprotnosmerno	5,642 h	5,834 j

\*Poređenje pomoću Duncan-ovog testa ( $\alpha = 5\%$ ) izvedeno po kolonama a ne po redovima

Za istosmerno obrtanje rotora izmerene su negativne vrednosti vučne sile u granicama od -0,10 kN za prvi redukovani stepen prenosa (1sp) do -2,26 kN za četvrti stepen prenosa, što predstavlja i maksimalnu vrednost koju je bilo moguće izmeriti uz korišćenje postojeće merne opreme (pomoću davača sile i vučnog užeta moguće je meriti samo istežanje, a ne i sabijanje) i ima istu vrednost kao i sila potrebna za sopstveno kretanje traktora. Vučna snaga takođe je imala negativnu vrednost i kretala se u granicama od -0,03 kW za prvi redukovani stepen prenosa do -2,54 kW za četvrti stepen prenosa.

Za suprotnosmerno obrtanje rotora zabeležen je porast vrednosti vučne sile u granicama od 3,39 kN za prvi redukovani stepen prenosa (1sp), do 5,64 kN za četvrti stepen prenosa. U isto vreme snaga na poteznici kretala se u granicama od 0,94 kW za prvi redukovani stepen prenosa do 5,83 kW za četvrti stepen prenosa.

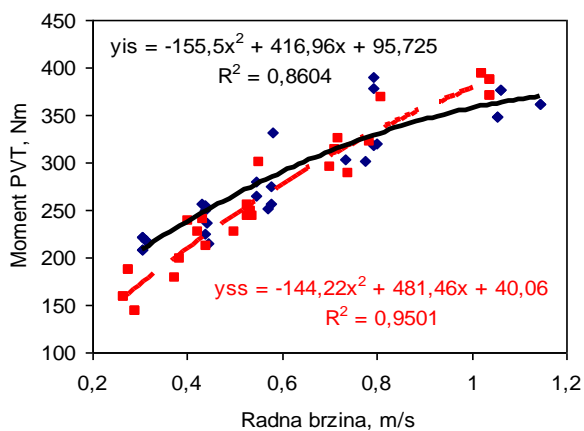
## 2.5.2. Obrtni moment, snaga i specifična energija na priključnom vratilu

Pomoću obrtnog dinamomtra "TD 2" izmeren je obrtni moment ( $M$ ) i broj obrtaja na priključnom vratilu traktora ( $n_{pvt}$ ), na osnovu kojih je izračunata snaga predata preko priključnog vratila ( $P_{pvt}$ ). Radna brzina izmerena je pomoću davača broja obrtaja pogonskog točka i davača pređenog puta. Radna dubina ( $a$ ) izmerena je pomoću profilograma. Stavljanjem u odnos svih uticajnih faktora za obradu zemljišta, izračunata je specifična energija po jedinici zapremine obrađenog zemljišta angažovana na priključnom vratilu ( $E_{pvt}$ ).

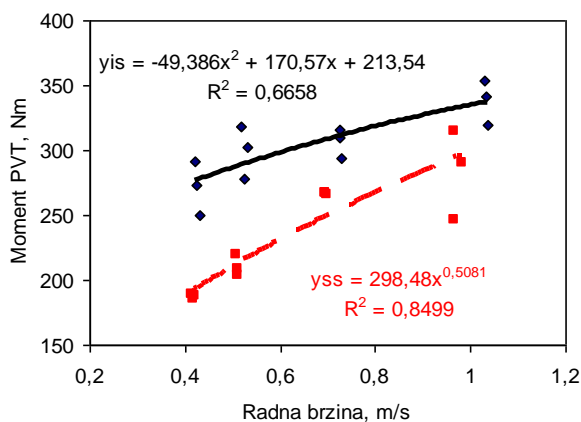
### 2.5.2.1. Obrtni moment na priključnom vratilu traktora

Na slici 2.48, prikazana je zavisnost obrtnog momenta od smera obrtanja rotora sa promenom radne brzine u različitim uslovima stanja parcele, na istom tipu zemljišta.

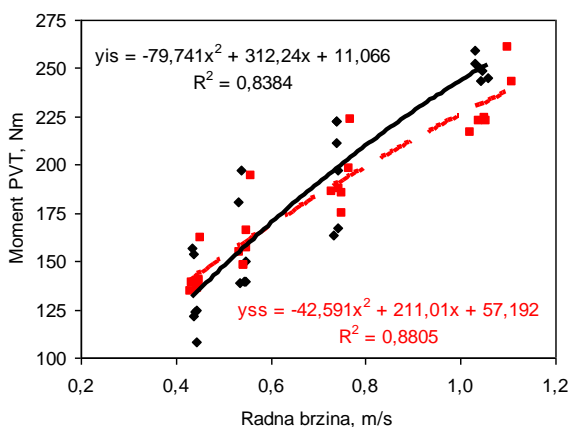




a)



b)



c)

Slika 2.48 Moment na priključnom vratilu u zavisnosti od radne brzine i smera obrtanja rotora u različitim uslovima stanja parcele na istom tipu zemljišta (Ponjičan, 2009c):

a) strnište; b) sojište; c) orano zemljište

Pomoću nelinearne polinomne i stepene regresione analize, izračunate su zavisnosti između obrtnog momenta i radne brzine u zavisnosti od smera obrtanja. Vrednosti koeficijenta determinacije ( $R^2$ ), imale su višu vrednost pri suprotnosmernom obrtanju, što je posledica mirnijeg i ujednačenijeg rada rotacione sitnilice. Najniže vrednosti koeficijenta determinacije (66,58% za istosmerno obrtanje i 86,99% za suprotnosmerno obrtanje), kao i najveće razlike izmerenog obrtnog momenta sa promenom smera obrtanja, izmerene su na sojištu. Najmanje razlike koeficijenta determinacije između smera obrtanja izmerene su na oranom zemljištu.

Na osnovu dijagrama (sl. 2.48), jasno se uočava porast vrednosti izmerenog obrtnog momenta sa povećanjem radne brzine, tj. stepena prenosa, posmatrano za različite uslove ispitivanja. Visoka vrednost intervala varijacije u okviru istog stepena prenosa je posledica nehomogenosti fizičkih i mehaničkih osobina zemljišta i prisustva biljnih ostataka na ispitivanim parcelama, što je posebno došlo do izražaja na sojištu.

U tabeli 2.7, prikazane su srednje vrednosti izmerene za obrtni moment u zavisnosti od stepena prenosa i uslova ispitivanja.

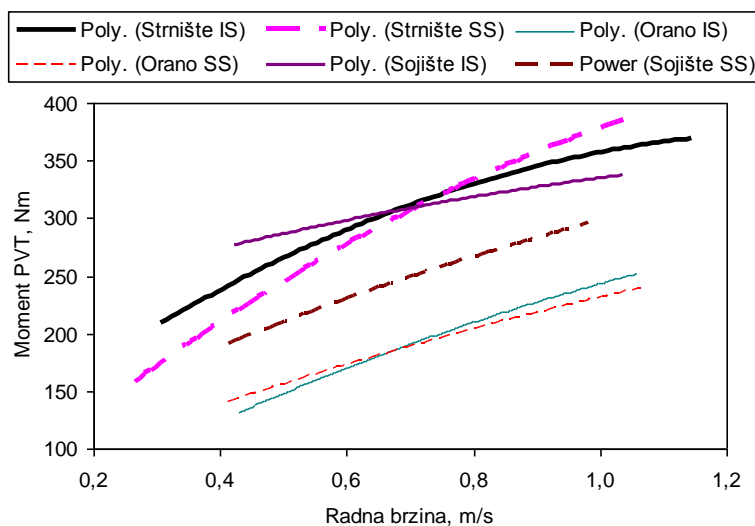
Tabela 2.7 Obrtni moment na priključnom vratilu traktora u zavisnosti od stepena prenosa i smera obrtanja rotora u različitim uslovima stanja parcele na istom tipu zemljišta (Ponjičan, 2009c)

Stepen prenosa	Smer obrtanja rotora	Strnište, Nm	Sojište, Nm	Orano, Nm
1sp	Istosmerno	216,3 a	–	–
	Suprotnosmerno	162,6 d	–	–
1	Istosmerno	239,9 b	271,1 a	131,6 a
	Suprotnosmerno	215,8 a	187,1 c	141,8 a
2	Istosmerno	276,9 e	299,7 b	157,8 b
	Suprotnosmerno	252,7 b	210,7 c	161,2 b
3	Istosmerno	335,3 c	306,2 b	197,4 c
	Suprotnosmerno	318,5 c	266,6 a	192,3 c
4	Istosmerno	362,1 f	338,1 d	249,9 e
	Suprotnosmerno	383,1 g	283,7 ab	231,8 d

\*Poređenje pomoću Duncan-ovog testa ( $\alpha = 5\%$ ) izvedeno po kolonama a ne po redovima

Na osnovu Duncan-ovog testa na pragu značajnosti od 5%, utvrđeno je da su vrednosti izmerene pri istosmernom i suprotnosmernom obrtanju rotora statistički različite na strništu i na sojištu za svaki ispitivani stepen prenosa. Za merenje izvedeno na oranom zemljištu za prva tri stepena prenosa nisu izmerene statistički značajne razlike (tab. 2.7). Na strništu, za istosmerno obrtanje rotora u zavisnosti od stepena prenosa izmerene su više vrednosti za 5,3–33,0% u odnosu na suprotnosmerno obrtanje rotora. Na sojištu, za istosmerno obrtanje rotora izmerene su više vrednosti za 14,9–44,9% u odnosu na suprotnosmerno obrtanje rotora. Na oranom zemljištu, za četvrti stepen prenosa za istosmerno obrtanje izmerena je viša vrednost za 7,8% u odnosu na suprotnosmerno obrtanje rotora.

Izmerene vrednosti za obrtni moment u zavisnosti od uslova ispitivanja, nehomogenosti zemljišta i radne brzine za isti stepen prenosa, tj. radnu brzinu kretale su se u širokom rasponu od 108,3 Nm za prvi stepen prenosa na oranom, do 392,9 Nm za četvrti stepen prenosa na strništu. Na slici 2.49, prikazane su krive obrtnog momenta, određene na osnovu jednačina nelinearne polinomne i stepene regresije.



Slila 2.49 Krive obrtnog momenta u zavisnosti od radne brzine i uslova ispitivanja (Ponjičan, 2009c)

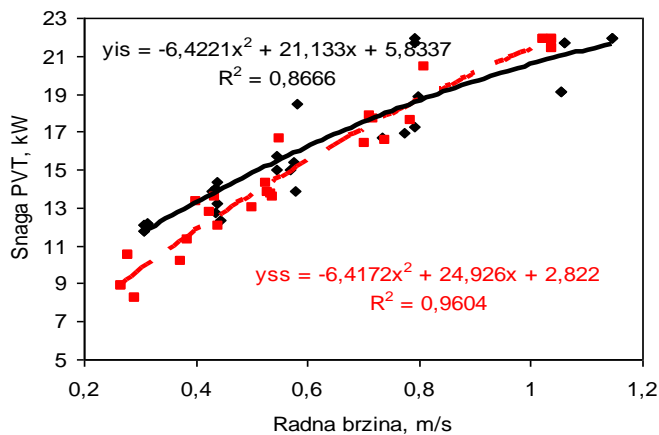
Najveće razlike izmerenih vrednosti obrtnog momenta na priključnom vratilu traktora (sl. 2.49), izmerene su u zavisnosti od uslova ispitivanja (strnište, sojište i orano zemljište) i sa promenom radne brzine. Takođe su utvrđene razlike i sa promenom smerom obrtanja rotora.

Na osnovu F-testa analize varijanse i Duncan-ovog testa na pragu značajnosti od 5%, sa stanovišta angažovanog obrtnog momenta, suprotnosmerno obrtanje rotora povoljnije pri nižim vrednostima radnih brzina i pri lošijim fizičkim i mehaničkim osobinama zemljišta (zapreminska masa zemljišta, koeficijent strukturalnosti, sabijenost zemljišta), kao i pri većem sadržaju biljnih ostataka.

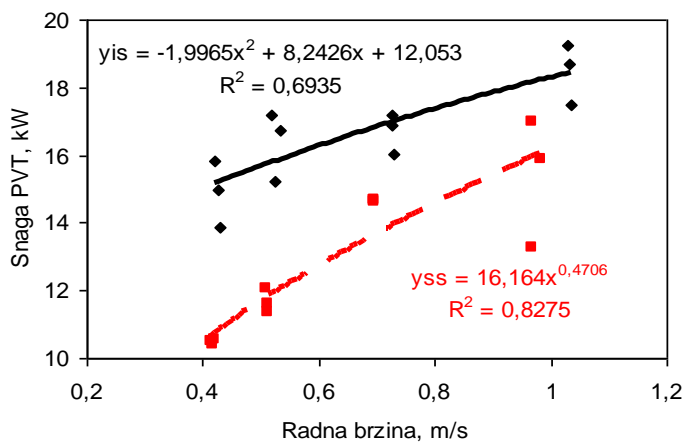
### 2.5.2.2. Snaga na priključnom vratilu traktora

Snaga na priključnom vratilu traktora ( $P_{pvt}$ ) je parametar koji još potpunije ocenjuje uticaj smerom obrtanja rotora rotacione sitnilice. Na vrednost snage predate preko priključnog vratila traktora ( $P_{pvt}$ ) pored obrtnog momenta ( $M$ ) utiče i broj obrtaja priključnog vratila traktora ( $n_{pvt}$ ) koji je promenljiva veličina i koji u toku eksploatacije stalno varira.

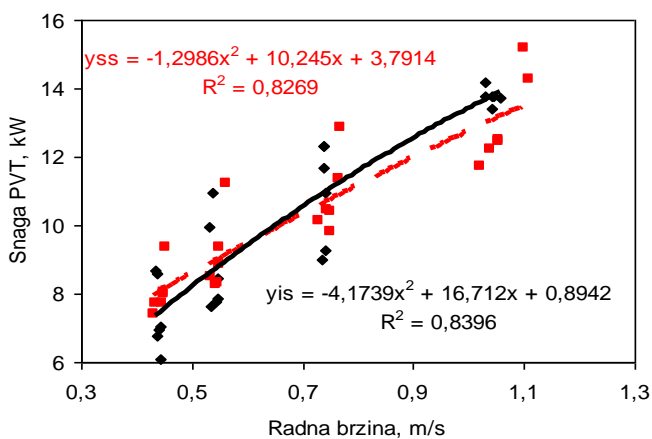
Na slici 2.50 i u tabeli 2.8, prikazane su vrednosti angažovane snage na priključnom vratilu traktora u zavisnosti od radne brzine, tj. stepena prenosa, posmatrano za različite uslove ispitivanja.



a)



b)



c)

Slika 2.50 Snaga na priključnom vratilu traktora u zavisnosti od radne brzine i smera obranja rotora u različitim uslovima stanja parcele na istom tipu zemljišta (Ponjičan, 2009c): a) strnište; b) sojište; c) orano zemljište

Pomoću nelinearne polinomne i stepene regresije određene su matematičke zavisnosti angažovane snage na priključnom vratilu traktora u zavisnosti od radne brzine, kao i stepen determinacije ( $R^2$ ). Vrednosti koeficijenta determinacije  $R^2$ , prilikom analize snage angažovane na priključnom vratilu,  $P_{pvr}$  (sl. 2.50), imaju višu vrednost u odnosu na vrednosti koeficijenta determinacije utvrđene za moment na priključnom vratilu,  $M$  (sl. 2.48), pošto se preko snage predate na priključnom vratilu potpunije sagledava fizički proces obrade zemljišta.

Tabela 2.8 Snaga na priključnom vratilu traktora u zavisnosti od smera obrtanja rotora u različitim uslovima stanja parcele na istom tipu zemljišta (Ponjičan, 2009c)

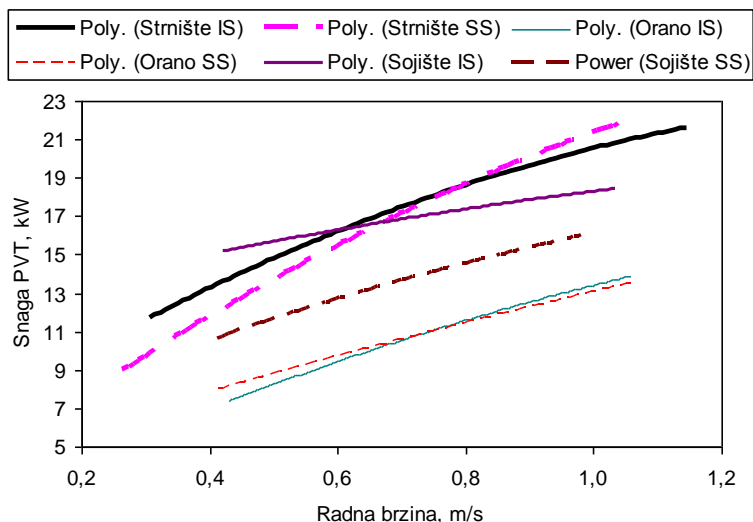
Stepen prenosa	Smer obrtanja rotora	Strnište, kW	Sojište, kW	Orano, kW
1sp	Istosmerno	12,03 a	–	–
	Suprotnosmerno	9,18 d	–	–
1	Istosmerno	13,43 b	14,87 a	7,36 a
	Suprotnosmerno	12,19 a	10,49 b	8,03 ab
2	Istosmerno	15,59 e	16,38 cd	8,77 bc
	Suprotnosmerno	14,16 b	11,67 b	9,09 c
3	Istosmerno	19,05 g	16,70 d	10,93 d
	Suprotnosmerno	17,74 f	14,65 a	10,85 d
4	Istosmerno	20,95 c	18,50 e	13,77 e
	Suprotnosmerno	21,73 c	15,38 ac	13,06 e

\*Poređenje pomoću Duncan-ovog testa ( $\alpha = 5\%$ ) izvedeno po kolonama a ne po redovima

Na osnovu Duncan-ovog testa na pragu značajnosti od 5%, utvrđeno je da su vrednosti snage angažovane na priključnom vratilu traktora pri istosmernom i suprotnosmernom obrtanju rotora statistički različite na strništu i na sojištu za svaki ispitivani stepen prenosa. Za merenje izvedeno na oranom zemljištu nisu izmerene statistički značajne razlike.

Na strništu, pri istosmernom obrtanju rotora u zavisnosti od stepena prenosa izmerena je veća snaga na priključnom vratilu traktora od 7,4 do 30,9% u odnosu na suprotnosmerno obrtanje rotora, dok je na sojištu pri istosmernom obrtanju rotora izmerena veća snaga predata preko priključnog vratila traktora od 14,0 do 41,9% u odnosu na suprotnosmerno obrtanje rotora (tab. 2.8).

Izmerene vrednosti za snagu traktora predata preko priključnog vratila traktora u zavisnosti od uslova ispitivanja, nehomogenosti zemljišta i radne brzine za isti stepen prenosa, tj. radnu brzinu kretale su se u širokom rasponu od 6,11 kW za prvi stepen prenosa na oranom, do 22,55 kW za četvrti stepen prenosa na strništu. Na slici 2.51, prikazane su krive snage na priključnom vratilu, izračunate na osnovu jednačina nelinearne polinomne i stepene regresije.



Slika 2.51 Krive snage na priključnom vratilu traktora u zavisnosti od radne brzine i uslova ispitivanja (*Ponjičan, 2009c*)

Najveće razlike izmerenih vrednosti angažovane snage na priključnom vratilu traktora (sl. 2.51), izmerene su u zavisnosti od uslova ispitivanja (strnište, sojište i orano zemljište) i sa promenom radne brzine. Takođe su utvrđene razlike i sa promenom smeru obrtanja rotora.

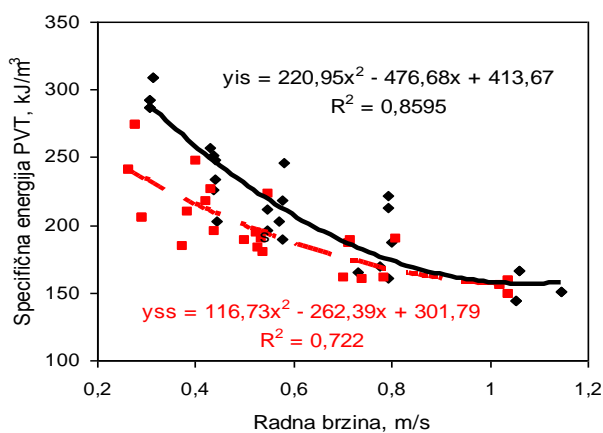
Pri radu rotacione sitnilice sa istosmernim obrtanjem rotora angažuje se veća snaga na priključnom vratilu traktora u odnosu na suprotnosmerno obrtanje rotora na strništu pri nižim vrednostima radnih brzina i na sojištu. Na oranom zemljištu nisu utvrđene statistički značajne razlike.

### 2.5.2.3. Specifična energija angažovana na priključnom vratilu traktora

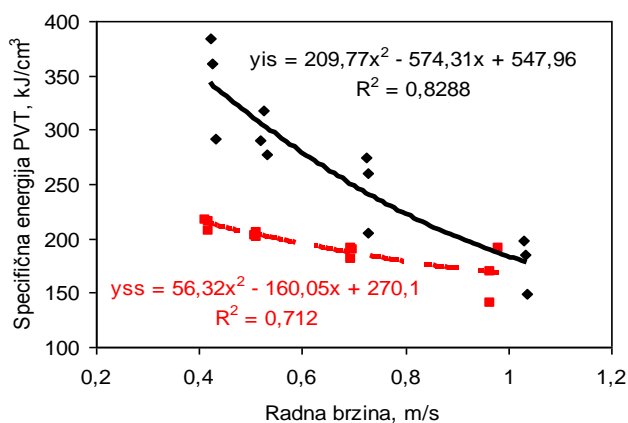
Na osnovu odnosa snage na priključnom vratilu traktora ( $P_{pvt}$ ) i proizvoda radne brzine ( $v_m$ ), radnog zahvata ( $B$ ) i radne dubine ( $a$ ), izračunata je specifična energija po jedinici zapremine obrađenog zemljišta ( $E_{pvt}$ ), angažovana na priključnom vratilu traktora (*Bajkin et al, 2013a*).

Specifična energija angažovana na priključnom vratilu traktora predstavlja najkompleksniji i nepristrasan parametar na osnovu kojeg se može oceniti uticaj smeru obrtanja rotora na količinu angažovane energije po jedinici zapremine obrađenog zemljišta.

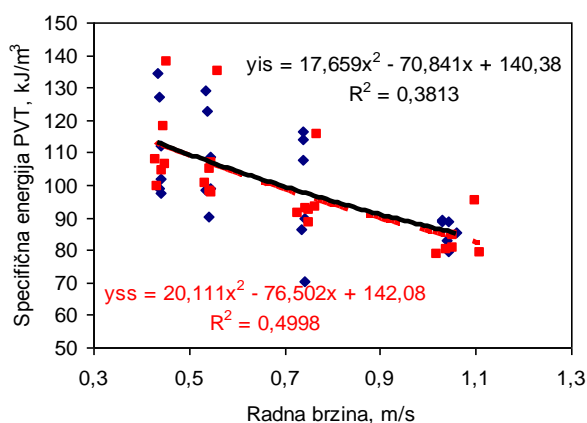
Na slici 2.52 i u tabeli 2.9, prikazane su izračunate vrednosti angažovane specifične energije na priključnom vratilu traktora u zavisnosti od radne brzine, tj. stepena prenosa, posmatrano za različite uslove ispitivanja.



a)



b)



c)

Slika 2.52 Specifična energija angažovana na priključnom vratilu traktora u zavisnosti od radne brzine i smera obranja rotora u različitim uslovima stanja parcele na istom tipu zemljišta (Ponjičan, 2009c):

a) strnište; b) sojište; c) orano zemljište

Pomoću nelinearne polinomne regresije određene su matematičke zavisnosti angažovane specifične energije na priključnom vratilu traktora u zavisnosti od radne brzine, kao i stepen determinacije ( $R^2$ ). I pored velikih razlika u karakteristikama zemljišta zbog kojih su utvrđene niske vrednosti koeficijenta determinacije, na strništu i sojištu jasno se uočava uticaj smera obrtanja rotora.

Na osnovu Duncan-ovog testa na pragu značajnosti od 5%, utvrđeno je da su vrednosti specifične energije angažovane na priključnom vratilu traktora pri istosmernom i suprotnosmernom obrtanju rotora statistički različite na strništu i sojištu (tab. 2.9). Na strništu razlike su se pojavile za prvi redukovan, prvi i drugi stepen prenosa, a na sojištu za prvi, drugi i treći stepen prenosa. Za merenje izvedeno na oranom zemljištu nisu utvrđene statistički značajne razlike.

Tabela 2.9 Specifična energija na priključnom vratilu traktora u zavisnosti od smera obranja rotora u različitim uslovima stanja parcele na istom tipu zemljišta (*Ponjičan, 2009c*)

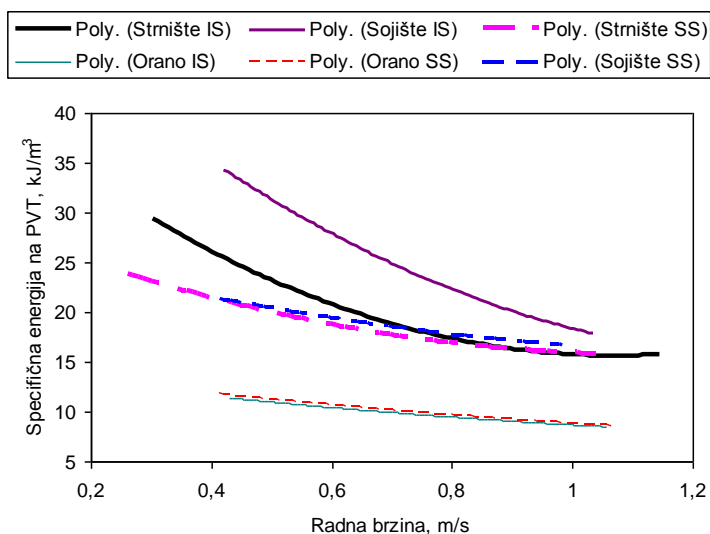
Stepen prenosa	Smer obrtanja rotora	Strnište, kJ/m <sup>3</sup>	Sojište, kJ/m <sup>3</sup>	Orano, kJ/m <sup>3</sup>
1sp	Istosmerno	296,4 f	–	–
	Suprotnosmerno	239,5 e	–	–
1	Istosmerno	236,6 e	345,6 d	112,0 a
	Suprotnosmerno	213,2 d	213,0 ab	112,2 a
2	Istosmerno	210,5 cd	295,4 c	108,0 a
	Suprotnosmerno	192,9 ac	202,8 ab	107,0 a
3	Istosmerno	186,4 a	246,9 bc	97,5 c
	Suprotnosmerno	174,3 a	187,1 a	95,6 c
4	Istosmerno	153,7 b	177,7 a	85,9 b
	Suprotnosmerno	154,0 b	167,0 a	83,0 b

\*Poređenje pomoću Duncan-ovog testa ( $\alpha = 5\%$ ) izvedeno po kolonama a ne po redovima

Na strništu pri istosmernom obrtanju rotora u zavisnosti od stepena prenosa izmerene su više vrednosti za angažovanu specifičnu energiju na priključnom vratilu traktora za 7,0–23,7% u odnosu na suprotnosmerno obrtanje rotora. Na sojištu pri istosmernom obrtanju rotora izmerene su više vrednosti za 32,0–62,2% u odnosu na suprotnosmerno obrtanje rotora rotacione sitnilice.

Izmerene vrednosti za angažovanu specifičnu energiju traktora na priključnom vratilu traktora u zavisnosti od uslova ispitivanja, nehomogenosti zemljišta i radne brzine za isti stepen prenosa, tj. radnu brzinu kretale su se u granicama od 79,21 kJ/m<sup>3</sup> za četvrti stepen prenosa na oranom, do 384,8 kJ/m<sup>3</sup> za prvi stepen prenosa na sojištu. Na slici 2.53, prikazani su polinomi drugog stepena za specifičnu angažovanu energiju na priključnom vratilu traktora izračunati na osnovu jednačina dobijenih nelinearnom polinomnom regresijom.





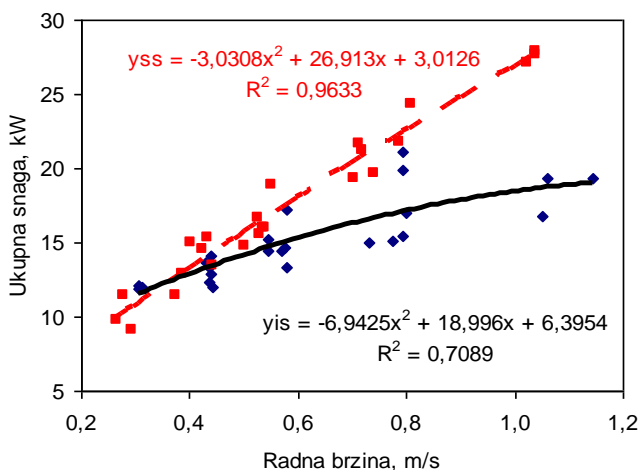
Slika 2.53 Krive specifične energije na priključnom vratilu traktora u zavisnosti od radne brzine i uslova ispitivanja (Ponjičan, 2009c)

Najveće razlike izmerenih vrednosti specifične energije angažovane na priključnom vratilu traktora (sl. 2.53), izmerene su u zavisnosti od uslova ispitivanja (strnište, sojište i orano zemljište) i sa promenom radne brzine. Takođe su utvrđene razlike i sa promenom smeru obrtanja rotora.

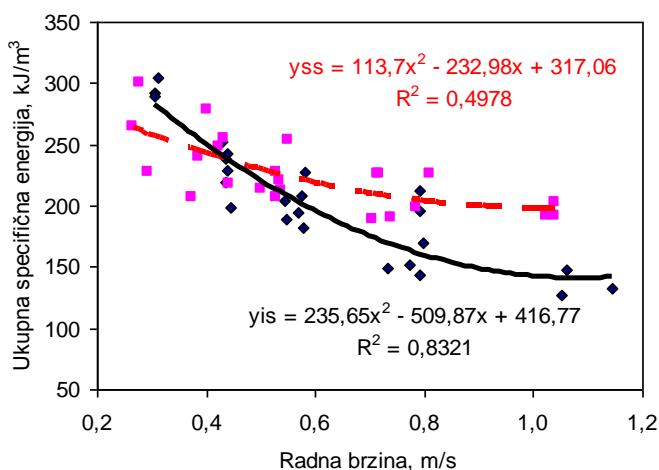
Pri radu rotacione sitnilice sa istosmernim obrtanjem rotora angažuje veća specifična energija na priključnom vratilu traktora u odnosu na suprotnosmerno obrtanje rotora na strništu i na sojištu pri nižim stepenima prenosa i pri težim fizičkim i mehaničkim osobinama zemljišta kao i pri većem sadržaju biljnih ostataka. Na oranom zemljištu nisu utvrđene statistički značajne razlike.

### 2.5.3. Ukupna snaga i specifična energija angažovana za rad rotacione sitnilice na strništu

Na osnovu angažovane snage preko priključnog vratila traktora ( $P_{pvt}$ ) i snage na poteznici ( $P_{pot}$ ) izračunata je ukupna snaga potrebna za rad rotacione sitnilice ( $P_{uk}$ ) na strništu. Na osnovu odnosa ukupne snage ( $P_{uk}$ ) i proizvoda radne brzine ( $v_m$ ), radnog zahvata ( $B$ ) i radne dubine ( $a$ ), izračunata je ukupna specifična energija po jedinici zapremine obrađenog zemljišta ( $E_{uk}$ ), (sl. 2.54).



a)



b)

Slika 2.54 Promena ukupne snage i ukupne specifične energije u zavisnosti od radne brzine i promene smera obrtanja rotora na strništu (Ponjičan, 2009c):  
a) ukupna snaga ( $P_{uk}$ ); b) ukupna specifična energija ( $E_{uk}$ )

Pomoću nelinearne polinomne regresije određene su matematičke zavisnosti ukupne snage i ukupne specifične energije na poteznici u zavisnosti od radne brzine, kao i stepen determinacije ( $R^2$ ). Pomoću  $F$ -testa analize varijanse na pragu značajnosti od 5%, utvrđeno je da postoje statistički značajne razlike između istosmernog i suprotnosmernog obrtanja rotora. Postojanje statistički značajnih razlika je utvrđeno i preko Duncan-ovog testa na pragu značajnosti od 5% (tab. 2.10).

Tabela 2.10 Ukupna angažovana snaga ( $P_{uk}$ ) i ukupna specifična energija ( $E_{uk}$ ) pri radu rotacione sitnilice na strništu\* (Ponjičan, 2009c)

Stepen prenosa	Smer obrtanja rotora	Ukupna snaga, kW	Ukupna specifična energija, kJ/m <sup>3</sup>
1sp	Istosmerno	11,99 a	295,5 g
	Suprotnosmerno	10,13 e	264,0 f
1	Istosmerno	13,07 ab	230,1 bc
	Suprotnosmerno	13,78 bc	241,1 c
2	Istosmerno	14,88 c	200,9 a
	Suprotnosmerno	16,32 d	222,3 bc
3	Istosmerno	17,29 d	170,5 e
	Suprotnosmerno	21,31 g	209,3 ab
4	Istosmerno	18,50 f	135,7 d
	Suprotnosmerno	27,56 h	195,3 a

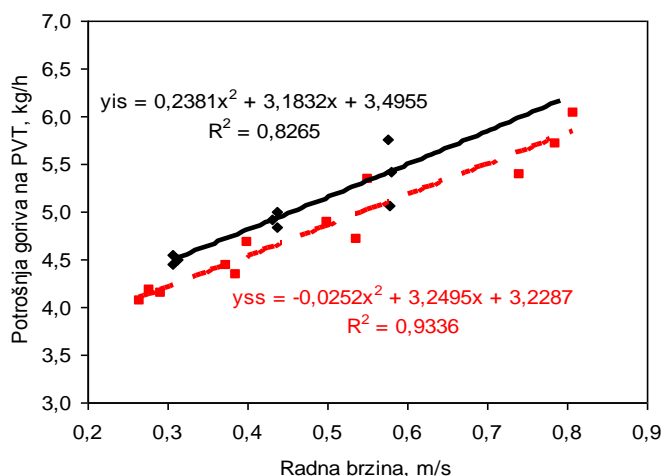
\*Poređenje pomoću Duncan-ovog testa ( $\alpha = 5\%$ ) izvedeno po kolonama a ne po redovima

Za prvi redukovani stepen prenosa (1sp) izmerene su statistički značajno niže vrednosti za ukupnu snagu i ukupnu specifičnu energiju pri suprotnosmernom obrtanju rotora na strništu. Za prvi stepen prenosa nisu registrovane statistički značajne razlike između istosmernog i suprotnosmernog obrtanja rotora. Za drugi, treći i četvrti stepen prenosa utvrđene su statistički značajno niže vrednosti za istosmerno obrtanje rotora pri ispitivanju na strništu usled naglog porasta vučne sile pri suprotnosmernom obrtanju rotora.

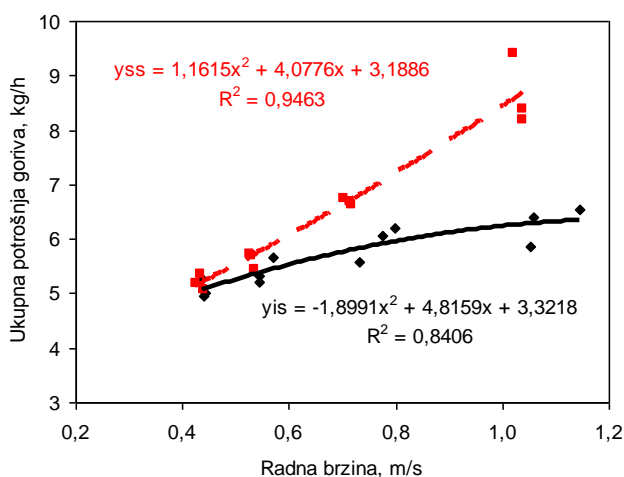
Mašine za formiranje mini grdica u našim uslovima, koriste se u zoni radnih brzina u kojima je ukupna snaga, ukupna specifična energija i ukupna potrošnja goriva pri radu rotacione sitnilice pri suprotnosmernom obrtanju bila niža ili jednaka kao pri istosmernom obrtanju rotora. Korišćenjem rotacione sitnilice pri višim radnim brzinama, pri istosmernom obrtanju rotora, usled manje količine angažovane snage i specifične energije dolazi do pogoršanja ostalih parametara (negativna vučna sila, visina grebenova na dnu brazde, kvalitet usitnjavanja zemljišta, ...), relevantnih za izbor radnih alata i smera obrtanja rotora prilikom konstruisanja mašine.

#### 2.5.4. Časovna potrošnja goriva za pogon priključnog vratila traktora i ukupna časovna potrošnja goriva na strništu

Potrošnja goriva merena je uređajem Flowmetar PLU 116H. Posebno je merena potrošnja goriva koja je utrošena samo za pogon priključnog vratila traktora ( $Q_{pvt}$ ), a posebno ukupna potrošnja goriva ( $Q_{uk}$ ) prilikom rada rotacione sitnilice na strništu. Na potrošnju goriva pored otpora koji se javljaju pri radu ispitivane mašine utiče i izbor pogonske mašine (masa, nominalna snaga, specifična potrošnja goriva, efikasnost prenosnog sistema traktora, tip i stanje pneumatika, ...), stanje ispitivane parcele, ... (Nikolić i dr, 1994). Za rad traktora na mestu pri broju obrtaja motora od  $1.800 \text{ min}^{-1}$ , utrošeno je 2,83 kg/h goriva. Za sopstveno kretanje traktora na strništu u zavisnosti od radne brzine utrošeno je od 3,03 do 3,33 kg/h goriva.



a)



b)

Slika 2.55 Časovna potrošnja goriva u zavisnosti od radne brzine i smera obrtanja rotora na strništu (Ponjičan, 2009c):

- a) časovna potrošnja goriva za pogon priključnog vratila traktora ( $Q_{pvt}$ );
- b) ukupna časovna potrošnja goriva ( $Q_{uk}$ )

Povećanjem radne brzine raste potrošnja goriva s tim da je porast potrošnje goriva više izražen pri suprotnosmernom obrtanju rotora. Pomoću nelinearne polinomne regresije određene su matematičke zavisnosti časovne potrošnje goriva za pogon priključnog vratila traktora i ukupne časovne potrošnje goriva u zavisnosti od radne brzine, kao i stepen determinacije ( $R^2$ ).

Pomoću  $F$ -testa analize varijanse na pragu značajnosti od 5%, utvrđeno je da postoje statistički značajne razlike između istosmernog i suprotnosmernog obrtanja rotora. Postojanje statistički značajnih razlika precizno je određeno preko Duncan-ovog testa na pragu značajnosti od 5% (tab. 2.11).

Tabela 2.11 Potrošnja goriva za pogon priključnog vratila traktora ( $Q_{pvt}$ ) i ukupna potrošnja goriva ( $Q_{uk}$ ) pri radu rotacione sitnilice na strništu\* (Ponjičan, 2009c)

Stepen prenosa	Smer obrtanja rotora	Časovna potrošnja goriva za pogon PVT, kg/h	Ukupna časovna potrošnja goriva, kg/h
1 sp	Istosmerno	4,50 b	–
	Suprotnosmerno	4,13 d	–
1	Istosmerno	4,92 c	5,08 a
	Suprotnosmerno	4,48 b	5,21 ab
2	Istosmerno	5,42 a	5,40 ab
	Suprotnosmerno	4,98 c	5,62 abc
3	Istosmerno	5,46 a	5,94 bcd
	Suprotnosmerno	5,71 a	6,69 d
4	Istosmerno	–	6,26 cd
	Suprotnosmerno	–	8,66 e

\*Poređenje pomoću Duncan-ovog testa ( $\alpha = 5\%$ ) izvedeno po kolonama a ne po redovima

Na osnovu Duncan-ovog testa utvrđeno je da su pri suprotnosmernom obrtanju rotora izmerene statistički značajno niže vrednosti časovne potrošnje goriva za pogon priključnog vratila traktora za sve stepene prenosa (8,84–9,82%) osim trećeg stepena prenosa za koji su izmerene statistički jednake vrednosti u odnosu na istosmerno obrtanje rotora. Između izmerenih vrednosti za ukupnu potrošnju goriva nisu se javile statistički značajne razlike između istosmernog i suprotnosmernog obrtanja rotora za prva tri stepena prenosa. Statistički značajno niža potrošnja goriva na pragu značajnosti od 5% izmerena je za istosmerno obrtanje za četvrti stepen prenosa.

Za časovnu potrošnju goriva izmerene su jednake zavisnosti kao i za snagu i energiju angažovanu na strništu. Posmatranjem ukupne potrošnje goriva za radne brzine u oblasti u kojoj se koriste rotacione sitnilice, a posebno mašine za formiranje gredica (Bajkin, 2006; Ponjičan i dr, 2008a, 2008b, 2010), nisu izmerene statistički značajne razlike između istosmernog i suprotnosmernog obrtanja rotora.

## 2.6. Kvalitet rada rotacione sitnilice u zavisnosti od smera obrtanja i preduseva u cilju zaštite životne sredine, ekologije i energetske efikasnosti

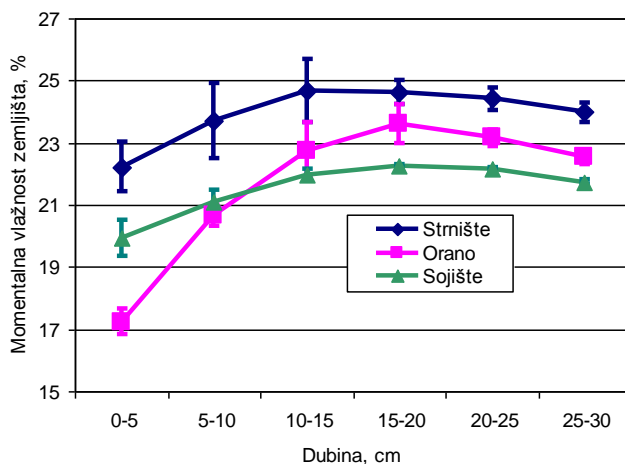
Prilikom određivanja stanja parcele pre ispitivanja i kvaliteta rada rotacione sitnilice, korišćena je metodika i merna oprema akreditovane Laboratorije za zemljište i agroekologiju, Instituta za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad.

Ispitivanje je izvedeno u Kisaču na tri parcele (strnište, sojište i orano zemljište) na zemljištu tipa černozem, na lesu i lesolikim sedimentima, karbonatni, oglejeni, srednje duboki (*Najgebauer i dr, 1971*). Ispitivano zemljište je bilo mehaničkog sastava: krupan pesak 1,20%, sitan pesak 36,88%, prah 43,48% i glina 18,44%. Podela čestica zemljišta je izvedena na osnovu klasifikacije koju daje ISSS-International Society of Soil Science.

Specifična masa ispitivanog zemljišta, iz prosečnog uzorka do dubine 15 cm, iznosi  $SMp = 2,59 \text{ g/cm}^3$ . Prilikom ispitivanja, zemljište je bilo prekriveno većom količinom biljnih ostataka i to u količini  $0,6 \text{ kg/m}^2$  na strništu i  $0,85 \text{ kg/m}^2$  na sojištu.

### 2.6.1. Momentalna vlažnost zemljišta

Momentalna vlažnost zemljišta merena je na svakih 5 cm, do dubine 30 cm (sl. 2.56).



Sl. 2.56 Momentalna vlažnost zemljišta pri različitim uslovima ispitivanja (*Ponjičan, 2009c*)

Zadata vrednost radne dubine rotacione sitnilice bila je 10 cm, a ostvarena radna dubina kretala se od 8,10 na sojištu do 11,79 cm na oranom zemljištu. Momentalna vlažnost na dubini obrade na strništu kretala se od 22,2–23,7%, na sojištu od 19,9–21,1% i na oranom zemljištu od 17,2–20,7%. Optimalne vrednosti vlažnosti zemljišta na černozemu na lesnoj terasi za obradu zemljišta kreću se u intervalu 21,37–27,89% (*Ćirić i dr, 2008*).

Energija potrebna za obradu zemljišta pored mehaničkog sastava zavisi i od momentalne vlažnosti zemljišta. Minimalna količina energije na srednje teškom zemljištu angažuje se pri izvođenju tehnološke operacije oranja pri vrednostima za momentalnu vlažnost zemljišta od 17–23%, i kultiviranju od 17,5–22,5%. Mrvičasta struktura zemljišta se obrazuje pri momentalnoj vlažnosti od 20–21%, a intenzivno usitnjavanje strukturnih agregata

u toku izvođenja predsetvene pripreme zemljišta javlja se pri momentalnoj vlažnosti od 17–18% (Birkás, 2008).

Na osnovu izmerenih vrednosti za momentalnu vlažnost zemljišta prilikom ispitivanja rotacione sitnilice, za obradu zemljišta angažovana je minimalna količina energije i ne dolazi do prekomernog usitnjavanja, degradacije i stvaranja praškaste strukture koja je podložna eroziji vetrom i vodom, uz stvaranje nepovoljnog vodnog i vazdušnog režima u zemljištu (Ponjičan et al, 2011b).

Prema navodima Birkás (2008), u realnim uslovima korišćenja poljoprivrednih mašina dolazi do gaženja zemljišta što se odlikuje promenom fizičkih osobina posebno površinskog sloja zemljišta, koji je bio predmet ispitivanja. Usled kretanja točkova traktora, radnih mašina i transportnih sredstava u vlažnim uslovima dolazi do sabijanja zemljišta do dubine 30 cm pri osovinskom opterećenju od 4 t, a do dubine 50 cm pri osovinskom opterećenju od 10 t. Na suvom zemljištu manja je zapreminska deformacija zemljišta. Usled pojedinačnog obavljanja pojedinih agrotehničkih operacija sa mašinama manjeg radnog zahvata ukupna pogažena površina je 1,5 ha/ha posmatranog zemljišta.

Na tragu točka traktora iz ranijih prohoda u toku izvođenja obrade zemljišta došlo je do gaženja zemljišta (gaženo, G), a jedan deo površine zemljišta ostao je negažen (negaženo, NG). Prilikom poljskih ispitivanja, procentualna zastupljenost gaženog zemljišta (G), s obzirom da je ispitivana mašina malog radnog zahvata (1,3 m) i usled ranijih prohoda, iznosila je  $\approx 50\%$ .

### 2.6.2. Zapreminska masa zemljišta

Stanje ispitivanih parcela i kvalitet rada ispitivane mašine kvantitativno je određen preko zapreminske mase zemljišta izmerene pomoću cilindra po Kopecky-om (Ponjičan et al, 2012a; Petrović et al, 2014). Uzorci su uzimani na svakih 5 cm, do dubine 15 cm.

Na osnovu *F*-testa analize varijanse utvrđene su statistički značajne razlike na pragu značajnosti od 5% za izmerene vrednosti zapreminske mase pre i nakon obrade u zavisnosti od režima rada (radna brzina i smer obrtanja) rotacione sitnilice kao i sa promenom dubine. Testiranje izmerenih vrednosti izvedeno je preko Duncan-ovog testa, tabela 2.12.

Između gaženog i negaženog dela parcele utvrđene su statistički značajne razlike, koje ukazuju na nehomogenost fizičkih osobina zemljišta na ispitivanim parcelama (realno stanje pri radu mašina u eksploatacionim uslovima). Zapreminska masa pre obrade na dubini do 10 cm kretala se od 1,132–1,433 g/cm<sup>3</sup> na strništu, od 1,286–1,442 g/cm<sup>3</sup> na sojištu i 1,043–1,309 g/cm<sup>3</sup> na oranom zemljištu. Vrednost zapreminske mase iznad 1,6 g/cm<sup>3</sup> predstavlja barijeru za rast korenovog sistema kulturnih biljaka, dolazi do ležanja vode na površini zemljišta i do anaerobnih procesa u zemljištu. Iz navedenih razloga potrebno je smanjiti broj tehnoloških operacija prilikom obrade zemljišta (Resulović i Čustović, 2002).

Povećanjem radne dubine obrade zemljišta izmerene su statistički značajno više vrednosti zapreminske mase zemljišta za sve ispitivane tretmane. Izuzetak predstavlja IS 4 na sojištu, i nastalo je kao posledica prekomernog usitnjavanja zemljišta na dubini 5–10 cm.

Tabela 2.12 Zapreminska masa zemljišta u zavisnosti od dubine merenja i smera obranja rotora za različite uslove ispitivanja\* (Ponjičan, 2009c)

Dubina, cm	Merno mesto		Zapreminska masa zemljišta, g/cm <sup>3</sup>		
			Strnište	Sojište	Orano
0–5	Pre obrade	Negaženo NG	1,132 cd	1,286 e	1,043 ab
		Gaženo G	1,384 f	1,329 f	1,225 cd
	Istosmerno	Step. prenosa IS 1	1,036 ab	0,990 a	0,995 a
		Step. prenosa IS 4	1,134 cd	1,117 c	1,038 a
	Suprotno-smerno	Step. prenosa SS 1	1,015 a	1,050 b	1,045 ab
		Step. prenosa SS 4	1,150 d	1,055 b	1,045 ab
5–10	Pre obrade	Negaženo NG	1,216 e	1,306 ef	1,114 b
		Gaženo G	1,433 fg	1,442 g	1,309 ef
	Istosmerno	Step. prenosa IS 1	1,081 bc	1,058 b	1,052 ab
		Step. prenosa IS 4	1,182 de	1,051 b	1,066 ab
	Suprotno-smerno	Step. prenosa SS 1	1,096 c	1,169 d	1,063 ab
		Step. prenosa SS 4	1,186 de	1,151 cd	1,063 ab
10–15	Pre obrade	Negaženo NG	1,418 fg	1,431 g	1,225 c
		Gaženo G	1,459 g	1,535 h	1,340 f
	Istosmerno	Step. prenosa IS 1	1,453 g	1,519 h	1,310 ef
		Step. prenosa IS 4	1,463 g	1,535 h	1,296 de
	Suprotno-smerno	Step. prenosa SS 1	1,423 fg	1,521 h	1,245 cde
		Step. prenosa SS 4	1,419 fg	1,519 h	1,245 cde

\*Poređenje pomoću Duncan-ovog testa ( $\alpha = 5\%$ ) izvedeno po kolonama a ne po redovima

Zapreminska masa na obrađenom zemljištu na dubini do 10 cm kretala se u granicama 1,015–1,186 g/cm<sup>3</sup> na strništu, 0,990–1,151 g/cm<sup>3</sup> na sojištu i 0,995–1,066 g/cm<sup>3</sup> na oranom zemljištu.

Na zemljištu koje je obrađeno rotacionom sitnilicom javljaju se statistički značajno niže vrednosti zapreminske mase u odnosu na gaženo (G) zemljište na sve tri ispitivane parcele i za pojedine režime rada u odnosu na negaženo zemljište (NG) na strništu i sojištu.

Povećanjem radne dubine izmerene su statistički jednake ili statistički značajno više vrednosti zapreminske mase zemljišta na strništu i sojištu (izuzetak predstavlja IS 4 na sojištu). Na oranom zemljištu nisu izmerene statistički značajne razlike zapreminske mase zemljišta na pragu značajnosti od 5% sa povećanjem dubine merenja.

Promenom smera obrtanja na strništu i oranom zemljištu nisu utvrđene statistički značajne razlike. Promenom smera obrtanja na sojištu za istosmerno obrtanje na dubini 0–5 cm utvrđene su statistički značajno više, a na dubini 5–10 cm statistički značajno niže vrednosti zapreminske mase u odnosu na suprotnosmerno obrtanje, što je u saglasnosti sa rezultatima koje navode *Salokhe and Ramalingam (2001)*. Niža vrednost zapreminske mase zemljišta pri istosmernom obrtanju posledica je prekomernog usitnjavanja zemljišta na većoj dubini (*Ponjičan i dr, 2009b*).

### 2.6.3. Koeficijent strukturalnosti zemljišta

Koeficijent strukturalnosti  $k$ , određen je metodom poljskog suvog prosejavanja (*Vučić, 1987*), pomoću sita koja služe za određivanje strukturalnog sastava zemljišta a čija veličina otvora je definisana po metodi Savvinov-a (*Hadžić i dr, 2004*). Koeficijent strukturalnosti  $k$ , definisan je kao maseni odnos između makro strukturalnih agregata (0,25–10 mm) i sume mega (> 10 mm) i mikro (< 0,25 mm) strukturalnih agregata (*Šein et al, 2001; Ponjičan i dr, 2009a*).



Veća vrednost koeficijenta struktornosti predstavlja bolju usitnjenost zemljišta. Ocenjivanje struktornog sastava zemljišta navodi *Birkás (2008)*. Ukoliko je koeficijent struktornosti u granicama:

- > 4, predstavlja najbolji struktorni sastav zemljišta,
- 2,3–4, predstavlja dobar struktorni sastav zemljišta,
- za sadržaj mikro struktornih agregata veći od 50%, struktorni sastav zemljišta je loš.

Na slici 91, prikazane su izmerene vrednosti za koeficijent struktornosti zemljišta, koji je meren na dubini 0–10 cm prilikom ispitivanja rotacione sitnilice i 0–15 cm prilikom određivanja stanja parcele.

Na osnovu *F*-testa analize varijanse utvrđeno je da postoje statistički značajne razlike na pragu značajnosti od 5% za koeficijent struktornosti pre i nakon obrade zemljišta u zavisnosti od režima rada (radna brzina i smer obrtanja) rotacione sitnilice kao i sa promenom dubine. Takođe je značajna i interakcija posmatranih faktora (*A\*B*). Izračunate vrednosti za koeficijent struktornosti zemljišta testirane su pomoću Duncan-ovog testa, tabela 2.13.

Između gaženog (*G*) i negaženog (*NG*) dela parcele, utvrđene su statistički značajne razlike. Povećanjem radne dubine vrednosti koeficijenta struktornosti opadaju. Pre i nakon obrade zemljišta takođe su utvrđene statistički značajne razlike. Koeficijent struktornosti pre obrade zemljišta na dubini do 10 cm imao je vrednosti na strništu (0,43–1,69), na sojištu (0,29–1,55) i na oranom (0,58–1,68). Nakon obrade zemljišta vrednosti koeficijenta struktornosti imale su više vrednosti na strništu (0,68–2,22), na sojištu (0,78–1,84) i na oranom zemljištu (1,16–2,64).

Testiranjem izmerenih vrednosti pre obrade (*G* i *NG*), utvrđeno je da se povećanjem dubine smanjila vrednost koeficijenta struktornosti. Izuzetak je orano negaženo (*NG*) zemljište na dubini 0–5 cm, a posledica je formiranja krupnijih grudvi zemljišta u toku letnjeg oranja na dubinu 20 cm.

Za prvi stepen prenosa, utvrđene su statistički značajno više vrednosti koeficijenta struktornosti na strništu (16,45–36,45%) i na sojištu (16,67–41,67%), u odnosu na četvrti stepen prenosa (tab. 2.13). Izuzetak predstavlja merenje izvedeno na dubini 5–10 cm, pri istosmernom obrtanju na strništu. Promenom radne brzine na oranom zemljištu, statistički značajne razlike koeficijenta struktornosti utvrđene su samo pri suprotnosmernom obrtanju (16,30%).

Uticaj smera obrtanja rotora na kvalitet usitnjavanja zemljišta bio je očigledan i kvalitativno je utvrđen preko koeficijenta struktornosti zemljišta. Pri suprotnosmernom obrtanju rotora, posmatrano za isti stepen prenosa, izmerene su statistički značajno više vrednosti koeficijenta struktornosti u svim uslovima ispitivanja u odnosu na istosmerno obrtanje rotora u granicama: na strništu (12,88–117,65%), sojištu (20,14–135,90%) i na oranom zemljištu (4,82–38,35%). Izuzetak predstavljaju merenja za četvrti stepen prenosa na strništu i za prvi stepen prenosa na oranom zemljištu, oba merena na dubini 5–10 cm.

Tabela 2.13 Koeficijent struktornosti zemljišta u zavisnosti od dubine i smera obrtanja rotora za različite uslove ispitivanja\* (Ponjičan, 2009c)

Dubina, cm	Merno mesto		Koeficijent struktornosti zemljišta					
			Strnište		Sojište		Orano	
0–5	Pre obrade	Negaženo	1,69	ce	1,55	d	0,58	d
		Gaženo	0,88	gh	0,54	b	1,18	a
	Istosmerno	Step. prenosa 1	1,07	dh	0,78	c	1,33	a
		Step. prenosa 4	0,68	fg	0,65	b	1,16	ac
	Suprotno-smerno	Step. prenosa 1	1,81	e	1,84	e	1,84	e
		Step. prenosa 4	1,48	abc	1,30	g	1,54	d
5–10	Pre obrade	Negaženo	1,30	a	0,38	a	1,68	de
		Gaženo	0,43	f	0,29	a	0,99	c
	Istosmerno	Step. prenosa 1	1,58	bce	1,44	d	2,28	b
		Step. prenosa 4	1,32	abd	0,84	c	2,31	b
	Suprotno-smerno	Step. prenosa 1	2,22	i	1,73	e	2,39	b
		Step. prenosa 4	1,49	abc	1,15	f	2,64	g

\*Poređenje pomoću Duncan-ovog testa ( $\alpha = 5\%$ ) izvedeno po kolonama a ne po redovima

Imperativ prilikom obrade zemljišta je dobijanje slojevite obrade zemljišta (Bajkin, 1994; 2006), tj. smanjivanje vrednosti koeficijenta struktornosti povećanjem radne dubine. Pri istosmernom obrtanju rotacione sitnilice, povećanjem dubine došlo je do porasta vrednosti koeficijenta struktornosti na strništu (47,66–94,12%), sojištu (29,23–84,62%) i na oranom zemljištu (71,43–99,14%), usled nepotrebnog i prekomernog usitnjavanja zemljišta. (Vučić, 1987).

Povećanjem dubine pri suprotnosmernom obrtanju na oranom zemljištu javlja se prekomerno usitnjavanje zemljišta za 26,89–71,43%, kao i kod istosmernog obrtanja rotora. Dobar kvalitet rada i formiranje slojevite obrade zemljišta utvrđeni su na sojištu za prvi (5,98%) i četvrti (11,54%) stepen prenosa, kao i za četvrti stepen prenosa na strništu (0,68%), (za teže uslove rada).

Prekomerno usitnjavanje zemljišta i stvaranje praškaste strukture je loše i nepoželjno jer u tom slučaju dolazi do erozije vodom (spiranjem u dublje slojeve i narušavanjem vodno-vazdušnog režima zemljišta oformljenog osnovnom obradom zemljišta) i erozije vetrom (Ponjičan i dr, 2012b; Bajkin i dr, 2013b). Do stvaranja praškaste strukture dolazi prilikom obrade sabijenog zemljišta pri niskim vrednostima relativne vlažnosti zemljišta prilikom usitnjavanja grudvi (Birkás, 2008).

Miljković (1996) navodi da prilikom mehaničke obrade zemljišta konzistencija zemljišta ima presudan značaj, jer se na osnovu nje određuje tzv. "fizička zrelost" zemljišta, pri kojoj se postiže najbolji efekat agregacije uz najmanji vučni otpor i trošak goriva (drobljiv oblik konzistencije). Pod konzistencijom zemljišta podrazumeva se fizičko stanje zemljišta u zavisnosti od momentalne vlažnosti i njegovo ponašanje prema spoljašnjim mehaničkim uticajima. Konzistencija zemljišta zajedno sa strukturnim sastavom zemljišta ima presudan značaj za razvoj korenovog sistema i obradu zemljišta.

Prilikom obrade zemljišta, kada prestaje lepljenje za radne alate mašine i dolazi do rasipanja i stvaranja grudvi, takvo stanje zemljišta se naziva "fizička zrelost", pri čemu je zemljište umereno vlažno ispod donje granice plasičnosti. Granica plastičnosti zavisi od tipa zemljišta i njegovog sadržaja gline, organske materije i vrste absorbovanog jona (Resulović i Čustović, 2002).

#### 2.6.4. Sabijenost zemljišta

Sabijanje zemljišta zavisi od tipa zemljišta, njegovih fizičkih osobina, strukture i momentalne vlažnosti zemljišta (*Savin i dr, 2011*). Sabijenost zemljišta izmerena je pomoću elektronskog ručno-prenosivog penetrometra sa korakom očitavanja 3,5 cm. Posebno je izmerena sabijenost zemljišta na negaženom (NG) i na gaženom (G) zemljištu, čija je srednja vrednost predstavljena linijom (PO) (pre obrade). Merenje sabijenosti zemljišta za slučaj istosmernog (IS) i suprotnosmernog (SS) obrtanja rotora nakon obrade mereno je u odnosu na površinu obrađenog zemljišta koja je uzdignuta u odnosu na neobrađeno zemljište, te se na taj način može odrediti debljina sloja obrađenog zemljišta.

Sabijenost i vlažnost zemljišta imaju direktno proporcionalnu zavisnost. Brojčane vrednosti za ocenu stanja sabijenosti zemljišta navodi *Birkás (2008)*:

- 10–25 daN/cm<sup>2</sup>, optimalna sabijenost zemljišta,
- 25–30 daN/cm<sup>2</sup>, umereno sabijeno zemljište i
- >30–50 daN/cm<sup>2</sup>, visoko sabijeno zemljište.

Na osnovu *F*-testa analize varijanse na pragu značajnosti od 5%, za izmerene vrednosti sabijenosti zemljišta može se konstatovati da su se pre i nakon obrade kao i promenom režima rada (radna brzina, smer obrtanja), i sa promenom dubine pojavile statistički značajne razlike između gaženog i negaženog zemljišta, kao i između neobrađenog i obrađenog zemljišta. Povećanjem dubine utvrđene su statistički značajne razlike. Promenom smera obrtanja nisu utvrđene statistički značajne razlike.

Prilikom utvrđivanja stanja ispitivanog zemljišta pre obrade, na dubini obrade do 10,5 cm, izmerene su maksimalne vrednosti za sabijenost zemljišta:

- za strnište na negaženom 5,42, a na gaženom 9,37 daN/cm<sup>2</sup>,
- za sojište na negaženom 14,19, a na gaženom 15,74 daN/cm<sup>2</sup> i
- na oranom zemljištu na negaženom 4,41, a na gaženom 14,86 daN/cm<sup>2</sup>.

Na osnovu Duncan-ovog testa (tab. 2.14), utvrđeno je da na dubini do 7 cm ne postoje statistički značajne razlike pre i nakon obrade. Na dubini od 7 do 17,5 cm izmerene su statistički značajno niže vrednosti nakon obrade na strništu (0–4,59 daN/cm<sup>2</sup>), na sojištu (0–5,93 daN/cm<sup>2</sup>) i oranom zemljištu (0,39–4,41 daN/cm<sup>2</sup>) u odnosu na vrednosti izmerene pre obrade na strništu (6,77–7,31 daN/cm<sup>2</sup>), sojištu (7,80–14,93 daN/cm<sup>2</sup>) i oranom zemljištu (7,51–10,91 daN/cm<sup>2</sup>). Na dubini iznad 17,5 cm pre i nakon obrade takode nisu registrovane statistički značajne razlike.

Tabela 2.14 Sabijenost zemljišta u zavisnosti od dubine merenja i smera obrtanja rotora za različite uslove ispitivanja\* (Ponjičan, 2009c)

Dubina, cm	Merno mesto	Strnište, daN/cm <sup>2</sup>	Sojište, daN/cm <sup>2</sup>	Orano, daN/cm <sup>2</sup>
0–3,5	Pre obrade	0,00 ab	0,00 a	0,00 a
	Istosmerno	0,00 ab	0,00 a	0,00 a
	Suprotnosmerno	0,00 a	0,00 a	0,00 a
3,5–7	Pre obrade	0,62 ab	1,52 a	1,70 ab
	Istosmerno	0,00 ab	0,00 a	0,12 a
	Suprotnosmerno	0,00 ab	0,00 a	0,27 a
7–10,5	Pre obrade	6,77 d	7,80 bc	7,51 d
	Istosmerno	0,00 ab	0,05 a	0,39 a
	Suprotnosmerno	0,00 a	0,00 a	1,08 a
10,5–14	Pre obrade	7,31 d	12,13 de	9,64 def
	Istosmerno	0,31 ab	1,40 a	0,46 a
	Suprotnosmerno	1,21 ab	0,90 a	1,74 ab
14–17,5	Pre obrade	6,81 d	14,93 e	10,91 f
	Istosmerno	2,24 b	5,93 b	1,04 a
	Suprotnosmerno	4,59 c	5,77 b	4,41 c

\*Poređenje pomoću Duncan-ovog testa ( $\alpha = 5\%$ ) izvedeno po kolonama a ne po redovima

Izmerene vrednosti za sabijenost zemljišta na gaženom zemljištu su u granicama koje se navode u literaturi. Prilikom obrade zemljišta tipa černoze, traktorima kategorije 8–40 kN, prosečna sabijenost neobrađenog zemljišta iza točka traktora na dubini 7–30 cm kretala se u granicama 13,81–18,42 daN/cm<sup>2</sup> (Savin, 1999).

Sabijen sloj zemljišta tzv. pluzni don javlja se na dubini oranja (20–36 cm i obično je debljine 2–10 cm). Površinski deo zemljišta se sabija i prilikom kretanja točkova traktora i priključnih mašina po zemljištu. Prilikom kretanja i klizanja radnih organa za površinsku pripremu takođe se javlja sabijeniji deo zemljišta na dubini obrade (6–18) cm (Birkás, 2008).

Promenom smera obrtanja na dubini do 14 cm izmerene su statistički jednake vrednosti između istosmernog i suprotnosmernog obrtanja rotora.

## 2.7. Definisanje optimalnog režima rada rotacione sitnilice u zavisnosti od preduseva u cilju zaštite životne sredine, ekologije i energetske efikasnosti

### 2.7.1. Izbor optimalnih kinematičkih parametara rotacione sitnilice i geometrijskih parametara odrezane plastice u zavisnosti od smera obrtanja rotora

Povećanjem radne brzine utvrđeno je do naglo povećanje vrednosti visine grebenova u odnosu na zadatu radnu dubinu pri istosmernom obrtanju od 0,83 do 18,39%, a pri suprotnosmernom obrtanju od 0,62 do 6,15%. Visina grebenova pri suprotnosmernom obrtanju, u zavisnosti od radne brzine bila je niža 1,34–2,99 puta. Režim rada rotacione sitnilice sa suprotosmernim obrtanjem predstavlja povoljnije tehničko rešenje sa stanovišta visine grebenova,  $h_g$  (Matjašin et al, 1988; Celik and Altikat, 2008; Radomirović i dr, 2006a, 2006b, 2008).

Dužina trajanja vremenskog intervala rezanja  $\Delta t$  ima veću vrednost pri istosmernom obrtanju u odnosu na suprotnosmerno obrtanje u granicama od 1,10 do 12,48%. Pri suprotnosmernom obrtanju javlja se veća brzina rezanja  $v_a$  na mestu odsecanja maksimalne debljine plastice za 10,29–70,08%. Povećanjem radne brzine, dužina puta rezanja  $S$  pri istosmernom obrtanju se smanjuje, a pri suprotnosmernom obrtanju se povećava. Pri suprotnosmernom obrtanju izračunata je veća dužina puta rezanja 12,38–42,08% u odnosu na istosmerno obrtanje.

Maksimalna debljina plastice  $\delta_{max}$  povećava se povećanjem radne brzine za oba smera obrtanja. Pri istosmernom obrtanju maksimalna debljina plastice ima veće vrednosti od 8,95 do 22,82% u odnosu na suprotnosmerno obrtanje. Pri suprotnosmernom obrtanju javlja se veća brzina rezanja  $v_a$ , veća dužina puta rezanja  $S$  i manja maksimalna debljina plastice  $\delta_{max}$ , usled čega bi trebalo da dođe do intenzivnijeg usitnjavanja zemljišta i do povećanja angažovane energije za obradu zemljišta (Matjašin et al, 1988; Páltik et al, 2003). Usled promene u smeru obrtanja rotora promenjen je princip rezanja a time i otpor obrade zemljišta i kvalitet usitnjavanja zemljišta (Salokhe et al, 1993; Shibusawa, 1993; Salokhe and Ramalingam, 2001; Kataoka and Shibusawa, 2002; Radomirović i dr, 2009). Radi sveobuhvatnog sagledavanja uticaja smera obrtanja rotora, potrebno je analizirati energetske parametre i kvalitet rada rotacione sitnilice.

### 2.7.2. Energetski bilans rotacione sitnilice u zavisnosti od smera obrtanja rotora

Izmerene vrednosti radne brzine pri istosmernom obrtanju imaju veću vrednost od 0–4% u odnosu na suprotnosmerno obrtanje, zbog klizanja pogonskih točkova do kojeg dolazi pri suprotnosmernom obrtanju rotora. Prilikom ispitivanja utvrđen je mali uticaj klizanja zato što je rotaciona sitnilica agregatirana sa traktorom veće mase i sa rezervom snage kako bi ispitivanje moglo da se izvede u širokom dijapazonu radnih brzina.

Radna dubina merena je u zavisnosti od radne brzine, promene smera obrtanja i stanja zemljišta. Pri suprotnosmernom obrtanju izmerene su više vrednosti radne dubine u odnosu na istosmerno obrtanje na strništu 6,68 %, na sojištu 4,79 % i na oranom zemljištu 2 %, što je posledica smera kretanja noža prilikom odsecanja plastice (Kataoka and Shibusawa, 2002). Sa rotacionom sitnilicom sa istosmernim obrtanjem ne postoji mogućnost postizanja podešene radne dubine na tvrdom, sabijenom zemljištu (Páltik et al, 2003; Đukić, 1983).

Za istosmerno obrtanje rotora izmerene su negativne vrednosti vučne snage u od -0,03 kW za prvi redukovani stepen prenosa do -2,54 kW za četvrti stepen prenosa. Za suprotnosmerno obrtanje rotora zabeležen je porast vrednosti vučne snage na poteznici kretala se u granicama od 0,94 kW za prvi redukovani stepen prenosa do 5,83 kW za četvrti stepen prenosa. Pri istosmernom obrtanju (tab. 2.15) izmerena je negativna vrednost snage angažovane na poteznici, što je u skladu sa rezultatima koje navode (Đukić, 1983; Marković, 1991a; Đević, 1992).

Za snagu predatu preko priključnog vratila traktora ( $P_{pvt}$ ) na strništu za istosmerno obrtanje rotora u zavisnosti od stepena prenosa izmerene su više vrednosti od 7,4 do 30,9% u odnosu na suprotnosmerno obrtanje rotora. Na sojištu za istosmerno obrtanje rotora izmerene su više vrednosti od 14,0 do 41,9% u odnosu na suprotnosmerno obrtanje rotora.

Za angažovanu specifičnu energiju na priključnom vratilu traktora ( $E_{pvt}$ ), na strništu za istosmerno obrtanje rotora u zavisnosti od stepena prenosa izmerene su više vrednosti od 7,0 do 23,7% u odnosu na suprotnosmerno obrtanje rotora. Na sojištu za istosmerno obrtanje rotora izmerene su više vrednosti od 32,0 do 62,2% u odnosu na suprotnosmerno obrtanje rotora. Na oranom zemljištu nisu registrovane statistički značajne razlike.

Izmerena časovna potrošnja goriva ( $Q_{pvt}$ ) za pogon rotacione sitnilice preko priključnog vratila traktora, pri suprotnosmernom obrtanju bila je manja od 8,84 do 9,82%, ili jednaka u zavisnosti od stepena prenosa. Posmatranjem ukupne potrošnje goriva ( $Q_{uk}$ ) za radne brzine u oblasti u kojoj se koriste rotacione sitnilice, a posebno mašine za formiranje gredica, nisu izmerene statistički značajne razlike između istosmernog i suprotnosmernog obrtanja rotora.

Tabela 2.15 Energetski bilans rotacione sitnilice u zavisnosti od smera obrtanja rotora (Ponjičan, 2009c)

Parametri		$v_m$ , m/s	$a$ , cm	$P_{pot}$ , kW	$P_{pvt}$ , kW	$P_{uk}$ , kW	$E_{pvt}$ , kJ/m <sup>3</sup>	$E_{uk}$ , kJ/m <sup>3</sup>	$Q_{pvt}$ , kg/h	$Q_{uk}$ , kg/h
Strnište	Isto- smerno	0,31	10,1	-0,03	12,03	11,99	296,4	295,5	4,50	–
		0,44	10,0	-0,37	13,43	13,07	236,6	230,1	4,92	5,08
		0,57	10,1	-0,71	15,59	14,88	210,5	200,9	5,42	5,40
		0,78	10,0	-1,62	18,91	17,29	186,4	170,5	5,46	5,94
		1,09	9,7	-2,45	20,95	18,50	153,7	135,7	–	6,26
	Suprotno- smerno	0,28	10,6	0,94	9,18	10,13	239,5	264,0	4,13	–
		0,41	10,7	1,59	12,19	13,78	213,2	241,1	4,48	5,21
		0,53	10,7	2,16	14,16	16,32	192,9	222,3	4,98	5,62
		0,74	10,5	3,57	17,74	21,31	174,3	209,3	5,71	6,69
		1,03	10,5	5,83	21,73	27,56	154,0	195,3	–	8,66
Sojište	Isto- smerno	0,43	7,8	–	14,87	–	345,6	–	–	–
		0,53	8,2	–	16,38	–	295,4	–	–	–
		0,73	7,3	–	16,70	–	246,9	–	–	–
		1,03	7,8	–	18,50	–	177,7	–	–	–
	Suprotno- smerno	0,42	9,1	–	10,49	–	213,0	–	–	–
		0,51	8,7	–	11,67	–	202,8	–	–	–
		0,70	8,7	–	14,65	–	187,1	–	–	–
		0,97	7,3	–	15,38	–	167,0	–	–	–
Orano zemljište	Isto- smerno	0,44	11,5	–	7,36	–	112,0	–	–	–
		0,54	11,6	–	8,77	–	108,0	–	–	–
		0,74	11,8	–	10,93	–	97,5	–	–	–
		1,04	11,9	–	13,77	–	85,9	–	–	–
	Suprotno- smerno	0,44	12,5	–	8,03	–	112,2	–	–	–
		0,55	12,0	–	9,09	–	107,0	–	–	–
		0,75	11,6	–	10,85	–	95,6	–	–	–
		1,06	11,4	–	13,06	–	83,0	–	–	–

Na osnovu F-testa analize varijanse i Dankan-ovog testa na pragu značajnosti od 5% dokazano je da se pri radu rotacione sitnilice sa istosmernim obrtanjem rotora angažuje veći obrtni moment ( $M$ ), veća snaga ( $P_{pvt}$ ), veća specifična energija ( $E_{pvt}$ ) i veća količina goriva ( $Q_{pvt}$ ) za pogon radnih alata rotacione sitnilice preko priključnog vratila traktora, u odnosu na suprotnosmerno obrtanje rotora. Navedene razlike su bile više izražene na strništu i na sojištu pri nižim stepenima prenosa i pri nepovoljnijim fizičkim i mehaničkim osobinama zemljišta, kao i pri većem sadržaju biljnih ostataka. Na oranom zemljištu nisu utvrđene statistički značajne razlike.

Povećanjem radne brzine raste časovna potrošnja goriva ( $Q_{pvt}$  i  $Q_{uk}$ ) i angažovana snaga ( $P_{pvt}$  i  $P_{uk}$ ) a smanjuje se specifična angažovana energija ( $E_{pvt}$  i  $E_{uk}$ ), tabela 2.15, što je saglasno rezultatima koje navode (Matjašin et al, 1988; Páltik et al, 2003; Kheiralla et al, 2004). Sa povećanjem radne brzine, zapremina obrađenog zemljišta brže raste u odnosu na angažovanu snagu, tako da specifična angažovana energija predata preko priključnog vratila ( $E_{pvt}$ ) opada (Salokhe and Ramalingam, 2001, 2003).

Za prvi redukovani stepen prenosa (1sp) izmerene su statistički značajno niže vrednosti za ukupnu snagu ( $P_{uk}$ ), ukupnu specifičnu energiju ( $E_{uk}$ ) i ukupnu potrošnju goriva ( $Q_{uk}$ ) pri

suprotnosmernom obrtanju rotora. Za prvi stepen prenosa nisu registrovane statistički značajne razlike između istosmernog i suprotnosmernog obrtanja rotora. Za drugi, treći i četvrti stepen prenosa utvrđene su statistički niže vrednosti za istosmerno obrtanje rotora za ispitivanje izvedeno na strništu usled naglog porasta vučne sile pri suprotnosmernom obrtanju rotora.

Mašine za formiranje mini gredica u našim uslovima, koriste se u zoni radnih brzina u kojima je ukupna snaga, ukupna specifična energija i ukupna potrošnja goriva pri radu rotacione sitnilice pri suprotnosmernom obrtanju bila niža ili jednaka istosmernom obrtanju rotora.

Korišćenjem rotacione sitnilice pri višim radnim brzinama, pri istosmernom obrtanju rotora, usled manje količine angažovane snage i specifične energije dolazi do pogoršanja ostalih parametara (negativna vučna sila, visina grebenova na dnu brazde, kvalitet usitnjavanja zemljišta,...), relevantnih za izbor radnih alata i smera obrtanja rotora prilikom konstruisanja mašine. Dalja istraživanja bi trebalo usmeriti na analizu ukupne angažovane snage i energije pri radu rotacione sitnilice u zavisnosti od smera obrtanja rotora u drugim uslovima ispitivanja i na različitim tipovima zemljišta, kao i sa drugim oblikom radnih alata (noževa).



## 2.8. Literatura

1. Bajkin A. 1994. Mehanizacija u povrtarstvu. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 335.
2. Bajkin A. 2006. Primena rotofreze u savremenoj proizvodnji povrća. *Savremeni povrtar*, 18: 20-21.
3. Bajkin A, Radojčin M, Ponjičan O, Radomirović D. 2013a. Energy aspects of the rotary tiller rotor rotation direction in soil tillage. *Journal on processing and energy in agriculture*, 17(3): 115-119.
4. Bajkin A, Ponjičan O, Dimitrijević Aleksandra, Zoranović M, Radojčin M. 2013b. Uticaj smera obrtanja rotora rotacione sitnilice na ekološke aspekte obrade zemljišta. *Traktori i pogonske mašine*, 18(4): 7-15.
5. Birkás Márta. 2008. Erviromentally-sound adaptable tillage, *Akadémiai Kiadó*, 351.
6. Celik A, Altikat S. 2008. Geometrical Analysis of the Effect of Rotary Tiller Blade Path on the Distribution of Soil Slice Size. Technical Note, *Applied Engineering in Agriculture*, 24(4): 409-413.
7. Ćirić V, Nešić Ljiljana, Belić M. 2008. Plastičnost i lepljivost u funkciji određivanja optimalne vlažnosti za obradu černozema lesne terase. *Letopis naučnih radova* 32(1); 43-50.
8. Đević M, Novaković D, Veličković M, Mileusnić Z. 2001. Energetski pokazatelji rada traktorsko-mašinskih agregata za obradu zemljišta u visokointenzivnim voćnjacima. *Jugoslovensko voćarstvo*, 35(3-4), 157-165.
9. Đukić N. 1983. Energetski bilans agregata za obradu višegodišnjih zasada. Doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 176.
10. Hadžić V, Belić M, Nešić Ljiljana. 2004. Praktikum iz pedologije. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Departman za ratarstvo i povrtarstvo, 79.
11. Hendrick J.G, Gill W.R. 1971. Rottary-tiller design parameters, Part I, Direction of rotation. *Trans. ASAE* 14, 669-674.
12. Kataoka T, Onodera K, Sibusawa S, Ota Y. 1995. A model for backward throwing of sliced soil clods by a reverse-rotational rotary tiller using rigid body kinematics. In *Proceedings of the 4th Asia-Pacific Conference if the ISTVS*, Okinawa, Japan. 20-22 November, 1995, 339-346.
13. Kataoka T, Sibusawa S. 2002. Soil-blade dynamics in reverse-rotational rotary tillage. *Journal of Terremechanics* 39: 95-113.
14. Kheiralla F, Yahya Azmi, Zohadie M, Ishak W. 2004. Modelling of power and energy requirements for tillage implements operating in Serdang sandy clay loam, Malaysia. *Soil & Tillage Research*, 78: 21-34.
15. Kühn, G. 1984. *Maschinen und Anlagen für die Pflanzenproduktion. Band 1: Grundlagen, Querschnittsgebiete.* Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin 1. Aufl. Kartoneinband 256 S.
16. Lee K.S, Park S.H, Park W.Y, Lee C.S. 2003. Strip tillage characteristic of rotary tiller blades for use in a dryland direct rice seeder. *Soil & Tillage Research*, 71: 25-32.
17. Marković D. 1991a. Optimizacija tehnologija i poljoprivrednih mašina za obradu zemljišta sa aktivnim radnim organima. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd.
18. Marković D. 1991b. Optimizacija mašina za obradu zemljišta sa aktivnim radnim organima. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 17(1-2): 57-62.

19. Marković D. 1992a. Analiza oblika aktivnih radnih organa rotacionih mašina za obradu zemljišta. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 18(3-4): 57-62.
20. Marković D. 1992b. Optimizacija rada mašina za obradu zemljišta sa aktivnim radnim organima. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 18(1-2): 7-12.
21. Marković D, Mančić J, Đekić I. 1992c. Kompjutersko projektovanje i optimizacija aktivnih radnih organa za obradu zemljišta. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 20(3): 114-118.
22. Marković D, Mladenović N, Ercegović Đ. 1994a. Numerička analiza u modeliranju integrisanih sistema obrade zemljišta i setve. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 20(1-2): 30-34.
23. Marković D, Mančić J, Đekić I. 1994b. Kompjutersko projektovanje i optimizacija aktivnih radnih organa za obradu zemljišta. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 20(3): 114-118.
24. Marković D, Veljić M, Mitrović Z. 1995. Energetska analiza tehničkih sistema u obradi zemljišta. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 21(3): 121-128.
25. Матяшин Ю. И, Гринчук И. М, Егоров, Г. М. 1988. Расчет и проектирование потационных машин, Агропромиздат, Москва, 176.
26. Meši M, Malinović N, Anđelković S, Kostić M. 2009. Proizvodnja šećerne repe u konzervacijskoj obradi zemljišta. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 35(1-2); 95-102.
27. Miltenović V. 2001. Mašinski elementi: oblici, proračun, primena, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, 572.
28. Miljković N. 1996. Osnovi predologije. Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, 274.
29. Nejgebauer V, Živković B, Tanasijević Đ, Miljković N. 1971. Pedološka karta Vojvodine, razmera 1:50.000. Institut za poljoprivredna istraživanja, Novi Sad.
30. Nikolić R, Počuča P, Furman T, Gligorić Radojka, Oparnica S, Ivančević S. 1994. Vučne karakteristike poljoprivrednih traktora, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 199.
31. Nimayara T, Thampotpong S, Rangdang C. 1994. Laboratory investigation of design parameters of rotary tiller. In *Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference and Exhibition*, Bangkok, Thailand, 206-214.
32. Oljača M, Raičević M. 1999. Mehanizacija u melioracijama zemljišta. Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Beograd, 463.
33. Páltik J, Findura P, Polc M. 2003. Stroje pre rastlinnú výrobu, obrábanie pôdy, sejba. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 241.
34. Ponjičan O, Bajkin A, Nešić Ljiljana 2008a. Uticaj različitih konstrukcija mašina za formiranje gredica na strukturu zemljišta kod proizvodnje mrkve. *Časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi*, 12 (3): 164-168.
35. Ponjičan O, Bajkin A, Vasin J. 2008b. Kvalitet rada mašine za formiranje gredica. *Traktori i pogonske mašine*, 13(2): 41- 47.
36. Ponjičan O, Bajkin A, Somer D. 2009a. Uticaj predsetvene pripreme zemljišta na agrofizičke osobine i prinos korena mrkve. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 35 (1-2): 33-41.
37. Ponjičan O, Bajkin A, Nešić Ljiljana, Belić M, Vasin J. 2009b. Uticaj obrade zemljišta rotacionom sitnilicom na promenu zapremine mase zemljišta. *Letopis naučnih radova*, 33(1): 175-183.
38. Ponjičan O. 2009c. Analiza parametara mašine za formiranje mini gredica pri proizvodnji korenastog povrća. Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 186.

39. Ponjičan O, Bajkin A, Somer D, Jovanović B. 2010. Analiza eksploatacionih parametara tehnologije proizvodnje mrkve na mini gredicama. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 36(1): 53-67.
40. Ponjičan O, Bajkin A, Dimitrijević A, Savin L, Tomić M, Simikić M, Dedović N, Zoranović M. 2011a. The effects of working parameters and tillage quality on rotary tiller specific work requirement. *African Journal of Agricultural Research* 6(31): 6513-6524.
41. Ponjičan O, Bajkin A, Matić-Kekić S, Dedović N. 2011b. Influence of the rotary tiller construction on tillage quality and soil degradation. *Proceedings of the 22<sup>nd</sup> International symposium "Safe food production"*, Trebinje, Bosnia and Herzegovina, 19-25 June, 2011. 449-451.
42. Ponjičan O, Bajkin A, Jaćimović G, Tomić M, Savin L, Dedović N, Simikić M. 2012a. Tillage quality affecting physical characteristics, number of plants and carrot root yield under flat and ridge cultivation. *Journal of Food, Agriculture & Environment (JFAE)*, 10(2): 304-311.
43. Ponjičan O, Bajkin A, Findura P, Pristavka M. 2012b. Uticaj smera obrtanja rotacione sitnilice na kvalitet obrade zemljišta. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 38(4): 317-326.
44. Ponjičan O, Radomirović D, Bajkin A, Zoranović M, Ivanišević M. 2013. Kritična vrednost ugla postavljanja noža pri istosmernom obrtanju rotora rotacione sitnilice. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 39(2): 113-122.
45. Ponjičan O, Radomirović D, Bajkin A, Petrović D, Radojević R. 2014. Determination of the critical angle knife setting for rotary tiller. "Healthy Food Production and Environmental Preservation – The Role of Agriculture, Forestry and Applied Biology" Book of Abstracts, 5<sup>th</sup> CASEE Conference 2014, May 25-27, 2014, P2.22, p:43.
46. Petrović D, Radojević R, Ponjičan O, Simikić M, Gajić B. 2014. Aggregate size distribution of humogley after an autumn tillage. 42. *Proceedings of the 42<sup>th</sup> International Symposium "Actual Tasks on Agricultural Engineering"*, Opatija, Croatia, 25. – 28. 02. 2014.
47. Radomirović D, Bajkin A, Zoranović M. 2005. Kinematička analiza rotacione sitnilice. *Traktori i pogonske mašine* 10(4): 131-136.
48. Radomirović D, Ponjičan O, Bajkin A. 2006a. Geometrijski pokazatelji rada rotacione sitnilice sa suprotnosmernim obrtanjem radnih organa. *Savremena poljoprivredna tehnika* 32(1-2):29-35.
49. Radomirović D, Bajkin A, Jančić Milena, Zoranović M. 2006b. Kinematika rada rotacione sitnilice sa suprotnosmernim obrtanjem u realnim uslovima. *Traktori i pogonske mašine*, 11(5): 62-66.
50. Radomirović D, Ponjičan O, Bajkin A, Zoranović M. 2008a. Uticaj smera obrtanja rotacione sitnilice na parametre obrade zemljišta. *Poljoprivredna tehnika*, 33(2): 4-47.
51. Radomirović D, Ponjičan O, Bajkin A. 2008b. Brzina rezanja i dužina puta rezanja pri istosmernom obrtanju rotacione sitnilice. *Traktori i pogonske mašine*, 13(2): 34-40.
52. Radomirović D, Ponjičan O, Bajkin A, Zoranović M. 2009a. Promena brzine rezanja i dužine puta rezanja kod suprotnosmernog obrtanja rotacione sitnilice. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 35(3): 176-184.
53. Radomirović D, Ponjičan O, Bajkin A, Zoranović M. 2009b. Promena brzine rezanja i dužine puta rezanja kod suprotnosmernog obrtanja rotacione sitnilice. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 35 (3): 176-184.
54. Radomirović D, Ponjičan O, Bajkin A, Zoranović M: Promena debljine plastice pri obradi zemljišta rotacionom sitnilicom s istosmernim obrtanjem rotora. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 36 (3): 228-238.
55. Resulović Husinija, Čustović H. 2002. *Pedologija*. Univerzitet u Sarajevu, 318.

56. Salokhe V M, Hanif M, Hoki M. 1993. Effects of blade tipe on power requirement and puddling quality of rotovator in wet clay soil. Joutnal of Terramechanics, 30(5): 337-350.
57. Salokhe V M, Ramalingam N. 2001. Effect of direction of rotation of a rotary tiller on propertis of Bangkok clay soil. Soil & Tillage Research 63: 65-74.
58. Salokhe M, Ramalingam N. 2003. Effect of rotation diredtion of rotary tiller on draft and power requirements in a Bangkok clay soil. Journal of Terramechanics 39: 195-205.
59. Savin L. 1999. Uticaj traktora različitih kategorija na promene u zemljištu. Magistarska teza, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 111.
60. Savin L, Simikić M, Tomić M, Gligorić R, Đurić S, Ponjičan O, Vasin J. 2011. Uticaj agrotehničkih mera u proizvodnji soje na otpor prodiranja konusa u zemljište. Savremena poljoprivredna tehnika, 37(1): 1-10.
61. Shibusawa S. 1993. Reverse rotational rotary tiller for reduced power requirement in deep tillage. Journal of Terramechanics 30(3), 205-217.
62. Saimbhi V.S, Wadhwa D.S, Grewal P.S. 2004. Development of Rotary Tiller Blade using Three-dimensional Computer Graphic. Biosystems Engineering, 89(1): 47-58.
63. Sucek R, Günter P. 1990. Maschinen und Deräte für Bodenbearbeitung Düngung und Aussaat. Reihe Landmaschinentechnik, Velag Technik GmbH Berlin, 227-237.
64. Шейн Б, Архангельская А, Гончаров М, Губер К, Початкова Н, Сиборова А, Смагин В, Умарова Б. 2001. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв. Издательство Московского университета, Москва, 20-22.
65. Veljić M, Marković D, Stekić Ivana. 2008. Analiza modulskih sistema za obradu zemljišta. Poljoprivredna tehnika, 33(2): 49-56.
66. Vučić N. 1987. Vodni, vazdušni i toplotni režim zemljišta. Vojvodanska akademija nauka i umetnosti, Novi Sad, 320.
67. ASAE Standard D497.3
68. ISO/IEC 17025:2005 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
69. ISO 5673-2:2005.
70. JUS ISO/IEC 17025:2001
71. JUS M.L1.013:1998 i ISO 730/III1979(E).
72. JDPZ 1997. Metode istraživanja i određivanja fizičkih svojstava zemljišta, Komisija za fiziku zemljišta, Novi Sad, 70.

### **3. PRIMENA NAPREDNE TEHNIKE I TEHNOLOGIJE APLIKACIJE PESTICIDA U VIŠEGODIŠNJIM ZASADIMA U CILJU UNAPREĐENJA EKOLOŠKO-ENERGETSKIH PARAMETARA HEMIJSKE ZAŠTITE**

### **3. IMPLEMENTATION OF MODERN TECHNIQUES AND TECHNOLOGIES FOR PESTICIDE APPLICATION IN ORCHARDS AND VINEYARDS WITH AIM OF IMPROVEMENT CHEMICAL PROTECTION ECOLOGY AND ENERGY PARAMETERS**

**Dr Aleksandar SEDLAR**

#### **Rezime**

U ovom poglavlju prikazana su istraživanja naprednih tehnika i tehnologija aplikacije pesticida u cilju unapređenja ekološko-energetskih parametara hemijske zaštite.

Napredne tehnike aplikacije pesticida podrazumevaju unapređenje procesa aplikacije u cilju povećanja efikasnosti i ekonomičnosti, a uz istovremenu smanjenje rizika od zagađenja životne sredine i štetnog dejstva na ljude, divljač i domaće životinje.

Navedeno podrazumeva primenu savremenih koncepcija orošivača, savremenih rasprskivača, naprednih metoda određivanja norme tretiranja, kalibracije i podešavanje geometrije mlaza u skladu sa potrebama zasada.

**Ključne reči:** ekologija, energetski parametri, aplikacija, pesticidi, orošivač

#### **Summary**

In this chapter are present results of research of modern application technique and technology in aim of improvement ecology-energy parameters of chemical protection.

Modern technique of pesticide application means improvement of application process in aim increase effectiveness and economy with decrease risk of environmental pollution and harms of people and animals.

Modern application technique means use of: modern air assisted sprayers, new conception of nozzles, modern methods of application rate adjustment, calibration and adjustment of spray velocity.

**Key words:** ecology, energy parameters, application, pesticide, air assisted sprayers

### **3.1. Razvoj tehnike za aplikaciju pesticida**

Drvena ručna pumpa za mehaničko podizanje vode izumljena je 1840 godine. Prve mašine za zaštitu bilja, primenjivane su za suzbijanje bolesti na vinovoj lozi u Bordeauxu u Francuskoj. Ručne prskalice za suzbijanje insekata razvili su John Beau u Kaliforniji, D.B. Smith u New York-u i Brandt Brothers u Minesoti između 1850 i 1860 godine. Prvu ledna prskalicu je napravio je 1981, Galloweay u USA.

Od navedenih početaka pa do današnjeg dana mnogo toga se promenilo u primeni sredstava za zaštitu bilja, a samim tim razvoju mašina i uređaja, kao i uopšte tehnike za aplikaciju pesticida. Brz tehničko-tehnološki razvoj u XX veku obezbedio je primenu mašina i uređaja za aplikaciju pesticida velike eksploatacione učinkovitosti i efikasnosti. Primena sredstava za zaštitu bilja je iz godine u godinu beležila sve veći rast koji je svoju kulminaciju doživeo krajem XX i početkom XXI veka. Preko 2.5 miliona tona sredstva za zaštitu bilja je prodato u svetu 2004 godine (Izvor: *Crop Life International*). Najveći konzument preparata je Evropa u koju se distribuira 28 %, a zatim slede Severna Amerika i Azija sa po 25 %, Južna Amerika sa 18 % i na kraju Srednji Istok i Afrika sa 4 %.

Preparati koji se danas mogu naći na tržištu su preparati poslednje generacije koji se često primenjuju u dozama manjim od jedne litre, pa čak i u koncentracijama koji podrazumevaju da se na površinu od jednog hektara nanese nekoliko desetina mililitara datog preparata. Kvalitetna i efikasna aplikacija takvih preparata moguća je samo sa kvalitetnim, ispravnim i dobro podešenim mašinama. Prednost imaju savremene mašine, ali pod uslovom da se stručno koriste. U praksi često primena novijih, modernih mašina ne znači dobru efikasnost upravo zbog pomenutog nestručnog korišćenja. Razvoj primene mašina i uređaja za zaštitu bilja mora da prati razvoj sredstava za zaštitu bilja, trendove u biljnoj proizvodnji i narasle zahteve zaštite životne sredine.

U našoj zemlji se danas ne pridaje odgovarajući značaj mašinama i uređajima za primenu, kao i samoj aplikaciji preparata. Često se smatra da je posao zaštite bilja završen, pravilnim izborom sredstva za zaštitu i pravovremenom aplikacijom. Zaboravlja se činjenica da je primena treći faktor koji se nikako ne sme zanemarati, jer je loša aplikacije pesticida u preko 60 % slučajeva uzrok neefikasnosti preparata i štetnog dejstva istog na rukovaca, životinje i životnu sredinu. Neophodno je u XXI veku promeniti pristup u procesu zaštite bilja i koristiti sve tehničke mogućnosti u cilju razvoja i primene naprednijih tehnika aplikacije pesticida što će rezultirati poboljšanju ekološko-energetskih parametara hemijske zaštite.

Napredne tehnike aplikacije pesticida podrazumevaju upravo unapređenje procesa aplikacije u cilju povećanja efikasnosti i ekonomičnosti, a uz istovremenu smanjenje rizika od zagađenja životne sredine i štetnog dejstva na ljude, divljač i domaće životinje. Razvoj mašina i uređaja opremljenih elektronskim komponentama za određivanje radnih parametara, mogućnost korišćenja GPS sistema, primena senzora za detekciju bilja su samo neki od primera razvoja primene mašina za zaštitu bilja. Taj razvoj primena mašina za zaštitu bilja mora da prati i novi pristup u metodama zaštite, kao definisanje norme tretiranja u višegodišnjim zasadima zavisno od trostruke zapremine biljne mase voćnjaka, podešavanje geometrije mlaza u skladu sa objektom tretiranja itd.

### 3.2. Aktuelni problemi i trendovi u hemijskoj zaštiti voćnjaka

Najčešće korišćene mašine u hemijskoj zaštiti voćnjaka su orošivači. Orošivači formiraju tzv. nošeni mlaz pesticidne tečnosti koji se kao takav deponuje na ciljnu površinu.

Nošeni mlaz se proizvodi velikom količinom vazdušne struje, odnosno energijom vazdušnog pritiska koju izbacuju ventilatori orošivača. Dobre osobine nošenog mlaza, a time i orošivača su veće usitnjavanje kapi, veći domet, dobro prodiranje u krošnju, nanošenje sa svih strana (lice i naličje lista) usled turbulentnog kretanja vazduha koji izaziva treperenje lišća i pokrivanje određene površine manjom količinom tečnosti. Loše osobine su što vazdušna stuja može i da ošteti biljne delove i gubitak usled drifta. Drift je naziv za pojavu odnošenja radne tečnosti izvan tretiranog područja, što predstavlja značajan ekološki problem.

Dejstvom vazdušne struje orošivači usitnjavaju kapljice od 50 do 150  $\mu\text{m}$ . Pošto se tretira sitnim kapima, utrošak vode može se smanjiti za tri do pet puta u odnosu na prskalice. Sa druge strane pojava drifta je loša osobina o kojoj najviše treba voditi računa. Osim drifta na gubitak radne tečnosti utiče i evaporacija. Visoke temperature i niske relativne vlažnosti vazduha povećavaju gubitak usled evaporacije. Izbegavanjem istih smanjiće se opasnost od evaporacije. Sa druge strane opasnost od pojave drifta može da se smanji povećanjem veličine kapljica, smanjenjem razmaka između biljaka i mašine itd.

Primena naprednih tehnika i tehnologija aplikacije pesticida bi u značajnoj meri poboljšala energetske-ekološke parametre hemijske zaštite. Pod naprednom tehnikom i tehnologijom podrazumevamo primenu savremenih koncepcija orošivača (orošivači sa recirkulacijom tečnosti, selektivna aplikacija...), savremenih rasprskivača, naprednih metoda određivanja norme tretiranja, kalibracija orošivača i podešavanje geometrije mlaza u skladu sa potrebama zasada.

U našoj zemlji korišćenje srednjih (500–1000 l/ha) i velikih normi tretiranja (preko 1000 l/ha) je uobičajena praksa, dok sa aspekta energetske-ekoloških parametara primena velikih normi nije prihvatljiva i njih treba zameniti malim normama (250 do 500 l/ha). Sa druge strane, primena malih normi traži podršku pomenutih savremenih tehnika i tehnologija. *Dukić (1993)* piše o tehničkim mogućnostima pojedinih orošivača da obave kontrolisanu aplikaciju pesticida sa malim normama tretiranja (200-500 l/ha). *Bugarin (2004)* navodi, na osnovu sopstvenih ispitivanja sprovedenih u zasadu jabuka, da upotreba srednjih (500–1000 l/ha) i malih količina tečnosti (200-500 l/ha) u poređenju za standardnim (1000-1500 l/ha) ne zaostaje značajno sa aspekta kvaliteta tretiranja.

Kod nas su najzastupljeniji klasični orošivači sa vencem rasprskivača i aksijalnim ventilatorom, koji usisava vazduh sa zadnje strane i izbacuje ga bočno. Takvi orošivači u kombinaciji sa velikim normama ostvaruju velike gubitke, koji se mogu sprečiti pravilnom kalibracijom i primenom srednjih i malih normi (*Pergher, 2006*). Pored navedenih sve više se u praksi mogu sresti novija rešenja orošivača koje karakteriše vertikalni raspored rasprskivača (jednaka udaljenost rasprskivača od tretiranog objekta) i usmereno izbacivanje vazdušne struje unazad, pod uglom do  $45^{\circ}$ . Najnovija generacija orošivača su i orošivači sa elektronskim upravljenjem i mogućnošću recirkulacije tečnosti. *Praat et al, (1996)* navode da je uz odgovarajuća podešavanja moguće i klasične orošivače značajno unaprediti. Rezultat tog unapređenja je povećana preciznost aplikacije, što omogućava primenu manjih normi uz manje gubitke usled drifta i smanjenje potrošnje energije. Provera radne ispravnosti i kalibracija orošivača jedan je od uslova povećanja preciznosti, a u nekim slučajevima uopšte mogućnosti primene malih normi u orošavanju voćnjaka. *Sedlar (2007)*, navodi da je redovna inspekcija

orošivača obaveza u preko dvadeset evropskih zemalja i da ona za rezultat ima zadovoljenje tzv. 3E (efikasnost, ekonomski efekat, ekološki efekat). *Đukić (2007)*, navodi da su rezultati prvih inspekcija orošivača sprovedenih u Srbiji potvrdili neophodnost redovne kontrole radne ispravnosti istih. Samo dobar orošivač može izvršiti kvalitetnu aplikaciju pesticida, a kvalitetna aplikacija je preduslov proizvodnje zdravstveno bezbedne hrane. Drugi preduslov tretiranja sa malim normama jeste pravilna kalibracija orošivača. *Gracia et al, (1996)* ukazuju na neophodnost pravilne kalibracije orošivača pre njihove primene. *Pergher et al, (1997)* naglašavaju njen značaj sa aspekta pravilne aplikacije pesticida i uštede u gorivu, vodi i ljudskom radu, odnosno energetskim parametrima hemijske zaštite, pri orošavanju voćnjaka.



### 3.3. Karakteristike traktorskih orošivača

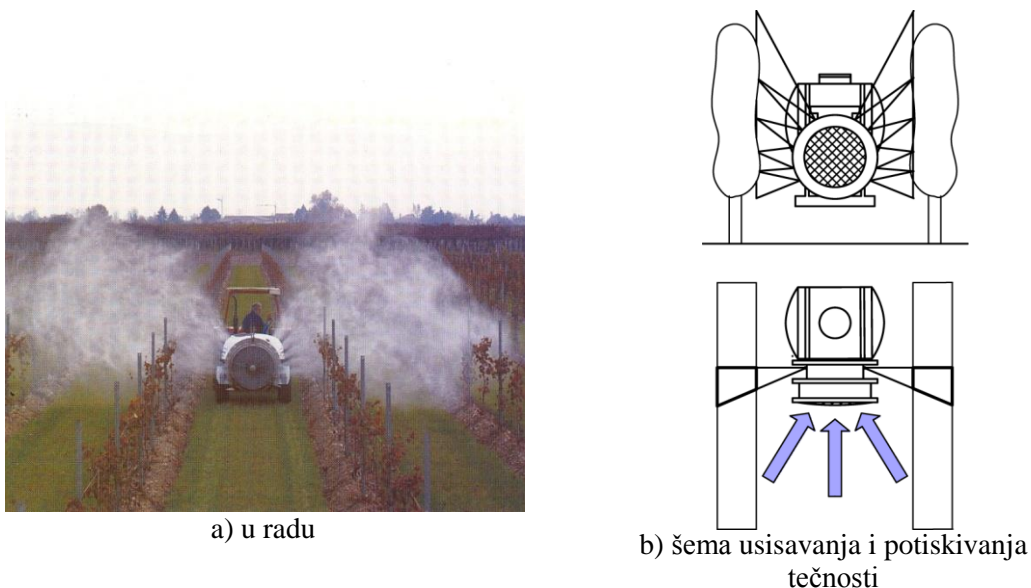
U zaštiti voćaka od bolesti i štetočina dominantan položaj zauzimaju traktorski orošivači. Ove mašine dezintegraciju i transport tečnosti obavljaju pomoću vazdušne struje proizvedene ventilatorom.

Usavršavanje konstrukcije orošivača je dovelo do razvoja različitih tipova ovih mašina, koji su u skladu sa potrebama zasada, kao i sa ekološko-energetskim aspektima aplikacije pesticida.

Pored primene novih, savremenih materijala, usavršavanja konstrukcija pumpi, rasprskivača i drugih, uglavnom tehničkih poboljšanja, značajan napredak postignut je i u pogledu usmeravanja vazdušne struje, gde postoji nekoliko rešenja.

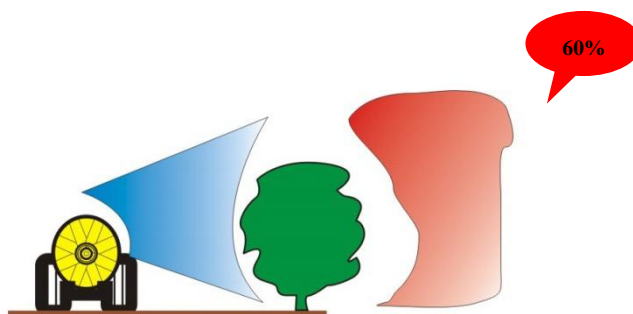
#### 3.3.1. Klasični i poboljšani tipovi orošivača

Klasični orošivač, (sl 3.1.), ima niskovođeni aksijalni ventilator postavljen sa zadnje strane, a usisna strana je takođe pozadi. Dvofazna struja (vazduh i kapljice tečnosti) izlazi bočno pod uglom od 90° na pravac kretanja a usmerena je koso naviše.



Slika 3.1 Klasični orošivač

Dobra strana ovog tipa mašine je što se lisna masa podiže i intenzivno treperi pa je dobro pokrivanje obe strane lista. Nedostaci se ogledaju u prolasku velikog dela tečnosti kroz krošnju i intenzivnom driftu. Drift predstavlja odnošenje pesticidne tečnosti, vazдушnim strujanjem, van tretiranog objekta U nekim slučajevima i do 60 % pesticidne tečnosti ne dospe na tretirani objekat, (sl 3.2.).



Slika 3.2 Gubitak tečnosti driftom kod klasičnih orošivača

Neravnomerno nanošenje kapljica nastaje zbog toga što su rasprskivači na nejednakom rastojanju od biljke. Mana je i to što ventilator ne uvlači čist vazduh, već i onaj u kome se nalaze kapi tečnosti pa je ugrožen i rukovaoc agregata.

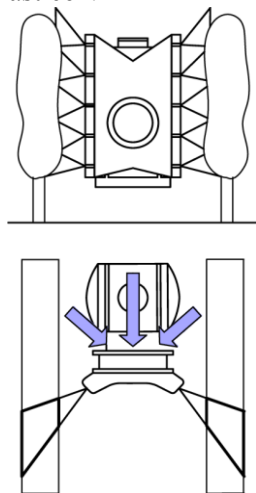
Postavljanje rasprskivača na vertikalni nosač umesto na polukružne donosi poboljšanje sa aspekta ravnomernosti i efikasnosti aplikacije pesticida, (sl 3.3.). Navedeno predstavlja malu ali značajnu modifikaciju u cilju povećanja efikasnosti orošivača.



Slika 3.3 Orošivač sa usmerivačem i vertikalno postavljenim rasprskivačima

Na formiranje mlaza i njegovu distribuciju u velikoj meri utiče tip ventilatora. Aksijalni ventilatori se najčešće sreću na orošivačima jer su efikasni u širokom opsegu vremenskih uslova, kao i zbog konstrukcije i cene. Sa druge strane njihova glavna mana jeste veliki drift koji stvaraju orošivači ovim ventilatorima. Nekoliko autora u različitim vremenskim intervalima upravo govore o činjenici da su gubici usled drifta preko 50 %, kod orošivača sa aksijalnim ventilatorima (Cross, 1991, Doruchowski et al, 1997, Živković i dr. 2004). Upravo kontaminacija životne sredine koju izaziva drift i smanjena efikasnost pesticida usled takvog nanošenja je učinila da aksijalni ventilatori postanu manje prihvatljivi zadnjih godina. Klasične orošivače sa aksijalnim ventilatorima zadnjih godina sve više zamenjuju tzv. poboljšani orošivači sa aksijalnim ventilatorom. Primena poboljšanih orošivača je skuplje rešenje koje značajno unapređuje aplikaciju.

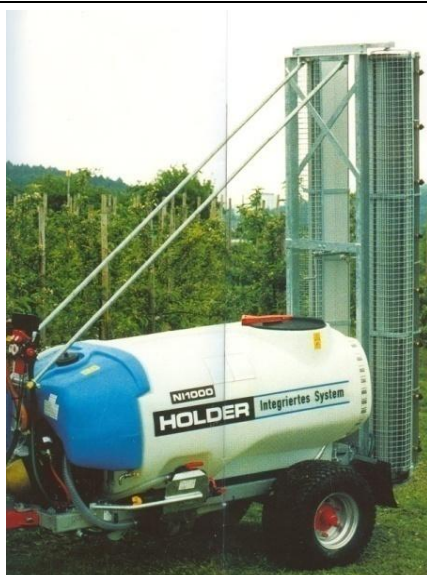
Kod poboljšanog tipa (sl 3.4), vazduh se usisava sa prednje strane pa je oslobođen radne tečnosti, a traktorista je bolje zaštićen.



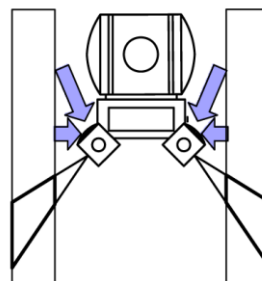
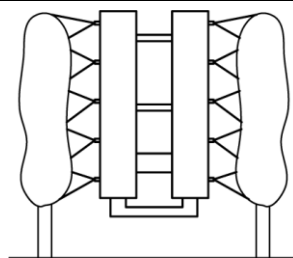
Slika 3.4 Šema rada poboljšanog tipa orošivača

Struja vazduha sa kapima radne tečnosti se usmerava koso naviše, kao kod klasičnih, ali i koso unazad. Ugao koji mlaz zaklapa u odnosu na pravac kretanja kreće se u granicama od 30-45° (60°). Na ovaj način se produžava trajektorija prolaska dvofazne struje kroz krošnju pa je i drift manji a mogućnost deponovanja povećana. U julu 2008. su na jednom klasičnom i poboljšanom orošivaču, u Slankamenu, sprovedena ispitivanja u zasadu jabuke.

Ispitivanja su, između ostalog, imala za cilj da uporede kapacitet i brzinu vazdušne struje u unutrašnjosti krošnje, pri tretiranju sa klasičnim i poboljšanim orošivačem. Voćnjak starosti 13 godina, uzgojnog oblika kosa palmeta je tretiran sa normom 640 l/ha, pri brzini kretanja od 5,5 km/h i pritisku od 10 bar. Brzina i kapacitet vazdušne struje klasičnog orošivača iznosili su 40 m/s i 780 m<sup>3</sup>/min, dok su kod poboljšanog date vrednosti 35 m/s i 840 m<sup>3</sup>/min. Izmerena brzina i kapacitet vazdušne struje u krošnji, pri radu sa poboljšanim orošivačima bila je 4,1 m/s odnosno 146,4 m<sup>3</sup>/min, što je dvostruko više nego kod klasičnog orošivača ( $v = 2,2$  m/s;  $Q = 79,6$  m<sup>3</sup>/min). Dvostruko veća brzina i kapacitet omogućuju bolje nanošenje kapljica unutar krošnje, bolju pokrivenost i manji drift (Sedlar, 2009b).



a) izgled mašine



b) šema rada

Slika 3.5 Orošivač sa tangencijalnim ventilatorom i usmerivačima

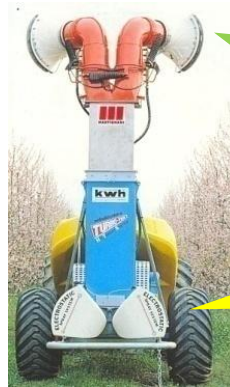
Još jedna varijanta poboljšanog tipa je orošivač sa tangencijalnim ventilatorima, (sl 3.5.). Vazдушna struja kod ovog tipa kasnije prelazi iz laminarnog u turbulentno strujanje pa je i usmeravanje preciznije uz zadržane sve prednosti prethodne varijante (dug put prolaska kroz krošnju, uvlačenje čistog vazduha...). Ovakvi orošivači nemaju aksijalni već više tangencijalnih ventilatora. Za razliku od aksijalnog ventilatora koji ima veliki kapacitet vazdušne struje (150-1200 m<sup>3</sup>/min) i korisni učinak (60-85 %) tangencijalni kao i radijalni ventilatori ostvaruju manji kapacitet (5-200 m<sup>3</sup>/min) i korisni učinak (40-60 %), ali veću početnu brzinu vazdušne struje (50-150 m/s) i pritisak vazduha (5,4 kPa). Aksijalni ventilatori imaju manju početnu brzinu vazdušne struje (25-50 m/s) i pritisak (0.2-1 kPa).

U težnji da se vazdušnoj struji omogući potreban smer, oblik mlaza, brzina kretanja kao i pravilna distribucija, nastali su i orošivači sa razvodnikom u obliku slova T, donjim i gornjim usmerivačima, (sl 3.6.).

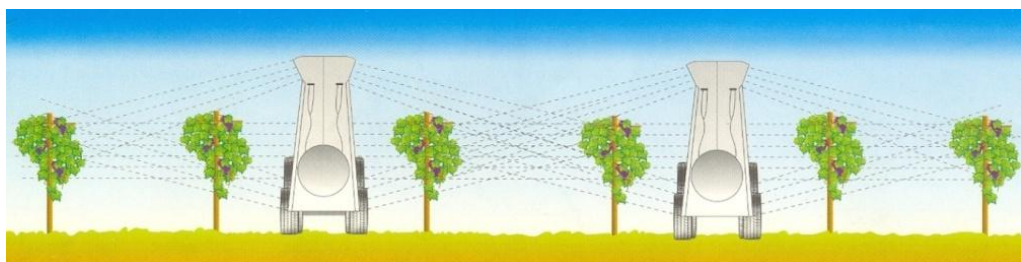
Koriste se u gustim zasadima, sa visinom voćaka oko 2,5 m. Donji usmerivači vazдушnu struju potiskuju horizontalno i nagore, a gornji horizontalno i nadole. Primena usmerivača utiče na smanjenje drifta i poboljšava kvalitet i efikasnost aplikacije pesticida.



a) sa T razvodnikom

gornji  
usmerivačidonji  
usmerivači

b) sa donjim i gornjim usmerivačima



c) princip rada orošivača sa usmerivačima

Slika 3.6 Šema rada orošivača sa T razvodnikom, gornjim i donjim usmerivačima

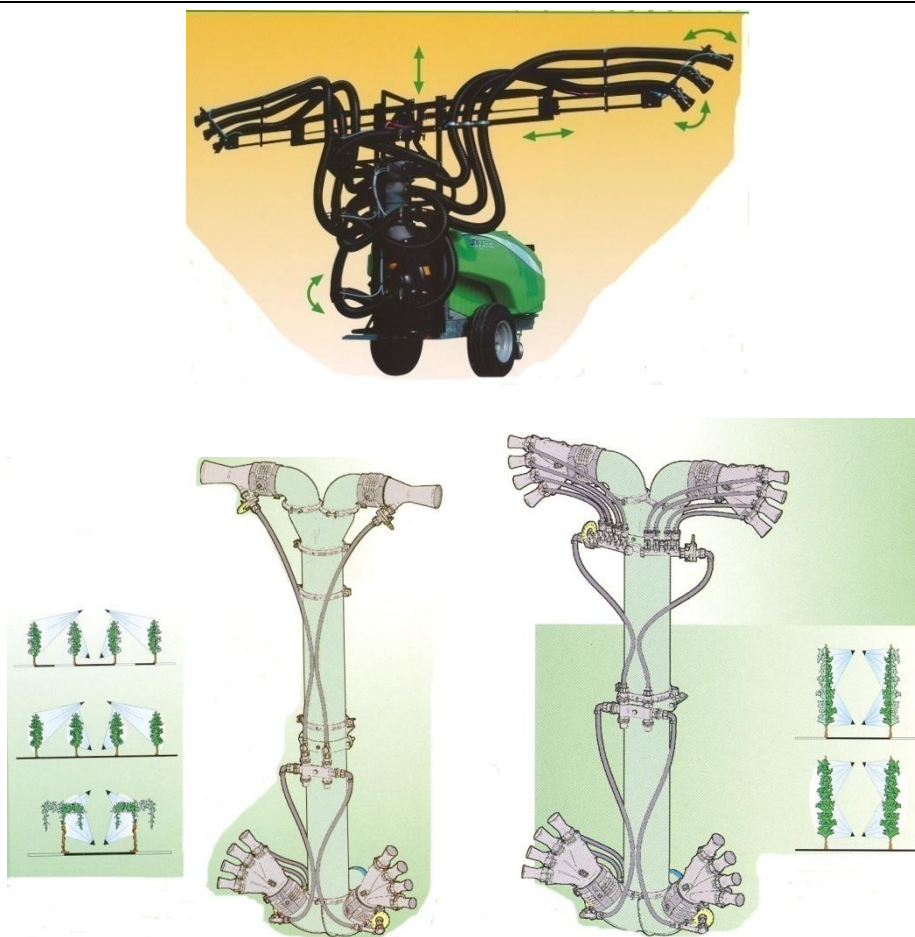
Jedno od najboljih rešenja u funkciji vertikalne raspodele radne tečnosti jeste primena orošivača sa fleksibilnim cevima (OFC). Ovi orošivači imaju mogućnost podešavanja vazdušne struje u širokom dijapazonu, a u zavisnosti od uzgojnog oblika i razvijenosti biljaka tj. ugao usmerenja je u funkciji konkretnih eksploatacionih uslova, (sl 3.7.).



Slika 3.7 Orošivač sa fleksibilnim cevima



OFC orošivači najčešće poseduju radijalni ventilator koji obezbeđuje vazdušnu struju na izlazne otvore svake od prisutnih cevi. Postoji veći broj različitih konstrukcija cevi koje se lako mogu pozicionirati u prostoru zavisno od potreba voćnjaka, (sl 3.8.).



Slika 3.8 Pozicioniranje izlaznih cevi u zavisnosti od eksploatacionih uslova

Živković je 2006. godine izvršio uporedna ispitivanja jednog konvencionalnog i OFC orošivača u dva zasada različita po bujnosti. Manje bujan je sa razmakom između biljaka 3x1,5 m, prosečne visine 2,2 m, dužine i širine krošnje od 1,3 m odnosno 1,2 m. U bujnijem zasadu razmak između biljaka je 4x2,5 m, dok su visina, dužina i širina 2,5, 2,2 i 1,2 m. Fleksibilne cevi su bile postavljene sa usmerenjem od 20° i 40° nagore. OFC orošivač sa usmerenjem fleksibilnih cevi od 20° dao je najbolju depoziciju tečnosti u oba voćnjaka. Usmerenje od 40° značajno povećava depoziciju na naličju lista kod manje bujnog zasada. Klasični orošivač je imao najlošiju depoziciju u oba zasada i kod njega je ostavren najveći gubitak tečnosti u oba zasada.

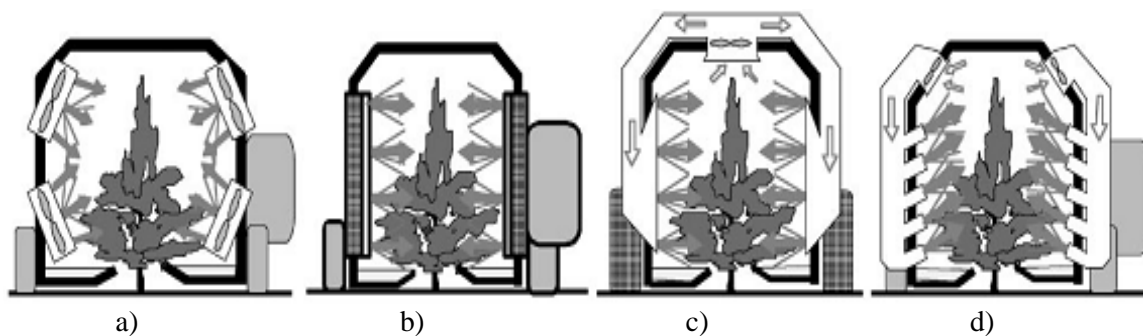
### 3.3.2. Orošivači sa recirkulacijom tečnosti

Zadnjih godina uloženi su veliki naponi u cilju konstruisanja orošivača sposobnih da ostvare kontrolisanu aplikaciju pesticida. Kontrolisana aplikacija predviđa proizvodnju i distribuciju kapljica bez gubitaka zanošenjem. Jedno od takvih rešenja jesu tzv. recirkulacioni (tunelski) orošivači, (sl 3.9.). Recirkulacija je proces hvatanja, filtriranja i vraćanja u rezervoar tečnosti, a zatim ponovnog izbačaja celokupne tečnosti koja nije deponovana na štice biljke.



Slika 3.9 Recirkulacioni (tunelski) orošivač

Ovi orošivači rade sa malim normama i ostvaruju mali disperzioni spektar uz zavidnu homogenost mlaza. Još 1984. godine Bera je ostvario odlične rezultate u zaštiti jabuke od čađave krastavosti (sorte- „mekintosh“, „golden delishes“, „jonatan“) sa normom od samo 100 l/ha, pri radu sa tunelskim orošivačem. Rezultat je bio izuzetno dobar i ustanovljeno je svega 2,8 % inficiranih listova i 0,5 % inficiranih plodova posle tretmana, dok je na kontrolnom netretiranom delu taj procenat iznosio 48,9 i 58 %. Osamdesetih i početkom devedestih godina pojavio se veliki broj različitih tipova tunelskih orošivača sa ili bez mogućnosti recirkulacije tečnosti, (sl 3.10.).



Slika 3.10 Tunelski orošivači

Sa slike 10.a vidi se tunelski orošivač sa aksijalnim ventilatorima i vrtložnim rasprskivačima malih otvora izlaznih pločica, dok je na slici 10.b, prikazan tunelski orošivač sa tangencijalnim ventilatorima i rasprskivačima, koji nemaju izlazne pločice i vrtložnik. Na slici 10.c i 10.d prikazani su tunelski orošivači sa mogućnošću recirkulacije radne tečnosti i vrtložnim rasprskivačima sa aksijalnim ventilatorom odnosno sa radijalnim ventilatorom i rasprskivačima bez vrtložnika.

Kod tunelskih reciklirajućih orošivača tečnost koja prolazi kroz vegetativnu masu stiže do suprotne strane tunela gde se odbija, sliva u korito ispod, filtrira i ponovo vraća u rezervoar. Primenom ovih orošivača najveća ušteda može da se ostvari u proleće kada je vegetativna masa slabo razvijena (70 %), a najmanja u punoj vegetaciji (20 %).

*Doruchowski (1993)* je u svojim ogleđima, sa ovim orošivačima suzbijao čađavu krastavost u zasadu jabuke sa 500 l/ha i imao je isti efekat suzbijanja, kao kad se orošavalo normom od 1500 l/ha klasičnim orošivačima sa aksijalnim ventilatorom. Zadnjih 20 godina sproveden je veliki broj ispitivanja radi utvrđivanja procenta recirkulacije tečnosti, zavisno od

norme i brzine kretanja ili nekih drugih aplikacionih parametara. Ispitivanja su pokazala da stepen recirkulacije raste sa povećanjem norme i smanjenjem brzine kretanja. *Cross and Berrie (1993)* su pratili stopu recirkulacije tečnosti za norme od 50, 100 i 200 l/ha u osam razvojnih stadijuma zasada jabuke, počev od aprila do jula meseca. Procenat recirkulacije za sve norme je opadao sa razvojem biljaka. Najveći je bio u aprilu (20-47 %), a najmanji u julu (13-27 %). Ušteda u pesticidu tokom čitave sezone tretiranja je iznosila 30 %. Navedeno potvrđuje pretpostavku da je najveće uštede moguće ostvariti upravo u početnim razvojnim stadijumima kada je prisutna najmanja biljna masa.

Jedna od velikih prednosti primene tunelskih recirkulacionih orošivača jeste smanjenje drifta u odnosu na klasične orošivače i do 85 %. Tunelski orošivači smanjuju opasnost od kontaminacije vodotokova i zemljišta, usled drifta (*Zande et al, 2000*). Sa aspekta biološke efikasnosti može se reći da se rezultati ispitivanja različitih autora (*Cross and Berrie, 1993; Holownicki, 1997*) slažu u tezi da upotreba tunelskih orošivača obezbeđuje jednako dobru biološku efikasnost, kao i upotreba klasičnih orošivača uz manju normu i drift.

Osnovni problem primene ovih orošivača jeste činjenica da traže "špalirne" uzgojne oblike uz komplikovanu i skupu konstrukciju, pa je tako njihova primena u našim uslovima ograničena na vinograde i nove voćne zasade, pri čijem će se pri zasnivanju voditi računa o budućoj primeni istih. Ako se želi pokušati sa njihovom primenom u starijim, već formiranim voćnim zasadima, onda se pri njihovoj narudžbi mora voditi računa o koncepciji zasada.



### 3.4. Savremeni rasprskivači

Rasprskivači su završni elementi i od njih u najvećoj meri zavisi distribucija i ravnomernost raspodele pesticida po tretiranoj površini (Sedlar, 2005). Stoga rasprskivačima treba posvetiti posebnu pažnju. Neophodno je posedovati 2-3 kompleta rasprskivača, kako bi ostvarili kvalitetnu zaštitu za sve uslove tretiranja. Vrtložni rasprskivači, (sl 3.11), su svakako obavezni ali treba voditi računa da budu savremene konstrukcije i od kvalitetnog materijala.



Slika 3.11 Vrtložni rasprskivači

Rasprskivači utiču na veličinu kapi u mlazu, a od veličine kapi zavisi kvalitet zaštite. Sitne kapi ostvaruju bolju pokrivenost ali su podložnije driftu, dok krupne kapi vazdušna struja teže odnosi ali lako skliznu sa lista i imaju lošiju pokrivenost, (sl 3.12).

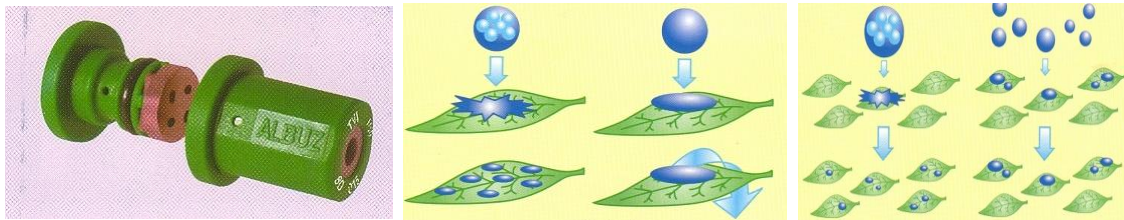


Slika 3.12 Orošavanje malim i velikim kapima

Ispitivanja su pokazala da su kapi prečnika od 100  $\mu\text{m}$ , prečnika dlake ljudske kose i da je potrebno otprilike 11 sekundi po mirnom vremenu da one padnu 3 m. Sa druge strane kada takve kapi nosi vetar brzine 2.2 m/s, one će da odlete 22 m, pre nego padnu na zemlju. Poslednjih deset godina sprovedena su mnoga ispitivanja otpornosti proizvedenih kapljica na drift u zavisnosti od vrste i tipa rasprskivača u cilju njihove kategorizacije prema toj važnoj osobini. U SAD-a je zajedničkim radom fitopatologa, entomologa i inženjera pokušano da se nađe rešenje za problem drifta. Ideja da se povećaju kapi kako bi se smanjio drift je dobra ali ima jednu manu, a to je što krupne kapi klize sa listova i padaju na zemlju. Primena injektorskih rasprskivača predstavlja odlično rešenje jer se kapi mešaju sa vazduhom, postaju krupnije, a pri dodiru sa biljkom vazdušno-vodeni mehuri se raspuknu i biljnu površinu pokrije veći broj sitnih kapi. Prvo su napravljeni lepezasti (T) injektorski rasprskivači i pokušalo se njihovom primenom i na orošivačima, pored već standardne primene na

prskalicama. Danas je već na tržištu veliki broj injektorskih vrtložnih rasprskivača, koji daju bolje rezultate u pogledu otpornosti na drift nego upotreba T rasprskivača na orošivačima.

U injektoru, koji se nalazi unutar tela rasprskivača, mešaju se vazduh i tečnost tako da iz rasprskivača izlaze vazdušni baloni napunjeni sitnim kapljicama. Kada ti baloni dospeju na površinu lista oni se raspuknu i sitne kapi se razlete. Te sitne kapi obezbeđuju bolju pokrivenost lista i bolju penetraciju tečnosti u biljnu masu, (sl 3.13.).



Slika 3.13 Injektorski rasprskivač i uticaj njegovih kapi na pokrivenost lista i penetraciju tečnosti u biljku

Naravno da u uslovima mirnog vremena ne treba primenjivati injektorske već klasične vrtložne rasprskivače, jer oni ipak obezbeđuju sitnije kapi koje omogućavaju bolji kvalitet zaštite. Međutim injektorske rasprskivače treba posedovati kako bi obavili kvalitetnu aplikaciju u uslovima pojačanog vetra.

### 3.5. Orošivači za selektivnu aplikaciju

Budućnost u primeni orošivača radi ostvarenja ekološki prihvatljive, a efikasne zaštite bilja jeste upotreba senzora za identifikaciju krošnje ili bolesti. Primena senzora za identifikaciju krošnje posebno je značajna u mladim zasadima, gde postoji veliki razmak između stabala u redu, kao i u zasadima koštičavog voća koja se formiraju na većim razmacima. Istraživanja su pokazala da upotreba ovih senzora može da doprinese uštedi tečnosti za čak 70 % u mladom zasadu, odnosno 30 % kod veoma razvijenog zasada (Stahli, 2003). Uopšte posmatrano uvođenjem elektronskih sistema postiže se optimizacija efikasnosti tretmana pesticidima (Urošević, 2006).

U starijim razvijenim voćnjacima često može da se nađe na prazna mesta između biljaka u redu. Ta prazna mesta povećavaju opasnost od drifta, koji je ionako veliki kod upotrebe klasičnih orošivača. Postoje dva sistema za detekciju stabala (Walkate et al, 2000). Jedan sistem jeste upotreba ultrasoničnih ili optičkih senzora koji detektuju prisustvo stabla „Crop Identification Sensor“ (CIS), a drugi sistem jeste upotreba sistema koji detektuju prisustvo bolesti ili patogena. O razvoju senzora koji identifikuju bolest govori Van den Zande (2007) i naziva ih „Crop Health Sensor“ (CHS). Upotreba drugog sistema u komercijalne svrhe je vrlo skupa, ali je zato upotreba prvog sistema pristupačna i efikasna.

Balsari and Tamagnone (1998) pišu o primeni veoma osetljivih senzora, koji mogu da detektuju grane prečnika 3-4 centimetra. Prazni prostori koje ovi senzori mogu da detektuju kreću se od 35-120 cm, zavisno od blizine senzora i objekta koji se tretira. Koliko će se smanjiti drift kod selektivnog tretiranja (SSS – Select Spray System) zavisi ne samo od karakteristika senzora već i od veličine i bujnosti voćaka, kao i od obučenosti korisnika mašine. Selektivno tretiranje osim što smanjuje drift, obezbeđuje i primenu manjih normi. Doruchowski et al, (1998) prati uštede u radnoj tečnosti, usled selektivnog tretiranja u zasadu jabuke i kruške. U zasadu jabuke, uzgojni oblik palmeta sorta jonogold/M9 došlo je do smanjenja norme od 24 %, a u zasadu kruške uzgojnog oblika vitko vreteno sorta coference, ušteda je iznosila 26 %. Koch and Weisser su 2000. godine pratili uštede pri selektivnom tretiranju uz pomoć optičkih senzora proizvođača JacoLogic system. Tretirani su zasadi jabuke i višnje od faze cvetanja do faze opadanja lišća. Rezultati koji su dobijeni su vrlo ohrabrujući jer se ostvarene uštede u 3-7 godina starim zasadima jabuke od 10-35 %, a u jednogodišnjem zasadu jabuke norma je smanjena za 35-45 %. U trogodišnjem zasadu višnje došlo je do smanjenja norme od 45-60 %. Autori smatraju da je ovakvo smanjenje norme moglo dovesti i do smanjenja potrošnje pesticida pri selektivnom tretiranju od 25 do 30 %. Balsari and Tamagnone (1997) u svojim istraživanjima sa ultrasoničnim sensorima u zasadu breskve dobili su slične rezultate koji ukazuju na činjenicu da je kod selektivnog tretiranja moguće smanjenje potrošnje pesticida u odnosu na konvencionalno tretiranje od 25 %. Kada je reč o driftu, procenat njegovog smanjenja zavisi od rastojanja između stabala u redu i bujnosti krošnje istih.

Rezultati istraživanja Koch and Weisser (2000) ukazuju na to da je u pomenutom zasadu višnje došlo do redukcije drifta od 50 % u odnosu na konvencionalno tretiranje. Selektivna aplikacija istovremeno obezbeđuje i nepromenjenu biološku efikasnost. Ovo je i potvrđeno istraživanjima koji su pratili biološku efikasnost u suzbijanju čađavosti jabuke, kruškine buve i grinja. Biološka efikasnost je bila dobra i nije bilo značajne razlike između te efikasnosti i one koja se ostvaruje pri konvencionalnoj aplikaciji. Primer jednog savremenog orošivača sa sensorima je orošivač kompanije Jacto, „Arbus Super Export“. Ovaj orošivač izrađuje se u dve varijante. Na slici 3.14.a prikazana je varijanta sa usmerivačkim topom, a na slici 3.14.b klasičan orošivač.



a) sa usmerivačkim topom



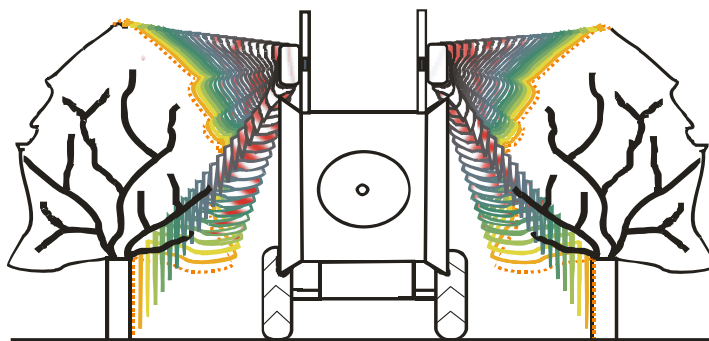
b) klasičan

Slika 3.14 Orošivač za selektivnu aplikaciju

Elektronski sistem ovog orošivača poseduje ultrazvučne senzore, (sl 3.15), koji lako mogu da se prebacuju sa jedne na drugu stranu.



a) izgled senzora



b) šema rada

Slika 3.15 Ultrazvučni senzori

Ukoliko se tretira sa jedne strane onda gornji senzor detektuje višnji deo krošnje koji tretira usmerivački top, a donji deo krošnje tretiraju rasprskivači sa venca rasprskivača. Kada se tretira sa obe strane ili ukoliko se koristi klasičan orošivač ultrazvučni senzori se nalaze sa obe strane i detektuju krošnju koju tretiraju rasprskivači sa venca rasprskivača na obe strane.

Elektronska komanda ovog orošivača u svom sklopu ima i dva prekidača. Prvi je uključanje tretiranja, automatski ili manuelno, a drugi prekidač definiše početak tretiranja. On ima tri položaja. Prvi položaj omogućava uključanje orošivača 15 cm pre krošnje, drugi na 30 cm, a treći na 45 cm. Isključenje orošavanja obavlja se na istim udaljenostima, posle prolaska krošnje.

Drugi primer je vučeni orošivač firme DalDegan Morava (DDM 1000). Orošivač je visok 135 cm (bez usmerivačkog tornja), dugačak 300 cm, širok 118 cm i težak 480 kg, (sl 3.16.).



Slika 3.16 Vučeni orošivač „DDM 1000“

Rezervoar je zapremine 1000 l, a pumpa je četvorokomorna oznake DL 4130. Kapacitet pumpe 130 l/min, a pritisak 40 bar. Ventilator je aksijalni sa mogućnošću promene kapaciteta uključenjem i isključenjem multiplikatora. Maksimalni kapacitet ventilatora je 50.000 m<sup>3</sup>/h. Orošivač je opremljen sa 12 „Lechler TR 80-02“ (žuta boja) i 12 „Lechler TR 80-04“ (crvena boja) rasprskivača.

Orošivač poseduje usmerivački toranj, vertikalni nosač rasprskivača i ultrazvučne senzore UM30-1\_111/5, nemačkog proizvođača „SICK“. Opremanje tornjem i vertikalnim nosačem je obavljeno radi bolje depozicije tečnosti na biljke. Usmerivački toranj, zajedno sa usmerivačkim deflektorima na svom vrhu, sprečava nepotrebno rasipanje izlazne vazdušne struje što uz pomenuti vertikalni raspored rasprskivača i primenu senzora treba da omogući što kvalitetniju i efikasniju aplikaciju pesticida. Zadatak ultrazvučnih senzora je da identifikuju objekat tretiranja u opsegu od 0,8 do 6 m, (sl 3.17a). Informaciju o nailasku na stablo šalju u upravljačku jedinicu, slika 17.b, koja daje signal za otvaranje elektromagnetnih ventila.



a)



b)

Slika 3.17 Ultrazvučni senzori:

a) na nosaču; b) upravljačka jedinica

Upravljačka jedinica ima mogućnost za manuelno i automatsko uključanje ventila. Kod automatskog uključanja ventila, moguće je podesiti vreme uključanja i isključenja ventila. Neophodno je da se ventili otvore malo pre nailaska na biljku, a zatvore malo posle prolaska. Pošto se senzori nalaze 2 metra ispred rasprskivača, taj podatak uz podatak o brzini kretanja se uzima u obzir, pri podešavanju vremena uključanja i isključenja elektromagnetnih ventila.

Opremanje orošivača sa sensorima iziskuje određena finansijska sredstva koja zavise od broja senzora koji se postavljaju. Veći broj senzora omogućiće skeniranje stabla po nivoima i samim tim efikasniju aplikaciju uz manje gubitke, ali veću cenu koštanja

Orošivač „DDM 1000“, opremljen za selektivnu aplikaciju, je rezultat saradnje Departmana za poljoprivrednu tehniku, Poljoprivrednog fakulteta iz Novog Sada sa firmom DalDegan Morava. Adaptacije izvršene na njemu, kao što su postavljanje usmerivačkog tornja i opremanje sensorima za selektivnu aplikaciju, su urađene u svrhu istraživanja ekološko-energetski parametara primene selektivne aplikacije.

*Sedlar (2008)*, navodi da će se u skoroj budućnosti pojaviti još veći broj mašina koje će uz pomoć senzora moći da regulišu tačnu količinu tečnosti koju treba biljka u zavisnosti od svog zdravstvenog stanja i veličine, ali do masovnije pojave istih treba sprovesti višegodišnja ispitivanja u našoj zemlji koja bi imala za cilj da postojećom tehnikom dokažu mogućnost efikasne primene malih normi.

U skladu sa navedenim 2010. godine, je sprovedeno ispitivanje na proizvodnim površinama PD „Sava Kovačević“ Vrbas, u zasadu kajsije starom 3 godine. Cilj ispitivanje je bio da se utvrdi efekat selektivne aplikacije na veličinu zemljišnog drifta odnosno ekološki parametru primene iste.

Veličina gubitaka usled drifta zavisi od više činilaca: karakteristika zasada, vremenskih uslova u kojima se izvodi tretiranje (brzina vetra, temperatura vazduha i relativna vlažnost vazduha), vrste i karakteristika orošivača, načina aplikacije, vrste uređaja za tretiranje, tipa rasprskivača, norme tretiranja, veličine kapljica, vrste i osobina preparata i koncentracije radne tečnosti (*Bugarin, 2009*).

Stabla kajsije su zasađena na razmaku 4,5 x 4 m, sa uzgojnim oblikom u vidu kotlaste krune. Ispitivanje je obavljeno na dve sorte: kečkemetska ruža i novosadska rana.

Tretiranje je obavljeno normom od 404 i 808 l/ha, uz brzinu kretanja agregata od 5 km/h, sa radnim pritiskom agregata od 8 bar. Za provereu gubitak tečnosti usled drifta, korišćene su vodosenzitivne pločice, koje se postavljene na nosače i raspoređene po površini zemljišta do 7 metara na levu i desnu stranu u odnosu na pravac kretanja agregata.

Zbog visokih dnevnih temperatura, tretiranje je obavljeno u večernjim satima gotovo po mraku kako bi se izbeglo isuviše brzo isparavanje radne tečnosti. Tretiranje je otpočelo pri temperaturi od 28°C a pri kraju rada temperatura je iznosila 23 °C. Relativna vlažnost vazduha kretala se u granicama od 79 – 83 %, uz duvanje vetra slabijeg intenziteta od 0,6 - 1,1 m/s.

Analiza zemljišnog drifta u dvogodišnjem zasadu kajsije je za klasičnu aplikaciju iskazala prosečnu pokrivenost površina od 25,13 %, dok je kod selektivne aplikacije ta vrednost iznosi 19,76 %. Prosečna vrednost zemljišnog drifta u trogodišnjem zasadu kajsije u slučaju klasične aplikacije iznosi 15,94 %, a kod selektivne 9,95 % (*Sedlar, 2011*). Pretpostavka da će selektivna aplikacija značajno smanjiti drift je napred prikazanim rezultatima u potpunosti potvrđena. Iskazano potvrđuje i praćenje količinskih gubitaka klasične i selektivne aplikacije. Primenom klasične aplikacije, izmerena je vrlo ravnomerna prosečna distribucija gubitaka sa leve i desne strane i ona na obe strane iznosi 24,49 % od norme tretiranja, odnosno 98,96 kg/ha. Kod selektivne aplikacija ta vrednost je manja i na levoj strani iznosi 45,67 kg/ha ili 11,30 % od norme tretiranja, a na desnoj 53,28 kg/ha.

Selektivna aplikacija je u mladim zasadima kajsije obezbedila značajno smanjenje norme tretiranja od 17,78 % u trogodišnjem zasadu kajsije, odnosno od 19,03 % u dvogodišnjem zasadu. Ovo smanjenje norme u kombinaciji sa smanjenim driftom daje prednost primeni selektivne aplikacije u mladima zasadima koštičavog voća, u odnosu na klasičnu aplikaciju sa ekološkog aspekta.

### 3.5.1. Energetski parametri primene selektivne aplikacije

Energetski parametri primene orošivača adaptiranog za selektivnu aplikaciju i prednosti iste u odnosu na klasičnu najbolje će se iskazati kroz analizu energetskog bilansa klasične i selektivne aplikacije sprovedene u zasadu jabuke Departmana za voćarstvo, vinogradarstvo, hortikultura i pejzažnu arhitekturu“. Departman radi u sastavu Poljoprivrednog fakulteta iz Novog Sada i poseduje rasadnik na lokaciji Rimski Šančevi. Ogljed je izvršen tokom 2009. i 2010 godine u zasadu jabuke Ajdared starom 13 godina, podignutom na podlozi M9, uzgojnog oblika vitko vreteno. Voćnjak je podignut na međurednom razmaku od 4 metra i razmakom u redu od 1,6 metara. Merenjem deset slučajno odabranih voćki određena je prosečna visina od zemlje ( $h_z$ ) i prve rodne grane ( $h_g$ ), širina ( $w$ ) i dužina ( $l$ ). Prosečna visina krošnje merena od zemlje je 3,22 m, odnosno mereno od prve grane 2,63 m. Prosečna širina voćnjaka je 1,85 m, a dužina 1,77 m. Tretiranja voćnjaka je izvršeno napred prikazanim orošivačem DDM 1000, normama tretiranja od 381 i 759 l/ha.

Svi energetski inputi su podljeni u dve grupe:

- direktni energetski inputi (gorivo) i
- indirektni energetski inputi (tehnički sistemi, hraniva, hemijska zaštitna sredstva, setveni/sadni materijal, navodnjavanje, transport i živi rad).

U skladu sa navedenim možemo reći, da je u agrotehničkoj meri hemijske zaštite jabuke direktni energetski input potrošnja goriva, dok su potrošnja vode, pesticida, agregat za orošavanje i ljudski rad indirektni inputi.

#### 3.5.1.1. Direktni energetski inputi

Da bi se odredila energetska vrednost utrošenog goriva, potrebno je uzeti u obzir toplotnu moć goriva, ali tome treba dodati energiju potrebnu da bi energija goriva bila dostupna proizvođaču.

Tabela 3.1 Energetska vrednost dizel goriva, LPG (tečni naftni gas), električne energije i drveta (*Cervinka, 1980*)

Gorivo	Jedinica mere	Sadržaj energije	Proizvodnja	Ukupan sadržaj energije
Dizel gorivo	MJ/l	38,7	9,1	47,8
LPG	MJ/l (MJ/kg)	26,1 (46,1*)	6,2 (11,0)	32,3 (57,1)
Električna energija	MJ/KWh	3,6	8,4	12,0
Drvo	MJ/kg	9,5**	3,8	13,3

\* [www.jugopetrol.co.yu](http://www.jugopetrol.co.yu), \*\*[www.rgf.bg.ac.rs](http://www.rgf.bg.ac.rs)

Jedan litar dizel goriva sadrži 38,7 MJ, a za njegovu proizvodnju u rafineriji i transport goriva do potrošača, potroši se dodatnih 9,1 MJ, (tab 3.1). Ukupan sadržaj energije za dizel gorivo iznosi 47,8 MJ/ l.

#### 3.5.1.2. Indirektni energetski inputi

Indirektni energetski inputi odnose se na energiju angažovanu za proizvodnju tehničkih sistema, kao i drugih materijala potrebnih za datu biljnu proizvodnju ili agrotehničku meru.

Proizvodnja, ali i održavanje tehničkih sistema važne su stavke u energetskom bilansu biljne proizvodnje. Prilikom proračuna energije potrebne za korišćenje tehničkih sistema, u

obzir se mora uzeti energija potrebna za proizvodnju materijala (čelik 23–60 MJ/kg), a takođe i energija utrošena u procesu proizvodnje tehničkih sistema (ove dve stavke u proseku iznose 87 MJ/kg). Takođe treba uzeti u obzir energiju koja se utroši za transport opreme do proizvođača (8,8 MJ/kg) kao i energiju koja se angažuje za popravku i održavanje (Bowers, 1992).

Energetski ekvivalenti tehničkih sistema izraženi su preko energije koja se angažuje za njihovu proizvodnju i održavanje, a sve svedeno na jedinicu njihove mase (Pellizzi, 1992). Kada se uzme u obzir period korišćenja tehničkih sistema, njihovi energetski ekvivalenti koji se angažuju u toku godine imaju vrednosti navedene u tabeli 3.2.

Tabela 3.2 Energetski ekvivalenti tehničkih sistema (Pellizzi, 1992)

Oprema	Energetski ekvivalenti (MJ/kg·god)
Traktori i samohodne mašine	9 – 10
Stacionarna oprema	8 – 10
Poljoprivredne mašine i oruđa	6 – 8

Da bi se odredio energetski input za tehničke sisteme potrebno je poznavati njihovu masu, period korišćenja, broj radnih sati godišnje i površinu na kojoj se koriste.

Prilikom proračuna energetskih ekvivalenata za zaštitna sredstva u obzir se uzima energetski input za proizvodnju aktivne materije, formulaciju i pakovanje. Aktivna materija se mora formulirati u emulzivnim uljima, kvasivim puderima ili granulama (20–30 MJ/kg). Pakovanje i distribucija zahtevaju dodatni utrošak energije u iznosu od 3–8 MJ/kg, u zavisnosti od udaljenosti na koju se transportuje zaštitno sredstvo (Green, 1987). Na ovako izračunatu vrednost energetskog ekvivalenta treba dodati energiju utrošenu za aplikaciju. Voda ima svoj energetski ekvivalent koji nije veliki i on iznosi 9 MJ/l (Đević i Dimitrijević, 2009). U biljnoj proizvodnji, u zemljama u razvoju, energija angažovana putem živog rada i dalje predstavlja značajan faktor angažovane energije i uspešnosti proizvodnje. Energetski ekvivalent od 1,96 MJ/h odgovara složenosti i fizičkim naporima koji se javljaju u toku izvođenja radova u poljoprivrednoj proizvodnji (Đević i Dimitrijević, 2009).

### 3.5.1.3. Proračun direktnih energetskih inputa

#### Potrošnja goriva

Potrošnja goriva po jedinici obrađene površine ( $Q_{ha}$ ) za operaciju zaštite voćnjaka usvojena je iz literaturnih podataka. Časovna potrošnja goriva ( $Q_h$ ) izračunata je na osnovu potrošnje goriva po jedinici istretirane površine i časovne proizvodnosti ispitivanih mašina ( $W_h$ ), u poljskim uslovima, tabela 3.3. Provera izračunatih vrednosti za potrošnju goriva po jedinici obrađene površine ( $Q_{ha}$ ) i časovne potrošnje goriva ( $Q_h$ ) izvedena je na osnovu kataloških podataka o časovnoj potrošnji goriva proizvođača navedenih traktora u zavisnosti od stepena opterećenja motora traktora prilikom izvođenja određene tehnološke operacije (Popović i dr, 1996).

Tabela 3.3 Potrošnja dizel goriva

Tehnološka operacija	$Q_h$ (l/h)	$W_h$ (ha/h)	$Q_{ha}$ (l/ha)	DEI (MJ/ha)
Hemijska zaštita (12x)	12x12(144)	1,92	12x6.25(75)	3585

Pošto je površina koje se tretirala iznosila 0.72 ha, to je potrošnja goriva za hemijsku zaštitu na datoj površini iznosila 54 l/ha uz direktni enregetski input (DEI) od 2581,2 MJ/ha.



U prikazanu potrošnju nije uračunato vreme odlaska do izvora vode, transporta i punjenja pošto je voda bila uz sam voćnjak.

Voda je bila neposredno uz zasad jabuke koji se tretirao što je retka situacija u praksi. Stoga je značajno uraditi simulaciju potrošnje goriva u slučaju kada je za transport vode neophodno preći npr. 5 ili 10 km, (tab 3.4).

Tabela 3.4 Potrošnja dizel goriva i časovni učinak agregata

Transport vode (km)	Norma tretiranja (l/ha)		Potrošnja goriva (l/h)		Učinak (ha/h)	
	klasična aplikacija	selektivna aplikacija	klasična aplikacija	selektivna aplikacija	klasična aplikacija	selektivna aplikacija
5	381	381	6,10	5,10	1,19	1,31
5	759	759	9,21	7,36	0,79	0,89
10	381	381	8,53	7,16	0,85	0,94
10	759	759	14,25	11,35	0,42	0,51

U slučaju voćnjaka u kome je vršeno ispitivanja i gde je izvor bio pored samog voćnjaka za normu tretiranja od 381 l/ha su ostvareni sledeći časovni učinci: 1,75 ha/h pri klasičnoj i 1,93 ha/h pri selektivnoj aplikaciji.

Kod primene srednje norme tretiranja od 759 l/ha časovni učinci su iznosili 1,40 ha/h i 1,56 ha/h. Poređenjem navedenih vrednosti sa učincima koji se ostvaruju pri transportu vode od 5 km primećuje se da je kod klasične i selektivne aplikacije primenom male norme učinak 47 % manji u odnosu na situaciju kad je izvor u neposrednoj blizini. Iskazani učinak prate časovne potrošnje goriva od 6,10 l/h i 5,10 l/h. U slučaju klasičnog tretiranja srednjom normom časovni učinak se smanjuje za 77 %, dok je kod primene selektivne aplikacije to smanjenje 75 %. Časovna potrošnja goriva u ovom slučaju iznosi 9,21 l/h i 7,36 l/h.

Transport vode od 10 km još više povećava potrošnju goriva koja iznosi 8,53 l/h za klasičnu, odnosno 7,16 l/h za selektivnu aplikaciju, a smanjuje časovni učinak agregata. Časovni učinak je kod primene male norme manji za 105 %. Kod primene srednje norme to smanjenje iznosi 174 % sa klasičnu, odnosno 217 % za selektivnu aplikaciju.

Tabela 3.5. iskazuje direktne enregetske inpute potrošnje goriva za slučajeve transporta vode od 5 i 10 km.

Tabela 3.5 Direktni enregetski inputi potrošnje dizel goriva

Transport vode (km)	Norma tretiranja (l/ha)		Potrošnja goriva (l/h)		DEI (MJ/ha)	
	klasična aplikacija	selektivna aplikacija	klasična aplikacija	selektivna aplikacija	klasična aplikacija	selektivna aplikacija
5	381	381	6,10	5,10	346,98	319,35
5	759	759	9,21	7,36	420,82	347,55
10	381	381	8,53	7,16	398,56	341,01
10	759	759	14,25	11,35	517,60	360,02

Prikazani energetski ekvivalenti se odnose na jedno tretiranje, pa ako uzmemo u obzir da ima 12 tretiranja onda se dobijaju sledeći ukupni enregetski inputi potrošnje goriva, (tab 3.6.).

Tabela 3.6 Ukupni energetske inputi potrošnje dizel goriva

Transport vode (km)	Norma tretiranja (l/ha)		DEI (MJ/ha)	
	klasična aplikacija	selektivna aplikacija	klasična aplikacija	selektivna aplikacija
5	381	381	4163,76	3832,2
5	759	759	5049,84	4170,60
10	381	381	4782,72	4092,12
10	759	759	6211,20	4320,24

Analizom tabele 3.6, uočava se da udaljenost izvorišta, značajno povećava energetske input potrošnje goriva za oba tipa aplikacije i norme tretiranja. Takođe, primena male norme i selektivne aplikacije ovde dolazi do izražaja jer značajno šteti energiju u odnosu na primenu srednje norme i klasične aplikacije.

### 3.5.1.4. Proračun indirektnih energetskih inputa

Indirektni energetske inputi za tehničke sisteme određeni su korišćenjem energetskih ekvivalenata za pojedine grupe tehničkih sistema (*Pellizzi, 1992*). Na ovaj način određeni su indirektni energetske inputi za korišćeni traktor i orošivač.

Na osnovu mase traktora ( $m_{TR}$ ) i energetskih ekvivalenata (*Pellizzi, 1992*), određen je godišnji indirektni energetske input za korišćeni traktor ( $IE_{TR_{god}}$ , MJ/god). Na osnovu godišnjeg angažovanja traktora ( $M_h$ , h/god), izračunat je indirektni energetske ekvivalent po času rada traktora ( $IEI_{TR,h}$ , MJ/h), (tab 3.7). Poznavanjem časovne proizvodnosti ( $W_h$ ) za pojedine tehnološke operacije određeni su indirektni energetske inputi traktora po jedinici proizvodne površine ( $IEI_{TR}$ , MJ/ha).

Tabela 3.7 Indirektni energetske input traktora

Traktor	$P_e$ (kW)	$m_{TR}$ (kg)	$IEI_{TR_{god}}$ (MJ/god)	$IEI_{TR,ha}$ (MJ/ha)
	45.6	2.255	164,39	228,32

Pošto je ogled izvođen na površini od 0.72 ha to je indirektni energetske input (IEI) traktora za datu površinu 164.39 MJ. U tabeli 3.8 su dati energetske ekvivalenti korišćenja orošivača.

Tabela 3.8 Indirektni energetske inputi orošivača

Orošivač DDM 1000	$M_{ddm}$ (kg)	P (ha)	$IEI_{ddm_{god}}$ (MJ/god)	$IEI_{ddm}$ (MJ/ha)
	140	0.32	211,68	653,33
	480	0.40	806,40	2.240

Na osnovu mase mašine ( $M_{agp}$ ,  $M_{ddm}$ ) i energetskih ekvivalenata (*Pellizzi, 1992*), određen je godišnji indirektni energetske input za orošivač ( $IEI_{ddm}$ ). Indirektni energetske ekvivalent po jedinici proizvodne površine za traktor iznosi 228,32 MJ/ha, a za orošivač 2.240 MJ/ha, što ukupno iznosi 881,65 odnosno 2468,32 MJ/ha.

### Potrošnja vode

Zaštita zasada jabuke je izvedena sa normama od 759 i 381 l/ha. Ova velika razlika u potrošnji vode nije značajno uticala na energetske bilans i na troškove zaštite. Duplo manja norma tretiranja bi više imala uticaj da je vršeno dopremanje vode do voćnjaka ili da je izvorište bilo značajno udaljeno, što nije bio slučaj. U tabeli 3.9 su prikazani energetske ekvivalenti potrošnje vode.

Tabela 3.9 Energetski ekvivalent potrošnja vode

Potrošnja vode	Qha (l/ha)	Jedinica mera (MJ/l)	IEI (MJ/ha)
Srednja norma	759	0,00009	0,068
Mala norma	381	0,00009	0,034

### Potrošnja pesticida

U tehnologiji gajenja jabuka zaštita voćnjaka od napada bolesti i štetočina zauzima prvo mesto po potrošnji energije. Dvanaest, a u nekim godinama 15 i više orošavanja predstavljaju značajnu potrošnju pesticida. U tabeli 3.10 su prikazani energetski ekvivalenti potrošnje pesticida u procesu zaštite jabuke.

Na osnovu poznatih vrednosti energetskih ekvivalenata (*Green, 1987*) za proizvodnju aktivne materije, nosača, kao i za pakovanje i transport utvrđeni su indirektni energetski inputi (*IEI*, MJ/ha) po jedinici obrađene površine i oni su iznosili 8803,95 MJ/ha. Pošto je ogled vršen na već pomenutih 0.72 ha to je energetski input za tu površinu 6338.84 MJ.

Tabela 3.10 Energetski ekvivalenti potrošnje pesticida

* A	Fungicidi			Insekticidi			Doza kg/ha	Ukupni IEI MJ/ha
	Preparati	Doza (kg/ha)	IEI (MJ/ha)	Preparati	Doza (kg)	IEI (MJ/ha)		
1.	Karathane- EC Bakrocid S- 25	0,520 +1 1,520	255,36				1,520	255,36
2.	Captan 50- W Score 25- EC	2,5+0,273 2,773	333,36	Prestige 290 FS	0,524	88,03	3,297	421,39
3.	Captan 50- WP Score 25- EC	2,5+0,273 2,773	333,36	Gusathion WP-25	2,000	320	4,773	653,36
4.	Captan 50- WP Rubigan-EC	2,5+0,545 3,045	379,06	Nurelle-D	1,500	870	4,545	1249,06
5.	Rubigan-EC Antracol WP-70	0,545+2 2,545	427,56	Perfekthion- EC	1,801	533,09	4,346	960,65
6.	Alert-S Antracol WP-70	0,554+2,5 3,054	513,07	Nurelle-D	1,500	870	4,554	1383,07
7.	Captan 50- WP Score 250- EC	2,5+0,273 2,773	333,36	Calypso 480-SC	0,287	84,95	3,060	418,31
8.	Antracol WP-70 Sabithane Kumulus DF	2+0,477+3,75 6,227	1046,14	Fastac 10- EC	0,191	110,78	6,418	1156,92
9.	Captan 50- WP Rubigan-EC	2,5+0,545 3,045	379,06	Prestige 290 FS	0,524	88,03	3,569	467,09
10.	Delan 700- WG Topas 100- EC	0,312+0,245 0,557	93,14	Dimetoat EC	1,364	403,74	1,921	497,15
11.	Kossan-WG	3,75	630	Mospilan 20-SP	2,25	666	6	1296
12.	Score 25- EC	0,273	45,86				0,273	45,86
	Σ	32, 335	4769,33		11,941	4034,62	44,276	8803,95
	Prosek po orošavanju (kg/ha)	2,694	397,44		0,995	336,22	3,689	733,69

\* Broj orošavanja

### Utrošak ljudskog rada

Energija angažovana putem živog rada izračunata je na osnovu angažovanog živog rada po jedinici površine i usvojenog energetskog ekvivalenta, koji iznosi 1,96 MJ/h (Ortiz-Cañavate and Hernandez, 1999; Đević i Dimitrijević, 2009).

Energetski input za ljudski rad iznosio je 12.25 MJ/ha, odnosno 8.82 MJ na površini ogleđa, (tab 3.11.).

Tabela 3.11 Utrošak ljudskog rada

Živi rad	Broj radnika	MJ/ha god	P (ha)	IEI <sub>rad</sub> (MJ/god)
	1	12,25	0,72	8,82

Sabiranjem svih iskazanih energetskih ekvivalenta dobijaju se energetski inputi zaštite voćnjaka tokom jedne sezone, (tab 3.12).

Tabela 3.12 Ukupni energetski inputi zaštite voćnjaka različitim normama i tipovima orošivača

Norma tretiranja	Tip aplikacije	Gorivo (MJ/ha)	Traktor (MJ/ha)	Orošivač (MJ/ha)	Voda (MJ/ha)	Pesticidi (MJ/ha)	Živi rad (MJ/ha)	Suma (MJ/ha)
Srednja norma	klasična aplikacija	3.585	228,32	2.240	0,068	8.803,95	12,25	14.869,6
	selektivna aplikacija	3.585	228,32	2.240	0,068	8.803,95	12,25	14.869,6
Mala norma	klasična aplikacija	3.585	228,32	2.240	0,034	8.803,95	12,25	14.869,6
	selektivna aplikacija	3.585	228,32	2.240	0,034	8.803,95	12,25	14.869,6

Kod primene klasične aplikacije pesticida se javljaju gubici radne tečnosti, kao posledica zakasnelog isključenja orošivača na kraju reda ili nešto ranijeg uključenja istog pri ulasku u novi red. Takođe, kod primene selektivne aplikacije ostvaruju se uštede u praznim mestima u voćnjaku koja su posledica izmrzavanja pojedinih stabala. Merenjem je ustanovljeno da su prosečni gubici kod klasične aplikacije iznosili 5,04 %, a uštede kod selektivne aplikacije su iznosile 5,34 %. Ukupno posmatrano selektivna aplikacija u jednom gustom voćnjaku, starom 13 godina obezbeđuje uštede od 10,38 % radne tečnosti.

Posmatrano preko energetskih inputa vidimo da dolazi do povećane potrošnje pesticida kod primene klasične aplikacije i ona iznosi 9.274,08 MJ/ha, dok kod primene selektivne aplikacije beležimo smanjenu potrošnju od 8.360,23 MJ/ha.

Takođe, selektivna aplikacija dovodi i do smanjenja potrošnje vode ali je to zanemarljivo sa energetskog aspekta, s obzirom na malu energetsku vrednost vode. Na osnovu prikazanih podataka dolazi se do novih podataka o ukupnim enregetskim inputima, (tab 3.13.).

Tabela 3.13 Ukupni energetski inputi klasične i selektivne hemijske zaštite voćnjaka

Norma tretiranja	Mašina	Ukupni energetski input (MJ/ha)
Srednja norma (759 l/ha)	klasična aplikacija	15.339,72
	selektivna aplikacija	14.425,87
Mala norma (381 l/ha)	klasična aplikacija	15.339,68
	selektivna aplikacija	14.425,83

Analiziranjem tabele 3.13. uočava se razlika u energetskom inputu između klasične i selektivne aplikacije od blizu 1000 MJ/ha za obe norme tretiranja. Ta razlika bi se dodatno povećala da izvor vode nije bio u samom voćnjaku, što je čest slučaj u praksi.

### 3.5.2. Tehno-ekonomska analiza klasične i selektivne aplikacije jabuke

Potrošnja goriva i pesticida su najznačajniji inputi zaštite voćnjaka, pa će stoga njihova ekonomska analiza dodatno iskazati potencijalne uštede.

Pošto je finansijski efekat bitan u svakoj proizvodnji, pa i poljoprivrednoj treba sagledati koliko će ostvarena ušteda od 10,38 % radne tečnosti doneti finansijske dobiti. Cena tretiranja je po zvaničnom cenovniku „Zadružnog saveza Srbije“ 25 eura, što znači da bi posmatrano preko povećanja površinskog učinka ušteda iznosila 2-3 €/ha po jednom tretiranju, zavisno od norme tretiranja. Ako se uzme da je srednja vrednost uštede 2,5 €/ha i ako se to pomnoži sa brojem tretiranja dobija se da je ukupna ušteda posmatrano sa aspekta cene tretiranja 30 €/ha.

Cena pesticida korišćenih za jedno tretiranje u ovom ogledu iznosi 60 eura, odnosno 720 eura za celu sezonu. Ušteda koja ustvaruje selektivna aplikacija iznosi 6,2 eura po jednom tretiranju, odnosno 74,7 za celu sezonu. Dakle ukupna ušteda koja se ostvaruje primenom selektivne aplikacije u starijem gustom zasadu jabuke iznosi 104,7 eura. Na prikazane uštede treba dodati uštede u potrošnji goriva do kojih će doći primenom male norme i selektivne aplikacije, (tab 3.14).

Tabela 3.14 Rezultati simulacije potrošnje goriva

Norma (l/ha)	Gubitak i ušteda klasične i selektivne aplikacije (%)		Stvarna norma (l/ha)		Potrošnja goriva (l/ha)		Stvarni učinak (ha)	
	gubitak klasične aplikacije	ušteda selektivne aplikacije	klasična aplikacija	selektivna aplikacija	orošavanje	transport i punjenje	klasična aplikacija	selektivna aplikacija
381	5,04	5,34	400,20	360,65	6,25	1	2,48	2,72
759	5,04	5,34	797,25	718,47	6,25	1	1,20	1,36
	Potrošnja goriva (l/ha)		Potrošnja goriva (l/h)		Troškovi goriva (din/ha)		Troškovi goriva (din/h)	
	klasična aplikacija	selektivna aplikacija	klasična aplikacija	selektivna aplikacija	klasična aplikacija	selektivna aplikacija	klasična aplikacija	selektivna aplikacija
381	7,25	6,70	4,15	3,46	833,75	770,33	476,97	398,23
759	7,25	6,51	5,19	4,17	833,75	749,19	596,50	479,12

\*Do rezultata prikazanih u tabeli se došlo obradom stvarnih podataka i simulacijom udaljenosti izvorišta vode u računarskom programu „Excel“

Iz tabele 3.14. se vidi da je primena male norme omogućila da se uradi duplo veća površina uz istu potrošnju goriva po hektaru. Stvarni učinak je povećan sa 1,2 ha na 2,4 ha po jednom rezervoaru zapremine od 1000 l (orošivač „DDM 1000“). Uštede u potrošnji goriva po jedinici površine nema ali je zato prisutna ušteda po jedinici vremena. Troškovi goriva, u momentu izvođenja oglada, kod primene male norme iznosili su 479,97 din/h, dok su kod primene srednje norme oni veći za 119,53 dinara i iznose 596,50 din/h. Primena male norme smanjuje udeo vremena opsluživanja u ciklusu tretiranja sa 0,39 % na 0,23 %, odnosno podiže vreme ciklusa sa 0,86 na 1,42 h, što znači da se eksploatacijski učinak povećao za 39,44 %. Takvo povećanje učinka dovodi do smanjenja ljudskog rada što opet predstavlja izvesnu finansijsku uštedu.

Sa druge strane primena selektivne aplikacije je dovela do povećanja površinskog učinka kod male norme (381 l/ha) od 8,82 %, odnosno kod primene srednje norme (759 l/ha) do povećanja učinka od 11,76 %. Primenom male norme i selektivnom aplikacijom sa jednim rezervoarom se istretira 2,72 ha što je 24 ar više nego kod klasične aplikacije. Srednja norma obezbeđuje da se uradi 1,36 ha što je 16 ari više u odnosu na klasičnu aplikaciju. Selektivna

aplikacija obezbeđuje i uštede u gorivu posmatrano po jedinici površine. Potrošnja goriva se kod primene male norme smanjila za 7,58 % i iznosi 6,70 l/ha, dok je kod srednje norme to smanjenje 10,20 % i iznosi 6,51 l/ha. Ako se uzme u obzir cena dizel goriva u vreme izvođenja oglada vidi se da je smanjena potrošnja goriva po jedinici površine sa 833,75 na 770,33 din/ha za malu normu odnosno na vrednost 749,19 din/ha za srednju normu što predstavlja uštedu od 63,42 din/ha (0,6 €), odnosno 84,56 din/ha (0,8 €).

Sagledavanjem prethodno iskazane uštede selektivne aplikacije od 8,7 eura po jednom tretiranju (2,5 + 6,2 €/ha) sa dodatkom uštede u gorivu proizilazi da je kod primene male norme ukupno ostvarena ušteda 9,3 €, odnosno kod srednje norme 9,5 eura po jednom tretiranju. To bi za svih 12 tretiranja iznosilo od 111 do 114 €/ha.

Pošto opremanje senzorima prikazano u ovom radu košta najmanje 1.000 eura to se ova adaptacija na površini od 1 hektara isplati za 9 sezona.

U Srbiji veliki broj starijih voćnjaka se prostire na površinama od 3 do 5 ha i oni se najčešće tretiraju 15 i više puta kada je jabuka u pitanju. Kada se to uzme u obzir dolazi se do zaključka da bi se primena selektivne aplikacije isplatila za 2-3 sezone. Svaka naredna sezona bi predstavljala čistu dobit kako sa ekonomske, tako i sa ekološke strane. Ekološki efekat treba posebno istaći jer zaštita životne sredine je nemerljiva u finansijskom smislu. U cilju dodatne provere izvedene tehno-ekonomske analize sproveden je sličan, već pomenuti ogled, u dvogodišnjem i trogodišnjem zasadu kajsije (Sedlar, 2011). Primena selektivne aplikacije u mladim zasadima kajsije, prema očekivanom je dala značajnije uštede nego što je to slučaj kod tretiranja starog zasada jabuke. Kod zasada kajsije podignutog 2007. godine, selektivna aplikacija je obezbedila smanjenje norme za 17,78 %, pa je stvarna norma iznosila 334,14 l/ha umesto projektovane 406,4 l/ha, tabela 3.15. Primenu klasične aplikacije je pratila stvarna norma od 418,99 l/ha usled gubitaka koji se javljaju zbog nepravovremenog uključenja i isključenja orošivača na krajevima prohoda. Kod zasada kajsije podignutog 2008. godine, imamo identičnu situaciju kod klasične aplikacije, gde je stvarna norma iznosila 418,18 l/ha. Selektivnu aplikaciju karakteriše nešto veća ušteda od 19,03 % i stvarna norma od 329,09 l/ha.

Iz tabele 3.15. se vidi da je selektivna aplikacija obezbedila povećanje površinskog učinka za 54 ar, pa on pri istoj projektovanoj normi od 406,4 l/ha iznosi 2,88 ha u odnosu na 2,34 ha koji se ostvaruju u oba voćnjaka primenom klasične aplikacije. Za razliku od zasada jabuke, gde se voda nalazila odmah pored voćnjaka, izvorište vode se kod tretiranja kajsije nalazilo 500 metara dalje. Vozač agregata pređe 1 kilometar kako bi otišao po vodu i vratio se da nastavi tretiranje. Posmatranjem potrošnje goriva dolazi se do zaključka da je selektivna aplikacija obezbedila 16,14 % manju potrošnju goriva u odnosu na klasičnu i ona iznosi 6,08 l/ha. Ako se potrošnja posmatra u jedinici vremena onda je ušteda 33 % u odnosu na klasičnu jer se po satu rada troši 2,99, odnosno u dvogodišnjem zasadu 2,96 l/h.

Tabela 3.15 Eksploatacioni učinci, gubici i uštede tretiranja kajsije

Norma (l/ha)	Gubitak i ušteda klasične i selektivne aplikacije (%)		Stvarna norma (l/ha)		Potrošnja goriva (l/ha)		Stvarni učinak (ha)	
	gubitak klasične aplikacije	ušteda selektivne aplikacije	klasična aplikacija	selektivna aplikacija	orošavanje	transport i punjenje	klasična aplikacija	selektivna aplikacija
406,4	3,1	17,78	418,99	334,14	6,25	1	2,34	2,88
406,4	2,9	19,03	418,18	329,06	6,25	1	2,34	2,88
	Potrošnja goriva (l/ha)		Potrošnja goriva (l/h)		Troškovi goriva (din/ha)		Troškovi goriva (din/h)	
	klasična aplikacija	selektivna aplikacija	klasična aplikacija	selektivna aplikacija	klasična aplikacija	selektivna aplikacija	klasična aplikacija	selektivna aplikacija
406,4	7,25	6,08	4,46	2,99	833,75	698,98	512,69	344,42
406,4	7,25	6,08	4,45	2,96	833,75	698,98	511,95	340,53

Pretvaranjem uštede u potrošnji goriva u novac dobije se da su troškovi goriva po jedinici površine kod selektivne aplikacije 698,98 din/ha, što je ušteda od 134,77 din/ha, u odnosu na cenu goriva kod klasične aplikacije koja iznosi 833,75 din/ha. Pretvoreno u eure ušteda u gorivu po jednom tretiranju iznosi 1,30 €/ha. Pošto je ispitivana kajsija tretirana sedam puta, to je ušteda za celu sezonu 9,1 €/ha.

Na smanjenu cenu goriva koju ostvaruje selektivna aplikacija treba dodati uštede u ceni koštanja tretiranja po zvaničnom cenovniku „Zadružnog saveza Srbije“ od 25 eura, što znači da usled povećanog površinskog učinka selektivne aplikacije ušteda po jednom tretiranju iznosila 4,7 eura, odnosno za celu sezonu 32,9 eura.

Cena pesticida iznosi 5.150 din/ha, po jednom tretiranju zasada kajsije, što je 50 €/ha. Uštede, koje je ostvarila selektivna aplikacija u potrošnji pesticida, u zasadu kajsija starom 3 godine iznose 8,9 €/ha, odnosno u zasadu starom dve godine 9,5 €/ha. Ukupno za celu sezonu je to 62,3 €/ha u trogodišnjem zasadu, odnosno u zasadu starom dve godine 66,6 €/ha.

Ako se saberu sve iskazane uštede, dobije se da je selektivna aplikacija smanjila cenu koštanja po jednom tretiranju tri godine starog zasada kajsije za 14,9 €/ha, odnosno za 15,5 €/ha u dvogodišnjem zasadu. Posmatrano na celu sezonu uštede iznose 104,3 €/ha za trogodišnji zasad, odnosno 108,5 €/ha za dvogodišnji zasad kajsije.

Primenom istog principa kao i kod zasada jabuke i stavljanjem u odnosu minimalne cene opremanja orošivača za selektivnu aplikaciju od 1000 eura sa iskazanim uštedama vidi se da se i u slučaju kajsije ostvaruje sličan rezultat, odnosno da je na površini od 1 ha potrebno 9-10 sezona da se investicija isplati. Imanje „Sava Kovačević“ na kome je vršeno ispitivanje ima 8,87 ha pod kajsijom što znači da se njima investicija isplati za jednu sezonu.



### 3.6. Kalibracija i kontrolno testiranje orošivača

U cilju unapređenja energetske-ekoloških parametara primene orošivača neophodno je da isti budu kalibrirani (podešeni) za kvalitetan rad, kao i da svi radni delovi budu provereni u skladu sa evropskim normativima. Samo dobro podešena i ispravna mašina obezbeđuje smanjenje energetske inputa i smanjuje opasnost od zagađenja životne sredine.

#### 3.6.1. Kalibracija

Kalibracija je proces merenja i prilagođavanja količine radne tečnosti koja se primenjuje na ciljnu oblast preko određene opreme za aplikaciju pesticida. Pravilna kalibracija je osnovni, ali često zanemareni zadatak. Ono što je ključno jeste da treba koristiti tačnu količinu radne tečnosti i pesticida. Premalo pesticida za rezultat može imati neadekvatnu kontrolu, a time i bacanje novca, vremena i resursa. Previše pesticida može za rezultat imati povredu ciljane biljke, životinje ili površine, nelegalne ostatke, preterano oticanje ili drugo kretanje van ciljane oblasti, povredu ljudi, kućnih ljubimaca ili divljih životinja koje ponovo ulaze u tretiranu oblast, kao i sudske tužbe i kazne.

Pre nego što se počne sa kalibriranjem opreme, treba pažljivo proveriti da li su sve komponente čiste i u dobrom stanju. Brojna oprema za primenu pesticida se razlikuje u detaljima svog rada, ali radnik koji razume osnovne principe kalibracije može ih primeniti u bilo kojoj situaciji.

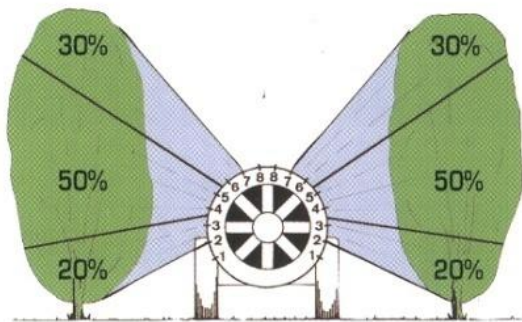
U zavisnosti od konstrukcije uređaja za aplikaciju orošivači mogu biti sa:

- aksijalnim ventilatorom i vencem rasprskivača ili usmerenim uređajem
- radijalnim ventilatorom sa poluvencem rasprskivača ili usmerenim (pojedinačnim) cevima

#### a) klasični orošivač sa aksijalnim ventilatorom

Postupak kalibracije se sastoji u sledećem:

1. Prema obliku krune odredi se usmerenje sveukupnog mlaza, (sl 3.18), i napravi šema količine tečnosti za pojedine delove krune. Prema obliku krune, donji rasprskivač 1 i gornji 8 na vencu će biti zatvoreni. Gornji deo se tretira sa rasprskivačima 6 i 7 sa 30 % norme, srednji deo gde je najveći deo vode sa rasprskivačima 4 i 5 sa 50 % norme i donji deo sa rasprskivačima 2 i 3 sa 20 % norme.
2. Odredi se brzina kretanja na dužini od 100 metara.



Slika 3.18 Klasični orošivač, šema postavljanja vrtložnih rasprskivača

3. Za poznate parametre: normu (N) l/ha, razmak sadnje (B) m i određenu brzinu (v) km/h, određuje se kapacitet uređaja ( $q_u$ ) l/min pomoću obrasca:

$$\text{Kapacitet uređaja } (q_u) \text{ l/min} = \frac{\text{Razmak sadnje (B) m} \cdot \text{Norma (N) l/ha} \cdot \text{brzina (v) km/h}}{600}$$

Primer: Za razmak sadnje B = 5 m, brzinu kretanja v = 4 km/h i normu tretiranja N = 600 l/ha, potreban kapacitet uređaja je:

$$q \text{ (lit/min)} = \frac{5 \cdot 600 \cdot 4}{600} = 20 \text{ lit/min}$$

Sa svake strane radi 6 rasprskivača, prema obliku krune.

2 i 3 nose 20 % = 4 lit/min (ili q = 1 l/min po rasprskivaču)

4 i 5 nose 50 % = 10 lit/min (ili q = 2.5 l/min po rasprskivaču)

6 i 7 nose 30 % = 6 lit/min (ili q = 1.5 l/min po rasprskivaču)

Prema tablicama pomenuti rasprskivači ostvaruju sledeći protok za npr. radni pritisak 6 bar :

Rasp. 2 i 3 daju 1.07 l/min; ima ih 2x2 što je 4.28 l/min

Rasp. 4 i 5 daju 2.68 l/min; ima ih 2x2 što je 10.27 l/min

Rasp. 6 i 7 daju 1.51 l/min; ima ih 2x2 što je 6.08 l/min

---

Ukupno: 21.08 l/min

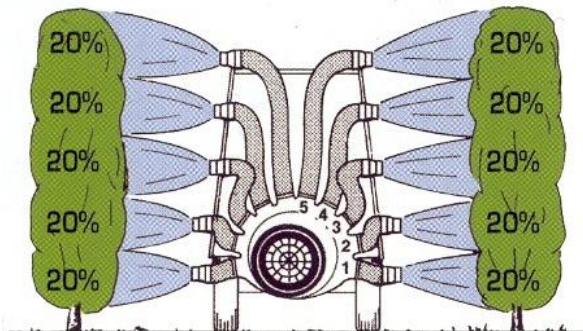
Nama treba 20 l/min, pa treba da smanjimo pritisak na :

$$\left( \frac{20.00 \text{ l/min}}{21.08 \text{ l/min}} \right)^2 \cdot 6 \text{ bar} = 5.4 \text{ bar}$$

b) orošivač sa radijalnim ventilatorom

1. Prema obimu krune, napravi se šema tretiranja, (sl 3.19), tako da sa obe strane rade svi rasprskivači 1 – 5 sa 20 % norme.

2.



Slika 3.19 Orošivač sa radijalnim ventilatorom i usmerenim cevima

2. Odredi se brzina kretanja na dužini od 100 metara.
3. Za poznate parametre: normu (N) l/ha, razmak sadnje (B) m i određenu brzinu (v) km/h, određuje se kapacitet orošivača ( $q_o$ ) l/min pomoću obrasca:

$$\text{Kapacitet orošivač } (q_o) \text{ lit/min} = \frac{\text{Razmak sadnje (B) m} \cdot \text{Norma (N) l/ha} \cdot \text{brzina (v) km/h}}{600}$$

Primer: Za razmak sadnje B = 5 m, brzinu kretanja v = 4 km/h i normu tretiranja N = 600 l/ha, potreban kapacitet uređaja je:

$$q \text{ (lit/min)} = \frac{5 \cdot 600 \cdot 4}{600} = 20 \text{ lit/min}$$

$$4. \quad \frac{20 \text{ lit/min}}{10 \text{ rasprskivaca}} = 2 \text{ lit/min}$$

Svi rasprskivači nose po 20 % = 2 l/min.

Iz tablica rasprskivač pri pritisku p = 6 bar ima npr.  $q_u = 1.94$  l/min, a potrebna količina je 2 l/min, što znači da treba povećati pritisak na :

$$p = \left( \frac{2.00 \text{ l/min}}{1.94 \text{ l/min}} \right)^2 \cdot 6 \text{ bar} = 6.4 \text{ bar}$$

### 3.6.2. Kontrolno testiranje orošivača

Kontrolno testiranje jeste provera tehničke ispravnosti i funkcionalnosti uređaja za primenu i pojedinačnih radnih delova tih uređaja, ocena funkcionisanja pojedinih radnih delova tih uređaja i uređaja za primenu u celini, kao i procena rizika po rukovaoca, radnu i životnu sredinu pri njihovoj upotrebi.

Testiranje radne ispravnosti orošivača ne može da valjano izvrši korisnik mašine ali zato se ono može sprovoditi od strane stručnjaka obučениh za taj posao. Kontrolno testiranje se mora sprovoditi u skladu sa evropskim normativima. Kontrolno testiranje podrazumeva kontrolu svi radnih delova orošivača i elemenata za pogon pumpe.

Prve kontrole orošivača u Srbiji sprovedene su tokom 2006. godine. Rezultati tih kontrola su ukazali na podatak o velikom broju rasprskivača kojima se smanjio protok, što je posledica lošeg održavanja orošivača (*Sedlar, 2007*). Iskazani rezultati ukazuju na neophodnost pravilnog održavanja orošivača, jer samo dobro i redovno održavanje orošivač može obezbediti dobre rezultate kontrolnog testiranja.

Kontrolno testiranje je značajno i sa aspekta uvođenja opšteprihvаćenih komercijalnih standarda, koji jačaju poverenje kupaca u naše poljoprivredne proizvode. Jedan takav standard je Globalgap. Standard u tački 8.4 definiše obaveznu kontrolu i kalibraciju orošivača. Implementacija Globalgap standarda je „viza“ za izvoz naših proizvoda na evropsko tržište (*Sedlar, 2009a*).

#### 3.6.2.1. Vizuelna kontrola komponenti orošivača

Pre pregleda komponenti prskalice pregleda se kardansko i priključno vratilo. Kardansko vratilo se vizuelno pregleda i proverava se broj obrtaja priključnog vratila, (sl 3.20.). Obavezan broj obrtaja kod izvođenja inspekcije je 540 o/min.



Slika 3.20 Provera priključnog i kardanskog vratila

Vizuelna kontrola rezervoara podrazumeva proveru opšteg stanja svih rezervoara, (sl 3.21.), sa posebnim osvrtom na pokazivač nivoa tečnosti. Pregled pokazivača nivoa tečnosti treba da ukaže da li tačno pokazuje nivo i da li je vidljiv sa mesta punjenja rezervoara i iz kabine traktora.



Slika 3.21 Rezervoar

Kontrola svih filtera podrazumeva proveru mrežne strukture i opšteg stanja istih. Vizuelna kontrola cevi se vrši 5 sekundi nakon rada orošivača i isključenja pritiska. Kod dobrog orošivača ne sme biti nikakvog kapanja.

### **3.6.2.2. Kontrola radne ispravnosti elementa orošivača i oprema za kontrolu**

Kontrola radne ispravnosti podrazumeva više različitih provera i merenja ali najbitnije je:

- kontrola rada pumpe,
- kontrola rada manometra,
- kontrola rada rasprskivača.

Pored navedenog kontroliše se još rad mešalice, regulatora pritiska, stanje sprovodnih cevi, stanje rezervoara... Za testiranje protoka pumpe i mešalice koriste se merilo protoka prikazan na slici 3.22.



Slika 3.22 Merilo protoka pumpe

Pumpe koje po svom protoku ne odgovaraju potrebama orošivača, odnosno pumpe čiji je protok za više od 10 % manji od nazivnog protoka se vraćaju na reparaciju ili zamenu. Mešalica koja u svakom momentu vraća na mešanje 5 do 10 % od nazivne zapremine rezervoara smatraće se dobrom.

Kontrola kvaliteta rasprskivača podrazumeva kontrolu kapaciteta rasprskivača. Za kontrolu kapaciteta rasprskivača se koristi merilo kapaciteta rasprskivača, (sl 3.23).



Slika 3.23 Provera kapaciteta distribucije rasprskivača orošivača

Rasprskivači čiji se protok povećao za više od 15 % u odnosu na početnu vrednost protoka smatraju se neispravnim i izbacuju se iz upotrebe.

Protok rasprskivača koji se nalaze sa leve i desne strane orošivača ne sme da se razlikuje za više od 10 %. Takođe, pojedinačni protok svakog rasprskivača ne sme da bude veći od tablične vrednosti datog rasprskivača više od 15 %.

Pre kontrole ispravnosti manometra, manotesterom proverava se čitljivost njegove skale i njegov prečnik koji mora biti najmanje 63 mm. Nakon izvedenih provera pristupa se proveru preciznosti manometra sa manotesterom, (sl 3.24). Tačnost merenja na manometru mora biti  $\pm 0,2$  bara za radne pritiske od 1 do 2 bar. Za radne pritiske preko 2 bar, ispitivani manometar mora imati tačnost merenja  $\pm 10$  % od vrednosti koju pokazuje reporni manometar.



a) mehanički manotester



b) elektronski manotester

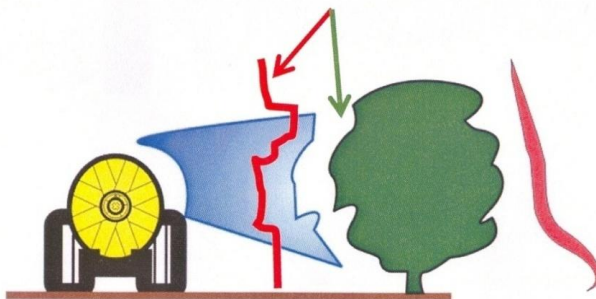
Slika 3.24 Manotester

### 3.6.3. Podešavanje geometrije mlaza prema karakteristikama voćnjaka

Geometrija mlaza koju stvara orošivač prilikom tretiranja voćnjaka je jedan od veoma bitnih faktora za kvalitet, a samim tim i efikasnost hemijske zaštite voćnjaka. Definisanje geometrije mlaza u skladu sa prosečnom geometrijom krošnje određenog voćnjaka jeste završni čin u procesu kalibracije.

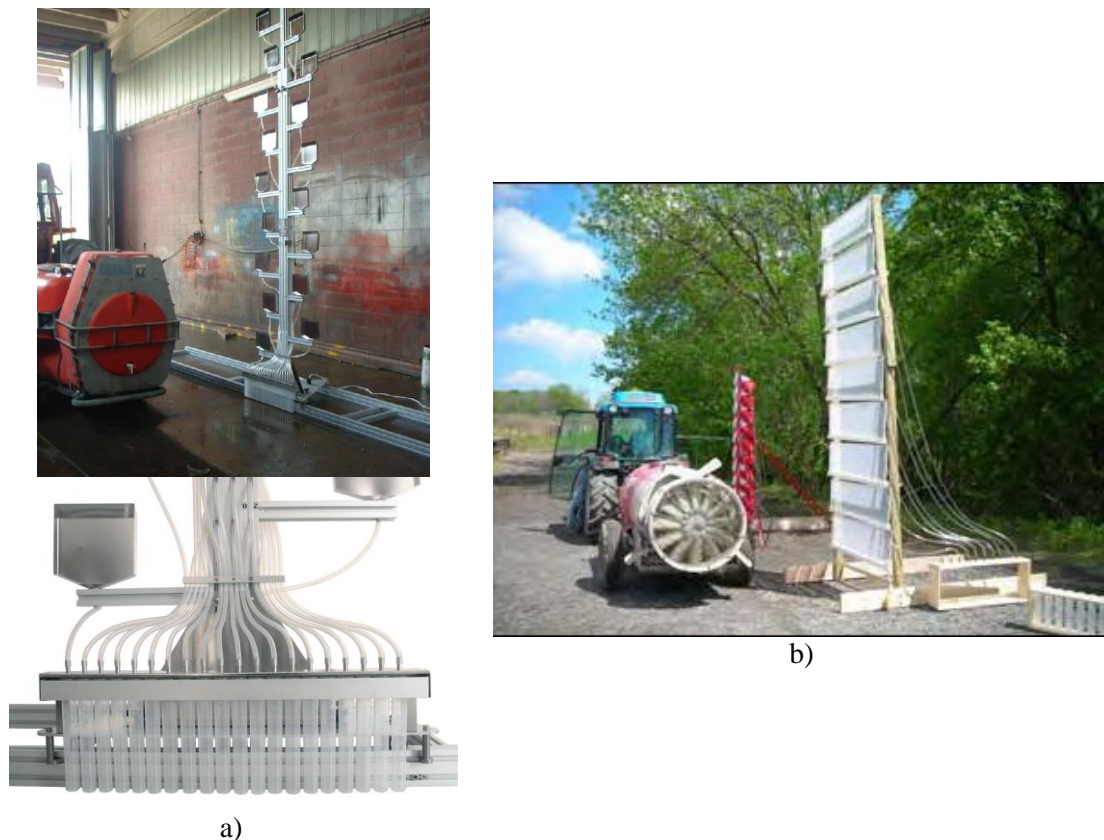
*Byass (1968)* je među prvima pokušao da uskladi geometriju krošnje sa geometrijom vertikalne distribucije mlaza orošivača kako bi povećao efikasnost aplikacije pesticida. Njegova istraživanja podržali su *Ferree and Hall (1980)*, koji su svojim istraživanjima potvrdili da depozicija tečnosti u krošnju u velikoj meri zavisi od geometrije krošnje. Oni navode da orezivanje jabuka koje se sprovodi sa ciljem da se promeni struktura grana na stablu i smanji gustina lišća, kako bi se unapredio kvalitet i veličina plodova, treba sprovoditi i sa ciljem ostvarenja željene geometrije krošnje koja omogućava maksimalnu penetraciju pesticida u procesu zaštite.

Podešavanje geometrije mlaza je zahtevan postupak i za njeno pravilno izvođenje neophodna je pomoć stručnog lica. Prvi korak u ovom procesu predstavlja određivanje prosečne geometrije krošnje za dati voćnjak. Sa krivom koja predstavlja konture krošnje treba da se u što većoj meri poklopi kriva koja oslikava konture mlaza koju stvara dati orošivač, (sl 3.25).



Slika 3.25 Podešavanje geometrije mlaza prema karakteristikama voćnjaka

Kvalitetno podešavanje geometrije mlaza moguće je izvršiti samo uz pomoć vertikalnih sprej skenera. Vertikalni sprej skeneri imaju lamele iz jednog dela ili veći broj manjih kockastih lamela, (sl 3.26.).



Slika 3.26 Vertikalni sprej skener:  
a) skener sa mobilnom konstrukcijom; b) skener sa fiksnom konstrukcijom

Vertikalni sprej skener se izrađuje u različitim visinama (najčešće od 0.2 do 4 m), zavisno od potreba naručioca. Sastoji se od fiksne konstrukcije (sl 3.26b) ili od mobilne konstrukcije koja se kreće na šinama uz pomoć elektromotora, lamela i menzura za prihvatanja sakupljene tečnosti (sl 3.26a). Pri kalibraciji orošivača lamele skenera prihvataju izbačenu tečnost, a zatim se u menzurama očitava nivo tečnosti i formira histogram distribucije odnosno definiše se geometrija izbačenog mlaza. U voćnjacima je najbolje vršiti kalibraciju pomoću sprej skenera u vreme pune vegetacije.

Tako definisanu geometriju mlaza ne treba menjati tokom cele sezone. U ranijim fazama razvoja, kao i zavisno od samog tipa zaštite treba isključivati pojedine rasprskivače ali nipošto ne menjati geometriju. Koji će se rasprskivači isključiti je odluka koja se donosi na osnovu vizuelne kontrole rada ili na osnovu preporuka za dato tretiranje. Te preporuke ukazuju na činjenicu u koje delove krošnje treba dopremiti više ili manje pesticida.

*Pergher (2004)* sprovodi eksperimente u cilju utvrđivanja pozitivnog efekta kalibracije orošivača sa vertikalnim sprej skenerom. Za ispitivanje je korišćen klasični orošivač sa aksijalnim ventilatorom i kružnim rasporedom rasprskivača – „Fiulli-Inox 600“. Ispitivanje je podrazumevalo dva ogleđa sa tri varijante od kojih se u prvoj varijanti nepodešava ugao rasprskivača, već je on fabrički, ali se isključuju pojedini rasprskivači na osnovu vizuelne

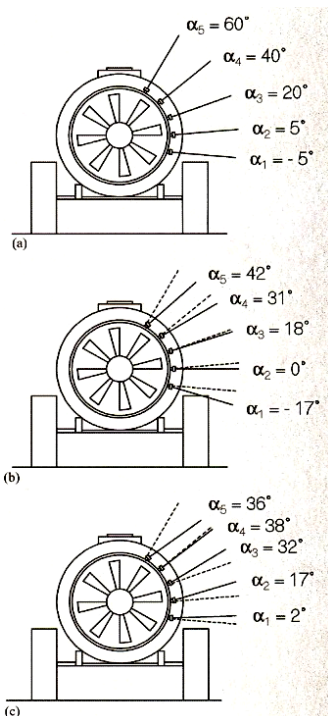
procene neophodnosti njihove uključenosti. U drugoj varijanti, se na osnovu vizuelne procene rada orošivača podešava i ugao pojedinih rasprskivača. Treća varijanta podrazumeva podešavanje ugla rasprskivača uz pomoć vertikalnog sprej skenera i projektovane standardne vertikalne distribucije.

Rezultati ovih istraživanja su pokazali da kalibracija pomoću vertikalnih sprej skenera može najbolje približiti geometriju mlaza geometriji krošnje. Podešavanje geometrije je mnogo lakše uz vertikalni raspored rasprskivača. Kružni raspored, koji je bio prisutan u slučaju ovog ogleda otežava kalibraciju, a greške u određivanju ugla rasprskivača ili isključenju pogrešnih, mogu dovesti do još lošije distribucije nego što je bila pre kalibracije i to se potvrdilo u pojedinim varijantama ovih ogleda.

Višegodišnja ispitivanja (Godyn et al, 2008), potvrđuju neophodnost podešavanja geometrije mlaza orošivača sa geometrijom voćnjaka. Za potrebe eksperimenta sprovedenog u zasadu jabuke, koga odlikuje izuzetna visina (4 do 4,5 m), izvršeno je podešavanje geometrije mlaza sa ciljem da se dobije oblik poluelipse što najviše odgovara uzgojnom obliku zasada koji je bio vitko vreteno.

U slučaju nepostojanja vertikalnog sprej skenera moguće je geometriju mlaza definisati i vizuelnim putem ali to zahteva posebnu opreznost i znanje. Zaokretanjem i isključivanjem pojedinih rasprskivača moguće je ostvariti željenu geometriju ali tako definisanu geometriju treba obavezno proveriti pomoću vodosenzitivnih pločica pre puštanja u rad mašine. Još 1987. Travis sa saradnicima je ispitivao uticaj položaja rasprskivača, kao i norme i brzine kretanja na depoziciju i distribuciju pesticida u zasadu jabuke (sorta zlatni delishes). Ispitivanje je vršeno pri tretiranju voćnjaka normama od 374, 617 i 935 l/ha i radnim brzinama od 2,4, 3,2, 4,0 i 4,8 km/h. U cilju ispitivanja analizirana su četiri rasporeda distribucije tečnosti od strane rasprskivača, (sl 3.27):

- a) 34/66 – 34 % tečnosti ide u gornju 1/3 stabla, a 66 % u donje 2/3 stabla
- b) 50/50; c) 66/34; d) 80/20



Slika 3.27 Definisane geometrije mlaza promenom položaja rasprskivača



Rezultati ispitivanja su pokazali da je kod srednjih stabala jabuka najbolja distribucija i pokrivenost ostvarena sa varijantom gde je brzina kretanja iznosila 3.2 km/h, uz normu tretiranja od 617 l/ha i raspored distribucije tečnosti 66/34. Kod malih stabala najbolji rezultati su ostvareni pri istoj brzini i normi ali uz raspored distribucije 50/50. Srednja stabla su bila prosečno 3.6 m dugačka, 4.1 m široka i 4.1 m visoka. Mala stabla su bila prosečno 3.1 m dugačka, široka i visoka. Ispitivanja su izvršena sredinom leta kada su biljke bile u punoj vegetaciji. Orošivač sa kojim je vršeno tretiranje je imao po 7 rasprskivača sa obe strane.

### 3.7. Određivanje norme tretiranja

Postoji nekoliko metoda za podešavanje norme i doze tretiranja, (sl 3.28): TRV (Trostruki zapreminski volumen), FWA (Oblast voćnog zida), CHT (Visina krune)...



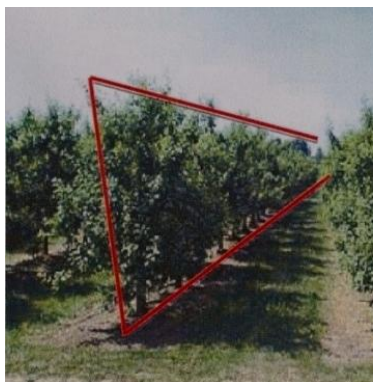
Doza/Jedinica površine  
(m<sup>2</sup> ili ha)



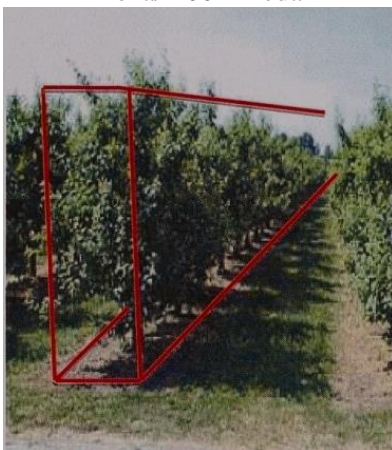
Doza/Visina (m)



Doza/ 100 m reda



Doza/Voćni zid (m<sup>2</sup>)



Doza/Trostruka zapremina (m<sup>3</sup>)

Slika 3.28 Metode definisanja doze i norme tretiranja

Najpoznatija metoda je „Trostruka zapremina“ (TRV–Tree Row Volume) osmišljena 1971. od strane R.E. Buyers-a. TRV ( $m^3/ha$ ) je zapremina krošnje drveta po jedinici površine.

$$TRV(m^3/ha) = \frac{10\,000(m^2/ha) \times h(m) \times b(m)}{r(m)}$$

h (m) – visina stabala

b (m) – širina krošnje

r (m) – međuredni razmak

*Sutton (1984)* i *Unrath (1988)* dalje razvijaju metod množeci TRV sa preporučenom količinom tečnosti za potpuno vlaženje  $1\ m^3$  lišća. Na ovakav način dobijene su velike norme tretiranja, jer se išlo na potpunu vlažnost lisne površine.

TRV je koncipiran na pretpostavki da zapremina lišća po hektaru može biti korišćena kao vodič za određivanje norme. TRV koncept predpostavlja da je svaki red pravougaona kutija i na osnovu njenih dimenzija izračunava zapreminu lišća koju zatim upoređuje sa definisanom standardnom zapreminom od  $39.907\ m^3/ha$ . Na osnovu navedenog definiše se da je 1litar/10,67  $m^3$  standardna norma koja se koristi kao reper u svakom voćnjaku. Na osnovu ovih podataka definiše se norma za svaki drugi voćnjak. Osim navedene norme postoje i neke druge vrednosti koje su početkom osamdesetih predlagane i korišćene kao 1litar/8,62  $m^3$  ili 1litar/7,48  $m^3$ .

Kod definisanja norme prema TRV konceptu treba obratiti pažnju da li je voćnjak u punom razvoju ili u početnim fazama rasta. Ako je u početnim fazama rasta treba povesti računa o velikoj propusnosti krošnje za pesticidnu tečnost nošenu vazдушnom strujom usled male lisne mase, i prema tome prilagoditi normu. Princip je bio da se posle definisanja TRV-a, odredi količina vode koja je potrebna za dati voćnjak tako što se osim TRV-a izvrši klasifikacija voćnjaka prema gustini lisne mase na voćkama. Sa 0,7 se označavaju biljke ekstremno otvorene (lagana penetracija tečnosti), a sa jedinicom zatvorene biljke teške za penetraciju tečnosti. Između ove dve klase su: klasa 0,75 – veoma otvorene (lagana penetracija); klasa 0,8 – slabo otvorene (mnogo rupa u biljnoj masi gde je moguća penetracija tečnosti i svetla); 0,85 – srednje otvorene (gustina takva da je onemogućena penetracijau donje 2/3 krošnje); 0,9 – minimalno otvorene (malo prostora u biljnoj masi gde je moguća penetracija tečnosti i svetla); 0,95 – veoma mala ili nikakva otvorenost (teška penetracija). TRV se podešava u skladu sa napred navedenom klasifikacijom, a zatim se deli sa 10,24 ili 7,48 kako bi se dobila konačna vrednost norme. Standardna norma 1l/7,48  $m^3$  je tako definisana jer 1 l tečnosti okupa 7,48  $m^3$  lisne mase tako da voda počne da klizi niz lišće.

Veliki broj naučnika sredinom osamdesetih uvideo je neophodnost da se u TRV metod uključi i četvrti faktor, a to je gustina po jedinici površine. *Walkate et al, 2007.* godine piše o terminu „Gustina Voćnjaka Metod“ (TAD – Tree-Area-Density), koji uzima u obzir i napred navedeni 4 faktor kao modifikaciju TRV metoda.

TRV metod je u nekoliko evropskih zemalja, zadnjih godina prihvaćen i adaptiran za primenu malih normi tretiranja. Formula za određivanje norme u ovom slučaju glasi  $N = a+b \times TRV$ . Vrednost zbira koeficijenta je različita od zemlje do zemlje, pa u Holandiji iznosi 0.0125, u Švajcarskoj 0.02 i u Poljskoj 0.033 (*Doruchowski et al, 1997*). Pristup TRV metodi kroz definisanje velikih normi tretiranja je napušten.

Drugi dvodimenzionalni metod je razvijen od strane *Koch and Weisser-a (1994)*. Pre njih na ovaj metod ukazao je *Morgan* još 1964. Ovaj metod podrazumeva podešavanje norme tretiranja množenjem visine stabala sa dužinom reda po hektaru. Ovaj metod se naziva FWA „Oblast voćnog zida“. Ovo je jednostavan metod koji ne uzima u obzir važne parametre koji regulišu put mlaza od orošivača do voćke i kvalitet pokrivenosti biljke. Sa druge strane TRV

metod ne uzima u obzir razvojni stadijum voćke i gustinu krošnje. Ovi faktori, kao i faktori koji regulišu put mlaza tečnosti do voćke (vetar, karakteristike orošivača..) značajno utiču na depoziciju tečnosti u krošnju, a samim tim na kvalitet i efikasnost zaštite. Stoga je neophodno kod definisanja norme tretiranja bilo kojim od navedenih metoda uzeti u obzir sve faktore koju utiču na kvalitet i efikasnost aplikacije i izvršiti sva potrebna podešavanja istih. Dakle posle definisanja željene norme za dati voćnjak potrebno je odrediti potreban kapacitet vazdušne struje, izabrati odgovarajuće rasprskivače, isključiti nepotrebne, a potrebnim podesiti ugao postavljanja i definisati brzinu kretanja, a sve u skladu sa razvojnim stadijumom, olistalošću biljke, brzinom vetra i svrhom zaštite.

FWA model deluje kao najpogodniji za vinograde, jer oni formiraju vertikalni zid i vrlo je jednostavan (prati se visina krune i međuredni razmak, a ne uzima se u obzir širina krune koja je često subjektivan i nepouzdan podatak). Praćenjem indeksa lisne površine LAI i lisne površine po jedinici FWA (LA/FWA,  $m^2/m^2$ ), može se doći do smanjenja doze i do 65 % u početnim fazama razvoja. Naravno da aktuelno potencijalno smanjenje doze zavisi i od nekoliko drugih faktora kao što su broj i vreme tretiranja tokom sezone.

Zadnjih godina je koncept humane upotrebe pesticida u cilju zaštite životne sredine od zagađenja zbog loše aplikacije pesticida izneo niz praktičnih modela koji imaju za cilj da redukuju odnosno podešavaju dozu u skladu sa karakteristikama voćnjaka. Podešavanje doze se vrši prema voćnjaku, a na osnovu zapisane preporučene doze za različite strukturne parametre voćnjaka – metod „Preporučena doza“ (LRDR – Label-Recommended Dose Rate). Ove preporučene doze koje su zapisane na pesticidu su osmišljenje u cilju podešavanja doze u skladu sa strukturom zasada odnosno u skladu sa razmakom sadnje, visinom, širinom i gustinom po jedinici površine. Precizno govoreći podešavanja u LRDR sistemu, podrazumevaju minimalne gubitke pri orošavanju, zahvaljujući činjenici da je pre definisanja doze određena struktura voćnjaka uz pomoć TAD modela koji analizira četvrti faktor, osim standardna tri (razmak, visina, širina), a to je gustina po jedinici površine. Podešavanje doze na ovaj način je tipični regresioni model baziran na TRV. Nažalost LRDR model nije naišao na podršku u poljoprivrednoj praksi Velike Britanije (*Cros and Walkate P J, 2007*). Većina proizvođača pesticida nije dala neophodne preporuke koji bi definisali upotrebu pune LRDR doze u određenom tipu voćnjaka zavisno od već navedenih strukturnih parametara istog. Samo pesticidi koji su namenjeni integralnoj proizvodnji voća daju taj tip informacije odnosno definišu podešavanje doze prema LRDR u skladu sa TRV, uz zanemarivanje gustina po jedinici površine.

Kako bi se izbegla konfuzija u primeni nekih od navedenih metoda kod definisanja norme, a zatim i doze prema LRDR modelu, najbolje je da se karakteristike voćnjaka bez obzira prema kojoj od navedenih metoda se definišu, obavezno određuju uz pomoć savremenih elektronski senzorski opremljenih sistema. LRDR sistem je takav, a postoji i niz drugih sistema koji uz pomoć senzora i softvera upravljačkih jedinica snimaju voćnjak, a zatim definišu njegovu strukturu. Na osnovu tako dobijenih podataka lako se određuje norma i doza. LRDR sistem je dvodimenzionalna mapa koja pokazuje lokalnu strukturu voćnjaka.

U cilju lakog definisanja norme tretiranja, prema karakteristikama voćnjaka napravljen je metod pod nazivom Red Jedinice Krošnje (UCR – Unit Canopy Row). UCR za uzgajivače voća i grožđa je definisan kao 1 m dužine  $\times$  1 m širine  $\times$  100 m dužine reda ( $100 m^3$  lisne mase). Problem jeste u definisanju doze. Najbolje bi u ovom slučaju bilo da se doza definiše kao kg ili l pesticida po UCR umesto dasadašnjeg definisanja po hektaru (l,kg/ ha).

Kod merenja veličine krošnje visina se posmatra od dna do vrha krošnje (ne od zemlje), širina od najizbačenijih grana i traži se srednja vrednost. U Australiji su date neke preporuke za pojedine voćne kulture: grožđe 30 l/UCR, limun 12 l/UCR (folijarna prihrana) odnosno 40

l/UCR (insekticidi) itd. Mora se posebno voditi računa o tome zašto se vrši zaštita, kao i olistalosti krošnje kod definisanja napred navedenih preporuka i shodno tome uvesti određene korekzione faktore. Takođe se mora voditi računa i o tipu orošivača koji se koristi, pa su u te svrhe uvedeni korekcionni faktori koji se kreću u rasponu od 0,5 do 3.

Proizvođači voća i grožđa iz Australije i Novog Zelanda su tokom 1997/1998 godine išli na obuku u cilju kalibracije svojih mašina u skladu sa UCR metodom. UCR metod je posebno interesantan za proizvođače koji kreću u integralnu proizvodnju voća. Proizvođačima je TRV metod bio težak za razumevanje i primenu ali im je sa druge strane bilo lako da umesto definisanja norme i doze u litrama po hektaru (l/ha), definišu normu i dozu u litrama na 100 metara dužine reda (l/100 m). Pretpostavka je bila da će se na ovaj način značajno smanjiti norma, osim u slučajevima jako razvijenih voćnjaka ili tunelske proizvodnje grožđa.

*Manktelow and Praat (1997)* navode da je za većinu voćnih kultura količina od 7,5 l/UCR (75 l/1000 m<sup>3</sup>) dovoljna. U Australiji proizvođači pesticida preporučuju 30 l/UCR i ova količina se ostvaruje pri normi od 1000 l/ha u vinogradu 1 m visine × 1 m širine, sa međurednim razmakom od 3 m. Prema *Manktelow* značajno veća preporučena količina u vinogradima je zbog proste činjenice da je lišće vinove loze veće i gušće od lišća bilo koje voćke.

Norma tretiranja kod vinograda ili npr. zasada jabuka treba da se poklopi sa preporučenom količinom. U zasadu jabuke to je 75 l/1000 m<sup>3</sup>. Međutim ovde treba uzeti u obzir specifičnosti date aplikacije, vremenske uslove i obavezno pratiti biološku efikasnost. Posebno je važno imati na umu drift i zavisno od tehničkih karakteristika orošivača povećati količinu tečnosti po 1000 m<sup>3</sup> za vrednost očekivanog drifta. Primera radi ako se radi sa klasičnim orošivačem drift može da odnese i do 60 % pesticidne tečnosti, pa stoga treba dobro podesiti mašinu i vreme tretiranja, kao i normu/UCR. Stoga, *Furness (1998)* preporučuje sledeće norme/UCR: grožđe - 30 l, voće – 8 do 12 l.

Veliki broj australijskih istraživača je preporučio proizvođačima pesticida da na etiketama pesticida obavezno naznače normu/UCR, ali to još uvek nije zaživelo u praksi.

Pošto gustina lisne mase varira od voćnjaka do voćnjaka, pa i u samom voćnjaku u različitim fazama razvoja preporuka je da se norma/UCR odnosi na srednju gustinu a da se za veliku gustinu množi sa korekcionim faktorom 1,5, odnosno za malu sa 0,5.

Kako se u praksi nalazi i veliki broj različitih orošivača po svojim tehničkim karakteristikama preporuka je da se i zavisno od toga norma/UCR množi sa nekim od koeficijenata u rasponu od 0,5 do 3. Za klasične orošivače kod kojih je moguć drift i do 60%, taj koeficijent bi bio 3 ili čak i više.

Savremene tehnologije, kao što je primena GPS sistema, danas omogućuju i razvoj nekih novih koncepta. *Doruchowski (2009)* navodi da efikasno rešenje problema drifta i samim tim zagađenja okoline, kao i pravilno definisanje norme, jeste u primeni „EDAS koncepta“ (Koncept aplikacije pesticida u zavisnosti od uslova okoline). Navedeni koncept je sistem aplikacije pesticida u voćnjaku koji identifikuje karakteristike okoline i podešava aplikacione parametre prema karakteristikama, koji vladaju u okolini.

Karakteristike okoline koje se prate su: pravac i brzina vetra (meri se pomoću soničnih anemometara), blizina vodenih površina, melioracionih bunara, zgrada, osetljivih biljaka, itd. U zavisnosti od svega navedenog podešavaju se rasprskivači tako da se za rad odaberu oni koji će u datim uslovima imati najmanji drift, a pojedini rasprskivači se po potrebi isključuju.

Svi napred navedeni metodi definisanja norme tretiranja su zastupljeni u manjoj ili većoj meri. Nema usaglašenog stava stručnjaka koji se bave ovom problematikom o tome koji metod je najbolji, (sl 3.29).



Slika 3.29 Koji metod izabrati?

Trenutno jedino rešenje ove dileme jeste analiza uslova tretiranja, orošivača i stanja voćnjaka i odabir najboljeg rešenja na osnovu ove analize.

### 3.7.1. Uticaj norme tretiranja na kvalitet i efikasnost zaštite

Uticaj brzine kretanja, norme i položaja rasprskivača na depoziciju i distribuciju pesticida u zasadu jabuke (sorta „golden delishes“) ispitivao je još 1987. J. Travis sa saradnicima. Ispitivanje je vršeno pri tretiranju voćnjaka normama od 374, 617 i 935 l/ha i radnim brzinama od 2,4, 3,2, 4,0 i 4,8 km/h.

Rezultati ispitivanja su pokazali da je kod stabala jabuke srednje visine najbolja distribucija i pokrivenost ostvarena sa varijantom gde je brzina kretanja iznosila 3,2 km/h, uz normu tretiranja od 617 l/ha. Kod malih stabala najbolji rezultati su ostvareni pri istoj brzini i normi ali uz raspored distribucije 50/50. Srednja visina stabla je prosečno iznosila 3,6 m dužina, 4,1 m, a širina i 4,1 m. Mala stabla su bila prosečno 3,1 m dugačka, široka i visoka. Ispitivanja su izvršena sredinom leta kada su biljke bile u punoj vegetaciji. Orošivač sa kojim je vršeno tretiranje imao je po 7 rasprskivača sa obe strane.

Ispitivanja uticaja brzine na pokrivenost i distribuciju tečnosti su dala očekivane rezultate, odnosno ustanovljeno je da povećanje brzine, znači manju normu ali i manju pokrivenost. Pitanje na koje nije dat odgovor jeste koja količina radne tečnosti jeste dovoljna da bi se ostvarila biološka efikasnost. Danas, dvadeset godina kasnije pokazalo se da uz upotrebu savremenih mašina i pesticida, manje norme tretiranja apsolutno obezbeđuju zadovoljavajući biološki efekat.

Što se tiče uticaja norme na distribuciju i pokrivenost, ispitivanja su pokazala da su najbolji rezultati ostvareni sa normom od 617 l/ha. Promena norme u ovom eksperimentu je ostvarena korišćenjem vrtložnih rasprskivača različitih otvora. Za manje norme su korišćeni rasprskivači manjih otvora, a za veće obrnuto. Nešto lošiji rezultati su ostvareni pri radu sa normom od 935 l/ha, a najlošiji su sa malom normom od 374 l/ha. Loši rezultati ostvareni sa najmanjom normom su apsolutno logični posmatrano sa vremenske distance od preko 20 godina. U današnje vreme, kada na tržištu postoji veliki broj savremenih rasprskivača koji sa povećanjem pritiska uspevaju da sačuvaju uniformnost spektra mlaza tako da ne dođe do velikog povećanja udela malih ili ultra malih kapljica, takođe je teško u punoj vegetaciji ostvariti kvalitetnu i efikasnu zaštitu sa normama do 500 l/ha. Norma od 617 l/ha, je za biljke navedenih dimenzija, preporučena u punoj vegetaciji, a čak je i norma od 935 l/ha odgovarajuća, pogotovo kod rada sa starijim klasičnim orošivačima. Interesantno je analizirati

lošiji rezultat koji je norma 935 l/ha ostvarila u odnosu na normu od 617 l/ha. Ovaj rezultat je verovatno posledica slabe vazdušne struje koju je proizvodio ventilator i koja kao takva nije mogla nešto krupnije kapi da unese u gustu krošnju.

U Kataloniji je *Solanelles* (2007) sproveo trogodišnje oglede na zasadu jabuka i krušaka. Vršeno je orošavanje sa normama od 400, 800 i 1600 l/ha u svim fazama razvoja voćaka. Veličina kapi bila je u vezi sa normom i merena je sa „Faznim analizatorom kapi“ (Phase Doppler particle Analyser). Korišćeni rasprskivači i radni pritisak kombinovani su tako da je pri svakoj aplikaciji što približniji spektar kapi u skladu sa svojom veličinom. Stablo je na svojoj levoj i desnoj strani, kao i u sredini bilo pokriveno vodosenzitivnim pločicama na svim visinama kako bi se ustanovila pokrivenost. Drift je određen na osnovu kapi, koje su se našle na pločicama 6 mernih mesta na zemlji.

Rezultati trogodišnjih ispitivanja su pokazali da najmanja norma tretiranja ima puni efekat u ranim fazama razvoja stabala. U zasadima kruške („conference“ i „blanquilla“) i zasadu jabuke („golden“) nije bilo značajnije razlike u efektu tretiranja s' ove tri norme, dok je najniža norma ostvarila najbolji unos pesticidne tečnosti u krošnju jabuke („red cheif“). Najveći gubici usled drifta ostavareni su u zasadima koji su imali najmanju gustinu i pri najnižim normama.

Činjenica da je zadržan spektar kapi u mlazu, bez obzira na promenu norme ukazuje na razlog zašto nije ostvarena značajnija razlika u nanosu pesticidne tečnosti. Stoga ako je moguće promeniti normu bez promene veličine kapi, onda je ispred korisnika mašine širok opseg različitih normi da tretira svoj voćnjak, uz napomenu da doza mora biti nepromenjena i pokrivenost mora biti u granicama koje obezbeđuju biološku efikasnost.

Zbog velikog drifta koji se javlja pri orošavanju voćnjaka, savetodavno telo Ministarstva poljoprivrede Italije, donelo je odluku da pokrene projekat koji će imati za cilj klasifikaciju rasprskivača, koji se koriste na orošivačima, prema njihovoj sposobnosti da smanje drift. Razlozi za ovako nešto su višestruki. Rasprskivači koje karakteriše mali drift nisu značajna finansijska investicija i mogu da se koriste na svakom orošivaču, a njihovo uvođenje u praksu može da se obavi veoma brzo. Ispitivanja su rezultirala predlogom 50 %, 75 %, 90 %, i 95 % klase rasprskivača prema njihovoj sposobnosti da obavljaju redukciju drifta.

Ispitivanja koja su zadnjih godina sprovodili naučnici Kornel Univerziteta takođe su koncentrisana na unapređenje depozicije pesticida i smanjenje drifta. Eksperimenti su sprovedeni radi saznanja o uticaju vazdušne struje (brzina i pravac), tipa rasprskivača i njihovog položaja u odnosu na krošnju.

Slična istraživanja su 1997. izveli i HRI – East Malling Research Institute. Cilj ovih istraživanja je bio da se razviju odgovarajuće metode za podešavanje orošivača sa klasičnim aksijalnim ventilatorom kako bi njihova primena što bolje pratila potrebe voćnjaka. Ustanovljeno je pet različitih operacionih parametara koji se mogu nezavisno podešavati na bilo kom klasičnom orošivaču sa aksijalnim ventilatorom. Navedeni parametri su: norma, vertikalna distribucija tečnosti, kapacitet vazdušne struje, pozicija rasprskivača, tip rasprskivača i brzina kretanja. Izveden je niz eksperimenata, tako da je u svakom eksperimentu za različite voćnjake (različiti po prosečnoj veličini stabla) podešavan jedan parametar, dok su ostali bili konstantni. Praćeni su parametri kvaliteta zaštite, pokrivenost lišća, zemljišni i vazdušni drift.

Eksperiment je sproveden u periodu od 1997. do 1999. godine sa klasičnim orošivačem model „TC1082“, proizvođač „Hardi“ iz Danske. Orošivač je posedovao aksijalni ventilator kapaciteta vazdušne struje 11,3 m<sup>3</sup>/s. Ispitivanje je vršeno za 3 različite norme tretiranja u 3 različita voćnjaka. Voćnjaci se razlikuju po veličini stabala jabuke i može se reći da je gledano po razvijenosti njihovih stabala jedan veliki, drugi srednji i treći mali. Za tretiranje u svakom

voćnjaku su korišćene srednje norme od 727 do 769 l/ha, male norme od 277 do 302 l/ha, i ultramale norme od 88 do 97 l/ha. Različite norme tretiranja su dobijene promenom rasprskivača, kojih je bilo osam. Za orošavanje su korišćeni vrtložni „Albuz ATR“ rasprskivači. Za srednju normu su korišćeni rasprskivači zelene kolor kodacije, dok su za malu i ultramalu normu korišćeni rasprskivači narandžaste i braon kodacije. Zeleni rasprskivači su radili sa pritiskom od 24,5 bar, narandžasti sa pritiskom od 11,9 bar, a braon sa pritiskom od 4,7 bar. Brzina kretanja je za sva tretiranja u toku jedne godine bila jednaka i kretala se od 5,76 do 5,9 km/h, (tab 3.16).

Veoma je bitno naglasiti da je pre rada sa orošivačima proveren kapacitet svih rasprskivača, a pre toga i zapreminski prečnik njihovih kapi. Cilj je bio da spektar kapi u mlazu rasprskivača ostane nepromenjen bez obzira na promenu pritiska u cilju promene norme. Iz tabele 15 se vidi da je udeo sitnih i krupnih kapi (D10 i D90) gotovo nepromenjen i da je srednji zapreminski prečnik kod sve tri norme bio gotovo identičan odnosno iznosio je 159, 156 i 157  $\mu\text{m}$ . Zapreminski prečnik je određen u laboratorijskim uslovima uz pomoć „Faznog analizatora kapi“. Upravo nepromenjen spektar kapi i srednji zapreminski prečnik, obezbeđuju mogućnost dobrog kvaliteta i efikasnosti zaštite pri manjim normama.

Tabela 3.16 Rezultati eksperimenta HRI– East Malling Research Institute (1997-1999)

		Srednja norma	Mala norma	Ultramala norma
Vrtložni „Albuz ATR“ rasprskivači		223	215	210
Boja rasprskivača		Zeleni	Narandžasti	Braon
Broj rasprskivača		8	8	8
Pozicija rasprskivača na vencu		2-5, 12-15	2-5, 12-15	2-5, 12-15
Pritisak (bar)		24,5	11,9	4,7
VMD ( $\mu\text{m}$ )		159	156	157
D10		84	87	94
D90		244	244	240
Kapacitet orošivača (l/min)	1997. godina	29,9	11,4	3,9
	1998. godina	28,8	11,2	3,4
	1999. godina	28,6	10,9	3,4
Brzina kretanja (km/h)	1997. godina	5,76	5,76	5,76
	1998. godina	5,8	5,8	5,8
	1999. godina	5,9	5,9	5,9
Norma (l/ha)	1997. godina	769	302	97
	1998. godina	758	295	89
	1999. godina	727	277	88
Broj obrtaja priključnog vratila (o/min)		500	500	500
Kapacitet ventilatora ( $\text{m}^3/\text{s}$ )		11,3	11,3	11,3

Rezultati ovog eksperimenta su pokazali da nema značajne razlike između depozicije na listu posmatrano u zonama krošnje kod upotrebe male i ultramale norme. Postojala je samo evidentna razlika u zasićenosti metala koji karakterišu pesticidnu tečnost, kod primene srednje norme u prvoj godini eksperimenta. Međutim, primetna je razlika u depoziciji pesticida kod međusobnog poređenja listova, pa čak i u jednoj zoni stabla mogu se primetiti značajne razlike u poređenju depozicije na pojedinim listovima. To bi mogla biti značajna posledica primene manjih normi. Sa druge strane ova ispitivanja su još jednom potvrdila pretpostavku da orošivači sa aksijalnim ventilatorom imaju bolju depoziciju na listove donjih zona nego gornjih zona stabla. Na vršnim listovima krune je veća razlika depozicije nego na donjim



listovima. Za razliku od depozicije pesticidne tečnosti na listu, depozicija na plodu jabuke se povećala sa smanjenjem norme. Razlog tome leži verovatno u činjenici da plod zbog svoje veličine i težine ne može da se njiše kao list pa je tako i bolja depozicija.

Sa druge strane pokrivenost lista je rapidno padala sa smanjenjem norme i to sa 48,4, preko 22,4 do 5,7 % 1998. godine, a 1999. je pokrivenost padala od vrednosti 37,6, preko 19,9 do 3,8 %. S obzirom da je većina pesticida koji se koriste u voćnjaku sistemična, možemo reći da je manja pokrivenost na manjim normama mali problem, ako pri tom imamo zadovoljavajuću količinu pesticida na biljci koju su identifikovali pomoću već pomenutih tragača metala. Na pokrivenost posebno treba obratiti pažnju kod primene kontaktnih pesticida ili pesticida za koje je sam proizvođač naglasio da traže dobru pokrivenost biljnih delova.

Što se tiče drifta i tu su rezultati očekivani, odnosno veći je bio kod ultramalih normi, dok je kod male i srednje norme bio gotovo jednak. Treba napomenuti i da veće povećanje drifta kod ultramale norme nije bilo u svim godina, već samo u drugoj godini kada je bio nešto jači vetar.

Važan zaključak ovih trogodišnjih eksperimenata je da se norma može menjati u širokom opsegu bez značajnijih posledica po efikasnost pesticida ali samo pod uslovom da se održi konstantan spektar kapi i njihov zapreminski prečnik. Male norme treba izbegavati samo kod upotrebe pesticida koji zahtevaju veću pokrivenost. Drugi najznačajniji zaključak jeste da je neophodno prilagoditi normu geometriji i gustini voćaka. U zadnjih 15 godina, isti istraživači su izveli još desetak sličnih eksperimenata koji su potvrdili ovu činjenicu.

*Sedlar i dr, 2011*, sprovodi ispitivanje gubitaka radne tečnosti u vidu zemljišnog drifta kod zasada jabuke i šljive. Ispitivanje je izvedeno je pri radu sa standardnim vučenim orošivačem „Caffini“ model Orange 1000, agregatiranim sa traktorom „IMT – 539“. Na ispitivanom orošivaču korišćeni su vrtložni rasprskivači 2 x 6 komada, proizvodnje „Albuz“ u tri kapaciteta (dole D 10 x 1, sredina D12 x 4, i gore D15 x 1). Tretiranje je obavljeno velikom normom od 1289 l/ha i srednjom od 801 l/ha. Brzina kretanja agregata je iznosila 6,16 km/h, a radni pritisak 15, odnosno 8 bar.

Zasad jabuke je u momentu ispitivanja bio starosti 7 godina, a zasad šljive 5 godina. U zasadu jabuke je zastupljen veći broj sorti jabuka: ajdared, greni smit, zlatni delišes, crveni delišes i jonagold, dok je u zasadu šljive prevladavala sorta čačanska. Prosečna visina jabuka za vreme tretiranja je iznosila 3.43 m, prosečna širina krune 2.31 m. Prosečna visina šljiva je iznosila 3,33 m, a širina krune 2,40.

Tretiranje je izvedeno pri temperaturi 24°C, relativnoj vlažnosti vazduha 85 %, uz duvanje vetra na mahove sa brzinom od 0,9 – 1,3 m/s pri tretiranju zasada jabuke, odnosno 1.5 do 3 m/s pri tretiranju zasada šljive.

Količinski gubici radne tečnosti u vidu zemljišnog drifta mereni su pomoću posebnih mernih posuda dimenzija 500 x 100 mm. Merne posude postavljene su prema određenom rasporedu na rastojanju od 1-7 m od centra orošivača, pre porolaska agregata.

Odmah posle prolaska agregata, obeležene merne posude se sakupljaju i mere na elektronskim vagama koje vrše merenja na treću decimalu. Nakon merenja, obeležene posude se obrišu suvom krpom i vraćaju na određene pozicije na ponovno merenje. Merenje je vršeno u tri ponavljanja i rezultat merenja je izražen u litrama uzevši u specifičnu masu vode i preparata.

Iz tabele 3.17 se vide prosečni gubici svih merenja pri tretiranju zasada jabuke i šljive velikom normom.

U dosta bujnom zasadu jabuka, sa leve strane agregata, može se zapaziti da su izmerene prosečne vrednosti gubitka: 1,81 l po posudi, 32,53 l/ m<sup>2</sup>, odnosno 325,3 l/ha ili 25,24 % od norme tretiranja. Sa desne strane kretanja agregata prosečni gubici su znatno

manji i iznose 133 litre. Iskazano je posledica pravca duvanja vetra, koji je upravo duvao sa desna na levo u odnosu na pravac kretanja agregata.

Pri tretiranju zasada šljive, intezitet duvanja vetra se pojačao i ekspozicija samog voćnjaka je bila drugačija tako da su evidentirani gubici na levoj strani bili manji u odnosu na desnu stranu kretanja agregata. Na desnoj strani je zabeležen gubitak radne tečnosti od 231.2 litre, što je 17.9 % u odnosu na normu tretiranja.

Tabele 3.17 Gubici usled zemljišnog drifta pri tretiranju zasada velikom normom

	Gubici tečnosti – levo			Gubici tečnosti – desno		
Gubici usled zemljišnog drifta u zasadu jabuke						
Pozicija merne posude	U posudi, l	l/m <sup>2</sup>	l/ha	U posudi, l	l/m <sup>2</sup>	l/ha
1	1,2	21,57	215,7	0,59	10,61	106,1
2	0,1	1,80	18,0	0,09	1,62	16,2
3	2,8	50,34	503,4	0,19	3,42	34,2
4	1,8	32,36	323,6	1,7	30,56	305,6
5	3,0	53,93	539,3	2,07	37,21	372,1
6	1,6	28,76	287,6	0,01	0,18	1,8
7	2,16	38,83	388,3	0,5	8,99	89,9
Prosek:	1,81	32,53	325,3	0,74	13,30	133,0
Gubici usled zemljišnog drifta u zasadu šljive						
Pozicija merne posude	U posudi, l	l/m <sup>2</sup>	l/ha	U posudi, l	l/m <sup>2</sup>	l/ha
1	1,16	23,04		1,28	23,04	
2	0,96	17,28		1,66	29,97	
3	1,22	21,96		1,31	23,67	
4	0,91	16,47		1,2	21,60	
5	0,92	16,65		1,47	26,55	
6	0,48	8,37		1,25	22,59	
7	0,71	12,87		0,8	1,4	
Prosek:	0,93	16,70	167,00	1,28	23,12	231,20

Smanjenjem norme tretiranja, dobijeni su znatno bolji rezultati po pitanju zemljišnog drifta, (tab 3.18). Prosečni gubici u zasadu jabuke su iznosili 50.3 l/ha, a u zasadu šljive 172.7 l/ha.

Posmatrano kroz vrednost norme tretiranja gubici usled zemljišnog drifta iznose svega 6.3 % od norme tretiranja. Međutim kod tretiranja šljive ti gubici se povećavaju i iznose 21.5 % od norme tretiranja (*Sedlar, 2013a*). Posmatrano u odnosu na gubitke ostvarene pri tretiranju zasada šljive velikom normom, primena srednje norme za 6.05 % ima veći zemljišni drift. Prosečna vrednost gubitaka kod primene velike norme je iznosila 15.45 % u odnosu na normu tretiranja. Procentualno povećanje gubitaka sa smanjenjem norme tretiranja je očekivano, jer manja norma tretiranja znači veći udeo sitnijih kapi u mlazu. Posmatrano količinski manju normu tretiranja prati manja količina tečnosti koja dospeva na zemljište, ali to smanjenje neće biti značajno ukoliko nisu usaglašeni svi radni parametri i vremenski uslovi.

Tabela 3.18 Gubici usled uemljišnog drifta pri tretiranju zasada srednjom normom

Pozicija merne posude	Gubici tečnosti – levo			Gubici tečnosti – desno		
	U posudi, l	l/m <sup>2</sup>	l/ha	U posudi, l	l/m <sup>2</sup>	l/ha
1	1,27	22,83	228,3	0,07	1,26	12,6
2	0,1	1,80	18,0	0,38	6,83	68,3
3	0,21	3,78	37,8	0,24	4,31	43,1
4	0,15	2,70	27,0	0,25	4,49	44,9
5	0,05	0,90	9,0	0,08	1,44	14,4
6	0,03	0,54	5,4	0,28	5,03	50,3
7	0,03	0,54	5,4	0,78	14,02	140,2
Prosek:	0,26	4,67	46,7	0,30	5,39	53,9
Gubici usled zemljišnog drifta u zasadu šljive						
Pozicija merne posude	U posudi, l	l/m <sup>2</sup>	l/ha	U posudi, l	l/m <sup>2</sup>	l/ha
1	20,79	1,15		1,11	19,98	
2	19,35	1,07		1,11	20,97	
3	16,65	0,92		1,31	23,58	
4	13,95	0,77		1,05	18,90	
5	13,86	0,77		0,92	16,56	
6	11,97	0,66		1,06	19,17	
7	12,69	0,70		0,76	13,68	
Prosek:	15,60		156,00	1,05	18,94	189,40

Najbolji primer za to jeste tretiranje srednjom normom zasada jabuke, koje je izvedeno pri mirnom vremenu, sa usaglašenom vazdušnom strujom ventilatora i brzinom kretanja i koje je rezultirala sa gubicima od samo 50.3 l/ha. Kod zasada šljive, primena srednje norme nije dala isti rezultat jer je tretiranje šljive pratio vetar koji je duvao na mahove i do 3 m/s. Vremenski uslovi u kojima se izvodi tretiranje (brzina vetra, temperatura i relativna vlažnost vazduha), uz veličinu kapljica su najznačajniji činioci koji utiču na vrednost gubitaka a time i efikasnost tretmana. Posebno je važan intezitet vetra jer može da izazove veliko zanošenje i gubitke ali i lošu pokrivenost unutar krošnje. Kod većih zasada i orošivača sa većim kapacitetom ventilatora može da se radi do brzine vetra od 3 m/s, kod manjih zasada i slabijih orošivača može da se toleriše brzina do 2 m/s.

Osim vetra, drugi činilac koji je uticao na povećane gubitke u zasadu šljive jeste međuredni razmak (4.5x4m) u zasadu šljive, koji je za razliku od međurednog razmaka u zasadu jabuke (3.6x1.2 m) veći, što obezbeđuje ređi biljni sklop. Selektivna aplikacije bi u jednom ovakvom zasadu dala puni efekat kako sa energetskeg, tako i sa ekološkog aspekta

Organizator zaštitne mere i rukovaoc agregata moraju navedeno da imaju u vidu i u skladu sa tim da odrede kapacitet vazdušne struje ventilatora, brzinu kretanja i tip rasprskivača. Pri većim brzinama vetra treba koristiti injektorske rasprskivače. Primenom injektorskih (venturi) rasprskivača formiraju se krupnije kapljice sa vazdušnim mehurićima koje su otporne na drift, a kod kojih je moguće birati i veličinu kapljica od vrlo velikih do malih u zavisnosti od pritiska, sa smanjenjem zanošenja do 90 %.

### 3.7.2. Biološka efikasnost primene različitih normi i tipova tretiranja

Analizu energetskih parametara srednjih i malih normi, mora da prati i ocena biološke efikasnosti istih jer se samo takvim ispitivanjima dolazi do prave sike opravdanosti primene pomenutih normi.

U tom cilju je tokom 2009, pored prikazanih ispitivanja energetskih parametara selektivne aplikacije u zasadu jabuke srednjem (759 l/ha) i malom normom (381 l/ha), urađena je i analiza biološke efikasnosti primene malih i srednjih normi na listu i na plodovima. Proveravana je efikasnost tretiranja na intezitet pojave čađave krastavosti (*Venturia inaequalis*) i pepelnice (*Podosphaera leucotricha*).

Biološka efikasnost fungicida je ocenjena dva puta i to na lišću i na plodovima. U tu svrhu je uzeto 5 grana u 4 ponavljanja sa 5 voćaka što znači da je za sve četiri varijante uzeto po 100 lastara. Lastari su doneti u laboratoriju i sa njih je pažljivo poskidano lišće. Lišće je kategorisano prema stepenu inteziteta napada krastavosti i pepelnice u sledeće kategorije:

- 0 kategorija – zdravo
- 1 kategorija – intezitet zaraze od 0 do 5 %
- 2 kategorija – intezitet zaraze od 5 do 15 %
- 3 kategorija – intezitet zaraze od 15 do 25 %
- 4 kategorija – intezitet zaraze od 25 do 50 %
- 5 kategorija - intezitet zaraze preko 50 %

Isti princip je primenjen kod ocene biološke efikasnosti u drugoj godini ispitivanja. Intezitet zaraze (I) je računat prema Townsend i Herberger (1943) formuli:

$$I(\%) = \frac{\sum(1 \times n) + (2 \times n) + (3 \times n) + (4 \times n) + (5 \times n)}{D \times N} \times 100$$

I – intezitet zaraze (%)

n – broj listova u svakoj kategoriji petostepene skale

N - ukupan broj listova

D - broj klasa

- klasa O se ne računa kao klasa

Za potrebe kontrole odabrano je 5 netretiranih voćaka i sa svakog od njih je uzeto 5 grana u 4 ponavljanja. Navedeni princip je korišćen u obe godine ispitivanja.

U cilju provere biološke efikasnosti na plodovima, za obe norme je izdvojeno po 4 gajbe jabuka.

Ocena indeksa zaraze jabuka:

kategorija -	bez pega
1 kategorija -	1-3 veće pege 1-5 manjih pega
2 kategorija -	preko 3 veće pege preko 5 manjih pega

Efikasnost tretmana je izračunat po formuli Abbota za obe godine ispitivanja. Obrada podataka je obavljena standardnim statističkim metodama analize varijanse (ANOVA). LSD i Duncan test su urađeni kompijuterskim programom COSTAT.

### 3.7.2.1. Ocena biološke efikasnosti na lišću

Prema rezultatima iskazanim u tabeli 3.19. suzbijanje *V. inaequalis* je vršeno u uslovima relativno slabijeg inteziteta zaraze. Pri intezitetu zaraze u kontroli od 22,66 %, intezitet zaraze u varijantama sa primenom fungicida se kretao od 1,73 do 1,99 %, odnosno između kontrole i ispitivanih varijanti postoji statistički značajna razlika. Između biološke efikasnosti srednje i male norme nema statistički značajne razlike (Sedlar, 2013b).

Tabela 3.19 Intezitet zaraze lista i biološka efikasnost različitih varijanti tretiranja i kontrole u suzbijanju *V. inaequalis*

Norma	Intezitet zaraze (%)						Efikasnost (%)
	Ponavljjanja				Ms (%)	Sd	
	I	II	III	IV			
759 l/ha	2,46	0,56	0,46	3,47	1,73 c	1,47	92,36
381 l/ha	1,65	1,55	2,01	2,76	1,99 c	0,54	91,21
Kontrola	21,71	24,06	21,94	22,93	22,66 a	1,07	

LSD<sub>05</sub> = 1,92

Shodno intezitetu zaraze, efikasnost preparata u varijantama iznosi od 91,21% do 92,36 %. Rezultati ispitivanja efikasnosti sa malom i srednjom normom u suzbijanju *P. leucitricha* prikazani su u tabeli 3.20.

Pri intezitetu zaraze u kontroli od 41,29 %, intezitet zaraze u varijantama je bio između 0,97 i 3,15 %, odnosno postoji statistički značajna razlika između kontrole i svih ispitivanih varijanti.

Tabela 3.20 Intezitet zaraze lista i biološka efikasnost različitih varijanti tretiranja i kontrole u suzbijanju *P. leucitricha*

Varijanta	Intezitet zaraze (%)						Efikasnost (%)
	Ponavljjanja				Ms (%)	Sd	
	I	II	III	IV			
759 l/ha	0,72	0	0,76	2,43	0,97 c	1,02	97,65
381 l/ha	2,40	2,01	2,84	5,35	3,15 bc	1,50	92,37
Kontrola	38,42	39,46	45,09	42,19	41,29 a	2,99	

LSD<sub>05</sub> = 3,33

Prikazani rezultati ukazuje na činjenicu da primena malih normi nije značajno smanjila kvalitet zaštite u odnosu na primenu srednjih normi, po pitanju ispitane biološke efikasnosti na listu u suzbijanju čađave krastavosti i pepelnice (Sedlar, 2013b).

### 3.7.2.2. Ocena biološke efikasnosti na plodovima

Plodovi jabuke iz oba tretmana su pregledani pre skladištenja da bi se utvrdio intezitet zaraze usled napada čađave krastavosti (*V. inaequalis*), (tab 3.21).

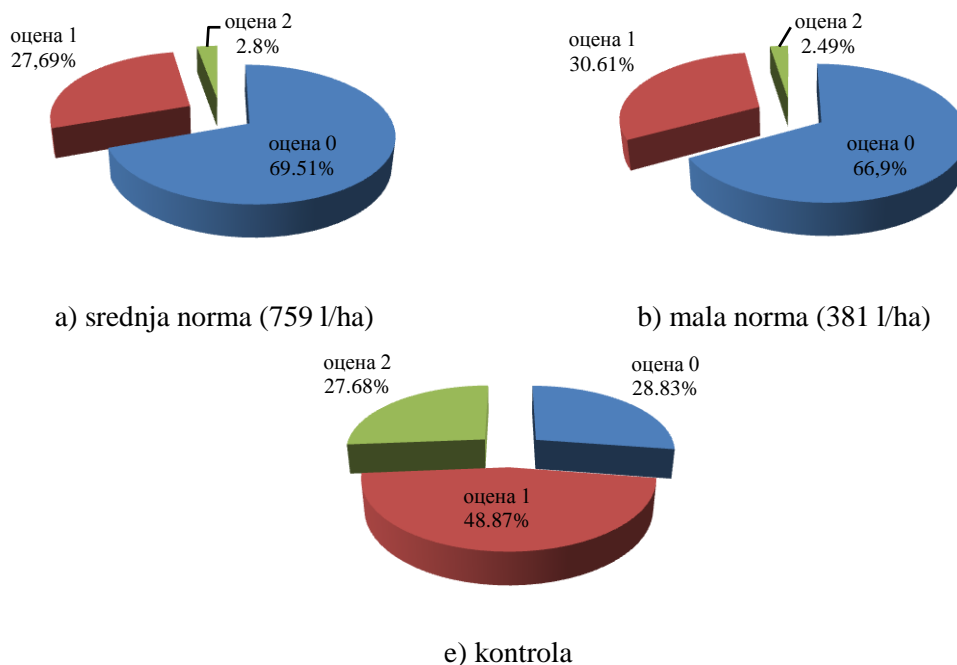
Tabela 3.21 Intezitet zaraze ploda i biološka efikasnost različitih normi tretiranja u suzbijanju *V. inaequalis*

Varijanta	Intezite zaraze (%)						Efikasnost (%)
	Ponavljjanja				Ms (%)	Sd	
	I	II	III	IV			
759 l/ha	16,95	22,56	14,15	12,96	16,65 b	4,27	66,58
381 l/ha	22	13,75	19,41	16,07	17,81 b	3,63	64,25
Kontrola	56,52	51,52	48,84	42,31	49,82 a	5,95	

LSD<sub>05</sub> = 7,26

Analizom tabele 3.21 uočava se da postoji statistički značajna razlika između kontrole i oba tretmana u suzbijanju *V. inaequalis*. Intezitet zaraze netretiranih jabuka je 49,82 %, dok se intezitet zaraze varijanti sa primenom fungicida kreću od 16,65 % do 17,81 %. Između inteziteta zaraze varijanti ne postoji statistički značajna razlika (Sedlar, 2013b).

Posebno je interesantno zaključiti da je efikasnost ujednačena i kreće se od 64,25 do 66,58 %. Dijagramski prikaz, (sl 3.30), procentualne zastupljenosti ocena zaraženosti ploda jabuke jasno pokazuje da primena malih i srednjih normi kao i različitih tipova orošivača nije imala za posledicu nikakvu razliku u kvalitetu i biološkoj efikasnosti zaštite jabuke.



Slika 3.30 Prikaz procentualne zastupljenosti ocena zaraženosti ploda jabuke

Posmatrano preko inteziteta zaraze plodova u suzbijanju čađave krastavosti (*V. inaequalis*) rezultati ispitivanja su pokazali isti trend. Prema tim rezultatima, primena malih normi je ostvarila u podjednako dobar efekat zaštite plodova i nema statistički značajne razlike u efikasnosti primenom male i srednje norme tretiranja.

### 3.8 Literatura

1. Balsari P, Tamagnone M. 1997. An automatic spray control for airblast sprayers: first results, In: Precision Agriculture. Proceeding of the 1st European Conference on Precision Agriculture. BIOS Scientific Publishers: 619-626, Oxford.
2. Bayass J.B. 1968. Equipment and methods for orchard spray application, N.Y. State Hort. Soc. Proc. 110: 186-195.
3. Bera B. 1984. Preliminary trials with tunnel sprayers for orchard spraying, Fruit Science Reports, 1(1): 37-44, Skierniewice-Poland.
4. Bowers W. 1992. Agricultural field equipment. Energy in farm production. Energy in World Agriculture, ed. Fluck R. C, (6): 117-129. Amsterdam: Elsevier.
5. Bugarin R. 2004. Kvalitet zaštite zasada jabuka u zavisnosti od norme tretiranja, Doktorska disertacija, Novi Sad.
6. Bugarin R, Sedlar A, Đukić N. 2009. Gubici usled drifta pri orošavanju višegodišnjih zasada i mere za smanjenje. Savremena poljoprivredna tehnika, 35(1-2): 118-126.
7. Buyers R.E, Hickey K.D, Hill C.H. 1971. Base gallonage per acre. Virginia fruit 60: 19-23.
8. Cervinka V. 1980. Fuel and energy efficiency. Handbook of Energy Utilization in Agriculture, ed. Pimentel, D. Boca Raton, FL: CRC Press, 15-21.
9. Cross J.V. 1991. Deposits on apple leaves from medium volume, low volume and very low volume spray applications with an axial fan sprayer. BCPC Monograph – Air assisted Spraying in Crop Protection. 46: 263-268.
10. Cross J.V, Berrie A.M. 1993. Spray deposits and efficacy of a tunnel sprayer at three volume rates (50, 100, 200 l/ha) in comaparasion with an axial fan sprayer (50 l/ha) on apple. A.N.P.P.-B.C.P.C.-Sec. Int. Symp. Pesticide application, Strasbourg, Tome 1: 273-280.
11. Cross J.V, Walklate P. 2007. Launch of a PACE scheme for a dose-rate adjustment to UK apple orchards. SuProFruit, Alnarp, Sweden.
12. Gil E, Badioala J, Armengol E, Bernat C. 1996. Design and verification of a moving equipment for orchard and vineyard calibration. Agricultural Engineering Conference, 96a-114, Madrid.
13. Godyn A, Holownicki R, Doruchowski G, Swiechowski W. 2008. Spray distribution for dual-fan orchard sprayer with reversed air-stream. Conference Proceedings CD-Internacional Confrence on Agricultural engineering, Crete (Greece).
14. Gracia F, Planas S, Bosh M. 1996. Comparisons of two measurement methods of the vertical distribution of sprayers for fruit crops. Agricultural Engineering Conference, Madrid.
15. Green M. B. 1987. Energy in pesticide manufacture, distribution and use, Energy in Plant Nutrition and Pest Control. Energy in World Agriculture, ed. Helsel, Z. R. (2): 165-195. Amsterdam: Elsevier.
16. Doruchowski G. 1993. Use of tunnel sprayer in orchards and berry plantations. annales A.N.P.P.-B.C.P.C.-Sec. Int. Symp. Pesticide application, Strasbourg, Tome 1: 281-280.
17. Doruchowski G, Svensson S.A, Nordmark L. 1997. Spray deposit within apple trees of different sizes and geometry at low, medium and high spray volumes. IOBC/WRPS Bulletin 19 (4): 289-294.
18. Doruchowski G, Jaeken P, Holownicki R. 1998. Target detection as a tool of selective spray application on trees and weeds in orchards. SPISE Conference on Precision Agriculture and Biological Quality, Boston: 290-301.

19. Doruchowski G, Swiechowski W, Holownicki R, Godyn A. 2009. Environmentally – Dependent Application System (EDAS) for safer spray application in fruit growing. *Journal of horticultural Science & Biotechnology*. ISAFRUIT Special Issue: 107-112.

20. Đević M, Dimitrijević Aleksandra. 2009. Analiza potrošnje energije u proizvodnji paradajza na otvorenom polju i u objektima zaštićenog prostora. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 35(3): 169-175.

21. Đukić N, Bugarin R, Bošnjaković A. 1993. Kvalitet tretiranja zasada višanja orošivačima standardnim i smanjenim količinama tečnosti. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 19(2): 50-54.

22. Đukić N, Sedlar A, Bugarin R. 2007. The first inspections of sprayers and air-assisted sprayers in Serbia. *Second European Workshop on SPISE: 118-125*, Straelenu (Germany).

23. Holownicki R, Doruchowski G, Godyn A, Swiechowski W. 1996. Spray deposit within apple tree canopy as affected by the air-jet direction. *Agricultural Engineering Conference, Madrid*.

24. Holownicki R, Doruchowski G, Godyn A, Swiechowski W. (1997). Minimising pesticide waste and emission to the environment by using tunnel sprayers. *J. Fruit ornamental Plant Res. Skierniewce-Poland*, (3-4): 137-144.

25. Kosh H, Weisser P. 1994. Untersuchungen zur Variabilität von Initialbelagen bei der Applikation von Pflanzenschutzmitteln in Obstanlagen. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutzdienst* 47 (11): 273-278.

26. Koch H, Weisser P. 2000. Sensor equipped orchard spraying – efficacy, savings and drift reduction. *Aspects of Applied Biology*, (57)-Pesticide Application: 357-362.

27. Manktelow D.W.L, Praat J.P. 1997. The tree row volume spraying system and its potential use in New Zealand. *Proceedings of the 50th NZ Crop protection Society Conference: 119-125*.

28. Ferre D.C, Hall F.R. 1980. Canopy development light and spray penetration in Golden Delicious trees in four management systems. *Act Hort.* 114:91-99.

29. Furnes G.O, et al 1998. Fruit tree and vine sprayer calibration based on canopy size and length of row. Unit canopy row method. *Crop Protection*, 17(8): 639-644.

30. Ortiz-Cañavate J, Hernanz J.L. 1999. Energy Analysis and Saving in Energy for Biological Systems. In *CIGR Handbook 3*: 13-37.

31. Pellizzi G. 1992. Use of energy and labour in Italian agriculture. *J. Agric. Eng. Res.* 52:231-238.

32. Popović Z, Nikolić R, Furman T, Gligorić Radojka, Oparnica S, Savin L. 1996. Potrošnja goriva pri izvođenju prolećnih njivskih operacija. *Revija agronomska saznanja*, 6(4): 29-34.

33. Pergher G, Gubiani R. 1996. Methods for the assessment of vertical spray distributions from air-assisted sprayers: a comparative study. *Agricultural Engineering Conference, 96 A- 127*, Madrid.

34. Pergher G, Gubiani R, Tonetto G. 1997. A comparison of methods for assessing vertical spray distributions from air assisted sprayers. *Bulletin OEPP/EPPPO* 27: 227-23.4.

35. Pergher G. 2004. Field evaluation of a calibration method for air-assisted sprayers involving the use of a vertical patternator. *Crop Protection*, 23: 437-446.

36. Pergher G. 2006. Calibration of air-assisted sprayers for applications in orchards. *Informatore Fitopatologico*, 56(11): 8-11.

37. Praat J.P, Manktelow D, Suckling D.M, Maber J. 1996. Can application technology help to manage pesticide resistance. *NZPPS paper, Canadian Application Technology*.



38. Sedlar A, Đukić N, Bugarin R. 2005. Otpornost rasprskivača na potrošnju i značaj njihovog testiranja. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 31(3): 106-113.
39. Sedlar A, Đukić N, Bugarin R. 2007. Prve inspekcije orošivača u Srbiji. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 33(1-2): 12-19.
40. Sedlar A, Đukić N, Bugarin R. 2008. Savremena tehnička rešenja i mere poboljšanja efikasnosti orošivača u cilju primene malih i srednjih normi pri orošavanju voćnjaka. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 34(3-4): 117-128.
41. Sedlar A, Đukić N, Bugarin R. 2009a. Inspekcija prskalice i orošivača u cilju implementacije Globalgap standarda. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 35(1-2): 64-72.
42. Sedlar A, Đukić N, Bugarin R. 2009b. Ekološki prihvatljive mašine za aplikaciju pesticida u voćnjacima i vinogradima. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 35(1-2): 16-25.
43. Sedlar A, Bugarin R, Đukić N. 2011. Tehno-ekonomska analiza i ekološki aspekt klasične i selektivne aplikacije pesticida u zasadu kajsije. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 37(1): 65-74.
44. Sedlar A, Bugarin R, Turan J, Višacki V. 2013a. Analyze of drift loses in plum and apple orchards and measures for their reducing, ISBN: 978-953-7871-10-9 Proceeding & Abstracts 2<sup>nd</sup> International Scientific Conference „Soil and Crop managment: Adaptation and Mitigation of Climate Change“, 26-28 September, Osijek, 309-316.
45. Sedlar A, Bugarin R, Nuyttens D, Turan J, Zoranović M, Ponjičan O, Janić T. 2013b. Quality and efficiency of apple orchard protection affected by sprayer type and application rate. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11(4), 935-944.
46. Stahli W. 2003. Masini pentru aplicarea tratamentelor fitosanitare si fertilizarea foliara a culturilor legumicole. Partea I-a: aparate si masini de stropit, Editura Agroprint, Timisoara.
47. Solanelles F. et al. 2007. Effect of volume application rate on the spray application efficiency in apple and pear orchards. SuProFruit, Alnarp, Sweden.
48. Sutton T.B, Untraht C.R. (1984). Evaluation of the tree-row-volume concept with density adjustments in relation to spray deposits in apple orchards. *Plant Disease*, 68(6): 480-484.
49. Sutton T.B, Untraht C.R. (1988). Evaluation of the tree-row-volume model for full-season pesticide application on apples. *Plant Disease* 72: 629-683.
50. Townsend-Heberger 1943. Method for estimating losses caused by diseases in fungicid experiment. *Plant Disease Rep.* 24: 340-343.
51. Travis J.W. 1987. Effect of a canopy density on Pesticide Deposition and Distribution in apple trees. *Plant Disease* 71: 613-615.
52. Urošević M, Živković M, Komnenić V. 2006. Primena automatskih regulacionih sistema u cilju smanjenja gubitaka pesticida u zaštiti voćnjaka. *Poljoprivredna tehnika*, 31(1): 67-71.
53. Van de Zande J.C, Wenneker M, Meuleman J, Achten V, Balsari P, Doruchowski G. 2007. Development of a Crop Health Sensor to minimise spray applications in apple. Proc. SuProFruit 2007 – 9<sup>th</sup> Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing. Alnarp (Sweden).
54. Zande J.C, Porskamp V.D, Michielsen H.A.J, Holterman H.J, Huijsman J.F.M. 2000. Classification of spray applications for drift ability, to protect surface water. *Aspects of Applied Biology*, (57)-Pesticide Application: 57-65.
55. Živković M, Komnenić V, Urošević, M. 2006. Uticaj konstruktivnih rešenja orošivača na kvalitet zaštite i smanjenja drifta. *Poljoprivredna tehnika*, 31(3): 11-17.

56. Walkate P. J, Richardson G. M, Cross J. V, Murray R. A. 2000. Relationship between orchard tree crop structure and performance characteristics of an axial fan sprayer. *Aspect of Applied Biology*, (57)-Pesticide application: 211-217.

57. Walkate P. J, Cross J. V, Richardson G. M, Harris A. L. (2007). Modelling the variability of spray deposit on orchard structures. *Proceedings of 6th European Conference on Precision Agriculture*: 589-595, Skiathos (Greece).

## 4. ENERGETSKI I EKOLOŠKI POTENCIJALI STAJNJAKA

### 4. MANURE ENERGY AND ECOLOGICAL POTENTIALS

Dr Miodrag ZORANOVIĆ

#### Rezime

U domaćim uslovima, pored industrijskih i gradskih otpada, na nivou redukovane stočarske proizvodnje, stajnjak je pod etiketom opasnih materija, sa izvesnim stepenom zagađenja tri bazna životna faktora: vazduh, voda i zemljište. Zagađenje vode od stočarskog stajnjaka često je izazvano raskvašavanjem, oticanjem minerala sa zemljišne površine, njegovim ispiranjem u dublje slojeve ili direktnim izbacivanjem u vodene tokove. Neiskorišćeni od useva, nutrienti animalnog stajnjaka mogu oticati u površinsku ili zemljišnu vodu. Azot i fosfor su dva nutrienta od bazne poljoprivredne važnosti, koja imaju najveći potencijal zagađenju ovih pojava oblika vode. Za redukciju neprijatnih mirisa i bazno-gasnih kontaminanata ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  i  $\text{N}_2\text{O}$ ), unutar uzgojnog ambijenta i njihove evakuacije sistemom ventilacije u spoljno okruženje, moguća je upotreba vlažnog filtera. Za redukciju negativnog uticaja stajnjaka na ekosistem resursa neposrednog farmskog okruženja, predlaže se upotreba biofiltera i pokrivača laguna tečnog stajnjaka. Utvrđen je prilično loš menadžment domaćeg farminga na redukciji gubitka nutritivnih potencijala stajnjaka, održavanju optimalnog mikroklimata i zaštiti životne sredine. Za sniženje stepena emisije gasnih komponenti pri rasturanju tečnog stajnjaka predlože se upotreba injektorskih sistema.

**Gljučne reči:** stajnjak, nutrient, energija, gas, emisija, gubitak, ekologija

#### Summary

In domestic conditions, except industrial and municipal sewages, at the reduced level of livestock husbandry production, manure is labeled as dangerous matter, with certain pollution level of three basic vital factors: air, water and soil. Water pollution in livestock production is usually caused by leaching, minerals running off from the soil surface, slurry leaking in deep layers or by its direct ejection in water flows. Unused from growed plants, nutrients of animal manure could run off in surface or the soil water. Nitrogen and phosphorous are two nutrients as the base of agricultural importance, which possess the highest pollution potential of those water forms. For odors and reduction of basic gaseous contaminants ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  i  $\text{N}_2\text{O}$ ), inside breeding ambient and their evacuation by ventilation system in surroundings, there is possible using of wet scrubber. For manure negative influence on ecosystem of immediate surroundings of farm resources there is proposed the use of biofilters and porous covers of liquid manure lagoons. In domestic conditions there was noted pretty poor management of farming on the field of manure nutrient potential reduction, optimal breeding ambient conditions and environmental protection. For the air gases emissions reduction during liquid manure disposition it is suggested using of injector systems.

**Key words:** manure, nutrient, energy, gas, emission, loss, ecology

#### **4.1. Stajnjak kao energetski ili zagađivački resurs**

Širom Evrope, tradicionalna poljoprivreda obuhvata blisku integraciju stočarstva i za opšti farming podesnih aktivnosti na malim porodičnim farmama. U tom pravcu, vrednost stajnjaka lako je prepoznatljiva. Zaista, do početka dvadesetog veka bio je jedino sredstvo za obogaćenje zemljišta. Razvoj modernog farminga, sa značajnim poboljšanjima na polju efikasnosti proizvodnje, vidljivo je posledica njegove specijalizacije. Naime, farmsko fokusiranje na jednu ili dve aktivnosti zamenjeno je regionalnim razvojem produkcije jednog tipa namirnice. Logična posledica tome bila je neizbežno razdvajanje stočarskog od zemljišno obradivog farminga, kao sve češćeg korisnika anorganskih hraniva u prehrani uzgajanih useva. Dakle, sa relativno kontrolisanom primenom stočnog stajnjaka na lokalnu, on poprima etiketu poželjnog, ali sa produkcionim uvećanjem prerasta u formu opasnog otpada.

Fenomenom duhovne inercije, kao neshvaćenom istinom ljudske vrste, bez prisustva zakonskih paketa ili doslednosti njihove primene, lako je objašnjiva procedura neopravdane dislokacije stočarskih stajnjaka sa odredištem „tamo negde“. Za slučaj nekoliko lokalnih farmara, prepreke za kontrolisanu dislokaciju stajnjaka, relativno lako su rešive. Međutim, za specifično uvećan broj farmara, posebno većih kapaciteta, problemi menadžmenta stajnjaka evidentni su. Farmeri, locirani direktno ili u neposrednoj blizini nastanjenih mesta, mogu očekivati žalbe na neprijatne mirise, a oni pored reka, drugih vodenih tokova ili vidova njenih akumulacija, treba da su svesni oštrih kazni od njenog zagađenja nekontrolisanim oticanjem otpadnih komponenti. Pored toga, danas su od globalno poraslih interesa emisije gasnih komponenti u vazduh (npr. amonijak, NO<sub>2</sub> i metan) i zagađenje podzemnih voda kroz mehanizme raskvašavanja, posebno na površinama sa primenom ekstremno ponavljajućih doza stajnjaka, (Zoranović *et al*, 2009). Sa karakterom interakcijskog, rizici od bolesti za humani faktor i stoku, sve više su predmet stručnih i javnih rasprava.

##### **4.1.1. Terminologija**

Da bi predmeti debata i opcije u vezi sa menadžmentom animalnih izlučevina bili potpunije opisani, potrebno je identifikovati uniformnu terminologiju za njihove, produktivno i sakupljački, različite forme. U mnogim zemljama, zavisno od sistema uzgoja i menadžmenta, proizvedeni tečni i čvrsti stajnjaci sadrže variabilne proporcije fecesa, urina i prostirnog materijala, stoga imaju različit sastav. Prvo, stajnjak je klasifikovan prema njegovoj produkciji iz jednog od tri glavna tipa držanja:

1. Uzgojni sistemi sa sakupljanjem svih ekskreta u tečnoj formi.
2. Uzgojni sistemi sa produkcijom čvrstog i tečnog stajnjaka.
3. Uzgojni sistemi sa produkcijom samo čvrstog stajnjaka, npr. duboka stelja.

Drugo, sami po sebi, otpaci u stočarstvu klasifikovani su kao jedan od tri tipa, gde je stajnjak generalni termin za raznovrsne animalne izlučevine.

1. *Tečni stajnjak* često je mešavina životinjskog izmeta, urina, vode i ponekad drenažne tečnosti iz skladišta čvrstog stajnjaka. Manipulisan u formi tečnog, često je skladišten u podzemnim ili nadzemnim rezervoarima, jamama ili lagunama.

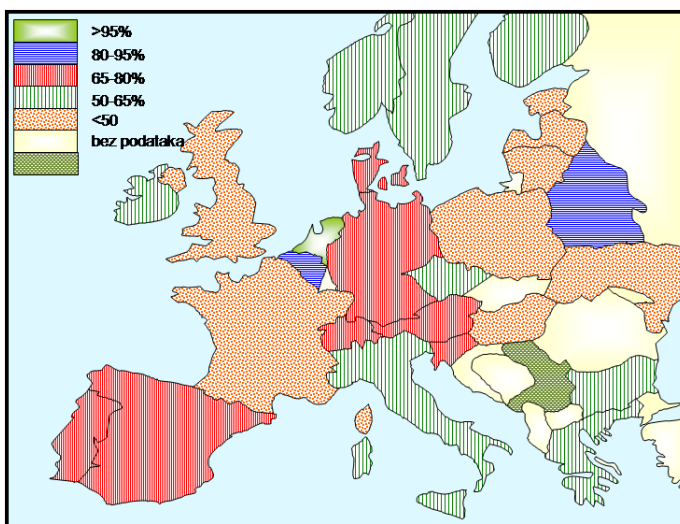
2. *Čvrsti stajnjak* tipično je mešavina životinjskih ekskreta i prostirke. Često je skladišten na betonskom podu (uobičajeno sa postranim zidovima) sa separatnom kolekcijom drenažne tečnosti.

3. *Otpadna voda* predstavlja toksičan fluid-efluent sakupljen iz pranja izmuzišta muznih krava, čišćenja uzgojnih objekata i opreme, ili pranja ovčijih ostataka. Ona može da sadrži mleko, dezinfektante, stajnjak itd. Ova tečnost značajno je razređenija od tečnog stajnjaka.

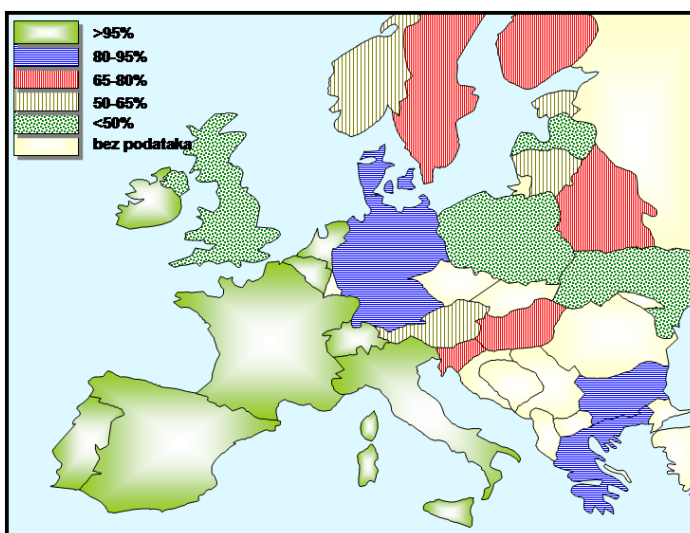
#### 4.1.2. Pregled učešća produkovanog stajnjaka po tipovima

Srazmerno ukupno proizvedenoj količini, zastupljenost tečnog stajnjaka značajno varira između zemalja Evrope, (sl. 4.1). Najviša je u Holandiji, sa oko 95%, a najniža u delovima Istočne Evrope, ispod 20%. Generalno, njegov proporcioni udeo visok je u većini zemalja centralne Evrope, >65%.

U Holandiji, Nemačkoj, Danskoj, Norveškoj, Italiji, Grčkoj i Španiji, tečni stajnjak često se proračunava za sve produkovane farmske otpade. U Alpskim prostorima (Švajcarska, Austrija, delovi Nemačke i Francuske) i Nordijskim zemljama (Finska, Švedska i Litvanija), tečni stajnjak produkuje se zajedno sa čvrstim stajnjakom u tradicionalno zatvorenim sistemima uzgoja.



Slika 4.1 Proporcija tečnog stajnjaka kod zatvornih sistema uzgoja goveda u EU



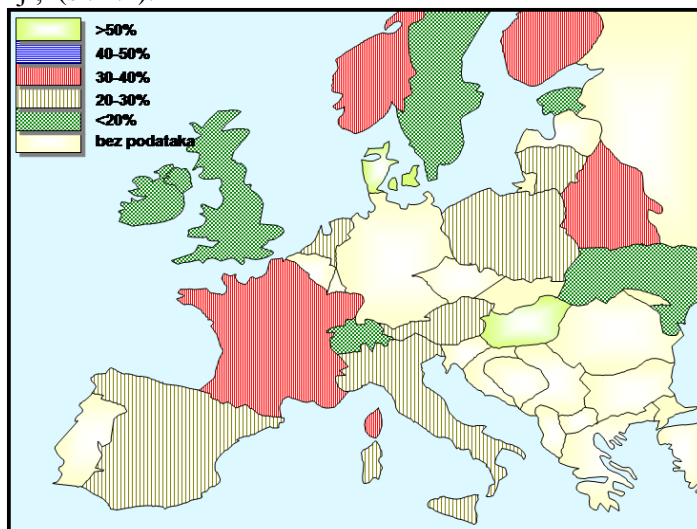
Slika 4.2 Proporcija svinjskog tečnog stajnjaka u EU

Za goveda, tečni stajnjak je pretežan tip u Holandiji, Belgiji, Portugalu, Nemačkoj, Švajcarskoj, Austriji, Sloveniji, Belorusiji i Rusiji, dok je visoka proporcija čvrstog stajnjaka zastupljena u Severnoj Evropi, Italiji, Francuskoj, Španiji, Grčkoj, UK i mnogo Istočno

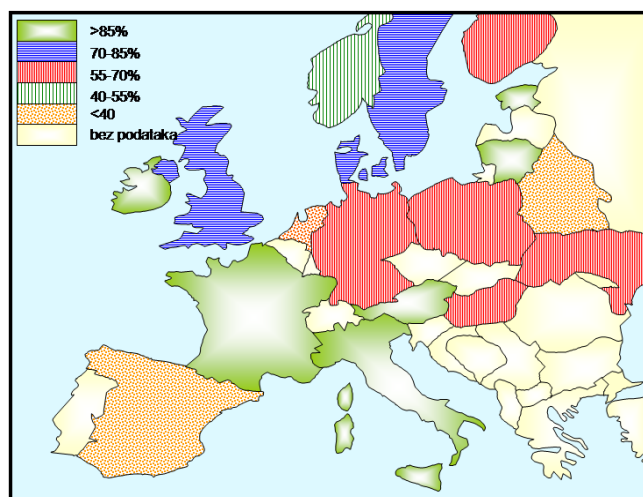
Evropskih zemalja sa Balkanom. Govedarski stajnjak, kao proporcija od totalno proizvedenog, između je 40% i 70% u većini zemalja. Najveća je u Švajcarskoj, Irskoj i Francuskoj (sa preko 85%), a najniža u Mađarskoj. Po prioritetu, mlečne krave važnije su od tovnih goveda u većini Evropskih zemalja, osim u Španiji.

Uopšteno, u analiziranim zemljama sistemi tečnog stajnjaka više su vezani za svinje nego za goveda. U južnoj i zapadnoj Evropi, osim UK, ovakvi sistemi odgovorni su za više od 80% proizvedenog svinjskog stajnjaka, (sl. 4.2). Svinje doprinose više od polovine totalne produkcije stajnjaka u Danskoj i Mađarskoj. U većini ostalih zemalja, taj odnos je 20-40%, (sl. 4.3). Samo u UK, Norveškoj i nekim zemljama istočne Evrope, proporcija čvrstog stajnjaka od svinja viša je od 40%.

Produkcija čvrstog stajnjaka iz stočarskih aktivnosti često je više asocirana sa govedima. Zaista, učešće goveda u produkciji čvrstog stajnjaka iznad je 80% u Irskoj, Francuskoj, Italiji, Švajcarskoj, Austriji i Estoniji. Međutim, to može biti mnogo manje, tj. samo 10% u Španiji, (sl. 4.4).



Slika 4.3 Doprinos svinja u totalnoj produkciji svih stajnjaka iz zatvorenih sistema farmskog uzgoja životinja u zemljama EU



Slika 4.4 Učešće goveda u ukupnoj produkciji čvrstog stajnjaka iz svih farmso-životinjskih resursa u zemljama EU

### 4.1.3. Sastav stajnjaka

Dok navedene vrednosti za sastav različitih tipova stajnjaka postoje u mnogim centralnim i severnim zemljama EU, ovakva informacija „neobična je“ u većim delovima južne i istočne Evrope. Osim toga, metod izvođenja ovako dostupno navedenih vrednosti varira od zemlje do zemlje. Dok su neke zasnovane na prosečnim vrednostima analiziranih uzoraka, ostale su izvedene iz podataka o nutritivnim izlučevinama različitih stočnih kategorija i količinama proizvedenog stajnjaka. Npr. u Švedskoj, umesto apsolutnih nutritivnih vrednosti, farmerima je ponuđen model obračuna fertilizacione vrednosti stajnjaka i nutritivnog bilansa.

Standardne vrednosti sastava stajnjaka značajno variraju po zemljama EU, (tab. 4.1.). Neke od ovih varijabilnosti posledica su primenjene tehnologije i prpratne tehnike za manipulaciju stajnjakom, npr. vrste i načini ishrane, načini držanja, sistemi skladištenja i razblaženost stajnjaka vodom. Pored toga, loše definicije za tip stajnjaka i nedostatak razlikovanja navedenih vrednosti, delimično su odgovorni za iskazan varijabilitet. Npr., neki izvori daju istu sastavnu vrednost za tečni goveđi stajnjak, bilo da on sadrži sve ekskrate ili samo deo njih, što je slučaj i u sistemima za produkciju čvrstog stajnjaka. Pošto je uočena varijabilnost sastava stajnjaka slična, bilo za svežu ili suhu materijalnu bazu, razlike ne mogu biti lako objašnjene pri različitom sadržaju suve materije. Za čvrsti stajnjak, posmatrana varijabilnost veća je za svinje i živinu nego za goveda.

Međutim, proseci i opsezi iz tabele 4.1 nedvosmisleno su slični ranijim preglednim istraživanjima.

Tabela 4.1 Prosek i rang sastavnih vrednosti za različite tipove stajnjaka različitih zemalja, (Menzi et al, 1998).

	Analize (u kg m <sup>-3</sup> stajnjaka)							
	Suva materija		Ukupan azot		Amonijačni azot		Fosfor (kao P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	
	Prosek	Opseg	Prosek	Opseg	Prosek	Opseg	Prosek	Opseg
Tečni stajnjak								
Goveda	65	15-123	3,9	2,0-7,0	2,3	1,0-4,9	1,3	0,2-6,0
Svinje	51	15-92	4,8	1,2-8,2	3,5	1,9-6,1	2,0	0,3-5,0
Živina	170	10-300	11,1	2-18	5,2	1,9-7,8	8,9	0,9-15
Čvrsti stajnjak								
Goveda	208	140-300	5,3	4,2-8,1	1,2	0,3-2,0	2,4	1,1-4,8
Svinje	243	150-330	6,9	3,5-11	2,2	0,5-0,6	5,6	1,7-15
Živina	455	220-700	22,5	10-58	6,2	2,4-18	16,7	6,2-39
Rezultati pregleda čvrstog stajnjaka RAMIRAN								
Goveda	223	160-430	4,8	2,0-7,7	1,3	0,5-2,5	3,0	1,0-3,9
Svinje	238	200-300	6,8	4,0-9,0	2,4	0,7-6,0	6,2	1,9-9,2
Ležeće koke	406	220-550	23,6	5,1-25	10,9	37-60	16,6	8-27
Brojleri	603	450-850	24,5	22-40	8,0	2,0-15	18,5	6,9-25

Po tom pitanju, ključne razlike između tipova stoke su:

- Stajnjak tovnih goveda teži ka blago višem nutritivnom sadržaju nego kod mlečnih krava. Za tečni stajnjak ova razlika je uglavnom usled većeg sadržaja suve materije kod tovnih goveda.

- Suviji stajnjaci karakteristika su živine, a kod brojlerske populacije često ekstremno suvi zbog izvorno niske vlažnosti, velike količine prostirke i izraženih efekata sušenja unutar

objekta. Nutritivna vrednost živinskog stajnjaka najviša je, pre svega zbog niskog stepena iskorišćenja energetskog potencijala hrane u njihovom metabolističkom sistemu i pomenutih uzroka.

▪ Trend čvrstog i tečnog svinjskog stajnjaka je poboljšanje ekvivalenta nutritivnog kvaliteta prema goveđem stajnjaku.

Razblaženost tečnog stajnjaka vodom njegova je važna karakteristika. U većini slučajeva, taj odnos prosečno je oko 1/1. Ova razblaženost obično nije ostvarena kontrolisanim dodavanjem vode, već sakupljanjem njenih lokalno otpadnih resursa u akumulacioni rezervoar. Kao primer, u Holandiji su uloženi posebni naponi na izbegavanju stohastičkog razblažavanja tečnog stajnjaka.

Za konje, godišnja količina N-P-K u stajnjaku smatra se ekvivalentom 60% od 7000 l predatog mleka mlečnih krava, (tab. 4.2).

Tabela 4.2 Tipične količine N, P, K proizvedene u kombinovanom stajnjaku i urinu različitih životinja u Švedskoj, (Claesson i Steineck, 1996).

Tip životinje	N	P	K
	kg/životinji/godini		
1 konj	55	9	45
1 proizvodna krmača	26	10	12
1 mlečna krava (7000 kg mleka)	90	15	90
1000 ležećih koka	600	140	140
1 ovca	10	2	7

Problem upotrebe konjskog stajnjaka u poljoprivredi vezan je za njegovu teksturu, sa značajnim učešćem prostirnih materijala (npr. slama, strugotine ili opiljci drveta), što ekstremno povećava sadržaj ugljenika u njemu. U prilog tome idu podaci (Warman i Termeer, 1996), koji pokazuju da su odnosi C/N u granicama 50 do 87%. Zbog veće zapremine mase, konjski stajnjak zahteva veća skladišta. Rezultujući interval odnosa C/N može izazvati nepoželjnu imobilizaciju zemljišnog azota pri aplikaciji ovog stajnjaka na polju. Da bi se redukovao odnos C/N, a time formirao proizvod mnogo prihvatljiviji za farmera, preporučljivo je konjski stajnjak kompostirati sa ostalim organskim materijalima.



#### 4.2. Uticaj hraniva na kvantitativne i kvalitativne potencijale stajnjaka

Na teritoriji „starih“ zemalja EU, ukupno proizvedena količina svinjske hrane, tokom sedamdesetih godina prošlog veka, bila je približna živinskoj, dok je više nego duplirana 1992., pri tome uključujući i proteinska hraniva. Ekspanzija raznovrsnosti hraniva, pri tendencijski sličnim troškovima produkata farmskog uzgoja, dovedena je u vezu sa nivoom produkcije životinja u brojnim specijalizovanim regionima EU. Međutim, uočena je značajna varijacija u relativnim proporcijama proizvedenih i farmski pripremljenih hraniva. Porast proizvedene i proteinski obogaćene dijetalne hrane, vodio je povećanim produkcionim stopama uzgajanih životinjskih vrsta. U drugu ruku, ovaj trend ukazao je na činjenično smanjenje stepena iskorišćenja energetskeg potencijala hraniva, tj. više neiskorišćenih nutrienata nalazilo je mesto u životinjskim ekskretima. Ovaj, na prvi pogled suvišan problem, pridružen pomenutim za manipulaciju stajnjakom, poprimio je značajan nivo farmerske pažnje. Tendencijski, sve izraženiji je korak ka upotrebi hraniva podesnih potrebama životinja, a pri tome optimalne nutritivne teksture. U smislu toga, fazna prehrana i nisko sirovoproteinski-dijetetski proizvodi promovišući su, posebno u Francuskoj i UK.

### 4.3. Pregled načina skladištenja stajnjaka

Generalno, na prostorima EU tečni stajnjak skladišten je u jedan od nekoliko posudnih dizajna. U UK, nadzemni limeni rezervoari najopštiji su. U Holandiji, Irskoj i Norveškoj, tečni stajnjak je često držan ispod rešetkastog poda životinjskih objekata u betonskim skladištima. Lagune i ograđena skladišta najzastupljeniji su u Grčkoj (više od 95% svinjskog slurry), Italiji (60% od svinjskog tečnog stajnjaka), Španiji, Portugali, UK, Istočnoj Nemačkoj, Mađarskoj i Litvaniji. Skladišta stajnjaka su uglavnom nepokrivena, osim u Finskoj, Holandiji i Švajcarskoj, U Danskoj prirodna pokorica obavezna je.

Čvrsti stajnjak često je odlagan u gomilama, na lokalizovanoj betonskoj podlozi, sa obaveznim sakupljanjem drenažo odstranjene tečne faze. Ova mera obavezna je u nekim zemljama, npr. UK, mada su ponegde sretljive njivske gomile, a često sretljiva forma domaćih poljskih pejzaža.

Duboka stelja živinskog stajnjaka uglavnom je skladištena u objektu do trenutka njene distribucije i planirane raspodele. Skladištenje čvrstog stajnjaka na parceli pojavno je u Italiji, Francuskoj i nekim zemljama Istočne Evrope. Živinski tečni stajnjak skladišten je ispod životinja (Norveška, Holandija, Irska), u rezervoarima ili u ograđenim skladištima (Španija). Čvrsti stajnjak iz konvejerkih sistema za ležeće koke, uglavnom je skladišten na betonskoj površini (pretežno pokriven u Francuskoj, Italiji, Belgiji i Mađarskoj). U Holandiji je bio zastupljen konvejer sa sušenjem stajnjaka, a rezultatni proizvod skladišten u posebne transportne kontejnere. Skladištenje živinskog stajnjaka na neograđenom skladištu sretljivo je samo u Portugalu i Češkoj. Vreme skladištenja tečnog stajnjaka, vezano za kapacitet skladišta, u mnogim zemljama je oko šest meseci, (tab. 4.3).

Tabela 4.3 Prosečan vreme skladištenja tečnog ii čvrstog stajnjaka u nekim zemljama EU

Zemlja EU	Tečni stajnjak	Čvrsti stajnjak
	meseci	
Danska	9	7
Estonija	10	8
Finska	8-12	8-12
Francuska	4-6	4
Nemačka	goveda 5, svinje 7	4
Grčka	3-6	6-12
Mađarska	3	5-6
Irska	4	5
Italija	goveda 4, svinje 6	3
Litvanija	6	8
Holandija	6	2-3
Norveška	8	8
Poljska	3	4
Slovenija	6	5
Španija	4-6	2-3

Očigledno, vremenski period skladištenja tečnog stajnjaka duži je u nekim Skandinavskim zemljama, a kraći u južnim i istočno Evropskim zemljama, delimično

reflektujući dužinu uzgojne sezone. Za čvrsti stajnjak, vreme skladištenja je 2 do 12 meseci. Logično, za većinu zemalja, manje-više, ista zakonitost važi za tečni stajnjak. Zbog ekoloških i ekonomskih razloga, prihvatljiva opcija je aplikacija stajnjaka na zemljištu, čime stepen važnosti poprima zastupljena dispoziciona i raspodeljivačka tehnika animalnih stajnjaka. Dakle, skladištenje stajnjaka je ozbilan elemenat modaliteta tretmana, jer povećava tajming i pogodnost dispozicije. Drugim rečima, tečni i čvrsti stajnjaci moraju biti skladišteni na duže ili kraće vremenske periode radi odabira najpogodnije vremena njihove raspodele. Ovo je posebno važno sa aspekta korektnog korišćenja nutrienata i njihovog uticaja na okruženje.

#### **4.3.1. Bazne dimenzije skladišta ČS i mehanički separirane čvrste faze**

Dimenzionisanje skladišta vezano je za količini produkovanog stajnjaka na farmi i realno procenjenog vremena skladištenja. Npr., prosečna mesečna produkcija stajnjaka po *uslovnom grlu-UG* može se usvojiti u intervalu 1100-1300 kg. Prema prosečnoj visini gomile, adekvatna skladišna platforma mora biti 0,7-0,8 m<sup>2</sup> po UG i mesecu. Minimalno vreme skladištenja stajnjaka u njoj je između tri i četiri meseca. Dakle, površina prostora po UG je 2 do 3 m<sup>2</sup>. Po prethodno pomenutom, podrazumevajuća mera je sakupljanje ocedne faze u podzemnu jamu. Ovaj segment dimenzionisanja zasniva se na 0,5-0,8 m<sup>3</sup>/UG za vreme skladištenja 3-4 meseca. Na mestu sprovođenja separacije čvrste i tečne faze, relativne zapremine tih posuda treba usaglašeno promeniti.

#### **4.3.2. Skladišne jame tečnog stajnjaka ispod uzgojnog objekata**

Skladištenje tečnog stajnjaka u jamama ispod rešetkastih podova opšta je praksa na svinjskim i junećim tovnim farmama, (*Zoranović et al, 2012*). Vreme zadržavanja određeno je dubinom, pošto površina jame generalno korespondira prostornom planu objekta. Procenjujući dnevnu produkciju tečnog stajnjaka tovnih svinja na rešetkastom podu 5-10 l/glavi i površinu kaveza 0,7 m<sup>2</sup>/glavi, tada jama treba da je dubine oko 2 m za šestomesečno skladištenje. Ista dubina potrebna je za junad, sa procenjenom površinom od 2,5 m<sup>2</sup>/glavi i dnevnom produkcijom tečnog stajnjaka 20-30 l/glavi. U oba slučaja, debljina rešetkastih podova je 0,1 i 0,2 m za svinje i junad, respektivno. Veća dubina jame može biti potrebna u slučaju objekata sa prinudnom ventilacijom ispod rešetkastog poda.

#### **4.3.3. TS skladišten van farmarskog objekta**

Poznate su razne opcije skladištenja tečnog stajnjaka: zatvoreni podzemni i nadzemni rezervoari, jame, otvorena jezera-anaerobne lagune sa učešćem prirodno anaerobnih aktivnosti. Dakle, jame i rezervoari mogu biti izgrađeni iznad zemlje, delimično ukopane ili kompletno ispod zemlje, usaglašeno sa transportnim sistemom korišćenim na farmi, tipom zemlje i njihovim vizuelnim uticajem. Zbog potrebe mešanja i adekvatno postojećih tehničkih sredstava za tu namenu, optimalan oblik skladišta je kružni, po konstrukciji stabilan i učešćem što manje materijala za njegovo formiranje. Međutim, ponekad je lakše graditi skladišta pravougaonog oblika, npr. lagune. U stvari, to su bazeni, formirani iskopavanjem zemljišta i njime formiranog nasipa iznad površine zemlje. Dubina lagune značajno varira. U većini slučajeva, dno i bočne površine oivičeni su pogodnim materijalom, sem ako priroda zemljišta sadrži dovoljno gline kao vodonepropusnog sloja. Mada betonski oivičene jame i čelični rezervoari koštaju bar 30% više od zemljano nasipnih laguna iste zapremine, oni ponekada postaju prioritetni iz sledećih razloga:

- zahtevaju manju površinu,
- redukovan ulaz kišnice,
- manji zahtev za održavanjem,
- redukovan rizik od nezgoda zbog lakšeg pokrivanja i
- projektna dozvola lakše dostupna.

Emisija amonijaka i neprijatnih mirisa iz tečnog stajnjaka učinila je potrebnim, ako nije obavezno, u nekim zemljama Evrope, pokrivanje skladišnih građevina. Sadašnje tehnička rešenja dostupna su za sve tipove skladištenja i opseg pokrivanja za redukciju emisije samo sistema za sakupljanje i korišćenja produkovanog biogasa. Tabela 4.4 promoviše tipične produkcine stope stajnjaka po rangovima životinja, a korisne za proračun zapremine skladišta.

Tabela 4.4 Tipične količine tečnog stajnjaka bez dodatnih izvora otpadne vode ili kišnice

Životinja	Telesna masa kg	Stajnjak proizveden od životinje tokom 6 meseci, m <sup>3</sup>	Sadržaj suve materije u stajnjaku kg/m <sup>3</sup>
Mlečna krava	550	9,7	100
Tovno june >2 godine	500	5,8	100
Tovno june 1-2 godine	400	4,8	100
Tovno june 0,5-1 godine	180	2,4	100
Krmača plus okot	200	2,0	60
Svinja (suvo sledovanje)	35-105	0,8	100
100 ležećih koka	220	2,1	300
100 brojlera	220	1,1	600

Pri projektovanju spoljnih skladišta za efluente, kontrola toka kišnice mora se uzeti u obzir, kao dodata na procenjenju zapreminu skladišta za TS. Kao i površina prostora samog skladišta (ako je nepokriveno), sva izložena mesta dvorišta treba drenirati ka skladištu.

#### **4.3.4. Transport i raspodela stajnjaka**

Odstranjivanje viška otpada u intenzivnom stočarstvu van lokala ili regiona, na prvi pogled predstavlja jednostavnu soluciju za ekološke probleme izazvane viškom nutrienata. Međutim, ovaj prilaz prate problemi zasnovani na kompleksnoj skali operacija, nutrient monitoringu, a u nekim slučajevima, rizicima od bolesti. Npr., poslednji problem rezultirao je korakom unazad za doskorašnju šemu putnog transporta razvijenu u Holandiji. Skala problema uglavnom je pripisana zapremini TS. U većini slučajeva, čvrsti otpadi mnogo lakše se prilagođavaju zahtevima lokalnog prostora.

Zabrinutost od širenjem bolesti može biti najveća prepreka ka intenzivnijoj skali distribucije stočnih stajnjaka. Jeftini sistemi dekontaminacije za upotrebu na farmi mogući su, ali moraju biti pouzdani. U protivnom, potrebna je mnogo rigoroznija obrada sa finišnim produktom u centralnoj doradnoj jedinici. Stoga, distribucija netretiranog stajnjaka iznad distanc 10 km, ograničena je u mnogim evropskim zemljama, posebno u Holandiji. Ovaj problem razmatra se u Rusiji i nekim istočno evropskim zemljama usled opstanka velikih farmi sa ekstremnim količinama viška stajnjaka. Transport stajnjaka, uglavnom čvrstog, više je atraktivan u zemljama sa visokim zahtevom lakih zemljišta ka organskim komponentama, npr. Portugal i Španija.

Holandija je razvila najsofisticiraniji sistem za distribuciju, kontrolu i monitoring stajnjaka (knjiga staranja o stajnjaku), od južnih do severnih delova, gde je manje stoke i više zemljoobrađivačkog farminga. Drugde, transport tečnog stajnjaka je ostvaren uglavnom

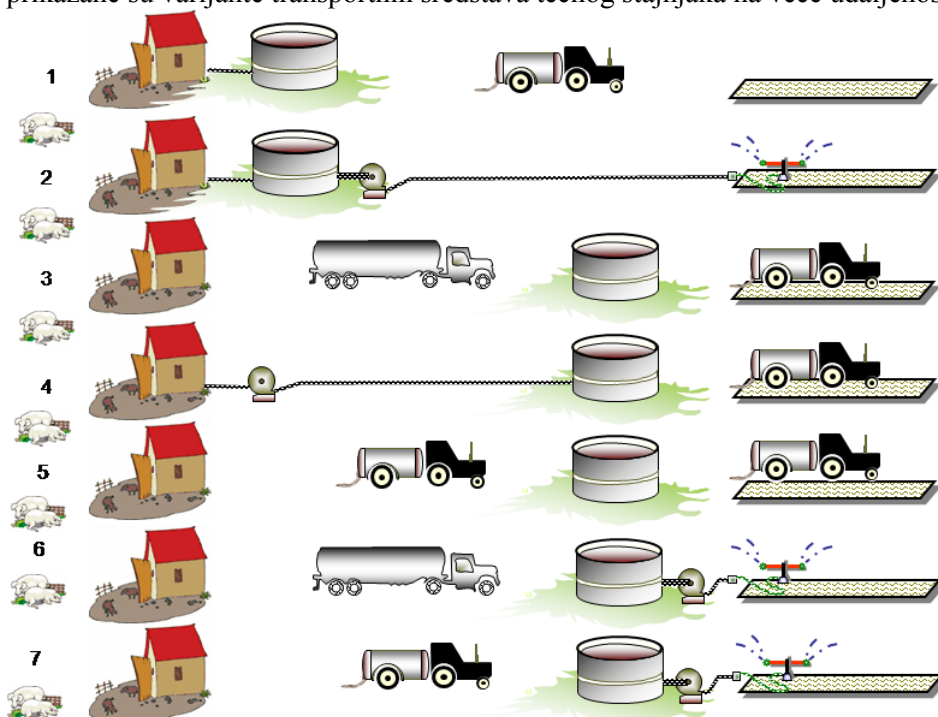
traktorski ili kamionski cisternskim rezervoarima. Ulaganje u cevne sisteme dugih distanci ostaje neatraktivno usled visokih troškova, problema prepumpavanja i u hladnim regionima smrzavanja. U zemljama, gde tretman stajnjaka uključuje veliku skalu kompostiranja, npr. Italija, materijali mogu biti transportovani na veće distance relativno lako. U ovom slučaju, transportovan kompost ima mali sadržaj vode, visoku fertilizacionu vrednost i predstavlja redukovani rizik od bolesti. Međutim, čak i u ovom slučaju, prisutan je problem prijema materijala od strane krajnjih korisnika sa sumnjama i zabrinutošću o zdravstvenoj bezbednosti hrane.

Na nivou farme, skoro je nemoguće razdvojiti transport i fazu rasturanja stajnjaka. Realna je mogućnost za unapred projektovanu optimizaciju između troškova prevoza i potencijalnih benefita stajnjaka. U domenu modernog farminga, primetan je trend ka produkciji specijalnih useva, koji izazivaju značajnu restrikciju u pogledu korišćenja raspoloživih sistema za rasturanje stajnjaka. Kao konsekvencija, jasni su zahtevi ka većim skladištima, funkcionalnosti i kapacitetima prapratne opreme tokom rasturanja na otvorenom polju. Čvrsti stajnjaci, pri nižem stepenu razređenosti, mogu se transportovati jeftinije, mada je njihova raspodela energetski i kvalitativno zahtevnija.

Odstranjivanje TS sa stočarskih farmi može da se ostvari u dva pravca:

1. Podzemni sistem cevi sa izvođenjem svih automatizovanih operacija: velika investiciona ulaganja.
2. Putni transport sa posebnim rezervoarima ili kamionskim cisternama: niža inicijalna ulaganja, ali viši troškovi prevoza u funkciji dužine između određinih tačaka.

Izbor pravca rezultat je prostornog plana, uključujući lokaciju farme sa skladišnim akumulacijama i polja za prijem stajnjaka. Nekoliko scenarija prikazano je na slici 4.5, a na slici 4.6 prikazane su varijante transportnih sredstava tečnog stajnjaka na veće udaljenosti.



Slika 4.5 Bazi scenariji za skladištenje i poljsko rasturanje tečnog stajnjaka oko stočarskih farmi: 1,2- skladišta locirana na farmi ili blizu tačke rasturanja na polju; 3,7- isporuka na polje sa cisternom ili cevnom sistemom do irigacione opreme

Rezervoari locirani van farme mogu biti snabdevani sa cisternom ili cevnom sistemom, a kamionski transport preporučljiv za duge distance.

Transport tečnog stajnjaka sa farme u skladišne jame, locirane pored polja, može biti izveden tokom godine bez ograničenja. Za ovu vrstu transporta koriste se cevni sistem, uglavnom podzemni, i traktorske ili kamionske cisterne. Tečni stajnjak, skladišten u blizini žitnice ili pored polja, mora biti rasturen pogodnim mašinama, uzimajući u obzir prirodu rasturanja uslovljenu usevima i tipom zemljišta. Poslednji uslov određuje veličinu opreme. Radi minimiziranja hazardnih posledica, vezanih za kompaktnost i rodni kapacitet tretiranog zemljišta, zapremine rezervoara ne mogu prekoračiti definisane limite.

U cilju redukcije vremena tretmana preporučljivo je korišćenje više od jednog rezervoara. Transport tečnog stajnjaka putem cevnog sistema atraktivna je opcija, mada visokih inicijalnih troškova. Koristi se u slučaju centralizovanog fabričkog tretmana tečnim stajnjakom ili jednostavno kao deo rasturanja po zemlji ili irigacionog sistema. Najatraktivniji je tamo gde su distance relativno kratke <3 km, ili mestima sa ekstremno velikim akumulacijama stajnjaka, npr. farme sa 50000 svinja ili više. U nekim delovima Evrope (npr. Grčka), lokalne regulative i poteškoća transporta mogu zahtevati cevni sistem, kao najprihvatljiviji metod odstranjivanja tečnih stajnjaka.



Slika 4.6 Transportna sredstva za tečni stajnjak na veće udaljenosti

Mašine za rasturanje stajnjaka, pogodne za materijale sa <10% sadržaja suve materije, uključuju prikoličasto montiran rezervoar i opremu za regulaciju doze sa profilom rasturajućeg mlaza. Kategorizacija različitih dizajna može se izvršiti prema načinu dovođenja tečnog stajnjaka pod pritisak:

- pumpanjem vazduha u rezervoar (mašina za rasturanje stajnjaka sa rezervoarom pod pritiskom) i
- posredstvom uređaja za potis ili centrifugalnim pumpama (zapremina rezervoara pod atmosferskim pritiskom).

Raspodeljivači tečnog stajnjaka sa rezervoarima pod pritiskom najzastupljeniji su. Oni čine mogućim obavljanje svih operacija vezanih za homogenizaciju tečnog stajnjaka i njegovu zadovoljavajuće uniformnu raspodelu. Nizak pritisak raspodele (0,5-2 bar) i vakuuma za punjenje (0,5 bar), bazne su hidropneumatske karakteristike. Dodatno važne osobine su robusnost dizajna sa niskim stepenom korozije, minimalnim rizikom od zagušenja i lošeg rukovanja.

Najčešće korišćen sistem za površinsko rasturanje stajnjaka je deflektorom za rasprskavanje, jednostavan po dizajnu, (sl. 4.7.). Međutim, upotreba ove naprave vezana je za dva problema:

1. efekat jakog hlađenja sprejnog mlaza sa konsekvencijom pvećanja intenziteta emisije amonijaka i neprijatnih mirisa i
2. neravnomerno raspršivanje.



Slika 4.7 Rasturač stajnjaka sa deflektorom

Danas su dostupni brojni poboljšani sistemi raspršivanja, posebno potisnog šmrka i ubrizgavanja.

Primena sistema raspodele niskog površinskog nivoa dozvoljava ispuštanje tečnog stajnjaka direktno na površinu zemljišta, (sl. 4.8.). Konsekventno, emisije neprijatnih mirisa i amonijaka značajno su redukovane. Pored toga, manje je prisustvo raspršenog stajnjaka na listu biljke, što je posebno važno kada se tečni stajnjak raspršuje na trave pre košenja. Zbog ovih karakteristika sistem ne zahteva preklapanje raspršavanja.

Primenom injektorskih sistem moguća je direktna inkorporacija tečnog stajnjaka u aktivne slojeve zemljišta do 20 cm dubine, (sl. 4.8.), (Zoranović *et al*, 2012). Sistemi imaju benefite kroz zaštitu biljnog lista i signifikantne redukcije neprijatnih mirisa, mada je biljka inertno pod stresom od poremećajnog stanja zemljišta. Postojeći sistemi uglavnom funkcionišu na principu izbacivanja tečnog stajnjaka u uzane otvore urezane u zemljištu, a potom zatvorene nakon aplikacije. Ovde su u operativnosti zastupljeni i direktni zemljišno

injektorski sistemi (npr. Norveška), koji rade na principu direktne injekcije tečnog stajnjaka u zemljište. Kao takvi, pogodni su za šljunkovita zemljišta.

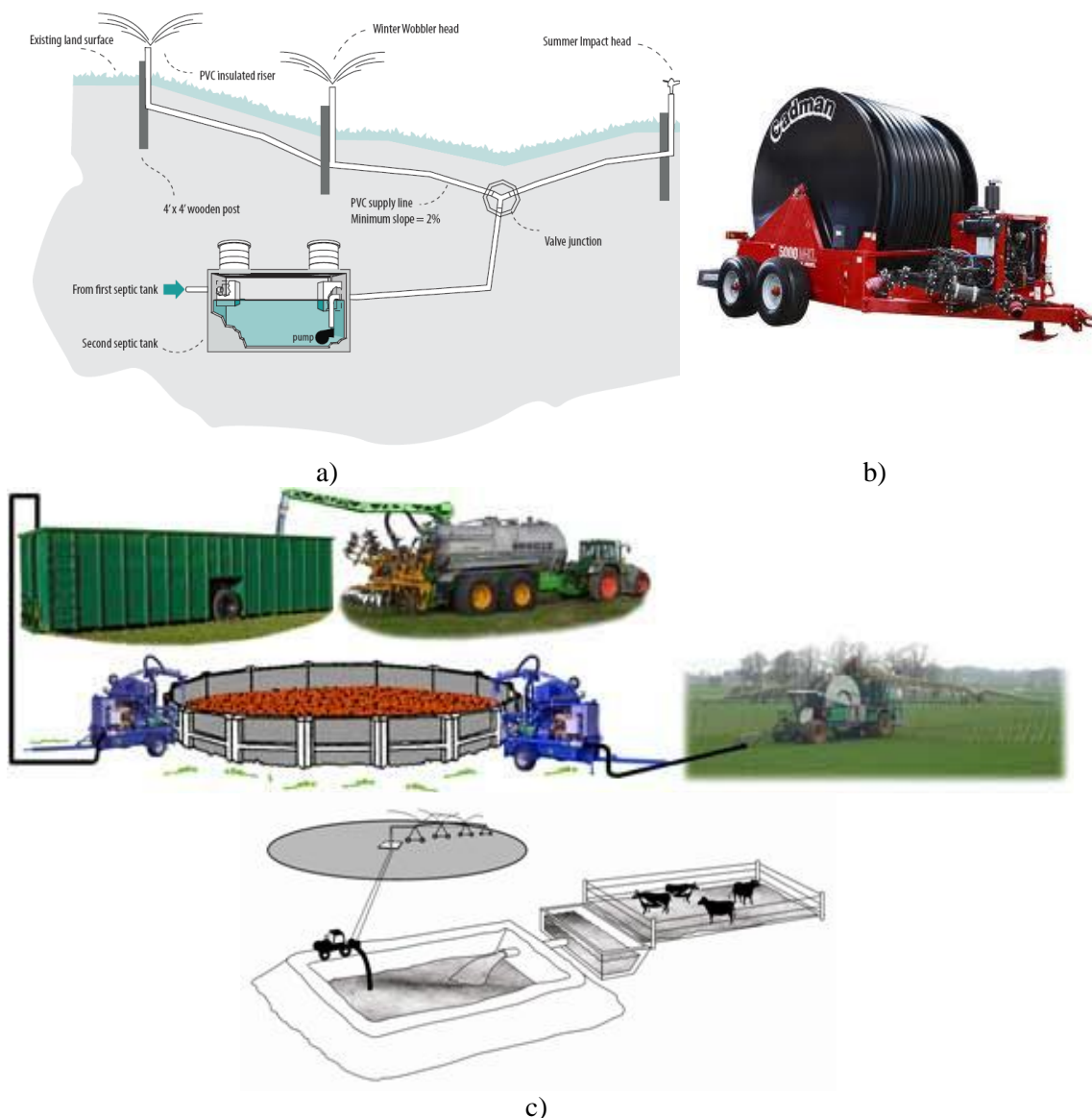


Slika 4.8 Sistemi za raspodelu tečnog stajnjaka:  
a i b- niskog površinskog nivoa, c i d- podzemnog nivoa-injekcija

Irigacioni sistemi uključuju fiksirane i samopogonske crevne komponente, a pogodni su samo za razređene tečne stajnjake, relativno čistu otpadnu vodu sa površina laguna ili kontrolisano zagađene vode sa farme. Ranije formirani, sastoje se od fiksnog irigacionog sistema sa podzemnim cevima, a mogu se normalno koristiti za irigaciju ili distribuciju tečnog stajnjaka, (sl. 4.9.a). Mobilni pivot sistem, sve zastupljeniji, u nekim pogledima više je fleksibilan i implicira niže investicione troškove. Međutim, isključivo je namenjen za distribuciju otpadnih tečnosti. Sastoji se od samopogonskog crevnog kalema, povezanog sa skladištem tečnog stajnjaka u varijantama: fiksiran poljski rezervoar ili mobilni skladišni rezervoar na njegovom boku, (sl. 4.9.c).

Prema sublimiranim podacima, najzastupljeniji distribicioni sistem su zakretni raspršivači (sl. 4.10.), modifikovani za distribuciju tečnog stajnjaka, a obezbeđuju široke radne zahvate 20-40 m sa istovremenom redukcijom disperzije amonijaka u atmosferu.





Slika 4.9 Sistemi za distribuciju i raspodelu tečnog stajnjaka:  
 a- stacionarni sistem, b- mobilni pivot sistem, c- varijante mobilnog pivot sistema za površinsku raspodelu tečnog stajnjaka (direktno iz rezervoara na farmi i mobilnog rezervoara velike zapremine).

Neke prednosti ovih sistema nad tradicionalnim tankerima tečnog stajnjaka su:

- veća propusna moć sa redukovanim zahtevom za radnom snagom,
- primena na niže kompaktnim zemljištima,
- nezavisna upotreba opreme za irigacioni sistem,
- uniformnost raspršivanja i
- relativno niski tekući troškovi.



Slika 4.10 Varijanta zakretnih raspršivača tečnog stajnjaka

Negativne osobine ovih irigacionih sistema uglavnom su vezane za ekološke aspekte i zahteve obučenosti visokog ranga, tj.:

- nedovoljno redukovana disperzija amonijaka i jedinjenja neprijatnih mirisa u atmosferu,
- lako raspršivanje u negativnim vremenskim uslovima rezultira periodima zabranjene primene,
- opasnost od distribucije prekomernih količina tečnog stajnjaka po jedinici površine i
- zahtev operativnosti na parcelama adekvatne veličine i oblika.

Pre raspršivanja, tečni stajnjak mora biti homogenizovan adekvatnim tehničkim sredstvima: pumpe i/ili mešači.

#### 4.4. Korišćenje nutrienata stajnjaka

Proporcija danas korišćenih tečnih stajnjaka na oraničnim usevima varira značajno između regiona i individualnih farmi, posebno zavisna od proporcije oranične farmske zemlje. To je 70% ili više u mnogim Evropskim zemljama, ali su značajni izuzeci, uključujući Švajcarsku, Irsku, UK, Norvešku i Litvaniju, gde je to mnogo manje. Za čvrsti stajnjak od goveda i svinja, proporcija primenjena na oranične useve veća je nego za tečni stajnjak. Veći udeo tečnog stajnjaka raspršen je na pašnjacima u zemljama sa prioriternim farmingom muznih krava. Živinski stajnjak pretežno je raspršen na oranične useve, osim u Irskoj, UK i Grčkoj. U nekim zemljama, visoka srazmera živinskog i konjskog stajnjaka benefitno se koristi za ostale svrhe, npr. kod uzgoja pečurki i gljiva, ili kao alternativni energent za sagorevanje u opštinskim ili regionalno centralnim energetskim postrojenjima.

Tipične stope primene tečnog stajnjaka u većini zemalja su 20-40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, (tab. 4. 5). Više stope za obe vrste stajnjaka sretljive su u Italiji i Francuskoj. Površinsko rasturanje tečnog stajnjaka deflektorskim diskom i propratnom opremom najzastupljenije je. Tehnike raspodela tečnog stajnjaka u niskom površinskom nivou fleksibilnim crevima ili injektorski, sve više su zastupljene u Centralnoj i Severnoj Evropi. Za sada, ta oprema je sretljiva samo u zemljama sa zaživelim ekološkim regulativama po pitanju dozvoljenih emisija gasnih komponenti staklene bašte i neprijatnih mirisa (uglavnom Holandija, Danska, južna Švedska). U Južnim zemljama, razređen tečni stajnjak, posebno svinjski, kao i bistra lagunska tečnost, često su raspršeni irigacionim sistemima. Ova praksa sretljiva je u Rusiji na velikim farmama, a prosečan sadržaj suve materije ispod je 3%.

U većini zemljama EU važnost nutrienata stajnjaka, bar delimično, opravdava se direktnom prehranom useva. Ipak, aktuelna redukcija upotrebe mineralnih hraniva, praktično je na niskom nivou, osim tamo gde važe legalna zakonska ograničenja, ili su inicirana. Ovakvo zakonodavstvo, formski različito, danas postoji u Holandiji, Danskoj, Nemačkoj i Švajcarskoj. Drugde, dopuštenje za nutrijente pri raspodeli stajnjaka po zemlji je samo podstaknuto direktivama u zakoniku prihvatljivih postupaka, a nekim slučajevima indirektno kao rezultat generalno ekološkog zakonodavstva. Međutim, najjači podstrek primeni efikasnog, a time ekološki pozitivnog korišćenja nutrienata seoskih stajnjaka bio bi povišenje tržišne cene mineralnih nutrienata u komercijalnim hranivima. Definitivno, dokle god su mineralna hraniva dostupna po niskim cenama biće mali interes ka zameni mineralnih sa nutrientima iz animalnih stajnjaka. Ravnopravna konkurencija jedino je moguća ako se cena po kg nutrienta podigne putem taksi, mada ova politička mera nije popularna.

Tabela 4.5 Tipične stope primene stajnjaka u nekim zemljama EU („np“ - neprimenjen ili nema podataka)

Zemlja	Tečni stajnjak		Čvrsti stajnjak	
	oranični usevi, m <sup>3</sup> /ha	pašnjaci, m <sup>3</sup> /ha	oranični usevi, t/ha	pašnjaci, t/ha
Bugarska	np	np	20-60	np
Češka Rep.	30-90	70	20-40	30
Danska	30-40	40	30	30
Estonija	20-30	20	30-40	20
Finska	20-30	20-40	15-20	15-20
Francuska	40-80	30	40-80	np
Nemačka	10-40	10-40	15-30	15-30
Irska	22	33	na	30
Italija	100-120	80-100	40-60	np
Litvia	20-35	20-40	np	np
Litvanija	30-40	15-40	30-50	np
Holandija	30-40	30-40	20	30
Norveška	35	35	35	35
Poljska	55	55	30	30
Rusija	20	30	20-30	20-30
Švedska	np	np	20-30	15-25
Švajcarska	50-60	20-40	20-40	20-30
UK	40-60	40	50	30

#### **4.5. Aktuelni sistemi tretmana tečnim stajnjakom**

Danas postoji širok rang varijanti za tretmane tečnim stajnjakom sa tendencijom ubrzanog razvoja. Međutim, izvesna je ograničena upotreba ovih menadžment tehnologija, čime je tekući vremenski iskorak vredan razmatranja tema aktuelnosti i mogućnosti njihovog korišćenja.

##### **4.5.1. Mešanje**

Stajnjak u statičnom stanju skladištenja naginje ka separaciji sedimentacijom i plovnošću specifično lakših komponenti od tečne faze, što rezultira problemima manipulacije i neravnomerne distribucije nutrienata po visinskim slojevima. Mešanje stajnjaka je upotrebno i široko primenjeno rešenje. U svrhu tome koristi se širok rang opreme, uključujući fiksne i mobilne mešače sa konvencionalnim traktorskim pogonom ili sa elektromotorimsa. Neki od ovih uređaja takođe obezbeđuju kvašenje stajnjaka radi povišenja stepena homogenizacije procesa i poboljšanja protočnih karakteristika sistema za manipulaciju sa njim.

##### **4.5.2. Separacija**

Mehanička separacija grubih primesa iz tečnog stajnjaka primenjavana je sa varijabilnošću u mnogim zemljama, uključujući Grčku (iznad 90% od svinjskog slurry-a), Italiju (15% od goveđeg i 40% od svinjskog tečnog stajnjaka), Holandiju i UK. Od primenjenih metoda separacije, posebna među njima je sedimentacija. Naime, njome je moguće odstranjivanje posebno izdvojenih komponenti iz tečnog stajnjaka, što sa aspekta jednostavnosti i cene koštanja, nije osobina drugih metoda. Osnovna mana ove metode je inertnost, tj. vremenska zahtevnost.

##### **4.5.3. Aerobni tretman**

Ovaj biološki tretman nije opšte sretljiv, mada su u intenzivnom razvoju pilotni ogledi u Francuskoj i Holandiji. Ključna svrha ovih instalacija je odstranjivanje nepoželjnog amonijaka preko interakcijskog procesa nitrifikacija/denitrifikacija, mada se ovde pojavljuju sekundarni zahtevi sa redukcijom organskog tovara. U Norveškoj i Nemačkoj, aerobno-termofilni tretman istražuje se sa pravcem redukcije patogena u tečnom stajnjaku. U prilog tome, u UK aeracija se koristi radi redukcije emisije neprijatnih mirisa sa podrškom intenzivnog mešanja itd.

##### **4.5.4. Anaerobni tretman**

Digestija tečnog stajnjaka sa produkcijom biogasa, kao finišno energetskeg produkta, postaje sve atraktivnija u većini zemljama i kod nas. Naravno, posebno je intenzivna u zemljama sa definisanim podsticajima vlada, gde već egzistiraju fabrike biogasa. Do kraja 2011-te formirano je 6800 ovakvih postrojenja visokih kapaciteta u Nemačkoj, potpomognuto garantovanim premium cenama za produkovanu kogeneratorsku energetskeg jedinicu. Velika postrojenja postoje i u Danskoj, Poljskoj i Italiji. Osim energetskeg domena, parcijalne subvencije podrazumevaju dodatne benefite: redukcija neprijatnih mirisa i BOD koncentracije, kontrola bolesti, bolja manipulacija i unapređene hranidbenih performansi.

Generalno, tretman je više uopšten kod svinjskog nego goveđeg stajnjaka, ali ostali substrati, kao što su zeleni otpaci iz primarne industrije hrane i animalni otpadi iz mesne industrije, često su alternativni resursi za povećanje produkcije gasa i generisanje unapređenog dohotka kroz takse, koje se inače plaćaju za tretman i dispoziciju ovih vrsta otpadnog materijala u formi otpada.

#### **4.5.5. Sistem kompostiranja**

Za čvrste stajnjake ne primenjuju se drugi tretmani osim kompostiranja i eventualno sagorevanja u specijalizovanim energetskim pogonima. Visokopkapacitetni kompostni procesi najzastupljeniji su u Francuskoj i Italiji, kao i nekim južnim i istočnim zemljama EU. U mnogo slučajeva, ovi tehničko-tehnološki postupci u konkurenciji su podešenim za rad sa velikim količinama ostalih organskih otpada, gradskog ili industrijskog porekla (npr. različiti otpaci zeleniša, hrane i mulj iz otpada industrijskih tretmana). Postoje pouzdani podaci da specijalizovana tržišta i krajnja upotreba ovih produkata poprima formu zasićenja, posebno u severnoj i centralnoj Evropi. Zbog toga se poštavaju kriterijumi za kontrolu kvaliteta u smislu bezbedne aplikacije na plodonomnim zemljištima.

## 4.6. Ekonomska razmatranja za menadžment stajnjaka

### 4.6.1. Nutritivna vrednost stajnjaka

Postupci sa stočarskim stajnjacima stvaraju: probleme, troškove i neprilike sa aspekta farmskog menadžmenta.

Problemi, jer za dobre agronomске rezultate, kao eksponent, tečni stajnjak mora biti tretiran i skladišten sa pažnjom i rasturen u okviru optimalnog vremena, zahtevajući adekvatnu opremu, sposobnu za visoke radne stope. Naročito u slučaju mobilnih distributera tečnog stajnjaka prisutni su problemi združeni sa njihovom težinom i gumenim tragovima na tretiranom zemljištu, koji rastu sa njihovim kapacitetom, što takođe sputava primenu na poljima u prisustvu stajajućih useva.

Stočarski stajnjaci su trošak usled značajnog zahteva za ljudskom radnom snagom (npr. u slučaju tankera tečnog stajnjaka umerenog kapaciteta) i bitna kapitalna ulaganja (u slučaju visoko-kapacitetnog tankera ili irigacionih sistema).

Neprikladna su, jer često nose veoma neprijatan miris i aplikacija na zemljištu često je neprecizna.

Tradicionalno, stočni tečni stajnjaci rasturani su po zemlji „na slepo“, tj. sa nezainteresovanošću ka potencijalnoj fertilizacionoj vrednosti tretiranog zemljišta, što je za sigurno faktor povećanja rizika od ekoloških zagađenja, (Zoranović *et al*, 2011). Usled kontinualno kontrolisanog sniženja profitne marže, farmeri EU pod povećanim su pritiskom ka unapređenju redukcije produkcionih troškova. Kao potencijalni prostor uštede, moguća je zamena anorganskih hraniva sa nutrientima obezbeđenih farmskim stajnjakom. U UK, aproksimativno 90 miliona tona goveđeg, svinjskog i živinskog stajnjaka, rasturi se na poljoprivredna zemljišta svake godine, (Williams *et al*, 1998). Oko polovine tretiranog stajnjaka je u formi ČS, a ostatak je TS. U ukupnom bilansu, ovaj stajnjak aproksimativno sadrži:

- 330000 t azota (N)
- 100000 t fosfora (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)
- 290000 t kalijuma (K<sub>2</sub>O)

Pretpostavljajući vrednost od 0,4 eura/kg N, 0,4 eura/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i 0,3 eura/kg K<sub>2</sub>O (MAFF, 1998), ovaj stajnjak ovaploćuje ukupnu monetarnu vrednost od 300 miliona evra. Tokom uzgojne sezone 1997/98, UK poljoprivreda konzumirala je aproksimativno 1,4 miliona tona azota (N), 380000 t fosfora (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) i 490000 t kalijuma (K<sub>2</sub>O) u formi anorganskih fertilajzera (FMA, 1999). Potencijalno, korišćeni farmški stajnjaci modu da snabdeju 20%, 25% i 60% godišnjih zahteva za azotom, fosforom i kalijumom u UK poljoprivredi, respektivno. Ovde su naravno prisutne poteškoće u rasturanju stajnjaka na uzgajane useve. Praktično, neverovatno je potpuno iskorišćenje u stajnjaku sadržanog fertilajzera. Međutim, gornje brojke demonstriraju da upravljan stajnjak može zadovoljiti signifikantnu proporciju zahteva EU ka fertilajzerima.

Deo benefita od upotrebljene fertilizacione vrednosti stajnjaka može biti anuliran troškovima manipulacije, zajedno sa izvesnim stepenom neizvesnosti stvarnog nutritivnog sadržaja na polju i raspoloživosti bilo kog sastojka stajnjaka (organskog i mineralnog).

#### **4.6.2. Kontrolisana primena tečnog stajnjaka**

Za obezbeđenje boljeg korišćenja nutrienata u stajnjaku posebno je važno upoznavanje novih tehnologija za preciznu raspodelu stajnjaka. Takav primer je kontinualni senzoring nutrienata na tretiranoj poljskoj površini. Naime, integrisani sistemi kao prototipno rešenje u „SWAMP“ projektu (*Carton i Lenehan, 1998*), posebno su atraktivni zbog dobrog podešavanja postojećim farmskim sistemima, (sl. 4.11).



Slika 4.11 Tanker tečnog stajnjaka opremljen prototipom nutrientskog senzora. Kompjuterske informacije koriste za kontrolu primene stajnjaka po zemljištu na bazi GPS tehnologije i prethodno memorisanih podataka o tretiranoj parceli sa adekvatnim usevom, SWAMP projekat

Sa ovom tehnologijom, procena NPK sadržaja tankerskog tovara tečnog stajnjaka vrši se on-line sensorima. Naime, GPS sistem locira poziciju traktora u izabranom polju, a zavisno od trenutnih i prethodno memorisanih informacija o usevu ili usevima na njemu, kao i primenjenim tretmanima stajnjaka, vrši se nova raspodela sa podesnom stopom. Za sada, jednom podešen, ovaj sistem treba da obezbedi optimalne aplikacije sa približno istim operativnim naporom prema normalnoj raspodeli stajnjaka po zemljištu. Pored toga, ovako sofisticiran sistem realizuje ravnomernu raspodelu stajnjaka, kako poprečno, tako i po dužini parcele sa koeficijentom varijacije  $< 5\%$ .

#### **4.6.3. Strategije za skladištenje i sistemske tretmane tečnim stajnjakom**

Bilo koji zahtev za dodatnu manipulaciju, tj. skladištenje ili primenjen tretman sa tečnim stajnjakom, neizbežno nameće dodatni trošak menadžmenta stajnjakom bilo kog farmskog imanja. Kod adekvatnog i pouzdanog skladištenja, npr. poznavanje pokrivki može rezultirati većim zadržavanjem potencijalno vrednih azotnih fertilajzera i nižom ofanzivnošću neprijatnih mirisa. Time su značajno smanjeni rizici međususedskih nesuglasica, često sa neprijatnim susdskim ishodima. Ekonomska atrakcija ovih tehnologija okarakterisana je



izbegavanjem plaćanja taksi za prekoračenje primenjenih direktiva pomenutog domena problema.

Generalno, najveći deo poboljšanja troškovne efektivne može se sagledati kroz nekoliko rezonskih predloga:

- konstrukcija većih rezervoara tečnog stajnjaka radi zadovoljenja potrebne akumulacione zapremine košta značajno manje nego extra rezervoari sa visokim nivoom manipulativnosti i mešajućom opremom,

- konstrukcija rezervoara sa poklopcem jeftinija je od bioloških prekrivača i
- investiranje u celokupne podzemno-cevne sisteme za irigaciju, kao dela integrisanog manipulativnog sistema tečnim stajnjakom za nove uzgojne objekte, bolje je od pristupa „deo po deo“.

Sam po sebi, tretman stajnjaka može generisati neke povraćaje na ulaganja, koji će bar delimično nadoknaditi bazne troškove. Ovo uključuje:

- lokalno korišćenje stajnjaka sa redukcijom organskog tovara, time redukujući troškove transporta,

- lakše postupanja sa razređenijim pumpajućim fluidom,
- snabdevanje sa produktima prodajnog karaktera u formi biogasa, komposta ili nutrientsko koncentratne forme i

- mogućnost dužih intervala skladištenja, bez iritacije suseda sa ofanzivnim mirisima.

Obuhvatno, realan benefit bilo koje forme tretmana ili prakse menadžmenta stajnjakom je mogućnost njegove kontinualne raspodele po zemljištu, bez ugrožavanja ekoloških postulata.

Do danas su smišljeni različiti matematički modeli za poređenje različitih strategija transporta i rasturanja tečnog stajnjaka, time omogućavajući optimizaciju ovog bitnog procesa. Tekući troškovi opreme pokazali su predvidivu zavisnost između transportne distance i godišnje količine raspršenog tečnog stajnjaka,

Troškovi transporta pod uticajem su:

- nivoa razblaženosti stajnjaka,
- kapaciteta rezervoara,
- limita rasturanja na putu i polju,
- postojećeg potencijala zemljišta,
- perioda rasturanja i
- distance između objekta i polja.

Troškovi rasturanja takođe su pod uticajem distance između skladišta i tretiranog polja. Prema iskustvenim podacima, pri korišćenju tankera tečnog stajnjaka zapremine  $5 \text{ m}^3$ , troškovi rasturanja su 15% viši nego za tankere duplog volumena. Za distance  $<1 \text{ km}$ , razlika u troškovima između raznih opcija opreme, mala je. Inače, trošak rasturanja sredstvima tankera tečnog stajnjaka dovodi se u vezu sa kapacitetom transporta, tj. veličinom rezervoara. Dakle, pri porastu distanci transporta, potreba za većim mašinama raste, implicirajući u sebi teže toware sa njima karakterističnim problemima primene na polju. Naime, kad su obuhvaćene duže distance sa većim količinama tečnog stajnjaka, linije cevni sistema mogu biti pogodnije, iako su inicijalna ulaganja znatno viša.

#### **4.7. Spoljni uticaji na stočarski stajnjak**

Istorija ljudskog roda u tesnoj vezi je sa pripitomljavanjem životinja. Tokom civilizacijskog perioda, 10-12000 godina unazad, relativno mali broj neposrednih životinjskih vrsta omogućio je čovečanstvu razvoj iz primitivnih uslova ka životu boljeg kvaliteta. Nezavisno od stvaranja integralnog dela istorije i kulture ruralnih prostora, produkcija životinja jedna je od baznih komponenti sistema ljudskog snabdevanja hranom. Principom prirodno interakcijskog, aktuelni farming treba da integriše u većoj meri nezavisna gledišta životinjske produkcije, kao biološki promenljivog procesa sa aspekta priliva hrane, stanja konzumirane vode i vazduha, produkcije mesa, mleka i jaja, sa jedne i produkciju ekstremnih količina stajnjaka sa njegovom distribucijom, uz propratne emisije vazdušnih zagađivača u okruženje, sa druge strane.

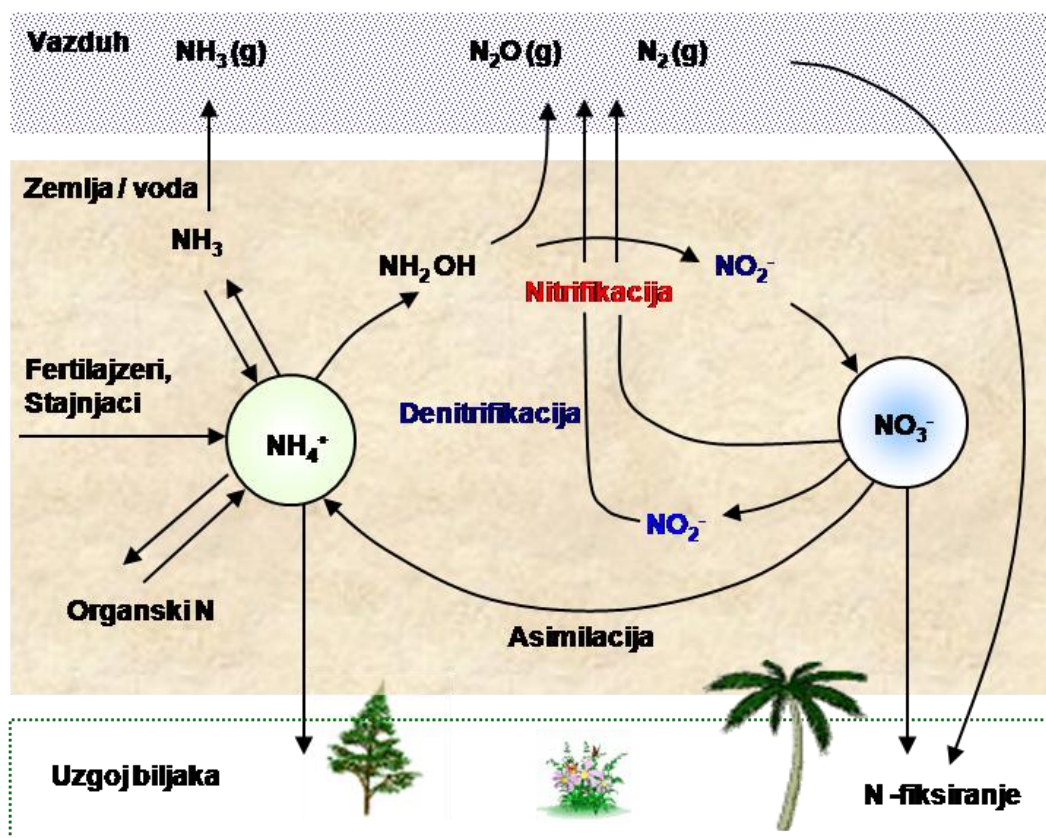
Premda je danas proporcija radne snage za proizvodnju hrane u Evropskoj Uniji pala ispod 10%, u nekim slučajevima vrednost stočnih proizvoda značajno prelazi 50% od ukupne godišnje poljoprivredne produkcije. Reciklaža otpada domaćih životinja, preko prirodnih ekosistema sa aktivnim učešćem čoveka, smatra se važnim faktorom, a u mnogim slučajevima osnova je razvojnim koracima stočarskog sektora. Prirodno, za ekstenzivni niskopopulacioni uzgoj životinja, problemi odstranjivanja otpada minimalni su, tj. rastureni su po zemljištu sa delimičnom inkorporacijom od samih životinja, dok adekvatne biološke aktivnosti prerađuju sastojke, najvećim delom, preko zemljišta. Nasuprot tome, intenzivni uzgoj životinja sa težnjom ka niskim cenama baznih i sekundarnih proizvoda, visokoj produkciji i efikasnosti, zajedno sa ograničenjima zemljišne raspoloživosti i njegove teksture, uzrok su problema ekstremnog viška otpada.

#### 4.8. Centralna uloga azota u stajnjaku

Među korišćenim i recikliranim poljoprivrednim nutrientima, azot je ključni element produkcionih sistema (usevi i životinje) i porasta ekoloških zabrinutosti, kao posledica prekomerne upotrebe njegovih raznovrsnih jedinjenja.

##### 4.8.1. Azotni ciklus

Azot je potreba svih organizama ka preživljavanju i odgoju. Mada čini  $\approx 79\%$  atmosfere, snabdevanje ovim nutrientom za većinu organizama obezbeđeno je preko njegove raspoloživosti u životnim tkivima i mrtvim organizmima. Ovo se ponekad odnosi na pojam „fiksiran azot“, gde je on „uskočio“ u hemijsko jedinjenje upotrebljivo za biljke ili životinje. Kao baza atmosfere, u formi je inertnog gasa, osim u malom broju organizama (mahunarkama i izvesnim bakterijama), koji raspoložuju moći njegovog direktnog fiksiranja iz vazduha. Transformacija atmosferskog azota u forme korisne za razne oblike života, prikazana je na (sl. 4.12.).



Slika 4.12 Azotni ciklus glavnih bioloških procesa u kontekstu stočarskog farminga

Ovaj proces rezultira specijalizovanim serijama reakcija, u kojima nekoliko vrsta mikroorganizama oksidira jon amonijuma  $\text{NH}_4^+$  u nitrit  $\text{NO}_2^-$  ili nitrit u nitrat  $\text{NO}_3^-$ . Autotrofna

nitrifikacija (sposobnost korišćenja C iz CO<sub>2</sub>), ili jednostavno nitrifikacija, ime je dato oksidaciji amonijaka u nitrit i odatle u nitrat sa autotrofnim organizmima, a koji izvode njihovu energiju potpuno iz oksidacije, tj. ne iz oksidacije redukovanih ugljeničnih jedinjenja. Nekoliko mikroorganizama, reprezentovanih sa rodovima Nitrosomonas, iskorišćavaju nitrifikaciju amonijumskog jona, kao njihov jedinstven energetski izvor. Heterotrofna nitrifikacija dešava se kad su nitrit i/ili nitrat proizvedeni iz anorganskih ili organskih jedinjenja u heterotrofnim organizmima, sa neobavezno oksidacionim reakcijama i njihovim statusom jedinog životno energetskog izvora.

Nitrifikacija je veoma važan faktor kod tretmana čvrstih i vodenih otpada, samoprečišćavanju reka, gde odstranjuje amonijak, koji je više toksičan od nitrata, a značajno redukuje fatalni zahtev za kiseonikom u otpadnoj vodi. Azotni oksid može biti formiran kao sporedni proizvod. Nedavno, saopšten je rang novih mikropskih procesa, koji može da se desi u tretmanskim postrojenjima otpadne vode, npr. aerobna denitrifikacija i heterotrofna nitrifikacija, anaerobno-amonijačna oksidacija ili denitrifikacija sa autotrofnim nitrifikacionim bakterijama.

Amonifikacija opisuje proces u kome azot organskih jedinjenja, prvenstveno amino kiseline, biva konvertovan u amonijumske jone. Naime, Proces funkcioniše kad mikroorganizmi razlažu ostatke mrtvih biljaka i životinja.

Mineralizacija podrazumeva razgradnju organske materije od strane mikroba. Uprošteno, mikroorganizmi koriste organsku materiju kao energetski izvor, a N u razgrađenoj materiji, koji je u njima suvišan, izdvaja se u formi dostupnoj ostalim organizmima. Suštinski, mineralizacija je proces razgradnje organskih jedinjenja u jednostavne anorganske spojeve, npr. CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, nitrate, sulfate, fosfate itd.

Denitrifikacija je razgradnja nitrata i nitrita od strane heterotrofa u hemijskoj redukciji sredine, vodeći ka produkciji ranga gasova, uglavnom diazotnih-N<sub>2</sub>, sa izvesnom dozom azotnog oksida N<sub>2</sub>O, u zavisnosti od prirode aktivnosti. To je finalna faza N ciklusa, gde je fiksiran N vraćen u atmosferski objedinjen N<sub>2</sub>. Denitrifikacija je uglavnom mikropski proces, sa azotnim oksidom kao posrednikom. Osim toga, moguća je hemijska denitrifikacija, (sl. 4.12).

U živoj ćeliji neprekidno se odvija ogroman broj hemijskih reakcija. Celina svih hemijskih procesa, odnosno, ukupan promet materije i za materiju vezane energije naziva se metabolizam. Metabolizam karakterišu dva osnovna procesa: *anabolizam* i *katabolizam*.

*Anabolizam* predstavlja sintezu složenih jedinjenja iz prostih, uz potrošnju energije, kakvi su npr. fotosinteza, sinteza proteina itd.

*Katabolizam* su reakcije razgradnje složenih jedinjenja na prosta, uz oslobađanje energije, pripadaju mu procesi kao što su disanje, varenje i dr. U ćeliji se neprekidno odvijaju tesno povezani procesi razlaganja organske materije uz oslobađanje energije i sinteza složenih sastojaka ćelije uz utrošak energije. Pošto se anabolizam neprekidno odvija (ćelija neprekidno sintetise proteine, šecere, masti idr.) ćelija ima stalnu potrebu za energijom. Živa ćelija, bez obzira na vrstu organizma, energiju dobija oksidacijom organskih jedinjenja, tj. njihovim sagorevanjem, što pripada kataboličkim procesima.

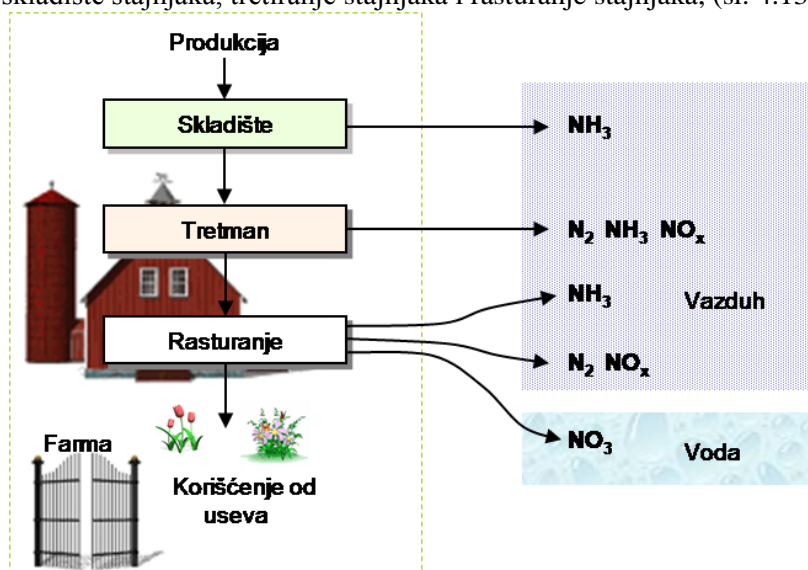
Organska jedinjenja se polako i postupno oksidišu, tako da se energija iz njih otpušta sporo, delimično u vidu toplote, a delom i kao hemijska energija (ATP), koju ćelija može da koristi u anabolizmu. Po načinu dobijanja organskih molekula, koji služe kao izvor energije, živa bića se dele u dve velike grupe: *autotrofe* i *heterotrofe*.

*Autotrofi* su sposobni da vrše fotosintezu (ili hemosintezu), da sunčevu energiju (ili hemijsku energiju) iskoriste za sintezu organskih materija koje će im služiti za dobijanje energije.

*Heterotrofi* uzimaju gotove organske materije hranom i sagorevanjem tih materija obezbeđuju potrebnu energiju. Hrana heterotrofa, direktno ili indirektno, potiče iz organskih materija nastalih fotosintezom.

#### 4.8.2. Azot u farmskom sistemu

U svrhu shvatanja menadžmenta sa N, farmski sistem može biti podeljen u tri dela, tj. podsistema: skladište stajnjaka, tretiranje stajnjaka i rasturanje stajnjaka, (sl. 4.13).



Slika 4.13 Glavni gubici azota tokom menadžmenta otpadnim tečnim fazama

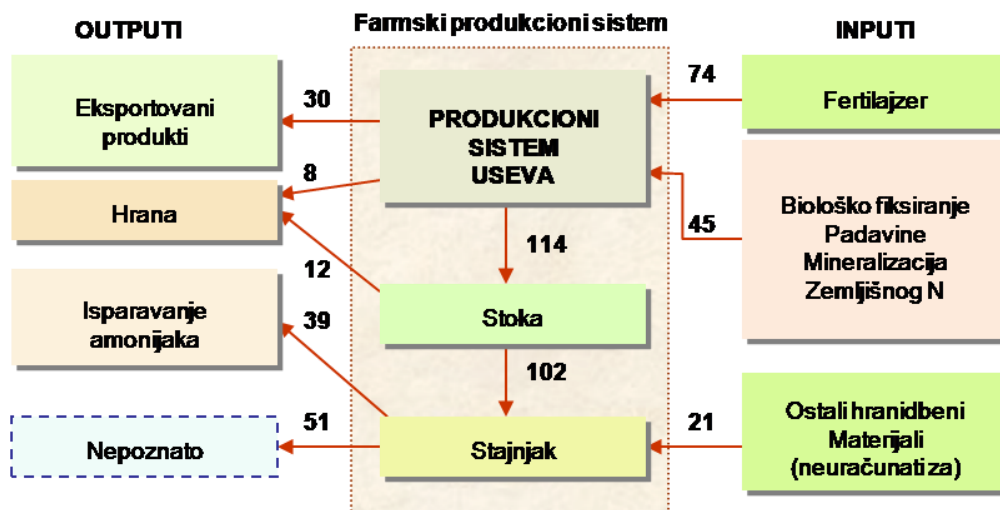
Azotni input dolazi iz dietetskog proteina animalne hrane ili ispaše na pašnjacima. Samo deo ovog azota zadržan je od životinja, a ostatak, obično mnogo veći deo, izlučen je iz njih u formama ekskreta i urina (takođe se odnosi na termin N-izlučevina). Ovaj azot je u formi karbamid uree ili jednog od mnogih organskih jedinjenja, kao što su proteini ili peptid-jedinjenja niskomolekularne težine, koja posle hidrolize daju dve ili više aminokiselina.

N-izlučenje od životinje je input podsistema nazvanog skladište stajnjaka. Stajnjak je izlučen u kavezima i transportovan do skladišta, pri tome ulazići u promenljive forme interakcija sa vazduhom. Paralelno tome, prirodna pojava enzima ureaze degradira ureu, a formiran amonijak započinje isparavanje. Količina tog isparavanja signifikantno je vezana za koncentraciju anorganskih jedinjenja u stajnjaku. Faktori koji diktiraju uslove držanja, kao što je tip obora i higijena, kontrola klimata i frekvencija transporta stajnjaka, takođe igraju veoma važnu ulogu na tok procesa. Prema već pomenutom, stajnjak se sakuplja i skladišti na razne načine, a česta varijanta je ispod rešetkastog poda objekta za uzgoj životinja. Alternativno, on može biti skreperom izvučen napolje u stajnjačke gomile, spoljne lagune ili rezervoare. Kapacitet skladišta i dužina perioda skladištenja, uveliko utiču na količinu kompleksa parcijalnih isparenja tokom obavljanja ovih operacija.

Količina azota, kao sastavnog dela stajnjaka tokom raspodele po zemljištu, nadalje se obeležava poluskraćenicom N-stajnjaka. Metod distribucije stajnjaka uveliko utiče na stepen isparenja azota tokom i nakon njegove aplikacije. Stvarno potrebna doza N-stajnjaka za prehranu potencijalnog useva određuje količinu korišćenog fertilajzera. Ukupno neiskorišćena količina azota od useva obeležava se skraćenicom višak-N, koji unapred može biti podeljen na količine: raskvasivog N-raskvasivog i N-denitrifikacije. Vredno pomena, izvesna frakcija gubi se putem oticanja. Gasni gubici N u atmosferu kao amonijak, azot N<sub>2</sub> ili azotni oksid N<sub>2</sub>O, mogu takođe da se dese pri ranijim fazama stajskog menadžmenta, time reprezentujući pad potencija benefita usled lošeg korišćenja i recikliranja N kroz produkciju useva.

### 4.8.3. Efikasnost azota u globalnoj produkciji životinja

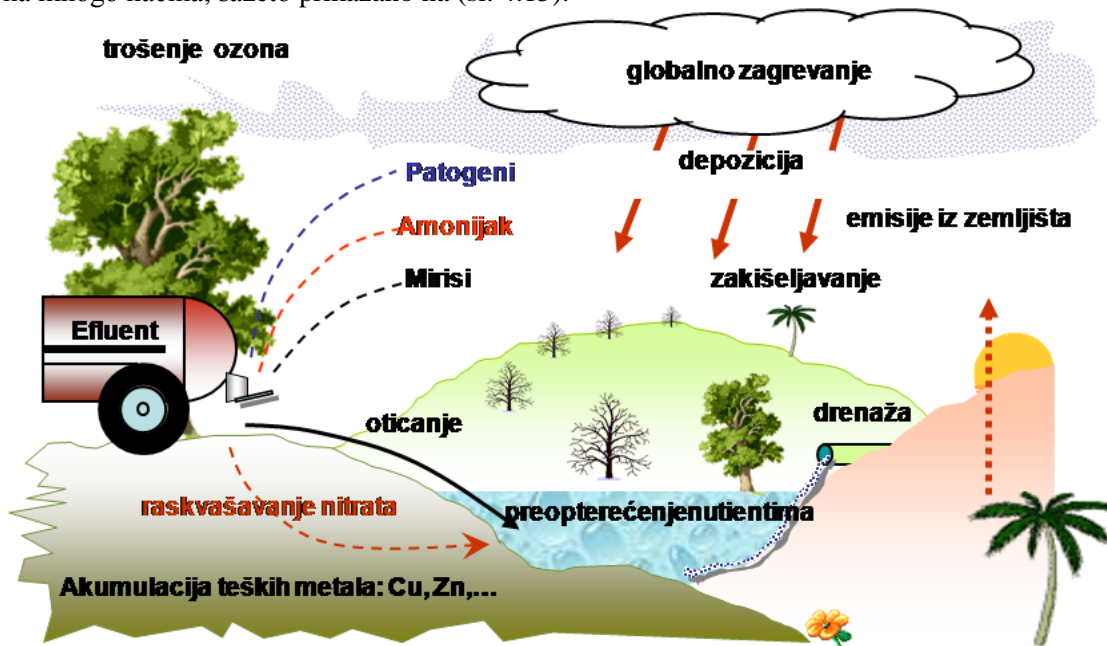
Azot igra važnu ulogu u produkciji životinja, jer je esencijalan za proizvodnju njihovog mesa, mleka, jaja i vune. Stočna produkcija pokazala je stabilan uzgon širom sveta, kao rezultat godišnjeg porasta od 1,4% kod zemalja u razvoju i 0,9% u razvijenim zemljama tokom perioda 1960-1990. Vredno pomena, žita formiraju glavni hranidbeni materijal u stočarstvu. Time je tekuća globalna upotreba žita za hranu oko 57% u razvijenim zemljama. Predpostavljajući da se 30% od totalne razmene žita, 21% krutog korena, 18% mahunarki i 3% uljarica, koristi kao forma animalnih hraniva, to okvirno znači da totalna razmena hranidbenih materijala reprezentuje 4 do 8 x 10<sup>6</sup> tona od N (*Bouwman i Booij, 1998*). Na osnovu sadržaja N u mesu (2,5%), mleku (0,5%) i jajima (2%), globalna stočarska produkcija sadrži grubo 12 x 10<sup>6</sup> tona N. Globalno izlučivanje azota od životinja je oko 102 x 10<sup>6</sup> t/godini. Dakle, globalno usvajanje N od životinja je 114 x 10<sup>6</sup> t/godini, sa stepenom efikasnosti oko 10%. Ako se globalan poljoprivredni sektor razmatra kao jedna ogromna farma, budžet N pokazuje da je količina generisanog N-animalnog stajnjaka mnogo viša nego količina korišćenih prehranjivača, dok je on odstranjen u produktima za humanu potrošnju samo 20 x 10<sup>6</sup> t. Dodatnih 30 x 10<sup>6</sup> t je exportovano, primarno kao žitna ili animalna hrana, (sl. 4.14). Iako je animalni stajnjak recikliran u žitnom zemljištu, do polovine stajnjačkog-N može biti emitovano u atmosferu kao NH<sub>3</sub>, pre njegove inkorporacije u zemljište.



Slika 4.14 Godišnji azotni budžet (10<sup>6</sup> tona N) za globalnu poljoprivredu, (*Van der Hoek, 1998*).

#### 4.9. Životinjski stajnjak i ekologija

Potencijalno negativan uticaj azota i drugih nutrienata u stočnom stajnjaku na okruženje bio je pod nadzorom skorašnjih godina. Potencijalno, poljoprivreda može doprineti zagađenju na mnogo načina, sažeto prikazano na (sl. 4.15).



Slika 4.15 Potencijalno zagađenje zemljišta, vode i vazduha koje može rezultirati iz poljoprivrednih aktivnosti vezano za stočnu proizvodnju, (Burton, 1997).

U tom pravcu, uticaj stočnog stajnjaka proširen je van potencijalnog zagađenja samo azotom. Shodno tome, od posebne važnosti je bar delimično razumevanje propratno nepoželjnih efekata zagađenja radi prihvatanja, a time i sprovođenja održivih poboljšanja.

Različiti hazardi zagađenja mogu se grupisati u tri fokusirano uticajna područja. Prvo, zagađenje zemljišta može biti uzrokovano primenom ekstremno visokih stopa nutrienata kroz stajnjak, tj. stvaranjem njihovog debalansa sa potencijalnom posledicom slabog porasta uzgajanog useva. S druge strane, zagađenje vode može biti uzrokovano direktnim oticanjem nutrienata nakon njivske aplikacije stajnjaka, raskvašavanjem nutrienata izazvanim prekomernom aplikacijom, curenjem i direktnim isticanjem tečne faze iz loše hidroizolovanog skladišta stajnjaka. Treće, moguće zagađenje vazduha iz unutrašnjosti uzgojnih objekata putem direktne ventilacije ili emisijom neprijatnih mirisa tokom aplikacije stajnjaka na zemljištu, usled njegove dekompozicije mikrobskim agensima, naročito tokom ekstremno toplih perioda godine.

##### 4.9.1. Ekološki uticaj stočnih stajnjaka na zemljište

U istorijskim osvrtu, životinjski stajnjak se doživljavao darom zemljištu, kao efektivan snabdevač organskom materijom radi poboljšanja njegovih fizičkih i plodonosno energetskih osobina. Činjenično, stajnjak podstiče mehaničku stabilizaciju plodonosno zemljišnog sistema, time redukujući fenomen njegove erozije, poboljšava njegovu strukturu u smislu

rastresitosti, kao važnog faktora u procesu zadržavanja vlage u sušnim, a često njena dobra drenaža u vlažnim reonima. U značajnom segmentu pomenutog osvrta, efekat primene stajnjaka na kvalitet zemljišta ocenjivan je isključivo sa gledišta produkcije useva. Međutim, razvoj intenzivne poljoprivrede danas zahteva identifikaciju i adekvatnu redukciju njegovih negativnih efekata na šire okruženje.

Evolucijski, promene u sistemu držanja životinja, uglavnom za goveda i svinje, pored čvrstog, vodile su intenzivnoj produkciji tečnog stajnjaka, na nekim mestima, u određenoj srazmeri sa prostirnim materijalima. Svinjski tečni stajnjak koristi se mnogo godina unazad. Pokazalo se da je njegova upotreba na krečnim zemljištima za uzgoj strnih žita i voća, pod irigacionim tretmanom u semi-aridnoj klimatskoj zoni, poboljšala hranidbeni zemljišni potencijal porastom sadržaja organske materije, organskog C i ukupnog N+P. Dakle, dodavanje organske materije esencijalno je za održavanje i poboljšanje plodnosti zemljišta.

Priroda heterogenosti i debalansa nutritivnog sastava većine stočnih stajnjaka, kao i dužine roka njihove primene, kontrolu promena strukture zemljišta čini kompleksnim procesom. Postulatno, čvrsti i tečni stajnjaci treba da su primenjeni na zemljištima sa količinama određenim poznavanjem njihovih interakcijskih karakteristika, vrstom useva, klimatskih faktora, relativnim odnosom čvrsti/tečni stajnjak, itd. Po inerciji razuma, čvrste i tečne stanjake treba redovno i regularno uzorkovati, a potom nutritivno analizirati radi izbegavanja prekomerne primene. Podsetno, nutrienti i organska materija animalnih stajnjaka u formi prekomernog, izlažu riziku zagađenja površinskih i podzemnih potencijala vode. Posebno važan segment opasnosti nekontrolisane primene stajnjaka, u bilo kojoj formi, jeste posledični prekomeran sadržaj teških metala i koncentracije rastvorljivih soli.

Iznad 90% N u većini površinskih slojeva zemljišta prisutno je u organskoj formi. Organski N u zemljištu, generalno, može biti razdeljen u dve kategorije:

1. organski ostatak, kao deo neraspadnutih biljnih i životinjskih ostataka i
2. organska materija u zemljištu, tj. humus.

Glavni problem sa azotom u zemljištima nakon raspodele stajnjaka je kontrola formiranja nitrata. U svinjskim i goveđim tečnim stajnjacima, proporcija N u anorganskim formama, obično je viša od ekvivalentna u sistemu čvrstog stajnjaka. Za svinjski tečni stajnjak, proporcija može lako prekoračiti 50% od totalno prisutnog N, uglavnom kao amonijumski azot  $\text{NH}_4\text{-N}$ . On može biti brzo nitrifikovan po raspršivanju tečnog stajnjaka na mnogim tipovima zemljištima, sa tendencijom prekoračenja dozvoljenog sadržaja nitrata u njihovoj strukturi za adekvatan usev. Nitratni joni, postajući negativno naelektrisani, kreću se gravitaciono kroz zemljište sa rizikom izlaska van zone korenovog sistema ili raskvašeni površinskim vodama, time produkujući eutrofikaciju.

**Eutrofikacija** je proces obogaćivanja neke sredine nutrijentima. Uopšteno, u glavne nutrijente ubrajaju se azot i fosfor. Do nje dolazi kada neki polutanti igraju ulogu nutrijenata za fotosintetičke organizme, a direktno ili indirektno, unose se u ekosistem. Porast sadržaja nutrijenata izaziva preterani rast pojedinih biljnih vrsta, time povećavajući rizik stvaranja nepoželjnih. Kao problem, eutrofikacija je najčešće pojavni oblik priobalnih i unutrašnjih voda, gde može doći do ogromnog porasta algi, a time smanjenja koncentracije rastvorenog kiseonika u vodi, što negativno utiče na biljke, ribe i ostale forme života u njoj. Sem toga, te alge luče toksine, potencijalno opasne po životinje i ljude. Akumulisanje viška azota u zemljištu može izazvati povećanje koncentracije nitrata u podzemnoj vodi, koja time postaje neupotrebljiva sa higijenskog aspekta. Eutrofikacija takođe izaziva izlučivanje azota iz zemljišta, što dovodi do zakišeljavanja površinske i podzemne vode. **Upozorenje:** preobilne koncentracije nitrata u vodi opasne su po ljudsko zdravlje!!!



Tekstura zemljišta može da igra važnu ulogu pri kontroli raskvašavanja i unapređenja fertilizacione efikasnosti N. Frakcija gline može oboriti N-raskvašavanje sa fiksiranjem  $\text{NH}_4^+$  u unutrašnjim slojevima, time usporavajući proces nitrifikacije, tj. transformaciju N-jedinjenja iz manje pokretne (amonijak) u visoko pokretnu formu (nitrati). Peskovita zemljišta više su izložena raskvašenju od glinovitih, sa rezultantno niskom efektivnošću iskorišćenja N. Da bi se redukovali ovi gubici N, vreme za raspodelu stajnjaka treba da je ograničeno, tj. korišćenje tečnog stajnjaka izbegnuto tokom vlažnog vremena.

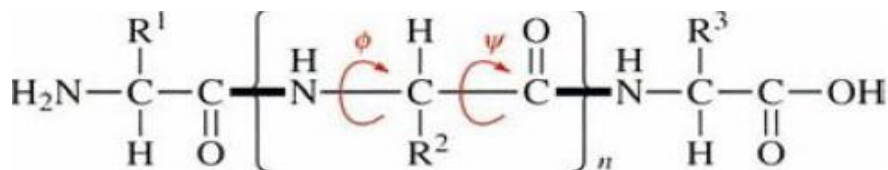
Azot u svežem stajnjaku može da se razdeli u nekoliko frakcija: anorganski-N, kao lako dostupna forma, organski-N, kao lako mineralizovana forma (npr. urea i mokraćna kiselina), organski-N mineralizovan tokom prve godine po raspodeli stajnjaka i organski N relativno otporan na dekompoziciju, sa težnjom spore dostupnosti nakon prve godine.

Proporcija dostupnog-N u prvoj, drugoj i sledećih godina zavisi od vrste životinje kao stajnjačkog resursa, sadržaja vlage u stajnjaku i njegovog sastava. Otuda, za slučaj uzastopne godišnje raspodele stajnjaka, nastupa izvesna akumulacija mikrokomponenti u tretiranom zemljištu. Time je moguće očekivati i pojavu viška biljno dostupnog N. Organski-N, u čvrstom i tečnom stajnjaku, može biti mineralizovan u zemljištu sa različitim stopama, zavisno od karakteristika zemljišta i klimatskih uslova. Na primer, pri temperaturama oko  $0^\circ\text{C}$ , mineralizacija azota živinskog stajnjaka teško se pojavila 90 dana nakon njegove raspodele, a temperature  $25\text{-}40^\circ\text{C}$  produkovale su 60-80% mineralizovanog-N, Sims, 1986. Visoka proporcija organskog-N iz živinskog stajnjaka može biti mineralizovana u zemljištu do 40% tokom 56 dana, vodeći ka prekoračenju tolerantne koncentracije  $\text{NO}_3\text{-N}$  od strane adekvatnog useva. Ovo je posledica toga, što značajna proporcija mineralizovanog-N u živinskoj prostirci potiče od urinske kiseline, konvertovane u ureu, pri učešću mnogobrojnih aerobnih bakterija, a potom u  $\text{NH}_4\text{-N}$  i konačno u  $\text{NO}_3\text{-N}$ .

Ako je živinska prostirka raspoređena „iznad“, tada njen mineralizovan-N može nehomogeno kontaminirati zemljišni prostor i površinske vode. Vredno pomena: „Kompostiranje ovih otpada pokazuje obaranje stope mineralizacije azota, tako redukujući rizik ekološkog zagađenja“. Kao benefit, raspodela većih doza kompostiranog živinskog stajnjaka, u cilju poboljšanja siromašnog zemljišnog sastava, neće rezultirati kontaminacijom vode sa nitratima u njemu.

Nekontrolisana raspodela svinjskih i govedih tečnih stajnjaka može izazvati akumulaciju anorganskog-N u većoj meri od čvrstog stajnjaka. Frakcija organskog-N iz tečnog i čvrstog stajnjaka, kao relativno sporije degradirajuća, biće suviše akumulisana u zemljištu. Po pravilu, raspodeljeni u većim dozama, tečni stajnjaci doprinose rezervi organskog-N, jer  $>50\%$  od totalnog N, u anorganskog je formi, a može dostići 70% u svinjskom tečnom stajnjaku. Mineralizacija organskog-N iz tečnog stajnjaka spora je, tj. njegovih 60-75% otporno je na mineralizaciju, odakle će on biti dostupan biljkama u dugom plodonosnom periodu. Zemljište sa visokim sadržajem gline u stanju je da skladišti organski-N u formi adsobovanih *polipeptida*, a kao takav, potencijalnom mineralizacijom može se pridodati zemljišnom-N.

**Proteini i polipeptidi** su polimeri, sastavljeni od specifičnog rasporeda (sekvencije) L-aminokiselina, međusobno povezanih kovalentnom peptidnom (amidnom) vezom. Tih dvadeset aminokiselina se međusobno razlikuju po svojim bočnim lancima.



Struktura polipeptida sa prikazanim uglovima rotacije i planarne peptidne veze prikazane su debelom linijom.

Polipeptidni lanci u proteinima sastoje se od 50 do 500 aminokiselinskih ostataka. Na krajevima polipeptidnih lanaca nalaze se slobodne amino i karboksilne grupe. Po funkciji, polipeptidi i proteini mogu se grubo podeliti na enzime (biološke katalizatore), antitela, hormone, i strukturne receptore. Čak i polipeptidi sa veoma kratkim lancem, mogu imati biološku funkciju. Takvi su na primer oksitocin (hormon, 9 aminokiselinskih ostataka, luči ga hipofiza), bradikinin (9 aminokiselinskih ostataka, inhibicija zapaljenskih procesa u tkivima), amanitin (3 aminokiselinski ostatak, otrov u pečurkama). Od većih polipeptida, sa relativno kratkim lancem, mogu se izdvojiti subjedinice insulina (21 i 30 aminokiselinskih ostataka). Većina proteina u prirodi sačinjeni su od jedinica, koje sadrže manje od 2000 aminokiselinskih ostataka.

Fosfor je bazni „problem“, jer postoji direktan odnos između količine izdvojivog P u zemljištu i koncentracije rastvorenog P u oticanju, koje vodi eutrofikaciji površinskih voda. Jedan od primarnih benefita pri upotrebi stajnjaka za produkciju useva je snabdevanje mineralima, kao što su N i P (bazni biljni nutrienti). Međutim, odnos N:P obično je manji od uopšteno primenjenog u veštačko hemijskim prehranjivačima, korišćenih od biljaka. Prema tome, kada je raspoređeno dovoljno stajnjaka za optimalne potrebe većine useva za N, postavlja se pitanje dovoljne ili prekomerne izgradnje P u zemljištu. Praktično, za regularno korišćenje stajnjaka potrebno je voditi računa o zasnovanosti primenjenih doza na osnovu N ili P. Ova odluka, prevashodno obrazložna geografski, varira u saglasnosti sa karakteristikama zemljišta i lokalnim hidrološkim uslovima. Pojednostavljenim rečima, *fosforni indeks* je koristan sistem poljske procene, koji integriše vrednosti zemljišnog P-testa sa faktorima, kao što su: erozija, potencijal oticanja, prehranjivač i praksa menadžmenta stajnjakom ka identifikaciji zemljišta, posebno u područjima velike živinarske produkcije, (*Cabrera i Sims, 2000*).

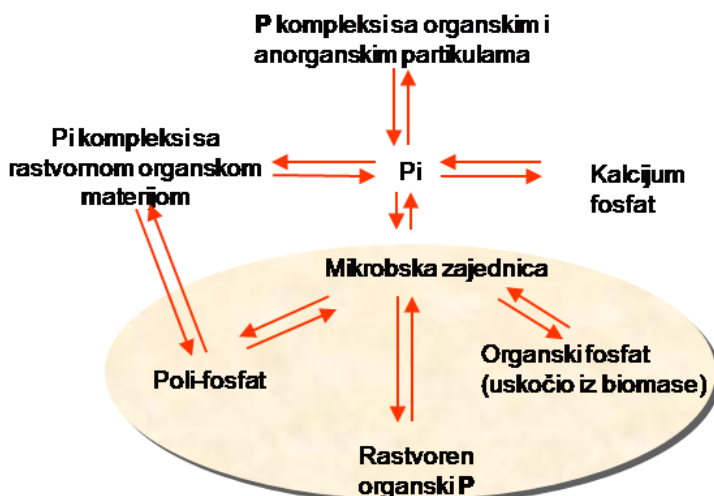
Generalno, 80% P sadržanog u animalnoj hrani, nakon njegovog unosa i izloženosti metabolističkim procesima životinja, izlučeno je. Poboljšanjem iznosa P probavljenog iz hrane redukovaće mineralni P zahtevan u animalnoj hrani i P izlučevina od svinja.

Fosfor u stajnjaku prisutan je u organskim i anorganskim formama, a organska frakcija je rapidno *hidrolizirana*, tako da se raspoloživost P-a u animalnim stajnjacima često približava intervalu 90-100%.

*Hidroliza* je hemijska reakcija koja se zasniva na raspadu molekula hemijskih jedinjenja na dva manja fragmenta pod uticajem kontakta sa vodom ili vodenom parom. U posebnom slučaju hidrolize soli, to je reakcija jona sa vodom (uglavnom se stvara kiselina ili bazna sredina).

Međutim, anorganski P, tj. fosfor nastao mineralizacijom organske frakcije, može biti lako istaložen, uglavnom u krečnim zemljištima, ili adsobovan sa zemljišnim mineralima. Naime, u krečnjačkim zemljištima, oko 40% od totalnog P iz čvrstog svinjskog stajnjaka fiksirano je u prilagodljivim formama, kao što su nerastvorivi kalcijum fosfati, koji mogu dostići 71% visoko primenljive stope. Međutim, 8-13% od P u čvrstom svinjskom stajnjaku može da infiltrira na dole u zemljišnom profilu, dostižući 90 cm dubine u kiselim zemljištima, (Vetter i Steffens, 1981). Organska materija iz čvrstog stajnjaka, tečnog stajnjaka i komposta, može smanjiti adsorpciju P, kao dodatog ili postojećeg. Takođe, proporcija dostupnih formi P u zemljištu zavisi od njegovih karakteristika, varirajući do 15% iz svinjskog tečnog stajnjaka u muljno-ilovastom zemljištu usled sorpcije, do 43% P u peščanom zemljištu.

Model cikliranja fosfora u skladištenom stajnjaku prikazan je na (sl. 4.16).

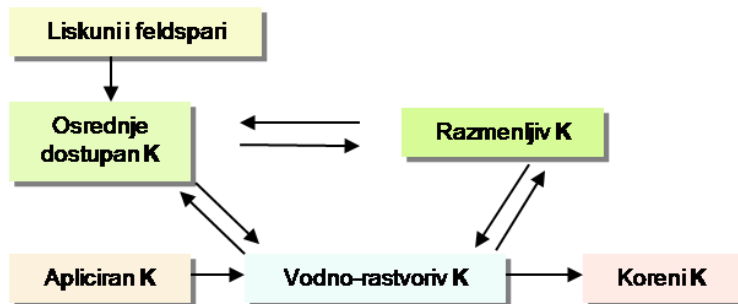


Slika 4.16 Model cikliranja fosfora u skladištenim stajnjacima, (Greaves et al, 1999).

Sva zemljišta sastoje se od tri faze: čvrste, tečne i gasovite. Njihov odnos zavisi od uslova postanka, ali i opstanka. Posebno važan je odnos i sastav čvrste i tečne faze, kao i svojstva njihovih komponenti, mineralne i organske. Sorptivna sposobnost zemljišta (lat. sorptio - uvlačenje u sebe, zadržavanje na površini), predstavlja njegovo prirodno svojstvo da na površini svojih čestica zadržava ili slabim vezama vezuje različite supstance iz zemljišnog rastvora, gasove iz vazduha ili mnoge mikroorganizme, tako čuvajući najfinije sastojke od isparavanja ili ispiranja. Ustvari, *sorpcija* je zajednički naziv za dve pojave u zemljištu: a) absorpcija ili apsorpcija, tj. usvajanje hranljivih supstanci korenovim sistemom i b) adsorpcija ili apsorpcija, što znači privlačenje supstanci na neki sistem. U zemljištu je zastupljeno više tipova sorpcije (lat. adsorptio - upiti), kao što je ona koja teče pod uticajem električne energije koloida (fizičko-hemijska), biološka i druge. Čestice čvrste faze zemljišta koje adsorbuju, zovu se adsorbenti i to su koloidne frakcije: humus, hidroksidi Al, Fe i hidratisan oksid Si, naročito gline bez obzira na dimenzije, tzv. adsorptivni kompleks ili koloidni kompleks mineralnog i organskog sastava. Na njima se adsorbuju molekuli i joni iz gasovite i tečne faze.

Kod čvrtilih i tečnih stajnjaka kalijum je prisutan u formi rastvorive soli i dolazi, skoro potpuno, iz animalnog urina. Oko 90% K u hrani izluči se od strane životinja. Obično, koncentracija K veća je u govedem čvrstom nego svinjskom tečnom stajnjaku, a K dostupnost biljkama često se približava 100%, (Bernal et al, 1993a).

Ravnoteža K u zemljištu lako je shvatljiva iz sažetog prikaza na (sl. 4.17).



Slika 4.17 Glavni izvori, kretanje i uravnoženje za kalijum u zemljištu

Ova šema vezana je za ilovasta zemljišta, koja otpuštaju deo njihovog strukturalnog K, najvećim delom stvorenog degradiranjem liskuna, kao veoma rasprostranjene forme minerala stenovitog porekla. Ova forma elementa postaje osrednje dostupna i razmenljiva. Mehanizacija transformacije ilovastih zemljišta u šireće glinovite minerale nastavlja se ako K biljkama nije ekstrahovan, tj. izmenjen sa prehranjivačem. Kad je K primenjen kroz čvrsti ili tečni stajnjak u rastvorivoj formi, on se trendno kreće vertikalno. Međutim, u prisustvu kompleksa razmena, kao sastavnog dela aproksimativno ravnotežnog stanja, on se zadržava u gornjim slojevima zemljišta. Ilovasta zemljišta pokazuju visoku sklonost za K, a posebno fiksiranje teško razmenljivog K, redukujući njegovu mobilnost i raskvašavanje. U eksperimentu sa svinjskim tečnim stajnjakom, (Bernal *et al*, 1993b), uočeno je da razmenljivi K u zemljištu raste linerano sa količinom K dodatog tečnim stajnjakom, a porast je bio intenzivniji u zemljištu sa većom proporcijom gline i ilovasto glinovitim sadržajem. Principijelno, zemljišta sa peščanim sastavom i niskim kapacitetom razmene katjona (jon sa pozitivnim električnim nabojem), više su osetljiva na raskvašavanje K.

#### 4.9.2. Problemi organske materije

Generalno, upotreba organskih otpada opravdana je zbog direktnog povećanja prehranjivačkog potencijala zemljišta, a indirektno prinosa i kvaliteta useva na njemu. Neki od značajnih efekata primene stajnjaka u plodnom zemljištu su: respiracija, enzimske aktivnosti, gustina naseljenosti faune i mikrobske biomase, sprečavanje erozije, zadržavanje vlage u sušnim područjima i unapređenje drenaže u vlažnim regionima.

Međutim, ako su primenjene veće količine tečnog stajnjaka na zemljištu, njegova respiraciona stopa raste do maksimalne vrednosti oksidacije organske materije. Nakon toga, kontinualna primena tečnog stajnjaka rezultira akumulacijom organskih materijala u zemljištu i njihovim zapušanjem zemljišnih pora. Ova fizička degradacija zemljišta može ozbiljno redukovati stopu infiltracije vode i difuziju kiseonika, povećavajući anaerobne zone, gde velike količine zemljišta metaboliziraju, produkujući jedinjenja kao što su: isparljive-nestalne-promenljive kiseline, *citokinini* ili metan-CH<sub>4</sub>. Stoga, kiseonička mogućnost može biti redukovana na nivoe koji nisu dovoljni prema zahtevima za kiseonikom izazvanim aplikacijom tečnog stajnjaka.

Pod ovim uslovima izazvani su procesi mineralizacije nutrienata. Ustvari, prisustvo ili odsustvo kiseonika u zemljištu, određuje stopu pri kojoj se organska masa razlaže i tip dobijenih krajnjih proizvoda.

U aerobnim uslovima, ugljenik je pretvoren u CO<sub>2</sub>, azot u amonijum jone NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, a posle toga u nitrate NO<sub>3</sub><sup>-</sup> i sumpor u sulfate SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Pod anaerobnim uslovima, direktno u vezi sa

formiranjem CO<sub>2</sub>, ugljenik je konvertovan u metan, organske kiseline i alkohole, nitrati su konvertovani u gasove nitro oksid N<sub>2</sub>O i/ili molekularni azot N<sub>2</sub>, a sulfati su redukovani u sumpor vodonik H<sub>2</sub>S. Većina produkata sadrži nutriende koji su formirani pod anaerobnim uslovima i ne mogu biti asimilovani od biljaka, a mnogi od njih su toksični za biljke ili opasni po atmosferu.

*Citokinini* su klasa biljnih hormona, koji imaju ključnu ulogu u regulaciji ćelijskog ciklusa i razviću biljaka. Prisutni su u niskim koncentracijama u svim biljnim tkivima, a najviše koncentracije dostižu u ćelijama vrha stabla, vrhu korenova, kao i u nezrelim semenima. U odnosu na ćelije koje luče citokinine, dejstvo ovih hormona može biti autokrino (sa dejstvom na te same ćelije) i parakrino (deluje na susedne ili udaljenije ćelije). Citokinine, sem biljaka, sintetišu i modrozeleno bakterije, bakterije biljni patogeni (poput *Agrobacterium tumefaciens*), kao i ameba *Dictyostelium discoideum*

Redukcija respiracije korenovog sistema, porast korena i formiranja njegovih dlačica mogu rezultirati iz manjka kiseonika u zemljištu i dovedeno u vezu sa prisustvom isparljivih-nestalih organskih kiselina. Denitrifikacija, združena sa anaerobnim uslovima u zemljištu, takođe je moguća putanja NO i N<sub>2</sub>O u atmosferu.

#### 4.9.3. Teški metali u zemljištu

Teški metali u zemljištu zajednički spadaju u Grupu I i II periodnog sistema elemenata-alkalni metali. U prirodnom okruženju zastupljeni su u malim količinama, od kojih su vredni pomena željezo-Fe, mangan-Mn, bakar-Cu, cink-Zn i esencijalni su za biljni svet. Isti elementi plus selen-Se, kobalt-Co, hrom-Cr, nikel-Ni, i vanadijum-V, posebno su važni za životinje. Ostali, kao arsen-As, olovo-Pb, ili živa-Hg, nisu poznati na polju fiziološke funkcije i smatraju se biološki štetnim. Visoka koncentracija teških metala, uključujući kadmijum-Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, kalaj-Sn i Zn, jedna su od najozbiljnijih pretnji prehranjivanju zemljišta, jer mogu akumulirati uticajne organizme prisutne u njemu (mikroorganizmi i viši zemljišni organizmi). Zagađenje zemljišta teškim metalima, kroz lanac ishrane, može indirektno negativno uticati na životinje i ljude.

Ukupna koncentracija ovih metala varira široko u zemljištima sa poreklom od različitih matičnih materijala. U nekontaminiranim zemljištima od čoveka, generalno, Mn, Ni i Cr su prisutni u većim količinama, dok su Cd i Hg često prisutni u tragovima. Stočni otpaci, posebno produkovani u koncentrovanj hrani zatvorene stoke, može obogatiti zemljišta izvesnim teškim metalima, npr. Cu i Zn. Kompleksom istraživanja, pri visokoj dostupnosti teških metala u zemljištu, dokazan je moguć poremećaj enzimskih sistema. Ovim putem, većina teških metala može izazvati velik varijetet neželjenih efekata.

Toksična dejstva teških metala na biologiju zemljišta redukuju broj i varijetet zemljišnih organizama i izazivaju ključne mikroski posredujuće zemljišne procese, kao što su respiracija-disanje zemljišta, dekompozicija organske materije, azotna mineralizacija i azotna fiksacija sa *cijanobakterizacijom*.

Obogaćivanje zemljišta sa teškim metalima može takođe izazvati redukciju degradacije pesticida i ostalih ksenobiotičkih ili prirodnih organskih jedinjenja koja su degradirana sa širokim spektrom zemljišnih bakterijskih i glivičnih vrsta.

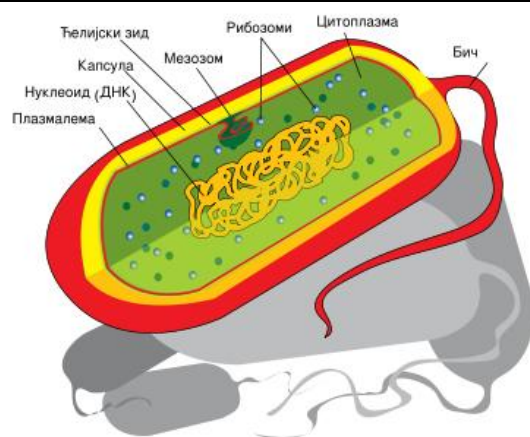
Razni podaci ukazuju na činjenicu da relativna toksičnost teških metala na zemljišne organizme (µg·g<sup>-1</sup> zemljišne baze) opada po redosledu Hg>Cd>Cu>Zn>Pb. Akumulacija

teških metala u biljnom tkivu može štetno podržati porast useva, ali u nekim slučajevima, oni se akumuliraju u biljci bez bilo kog spoljnog signala. Potrošnja ovih biljaka može izazvati porast u nivoima trace elemenata u lancu ishrane. Kadmijum bakar, nikl i cink su među elementima koji moraju biti izdvojeni zbog njihovih potencijalnih fitotoksičkih efekata. Posebno više pažnje obraćeno je na Cd i Zn usled hazardnih efekata i potencijala za akumulaciju u biljnim vlaknima.

**Modrozelenе bakterije, cijanobakterije, ili modrozelenе alge**, predstavljaju grupu fotoautotrofnih bakterija. Zapravo, one su najstarija grupa fotoautotrofnih organizama na Zemlji, postoje već tri milijarde godina. Za sve to vreme zadržale su niz primitivnih karakteristika: prokariotski tip ćelije, vegetativan način razmnožavanja i nepostojanje pokretnih stadijuma.

**Prokariotske ćelije** (grč. *pro* = pre; grč. *karyon* = jedro; *pre jedra*) su male, jednostavne građe, opkoljene ćelijskim zidom i membranom, a nemaju jedro niti ćelijske organele, osim ribozoma.

Prokariotskim organizmima pripadaju bakterije i modrozelenе alge (cijanofite), dok su svi ostali organizmi, bilo jednoćelijski, bilo višećelijski, eukarioti.



#### 4.9.4. Teški метали из тећног ѕтајњака

Teški метали u животињском тећном ѕтајњакy су кадмијум, бакар и цинк. Кадмијум је отровен у животињском ѕтајњакy јер је генерално присутан у просећној западно-Европској животињској иѕхрани. Супротно баку и цинку, кадмијум није есенцијалан елемент за пораст useва и обично је фитотоксичан, чак при ниским концентрацијама. Међутим, толеранција билјних врста ка Cd у земљишту високо је варијабилна. Ињибитија-коћенје фотосинтезе и транспирације са закрћљалим порастом билјке, неке су од последица присутва Cd у земљишту. Бакар и цинк на велико су коришћени у свинјској и живинској храни, а такође су присутни у домаћинском ѕтајњакy, без обзира на чињеницу да су регулативе ЕУ водиле ка смањенју додавања бакара у анималну храну. Висока концентрација доступног бакара у земљишту водила је слабом развоју кореновог система, са последићним потешкоћама при усвајању минерала, нпр. фосфора. Цинк је сматран најмање токсичним од главних тећких метала пронађених у анималним тећним ѕтајњацима.

Пошто тећки метали могу бити акумулирани у земљишту, са тенденцијом таложења близу површине земљишта, треба размотрити њихове временски дуге ефекте токсичности. Принципски механизми за имобилизацију тећких метала као растворене у земљићном раствору су адсорпција у органске или анорганске чврсте материјале и падавине (формирање штедљиво-растворивог анорганског талоба). Тако су у најваћжније утицајне факторе на задрћаванје и консеквентно постојанје тећких метала у земљишту укључују: текстурa земљишта, pH, садрћаж органске

materije i amorfnih oksida gvožđa, aluminijuma i mangana. Generalno, asimptotski važan faktor za usvajanje teških metala od biljke je pH (posebno za cink). Interesantno, dok rastvorljivost vrste katjonskog teškog metala opada, pH zemljišta raste. Biljna vrsta, uzrast i temperatura zemljišta, takođe su veoma važni faktori u procesu prenosa teških metala od zemljišta ka biljkama. Kao posledica, rizici povezani sa aplikacijom teških metala na zemljištu drastično su povećani kod kiselih zemljišta, jer je kapacitet razmene katjona nizak u prisustvu organske materije, Fe, Al i Mn oksida u zemljištu. Slika 4.18. prezentuje šematski dijagram moguće staze teških metala u zemljištima.

Pojava visoke koncentracije hlorida u mnogo animalnih tečnih stajnjaka utiče na otkrivenu hemijsku građu teških metala u zemljišnom rastvoru i posledično njihovu mobilnost, distribuciju i sudbinu. U stvari, porast koncentracije hlorida usložnjava karakter metalnih katjona povećanjem broja hloridnih jona. Ova činjenica objašnjava postojanje složenosti sa progresivno više negativnog naelektrisanja. Formiranje anorganskih kompleksa kadmijuma- $\text{Cd}^{2+}$  i hlorida- $\text{Cl}^-$  ( $\text{CdCl}^+$ ,  $\text{CdCl}_2$ ,  $\text{CdCl}_3^-$  i  $\text{CdCl}_4^{2-}$ ), dobar je primer. Povezanost akumulacije teških metala u zemljišnoj čvrstoj fazi, združeno sa imobilizacijom katjona na površini koloidnih čestica zemljišta (negativno naelektrisanje), rezultira:

- nižom koncentracijom hlorida u stajnjaku,
- višom akumulacijom kadmijuma u zemljištu i nižom stopom njegovog usvajanja od biljke i
- osetnom rastvorljivošću kadmijuma u zemljišnoj vodi.



Slika 4.18 Šematski dijagram mogućih putanja trace elemenata u zemljištu

#### 4.9.5. Upravljanje kontaminacijom zemljišta teškim metalima

Ne postoji uniformna procedura širom EU za podešavanje praga prisusva teških metala u zemljištima, možda usled činjenice da ista koncentracija jednog metala različitog porekla ili različite metalne vrste, ne znače istu toksičnost. Štaviše, prag za toksični potencijal teških metala zavisi od zemljišnih uslova (npr. pH i sadržaj organske materije), upotrebne svrhe zemljišta i otkrivenih organizama: čovečiji, životinjski ili biljni. EC direktiva 86/278/CCE, u

pogledu aplikacije mulja sa tretmanom biljaka zagađenom vodom (npr. tretmana mulja animalnih tečnih stajnjaka), ustanovljava pragove koncentracija teških metala u zemljištu, tj. za Cd, Cu, Zn, (tab. 4.6).

Tabela 4.6 Granice za koncentracije teških metala na kultiviranim zemljištima, gde mulj iz tretirane otpadne vode može biti primenjen (pH>7, članovi EU mogu usvojiti limite do 50% veće nego ukazane (EC Directive 86/278/CEE)

Teški metal	Pražna vrednost, mg/kg - suve materije
Kadmijum	1 - 3
Bakar	50 - 140
Hrom	-
Olovo	50 - 300
Živa	1 - 1,5
Nikl	30 - 75
Cink	150 - 300

Dokazano je da visoki nivoi teških metala u zemljištu mogu, ali ne moraju, rezultirati njihovim visokim sadržajem u biljkama. Različiti zemljišni uslovi i osobine uzgajanih biljaka potvrđuju ove činjenice. Pregled godišnjeg tovara teških metala iz zbirnih animalnih stajnjaka, izvršen u Engleskoj, indicirao je najviše opterećenje Zn-om (do 3,3 kg/ha) i Cu-om (do 2,2 kg/ha) na poljoprivrednoj zemlji (tab. 4.7), u velikoj meri korespondirajući sa glavnim svinjskim farmskim područjima Engleske. Govedi stajnjak, aproksimativno preliven sa 1,0 kg/ha Zn i 0,3 kg/ha Cu, u većoj meri pokazuje tendenciju reciklaže teških metala za govedarske farming sisteme. Međutim, preživari mogu biti posebno pod rizikom, jer u poređenju sa svinjama, koje izlučuju 80-95% Cu i Zn, oni su efikasni u absorpciji teških metala preko crevnog sistema, a kao konsekvencija, mogu akumulirati potencijalne toksične količine Cu-a u jetri.

Tabela 4.7 Procenjene stope opterećenja „tipičnim“ teškim metalima (kg/ha) iz animalnih stajnjaka, primenjenih pri 250 kg/ha Total N, (Chambers et al, 1999).

Tip Stajnjaka % sadržaja suve materije	Total N kg/m <sup>3</sup>	Zn	Cu	Ni	Pb	Cr	As	Cd
Govedi domaćinski	6,0	0,7	0,2	0,03	0,03	0,02	0,01	<0,01
Svinjski domaćinski	7,0	2,1	1,5	0,05	0,03	0,02	0,01	<0,01
TS mlečnih krava	4,5	0,9	0,3	0,03	0,04	0,03	0,01	<0,01
TS tovnih goveda	3,5	1,2	0,3	0,04	0,05	0,04	0,02	<0,01
Svinjski TS	7,0	2,3	1,7	0,05	0,03	0,02	0,01	<0,01
Brojler/čureća stelja	29,0	1,1	0,2	0,02	0,02	0,01	<0,01	<0,01
Duboka stelja	15	2,9	0,5	0,05	0,05	0,03	<0,01	0,01

Napomena: TS-tečni stajnjak



#### 4.10. Problemi slanosti i potencijalne zakorovljenosti zemljišta

Rastvorive soli u čvrstim i tečnim animalnim stajnjacima uglavnom su izlučene urinom, i mogu biti detektovane merenjem električne provodljivosti. Glavni joni su  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  i  $\text{SO}_4^{2-}$ . Visoka električna provodnost tečnog stajnjaka, otkrivajući visoku koncentraciju rastvorljivih soli, predlaže da dodavanje ovih otpada na zemljišta u semi-aridnim klimatskim pojasima, mogu izazvati zasoljavanje. Slanost je uglavnom vezana za aridne i semi-aridne zone, gde je prisutan rapidan proces evapotranspiracije, a godišnje padavine nedovoljne su da raskvase rastvorive soli iz zone korenovog sistema. Poljoprivredna proizvodnja u ovakvim regionima ograničena je sa siromašnim vodenim resursima i kišnim padavinama, pa aplikacija tečnog stajnjaka sa 90% sadržaja vlage, može biti viđena kao izvor za irigacionu vodu. Međutim, akumulacija rastvorljivih soli može biti pogoršana sa neadekvatnom upotrebom animalnog tečnog stajnjaka. Pored toga, input iz niskokvalitetne irigacione vode, fertilajzera i raspad organske materije, takođe služe kao dodatni izvori soli, a poseban prirodni problem je niska stopa kišnih padavina.

Solju „napadnuta“ zemljišta podeljena su u različite grupe: slana zemljišta, sa električnom provodljivošću većom od  $4 \text{ dS m}^{-1}$  i slano sodna zemljišta, sa  $\text{EC} > 4 \text{ dS m}^{-1}$ , a „Na“ u zemljišnom rastvoru daje Na adsorpcionu stopu  $> 15$ . Produkcija useva može biti podstaknuta sa faktorima, kao što su: visok osmotski pritisak i prisustvo toksičnih nivoa  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$ , koji ometaju fiziološke funkcije, uključujući usvajanje nutrientskih katjona i anjona.

Količina rastvorljivih soli u zemljištu utiče na izdvajanje kompleksa koloidnih čestica *flokulacijom*, porast biljke i mikrobske biomase.

*Flokulacija* predstavlja proces izdvajanje koloidnih čestica nakupljanjem u skupove čestica do veličine pri kojoj dolazi do taloženja

U procesu flokulacije natrijumske soli posebno su izražene stepenom rasturajnja zemljišnih koloida, izazivajući porast slabe i često kompaktne strukture. Slana zemljišta mogu biti popravljena kvašenjem svežom vodom, ali rekuperacija sodičnih zemljišta veoma je teška. Često voda ne može da penetrira u zemljištu i samo razmena N sa Ca može popraviti njegovu strukturu i podstaći meliorativno poboljšanje. Kad je animalni tečni stajnjak rasturen u područjima, koja su niti aridna ni polu-aridna, padavine mogu odstraniti rastvorive soli iz zone korenovog sistema. Međutim, postoji rizik akumulacije rastvorljivih soli u zemljištima, prateći aplikaciju svinjskog tečnog stajnjaka u polu-aridnim klimatskim zonama usled sadržaja soli u njemu i pretežno kretanja vode na gore, sa odzivom na evapotranspiracione gubitke. Povećanja električne provodljivosti zemljišta i koncentracije rastvorljivih soli indicira rizik salinizacije u krečnim zemljištima, kad je tečni stajnjak primenjen u visokim stopama, (Bernal *et al*, 1992). Suštinski, rizik salinizacije raste sa povećanjem vodnog kapaciteta zemljišta. Razmenjivački kompleks i ilovasta frakcija zemljišta igraju važne uloge u kontroli rastvorljivih soli, dok je manje rastvoriv K pronađen u zemljištima sa većim sadržajem ilovače i pridoimanantnosti *ilita*.

*Illit*:  $K_xAl_4(Si_{8-x}Al_x)O_{20}(OH)_4$   $K= 1$  do  $1,5 < 2$  je hidratisani alumosilikat sa odnosom

$SiO_2: Al_2O_3 =$  oko 3: 1.

Karakteristike:

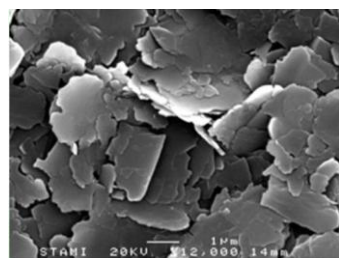
-listasti agregatima veličine  $< 4\mu m$

-Prozračan je i providan

-Prozračan je i providan

-Sjaj je sedefast

-Boje je najčešće srebrnastobeke ili srebrnastožute



Nekontrolisana primena stočnog stajnjaka može podići nivo kontaminacije i prirodu korovskog sveta u kultiviranim zemljištima. Ova činjenica je posledica unošenja korovskog semena na zemljište, sadržanog u stajnjaku i iz uticaja stajnjaka na konkurentske odnose korova i kultiviranih useva. Potencijalni rizik od širenja korova u stajnjakom tretiranim poljoprivrednim zemljištima zavisi od: tipa i količine semenki izvorno prisutnih u biljkama konzumiranih od životinja, životinjske vrste, nametnutih transformacija u semenu (silaža, stočna hrana ili drugo), tipa stajnjaka i njegove tečne faze, primenjenog tretmana nad stajnjacima i tečnim fazama, vrste i vremena skladištenja, tehnologija raspodele po zemlji, itd. Korovska semena progutana od živine su uništena ili oslabljena. Dejstvo cevnog tranzita nad kapacitetom klijavosti korovskog semenja više je redukovano u drgačijim životinjskim vrstama, opadajući redosledno po šemi: svinje>konji>goveda.

#### 4.11. Ekološki uticaji stočnog stajnjaka

Zagađenje vode iz životinjskih stajnjaka često je izazvano sledećim faktorima:

- raskvašavanjem ili oticanjem minerala sa zemljišne površine,
- ispiranjem-raskvašavanjem u dublje slojeve zemljišta i
- stohastičko direktnim izbacivanjem otpada u vodene tokove.

Nutrienti iz animalnog stajnjaka, neiskorišćeni od useva, mogu iscuriti u površinsku ili zemljišnu vodu. Azot i fosfor su dva nutrienta od glavne poljoprivredne važnosti, koja takođe imaju značajan potencijal zagađenja vode. Oba nutrienta mogu biti usvojena porastom useva, ući u površinsku vodu kroz oticanje ili biti imobilizirani u zemljište (objedinjavanje organske materije). Azot iz otpada može biti raskvašen u zemljišnoj vodi ili isparavanjem izgubljen kao gas u atmosferu. Fosfor nije raskvasiv, niti ima bilo kakve gasne gubitke.

##### 4.11.1. Raskvašavanje nitrata

Raskvašavanje nitrata definisano je kao „kretanje“ azota u formi nitrata  $\text{NO}_3^-$  po zemljišnim slojevima na dubini većoj od 1 m ispod površine zemljišta. Ovaj proces je posledica „tanane“ adsorpcije nitratnog-N anjona od strane finih čestica zemljišta sa smerom slojevite forme ka gore. Svež tečni stajnjak tipično sadrži 50% organskog-N i 50% amonijačkog-N. Organski-N nije odmah dostupan biljkama, mada je generalno procenjeno oko 50% konvertovano u amonijačni-N tokom prvih dvanaest meseci nakon raspršavanja ili rasturanja stajnjaka. Pedeset procenata ostatka postaće dostupnim u drugoj godini i tako u narednim godinama, prema tipično raspadnim serijama.

Konverzija amonijaka u nitrate-nitrifikacija temperaturno je zavisna. Tip zemljišta ima velik uticaj na količinu nitrata dospele u zemljišnu vodu. Nitrat može da se raskvasi u zemljišnoj vodi kroz izdašan pesak i šljunkovita zemljišta. U ilovastim zemljištima, pore imaju veoma mali prečnik i mogu držati vodu kapilarnim dejstvom. Dakle, vazdušni prostor postaje limitirajući, što može voditi ka anaerobnim uslovima unutar zemljišta. Pod ovim uslovima, pojavljuje se denitrifikacija i nitrat je transformisan uglavnom u  $\text{N}_2$ -gas i u niži stepen  $\text{N}_2\text{O}$  sa zemljišnim mikro organizmima. Oba, azotni oksid i azotni gas, odlaze u atmosferu i redukuju količinu nitrata, koja dopire do zemljišne vode.

##### 4.11.2. Oticanje nutrienata

Efekat vremenskog intervala između aplikacije tečnog stajnjaka i prvog oticanja najvažniji je upravljački faktor koncentracija organske materije BOD, azota (N) i fosfora (P) u odvodnoj vodi. Maksimalno preporučene godišnje aplikacione stope svinjskog tečnog stajnjaka su  $35 \text{ m}^3/\text{ha}$ , sa koncentracijom P od 50 kg. U ovoj aplikacionoj stopi, oko 2 kg fosfora po hektaru biće u odvodnoj vodi ako se 4% apliciranog P pronađe pri odvođenju iz nepropustljivih zemljišta. Ovo ne znači da će sav P dopreti do površinske vode. Ako voda prolazi iznad zemlje, koja nije primila P aplikacije, deo P-a biće apsorbovan iz vode. Slično, izbačeni i tekući sedimenti takođe će apsorbovati deo fosfora.

Uticaj slobodnog amonijaka (pre nego amonijačni jon) predstavlja veći uticaj na vodni sistem, jer je toksičan za mnogo riba, čak pri niskim koncentracijama. Za više osetljivu ribu, kao što je losos, nivoi slobodnog amonijaka u vodi ne više od 5 ppm, mogu izazvati negativnu

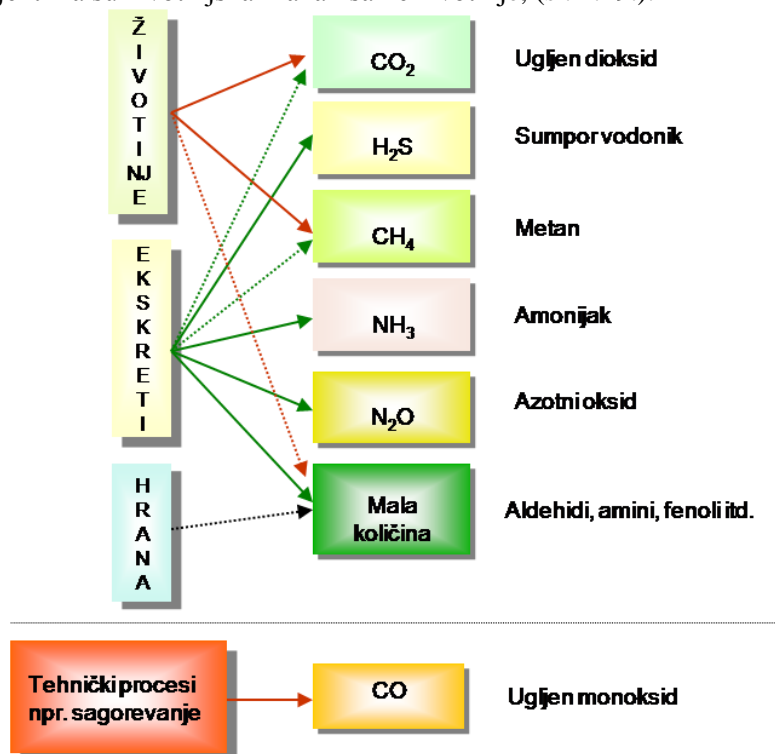
reakciju u rekama. Ključni parametar izvesnog uticaja pri izlivanja tečnog stajnjaka u vodeni tok biće rezultatna promena pH, a ublažavajući efekat sveže vode biće mali, pa će bilo koja redukcija slobodnog amonijaka sa acidifikacijom takođe biti mala, čak ako ikakva. Efekti mnogih zagađivačkih incidenata iz tečnog stajnjaka obično su bili etiketirani visokim i veoma vidljivim pomorom ribe.

Glavni efekat opterećenja površinske vode sa organskom materijom leži u oduzimanju dostupnog kiseonika pokrenuto od stimulisano višeg nivoa mikrobijskih aktivnosti. U stajaćoj ili sporo krećućoj vodi, anaerobni uslovi brzo se razvijaju sa pridruženim razvojem neprijatnih mirisa i redukcijom raznolikosti biosistema. Međutim, za brže krećuće reke, rapidno vraćanje aerobnog okruženja brzo može da usledi (tako dugo dok se izvor zagađenja ne zaustavi), ali za jezera ili ribnjake i ostale siromašno aerisane površinske vode, opasnost je duže trajna.

#### 4.11.3. Emisije gasova iz stajnjaka u vazduh uzgojnog objekta i spoljno okruženje

Produkcija životinja identifikovana je kao ozbiljan resurs atmosferskog zagađenja. Ukazano je da vazduh u stočarskim objektima sadrži iznad sto gasnih jedinjenja svakodnevno, u manjoj ili većoj meri, emitovanih u vazduh okruženja, (*Hartung i Philips, 1994*). Od ovih gasova mnoštvo je neprijatno mirisnih supstanci i amonijaka, kao važnog faktora sa aspekta zaštite životne sredine. Metan i CO<sub>2</sub> emisije značajne su u vezi efekta globalnog zagrevanja. Nekontrolisano oslobađanje H<sub>2</sub>S i CO iz podzemnih skladišta tečnog stajnjaka može izazvati smrtno slučajevu u animalnim objektima.

Naveći deo gasova nastaje u animalnim objektima, produkovanih iz sveže deponovanih ili skladištenih fekalija i mokraće, (*Zoranović et al, 2011*). Gasovi su generisani u skladištima stajnjaka raspadom organskih komponenti pod uticajem bakterija. Stopa ovog procesa zavisi od temperature stajnjaka, a može biti kontrolisana njegovim razblaživanjem. Istaknuti izvori emisije u objektima su životinjska hrana i same životinje, (sl. 4.19.).



Slika 4.19 Emisije zagađivačkih gasova iz stočne aktivnosti, (*Hartung i Phillips, 1994*).

Ugljen dioksid se najviše produkuje u respiracionom sistemu životinja, a samo manji stepen iz stajnjaka skladištenog u objektu. Sumpor vodonik je produkovan iz anaerobno bakterijske dekompozicije sumpora, sadržanog u amino kiselinama izmeta/mešavina urina. Metan je produkovan anaerobnom dekompozicijom kiselina, formiranim acidifikacijom organskih materijala, posebno celuloznih komponenti. Značajne količine ovakvih gasova date su već od preživara. Amonijak je produkovan u objektu bakterijskom i enzimskom dekompozicijom azota, sadržanog u organskim jedinjenjima ekstreta, a posebno u urinu.

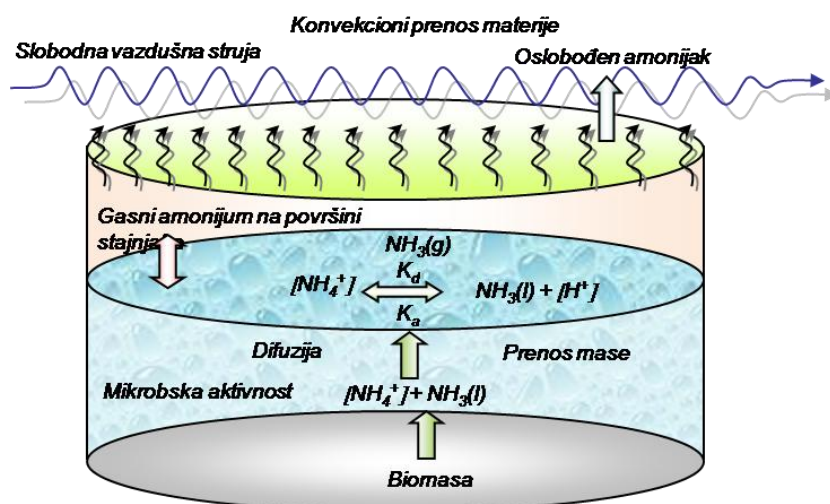
Isparavanje amonijaka može se pojaviti u animalnim objektima, skladištima stajnjaka, tokom njegove aplikacije i iz već raspodeljenog stajnjaka. Sa aspekta ambijentalne prisutnosti  $\text{NH}_3$ , uočen je uticaj nekoliko parametara, kao što su temperatura stajnjaka, pH, vlažnost i dizajn objekta (Zoranović *et al*, 2007). U skupini analiziranih, samo je jedan-živinarski objekat prekoračio limit od 15 ppm, što se približno uklapa sa intervalnim vrednostima farmskih objekata, kao predmeta istraživanja ovog rada. Emisija  $\text{NH}_3$  povećava se produženjem vremena zadržavanja stajnjaka u objektu, porastom temperature i vlažnosti vazduha, povećanjem ventilacione stope i ambijentalnom vazduhu izloženih, vlažnim stanjakom kontaminiranih površina uzgojnog objekta. Proporcija površine rešetki u odnosu na ukupnu površinu poda, kao i vrsta njihovog materijala, razređivanje ili sušenje stajnjaka, signifikantno utiču na intenzitet  $\text{NH}_3$  emisija (Zoranović *et al*, 2008a).

Totalni procentualni gubitak amonijačnog N uveliko je pod uticajem sistema farminga sa širokim varijacijama, (tab. 4.8.).

Tabela 4.8 Procene izlučenja N ( $\text{kg N životinja}^{-1}\text{godina}^{-1}$ ) i emisije  $\text{NH}_3\text{-N}$  (kao % ukupno izlučenog N) za različite tipove stoke iz raznih izvora

Životinja	ECETOC (UK)		EMEP/ CORINAIR		FAL/IUL/FAT Švajcarska		Misselbrook et al., 2000	
	N izlučenje	$\text{NH}_3\text{-N}$ emisija	N izlučenje	$\text{NH}_3\text{-N}$ emisija	N izlučenje	$\text{NH}_3\text{-N}$ emisija	N izlučenje	$\text{NH}_3\text{-N}$ emisija
Mlečne krave	122	27	100	24	-	32	104	21
Ostala stoka	-	-	50	24	-	37	51	11
Krmača	33	30	36	38	-	46	33	13
Tovna svinja	13	30	14	38	-	11	36	-
Ležeća koka	0,8	43	0,8	39	-	54	0,8	46
Brojlerska koka	0,3	22	0,6	37	-	48	0,8	24
Ovca	23	7	20	6	-	14	12	5

Amonijak je najobilnija alkalna komponenta u atmosferi, a neutrališe sumpor dioksid ( $\text{SO}_2$ ) i azotne okside ( $\text{NO}_x$ ), kao prvi deo vlažno i suvo sklanjajućih procesa stajnjaka. On može biti oksidiran u atmosferi, pri tome doprinoseći formiranju kisele kiše. Njegova depozicija na lišću može kočiti usvajanje izvesnih biljnih nutrienata (posebno kalcijuma, kalijuma i magnezijuma). Povećana prostorna depozicija  $\text{NH}_3$  i jona ( $\text{NH}_4^+$ ) doprinosi vodenom i zemljišnom zakišeljavanju, a može biti element kompleksa faktora pri izazivanju šumskih oštećenja. Emisije  $\text{NH}_3$  su jedan od glavnih izvora povećanju azotnog snabdevanja prirodnih prostora, koji može promeniti floru i doprineti eutrofikaciji suvozemnih i vodenih ekosistema. Amonijak i  $\text{NH}_4^+$  joni u tečnom stajnjaku uveliko nastaju degradacijom uree. Urea je rapidno hidrolizovana sa enzimom ureaza i konvertovan u  $\text{NH}_4^+$  jone nakon izlučenja. Proporcija  $\text{NH}_4^+$  jona distanciraće se od formiranja slobodnog amonijaka, a proces postaje pH i temperaturno zavisian, (sl. 4.20).



Slika 4.20 Biohemijski mehanizmi u vezi sa oslobađanjem amonijaka iz stočnog stajnjaka

Emisije amonijaka iz domena animalne produkcije reprezentuju znatan gubitak nutritivnih sadržaja stajnjaka. Stoga, redukcija emisije potrebna je, ne samo radi ekologije, već i minimiziranja ekonomskog gubitka.

Za tečni stajnjak, emisija amonijaka ekvivalentna je 5-15% od ukupnog N tokom 180-250 dana skladišnih perioda. Niz istraživanja na polju emisija amonijaka i azotnog oksida, iz tri tipa na slami baziranog stajnjaka, standardnog 450 kgm<sup>-3</sup>, kompaktnog 750 kgm<sup>-3</sup> i kompostiranog, ostvarile su 27%, 5% i 40% od ukupnog N prisutnog u stajnjaku na počecima eksperimenata, respektivno.

Aplikacija stajnjaka doprinosi polovini emisija iz poljoprivrednih aktivnosti. Gubici amonijaka tokom aplikacije stajnjaka varira u saglasnosti sa: tipom stajnjaka i aplikacionog prostora, temperaturom vazduha, vrstom i intenzitetom postaplikacionih padavina i brzinom vetra. Emisija amonijaka raste sa sadžajem suve materije stajnjaka, aproksimativno 10% po procentu porasta njenog sadržaja.

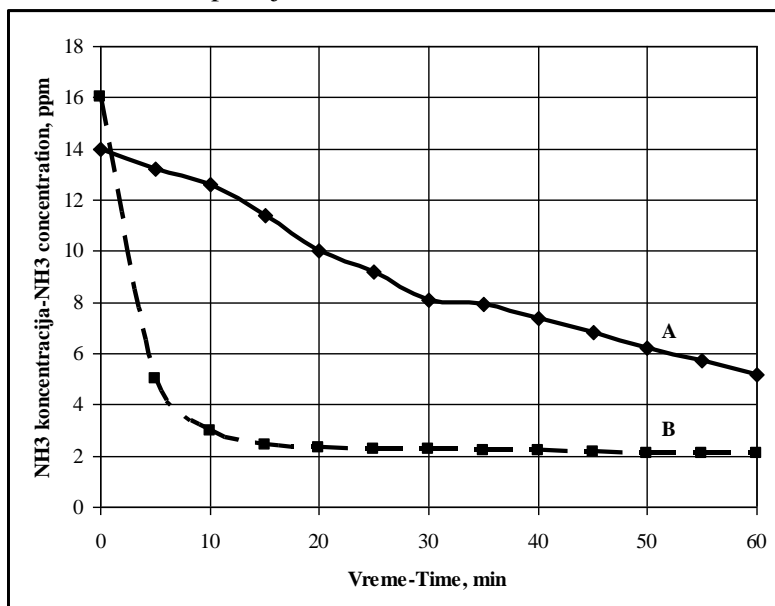
U tom smislu reči, navode se podaci o nutrientima razblaženog tečnog stajnjaka, tretiranog na obradivim površinama ratarsko-povrtnog imanja Čenej, irigacionim sistemom sa tifonskim raspršivanjem, gde je stepen emisije NH<sub>3</sub> bio ispod 8 ppm, a koncentracija H<sub>2</sub>S, praktično neosetna < 1 ppm, (Zoranović et al, 2011). Naime, laboratorijskom analizom uzoraka skladištenog tečnog stajnjaka dobijena je nutritivna struktura prikazana u (tab. 4.9).

Tabela 4.9 Nutritivna struktura tečnog stajnjaka, (Zoranović et al, 2011).

Komponenta Component	Uzorak 1 Sample 1, mg l <sup>-1</sup>	Uzorak 2 Sample 2, mg l <sup>-1</sup>	Prosek Average, mg l <sup>-1</sup>
Ukupan azot, N Total nitrogen, N	1063	759	911
Amonijačni azot, NH <sub>3</sub> -N Ammonia nitrogen, NH <sub>3</sub> -N	1042	671,2	856
Nitratni azot, NO <sub>2</sub> -N Nitrate nitrogen, NO <sub>2</sub> -N	10,2	17,4	13,8
Ukupan fosfor, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total phosphorus, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	148	104	126
Ukupan kalijum, K <sub>2</sub> O Total potassium, K <sub>2</sub> O	14030	13070	13550
pH	7,52	7,82	7,62

Na parceli u Laćarku, zbog značajno degradiranog tečnog stajnjaka svinjarske farme niskog kapaciteta, rasturanog cisternom “Creina“, pri temperaturi vazduha 22-24° C, relativne vlažnosti 32%, u toku jednog časa, koncentracija NH<sub>3</sub> kretala se u intervalu 14 ka 5 ppm, a nakon primene setvospremača “Krimler“ u drugom tragu, ona je redukovana tokom 10-15 min sa 80%, (sl. 4.21). Koncentracija H<sub>2</sub>S bila je zanemarljiva.

Principijelno, visoke stope emisija neprijatnih mirisa traju relativno kratko tokom rastura stajnjaka, posebno upotrebom konvencijalnih mašina sa visokom dekompozicijom kapi u vazduh. Znatno poboljšanje u sistemu može biti ostvareno upotrebom opreme za izbegavanje ovakvih aerosoli, npr. injektorii.



Slika 4.21 Primer emisija NH<sub>3</sub> tokom aplikacije svinjskog tečnog stajnjaka A-bez mehaničke obrade, B-sa mehaničkom obradom, (Zoranović et al, 2011).

Kvalitet vazduha i mogući zdravstveni hazardi kod ljudi i životinja procenjeni su, a shodno tome postavljeni prazni limiti. Za amonijak je najopštija i preporučena vrednost 20 ppm, mada su druge preporuke 15 ppm ili u vezi humanog faktora 7 ppm, uzimajući u obzir kumulativne efekte ostalih škodljivih jedinjenja, (Seedorf i Hartung, 1999). Zbog konfuzne raznolikosti podataka Iserman (1990) predlaže proseke za sve životinjske vrste i tipove odstranjivanja tečnog stajnjaka:

Uzgajivački prostor	9,7	kg
Otvoreno skladište izmeta van objekta	12,1	NH <sub>3</sub> /UG godini
Pašnjak	7,5	kg
Aplikacija na zemlji	22,0	NH <sub>3</sub> /UG godini

Efekat staklene bašte esencijalan je za život na Zemlji! Bez toga, prosečna temperatura njene površine ne bi bila 15° C već -6° C. Jedan od aktuelnih problema je povećanje koncentracije mešavine gasova, kao satavnog dela i pojačivača efekata ovog fenomena, prostije rečeno globalnog zagrevanja, kao uzroka ozbiljnim klimatskim promenama. Shodno tome, ove promena imaće posledično neželjene efekte na poljoprivredu. Čak u formi precizno nepredvidivog, nepobitan je skorošnji, ozbiljno primetan, dolazak ovakvih efekata.

Fenomenom inercije, njihov preokret može biti nemoguć u okviru realnog nastupa i nezavisno promenljive u definiciji humanog faktora, vremena.

Teuća predskazanja klimatskih promena izazvanih humanim aktivnostima uključuju moguće povećanje temperature do 4° C u okviru narednih 40-75 godina. Predvidivi modeli, na kojim su ove pretpostavke zasnovane, ekstremno su kompleksni i veoma kontraverzni, a konsekvntno eksperti se još raspravljaju oko veličine i važnosti promene. Generalna slaganja postoje, međutim, ako su ova upozorenja zaista pouzdana, konsekvence za čitav svet biće dramatične. Sa respektom prema poljoprivredi, klimatske promene mogu konvertovati strukturu zemljišta, koja su danas fertilna u aridna ili polu-aridna područja, dok ono što je danas tundra u delu severne hemisfere, može postati pogodno za kultivaciju pšenice.

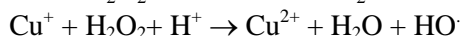
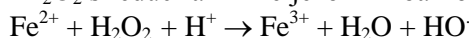
Glavni gasovi koji doprinose bilo kom povećanom efektu staklene bašte su:

- ugljen dioksid;
- metan;
- azotni oksid (N<sub>2</sub>O);
- hemikalije kao CFCs.

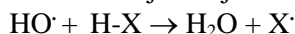
Metan je bazni gas staklene bašte. On je takođe uključen u fotohemijske reakcije troposfere, koja određuje koncentraciju ozona i *hidroksilnih radikala*.

*Hidroksilni radikal, HO·*

- najreaktivnija poznata ROS vrsta
- nastaje reakcijom H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s reduciranim željezom ili bakrom (**Fentonova reakcija**).



- hidroksilni radikali mogu reagirati kao inicijatori autooksidacije lipida, mogu izazvati i oštećenje proteina, nukleinskih kiselina, ugljikohidrata te drugih organskih molekula ukoliko dolazi do sinteze u njihovoj blizini.



Hidroksidni radikali ili tzv. „deterdženti atmosfere“ odgovorni su za odstranjivanje skoro svih gasova produkovanih prirodnim procesima i ljudskim aktivnostima. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) proračunala je da 1 kg metana ima 63 puta veći efekat zagrevanja nego 1 kg ugljen dioksida za 20 godina nakon produkcije gasova. Prosečna koncentracija metana u atmosferi je sadašnjih 1,7 ppmv ili aproksimativno (zavisno od temperature i pritiska) 1,2 mikrograma metana u svakom kubnom metru vazduha. Koncentracija počinje sa povećanjem od osnovne linijske vrednosti 0,8 ppmv u pra-industrijskim vremenima nekih 200-300 godina pre i tekući raste sa stopom oko 1% po godini. Povećano obilje metana imaće važne uticaje na globalnu promenu klime, troposferki ozon i stratosferni ozonski sloj. Procene su da metan učestvuje sa oko 20% od očekivanog globalnog zagrevanja iz efekta staklene bašte.

Pod anaerobnim uslovima, organski materijal u otpadu razložen je od anaerobnih i fakultativnih bakterija. Krajnji produkti anaerobne dekompozicije su metan, ugljen dioksid i stabilizovan organski materijal. Bakterije, odgovorne za produkciju metana u animalnom otpadu, isključivo su anaerobne.

Anaerobno digestivni proces može biti opisan trofaznim intervalima: U prvoj fazi, kompleks organskih materijala otpadnog substrata rasturen je kroz hidrolitičke radnje enzima. U drugoj fazi, formiranjem kiselina, anaerobne i fakultativne bakterije redukuju proste šećere,



produkovane u prvoj fazi, u proste organske kiseline. Sirćetna kiselina je primarni produkt rasturanja ugljenih hidrata, mada mogu biti formirane druge organske kiseline, kao što su propionska i buterna, Pored toga, proizvode se vodonik i ugljen dioksid. Treća faza, tj. metanska proizvodna bakterija-metanogeneza, konvertuje proste organske kiseline, vodonik i ugljen dioksid iz faze 2, u metan i ugljen dioksid.

#### 4.11.4. Prašina i endotoksini

Prašina u animalnim objektima potiče od hrane, prostirnog materijala i samih životinja. Veći deo prašine može napustiti animalni objekat putem izduvnog vazduha, distribuirana u okruženje, (Zoranović *et al*, 2011). Predpostavljajući prosečnu koncentraciju prašine od 2 mg/m<sup>3</sup> u izduvnom vazduhu, pri svinjskom uzgoju 1000 tovnih svinja i prosečnoj ventilacionoj stopi 200 m<sup>3</sup>/UG-h, ukupna godišnja emisija prašine bila bi oko 500 kg, (Hartung, 1999). Zdravstveni efekti čestica prašine veoma malo zavise od prirode prašine (organska ili anorganska), materija koje nose (bakterije, toksine) i prečnika čestica. Visoka koncentracija može iritirati sluzne opne i preopterećenje plućno prečišćavajućih mehanizama. Zajedno sa česticama prašine, mikroorganizmi mogu biti transportovani u respiratorni sistem životinja i čoveka, izazivajući infekcije. Koncentracije vazdušno desantnih mikroorganizama posebno su visoke u svinjskim i živinarskim objektima.

#### 4.11.5. Mirisne smetnje iz stajnjaka

Mirisi iz stočarskih farmi glavni su uzrok javnim žaljenjima na farmsku praksu. Problem je povećan u mnogo Evropskih zemalja, pošto farmski uzgoj postaje intenzivniji sa tendencijom ukрупnjavanja. Tradicionalan sistem menadžmenta stajnjakom, obuhvatajući čvrsti, bio je relativno nisko mirisan i generalno više prihvatljiv. Međutim, javna tolerancija značajno je opala poslednjih godina, kao odziv na povećanu upotrebu tečnog stajnjaka većih i mnogo intenzivnijih farmi. Na primer, između 1998 i 2000, u UK žalbe oko mirisa porasle su kako na relaciji poljoprivrede, tako i industrijskih aktivnosti. Međutim, statistika navodi da su podaci pridruženi redukciji mirisa udvostručeni na račun poljoprivrede, a oboreni za industriju.

Prema već pomenutom, postoji oskudna evidencija da mirisi predstavljaju zdravstvene ili ekološke rizike, međutim, minimiziranje njihovih smetnji postaje glavni faktor dizajna i operativnosti modernih stočarskih jedinica.

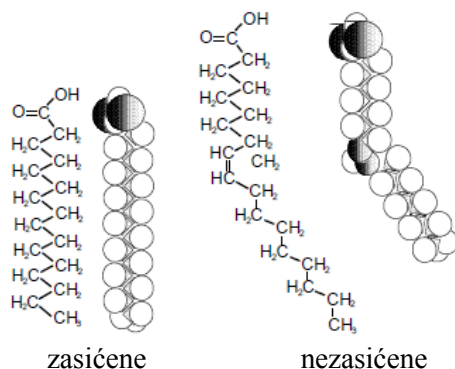
Glavna mirisna organska jedinjenja, prisutna u stočarskim otpadima, rezultat su anaerobnih aktivnosti, a neka od njih su: organske masne kiseline, aromatski aldehidi, alkoholi, fenoli, merkaptani, amini i dr.

*Organske masne kiseline:*

- organske kiseline koje obavezno ulaze u sastav prostih i složenih lipida,
- monokarboksilne kiseline sa nerazgranatim ugljovodoničnim nizom,
- obično sadrže paran broj ugljenikovih atoma,
- mogu biti zasićene i nezasićene,
- broj ugljenikovih atoma u molekulama masnih kiselina kreće se u granicama od 4 do 22 i
- najzastupljenije masne kiseline u lipidima su one sa 16 ili 18 ugljenikovih atoma.

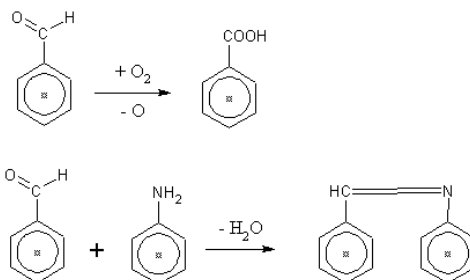
Zasićene masne kiseline nemaju dvostrukih veza i molekule su “prave”

Nezasićene masne kiseline sadrže najmanje jednu dvostruku vezu koja uzrokuje savijanje molekule.

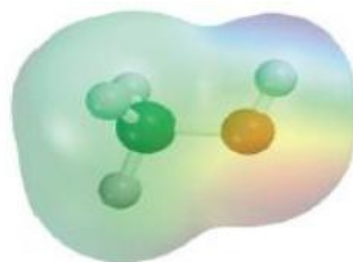


*Aromatski aldehidi*

*Aromatski aldehidi nastaju blagom oksidacijom aromatskih alkohola. To su jedinjenja kod kojih karbonilna grupa neposredno vezana za benzenovo jezgro. Njihovom oksidacijom dobijaju se aromatske kiseline. Najprostiji i najvažniji aromatski aldehyd je benzaldehid. To je bezbojna tečnost, vrlo slabo rastvoriva u vodi. Dobija se oksidacijom toluena pomoću CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Lako oksiduje (već na vazduhu) i gradi benzoevu kiselinu. Sa aminima gradi Schiff-ove baze. Osobine su mu identične s osobinama alifatskih aldehida.*



*Alkoholi* su organska jedinjenja s kiseonikom. Oni su također derivati alkana, kod kojih je proton vodonika zamjenjen OH grupom. Opšta formula alkohola je R-OH, dakle hidroksilna grupa OH, vezana na alkan tj. lanac ugljovodonici. Sličnu strukturu imaju karboksilne kiseline koje se dobijaju oksidacijom alkohola. Hidroksilna grupa (funkciona grupa) sastoji se od jednog atoma vodonika i jednog atoma kiseonika, prema tome je jednovalentna. Zato i lanac na koji se grupa vezuje mora da bude jednovalentan. Tako će npr. sažeta strukturna formula etanola da bude  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ . Prema broju OH grupa: 1. Monohidroksilni (1OH grupa) 2. Dvohidroksilni (2OH grupe) 3. Polihidroksilni (3 ili više OH grupa) Prema načinu vezivanja ugljenikovih atoma: 1. Alifatične R-OH alkil grupa 2. Aromatični AR-CN<sub>2</sub>OH aril grupa. Prema položaju alkil grupe: 1. Primarni  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$  ( $1^0$ ) 2. Sekundarni  $\text{CH}_3\text{-CH-CH}_3$  ( $2^0$ ) i 3. Tercijalni Alkoholi se imenuju tako da se uz ime alkana doda nastavak **-ol**. Tako će npr. alkohol s tri ugljenikova atoma da bude propanol jer se uz ime alkana **propana** dodao **ol** od alkohola.

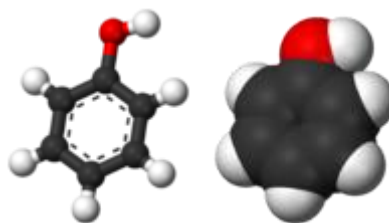
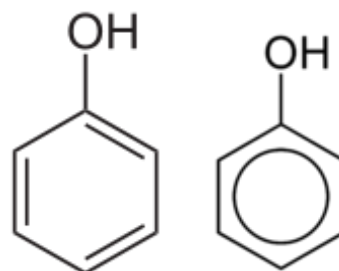


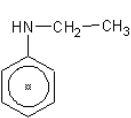
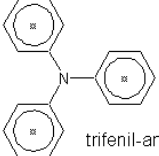
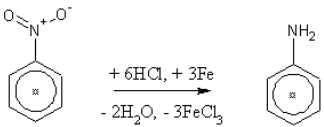
*Fenol (karbolinska kiselina)* je organsko jedinjenje sa hemijskom formulom  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ . To je bela kristalna materija. Molekuli se sastoje od fenilne ( $-\text{C}_6\text{H}_5$ ), vezane za hidroksilnu ( $-\text{OH}$ ) grupu. On se proizvodi u velikim količinama (oko 7 milijardi kg/godina) kao prekursor za mnoge materijale. On ima samo blago kiseli karakter, ali zahteva pažljivo rukovanje zbog sklonost da uzrokuje opekotine.

Reč *fenol* se takođe koristi kao naziv za jedinjenja koja sadrže šestočlani aromatični prsten, vezan direktno za hidroksilnu grupu ( $-\text{OH}$ ). Fenoli su klasa organskih jedinjenja među kojima je fenol opisan u ovom članku najjednostavniji član.

Fenol je znatno rastvoran u vodi, sa oko 8.3 g rastvornog u 100 mL (0.88 M). Natrijumova so fenola, natrijum fenoksid, je daleko više rastvorljiva u vodi.

Fenol je blago kiseo. Fenolni molekul ima slabu tendenciju da izgubi  $\text{H}^+$  jon sa hidroksilne grupe, čime nastaje *fenolatni* anjon  $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-$  (ili *fenoksid*) koji je veoma rastvoran u vodi.



<p><i>Merkaptani</i> su tradicionalani naziv za tiole, organske veze sa sumporom opšte formule R-SH. Ovaj izraz je napušten od IUPAC-a, ali je još u širokoj upotrebi. Inače, predstavlja tečnost jako neugodnog mirisa, nastaju raspadanjem bjelančevina koje sadrže sumpor.</p>	$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—SH}$ <p style="text-align: center;">1-propantiol</p> $\begin{array}{c} \text{SH} \\   \\ \text{CH}_3\text{—CH—CH}_3 \end{array}$ <p style="text-align: center;">2-propantiol</p>
<p><i>Amini</i> su derivati amonijaka kod kojih je jedan ili više vodonikovih atoma zamenjeno alkil ili aril radikalom. Prema tome dele se na primarne (R-NH<sub>2</sub>), sekundarne (R<sub>2</sub>-NH) i tercijarne (R<sub>3</sub>-N). Najlakše se razlikuju pomoću reakcija sa azotastom kiselinom. Amini su organska jedinjenja azota (III) sa potpuno redukovanim atomom azota. Fizičke osobine nižih amina su slične fizičkim osobinama amonijaka. Viši amini imaju višu tačku ključanja (tečni su). Soli amina su rastvorive i u alkoholu za razliku uod soli amonijaka.</p> <p>Amini se dobijaju iz alkilhalida, redukcijom nitro jedinjenja ili redukcijom nitrila.</p> <p>Alkilamini su veoma reaktivna jedinjenja. Jače su baze od amonijaka. Sa kiselinama prave soli od kojih su najstabilnije soli tercijarnih amina, kao i kvartarne soli (umesto vodonika, acceptor slobodnog elektronskog para azota je radikal). Veća baznost alkilamina se tumači većom nukleofilnošću radikala u odnosu na vodonik.</p> <p><i>Aromatski amini</i></p> <p>Arilamini su amonijakovi derivati kod kojih je atom vodonika zamenjen aril radikalom. Delimo ih na primarne, sekundarne i tercijarne. Sekundarni i tercijarni prema vrsti radikala mogu biti mešoviti i aromatski. Dobijaju se redukcijom nitro jedinjenja.</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <math>\text{HN—CH}_2\text{—CH}_3</math>                metil-fenil-amin (mesoviti)         </div> <div style="text-align: center;">               trifenil-amin         </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">               anilin (fenilamin)         </div>

Suštinski, degradacija organske materije u tečnim stajnjacima može biti podeljena u dve faze: razlaganje organske materije u organska jedinjenja i prosledno razlaganje organskih jedinjenja na slabe mirise i produkte, uglavnom, sastavljene od metana, ugljen dioksida i vode. Isparljive masne kiseline (IMK) najvažnija su grupa, a uopšteno postojan indikator ofanzivnosti mirisa iz tečnih stajnjaka. IMK sadržaj u tečnim stajnjacima može znatno da varira u rang 4-27 gr/l.

Jedinjenja sa sadržajem sumpora proizvodi su degradacije amino kiselina i mikrobske redukcije sulfata prisutnih u urinu. Sumpor vodonik H<sub>2</sub>S i metanski tiol (metil merkaptan) najopštije su objavljena jedinjenja ove grupe. Organski isparljivi amini su izlučeni u životinjskom urinu i naknadno formirani u tečnim stajnjacima putem bakterijske degradacije

amino kiselina. Oni su prisutni u formi neznatnih frakcija (do 1%) jedinjenja koja sadrže organski isparljiv azot.

Nema identifikovano zadovoljavajućeg hemijskog testa ili orijentacionog-markerskog jedinjenja primenljivog na širok rang mirisa. Olfaktometrija (tehnika za određivanje, tj. merenje karaktera i oštine mirisnog srestva), koja koristi grupu panelista, generalno je prihvaćena tehnika ocenjivanja koncentracije mirisa u vazduhu. Prag mirisne vrednosti je broj volumena mirisno slobodnog vazduha za razblaživanje nekog mirisa dok je on detektovan od panelista sa samo 50%, a vrednosno je izražen kao jedinice mirisa po m<sup>3</sup> vazduha.

Ofanzivni mirisi ili mirisi izazivači smetnji, obično uključuju kompleksnu mešavinu individualnih omirišivača. Mada instrumentalne analize mogu biti sposobne za identifikaciju koncentracije parcijalnih komponenti, za sada to ne može biti korišćeno kao kvantifikativno i „kvalitativno“ merenje ukupno uočenog mirisnog senzitiviteta. Osim toga, ni jedno prosto merenje neće potpuno okarakterisati jedan miris. Shodno tome, postojeći postupci merenja koncentracije mirisa, mirisnog intenziteta i mirisne ofanzivnosti koriste olfaktometriju. Međutim, usled podizanja javne zabrinutosti, agencije za zaštitu životne sredine izgleda postaju svesne ovog i traže načine na koje će pojednostaviti i standardizovati merenje mirisa, npr. sa upotrebom elektronskih noseva. Unapređenje razvoja u ovoj tehnologiji, tako je verovatno, vodiće ka višim restrikcijama u pogledu emisija mirisa iz menadžmenta stajnjakom.

Različiti načini odstranjivanja stajnjaka u interakciji sa primenjenim tehničko-tehnološkim postupcima, presudno utiču na intenzitet i karakter mirisa u objektima. Kao generalno pravilo, miris unutar stočarskog objekta biće niži ako se tečni stajnjak frekventno dislocira ili je eventualno u formi čvrstog, skladišten u objektu u posebno kontrolisanom stanju, npr. duboka stelja. Evidentno je da se emisija mirisa iz različitih tipova podova u svinarskim objektima povećava sa povećanjem površine izložene tečnom stajnjaku.

Visoke stope emisija mirisa, tj. aerosoli, pojavljuju se za relativno kratke periode pri raspodeli tečnog stajnjaka po zemljištu, posebno iz konvencijalnih mašina, gde se on raspršuje u kapima visoko u vazduh. Koncentracija mirisa u vazдушnim uzorcima, sakupljenim neposredno po formiranju pokrivke tečnog stajnjaka, izbačenog iz malog podpritisnog tankera, bila je u proseku 1.060 i 2.020 jedinica mirisa za goveđi i svinjski tečni stajnjak, respektivno (*Pain et al, 1991*). Kao kratak osvrt na izrečeno, znatno poboljšanje u redukciji neprijatnih mirisa može se ostvariti primenom opreme za preventivu emisije aerosoli, kao što su rebrasto fleksibilna creva ili injektor, (*Zoranović et al, 2011*).

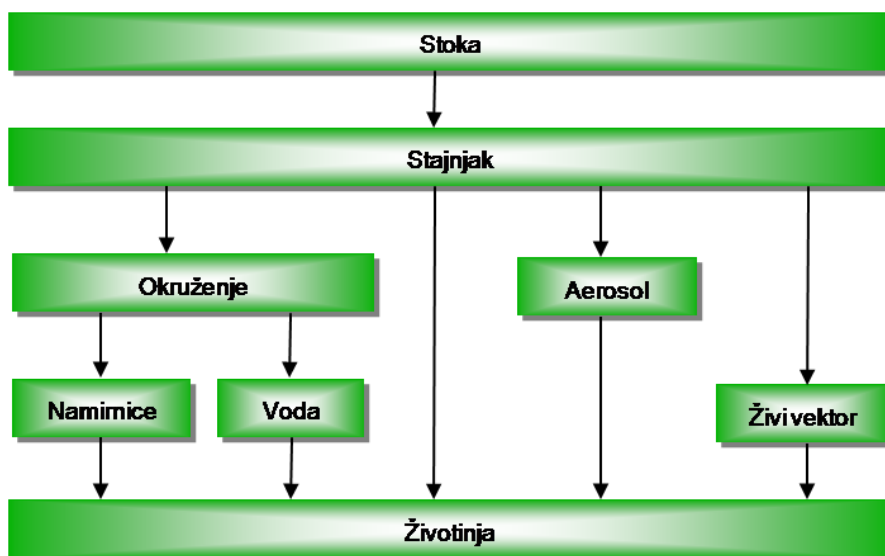
## **4.12. Rizici od infekcije iz stočnog stajnjaka**

### **4.12.1. Prenosni mehanizmi**

Dosadašnja saznanja o ovom problemu skreću pažnju na potencijalne rizike izloženosti ljudi stočnim patogenima preko lanca za ishranu, kroz direktan ili indirektan kontakt sa okruženjem, životinjama i njihovim stajnjakom. Prenos unutar okruženja (uglavnom preko TS, ČS, živinske prostirke, prljave vode, otpadnog mulja, klaničnih otpada i dr.), na nivou rizika infekcije ljudi, može se pojaviti na brojne načine. Pogodni nosioci za distribuciju patogena su: fizička disperzija otpada (npr. upotrebom rasturača TS i ČS), transport materijala, oticanje iz uzgajivališta, manipulativni prostor i neadekvatno skladištenje, stoka između sebe (tokom ispaše ili preseljenja ili transporta), divlje životinje, ptice i fizičko kretanje ljudi vezanih za stoku. Uz izvesni stepen varijacije, ovo može voditi kontaminaciji useva, zemljišta, vode i vazduha. Ljudi mogu pokupiti infekcije od pomenutih izvora preko javnih nastupa, kao što su: rekreativne aktivnosti, kampovanja, vođeni sportovi, farmske aktivnosti itd. Meteorološki uslovi imaće veliki efekat na disperziju i depoziciju aerosoli.

### **4.12.2. Rizici od stajnjaka za javnost i stoku sa njihovim tretmanskim prevencijama**

Bakterije, virusi i paraziti, poreklom iz fekalnih izvora, kao što su TS ili ČS, od posebne važnosti su za okruženje. Kod nas, još uvek se poklanja redukovana pažnja ovim produktima metaboličkih procesa uzgajanih životinjskih vrsta. Suštinski, postoje dva različita epidemiološka rizika, razlikovana po kvantitativnim i kvalitativnim aspektima, zavisno od cilja: čovek ili životinja. Relevantne epidemiološke staze su rezimirane na slikama 4.22 (neprelazni na ljude) i 4.23 (prelazni na ljude).



Slika 4.22. Epidemiološke staze za ljude neprelazne infekcione zastupnike u stajnjaku (infekcija samo kod životinja)

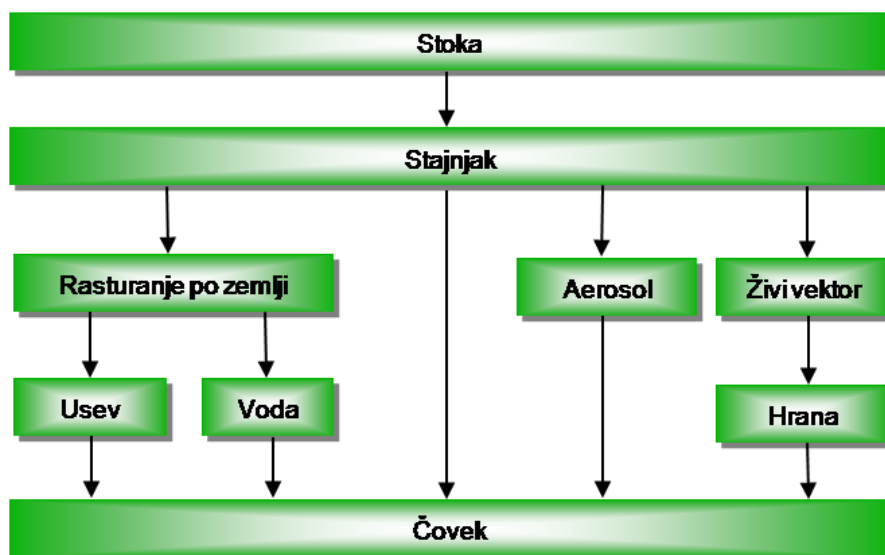
Kod stajnjaka, kao nosioca, postoje dva različita nivoa rizika po životinjsku populaciju. Generalno, stajnjak klinički zdravih životinjskih grupacija smatra se niskorizičnim izvorom, jer patogeni mogu biti zastupljeni samo u izvesnom procentu na ograničen vremenski period. U ovom slučaju, kliconoški rizik je nizak, tj. tolerantno primetnog nivoa detekcije.

Temperatura stajnjaka, tokom skladištenja ili adekvatnog tretmana, bazni je faktor opstanka potencijalno prisutnih patogena i drugih mikroorganizama u njemu. Zakon njihovog opstanka u zavisnosti od temperature, sa zadovoljavajućim koeficijentom determinacije, opisiv je eksponencijalnom funkcijom:

$$\frac{X_t}{X_0} = e^{-k(t-t_0)}$$

gde su:

- $X_t$ - preživljavajuća frakcija,
- $X_0$ - startna populacija,
- $(t-t_0)$ - vreme tretmana i
- $k$ - specifična stopa dezintegracije



Slika 4.23 Epidemiološke staze za ljude, kao napadajuće infektivne zastupnike

Dakle, toplotni tretman otpadnih materijala ima veliki značaj za kontrolu prisustva različitih vrsta mikroorganizama u njima.

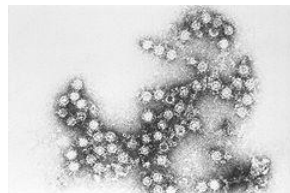
Proces pasterizacije stajnjaka je njegovo zagrevanje pri temperaturama ispod tačke ključanja vode. Preciznije rečeno, ispod tačke denaturacije proteina (nepovratna promjena strukture bjelančevina koja uništava njeihovo prvobitno stanje pod dejtvom toplote, promjenom pH, UV zračenjem ili nekim drugim uticajem). Tipičan temperaturni opseg toplotnog tretmana je 55-70°C, a vreme izloženosti do četiri časa pri 55°C ili 30 minuta pri 70°C. Na primer, nakon pasterizacije, tokom 30 minuta, pri 70°C, Salmonella i Enterovirusi potpuno su uništeni unutar otpadnog mulja, (Bruce et al, 1990).

Rod *Enterovirusi* čine 67 tipova ljudskih i najmanje 34 tipa enterovirusa izolovanih iz drugih vrsta sisara. Pripadaju familiji Picornavirida, jednoj od najvećih i najvažnijih familija u humanoj medicinskoj virusologiji. To su mali virusi bez spoljnog lipidnog omotača, koji u središnjem delu virusne čestice sadrže jednolančani pozitivni lanac RNK.

Ime tih virusa dolazi od grčke reči-enteron, što znači crevo i proizlazi iz virusne sposobnosti umnožavanja u ćelijama tankog creva napadnutog organizma.

Enterovirusi su postojani u kiseloj sredini, što im omogućuje prolaz kroz želučani sadržaj. Termolabilni su, pa ih zagrevanje pri 50°C brzo razara. Ultraljubičasti zraci i sušenje, takođe ih brzo inaktiviraju. Danima mogu ostati infektivni pri sobnoj temperaturi, a u hladnjaku (4°C) i nedeljama.

Primarno razmnožavanje enterovirusa odvija se u probavnom sistemu, ali mogu se razmnožavati i u drugim tkivima (npr. nervi, mišići itd.)

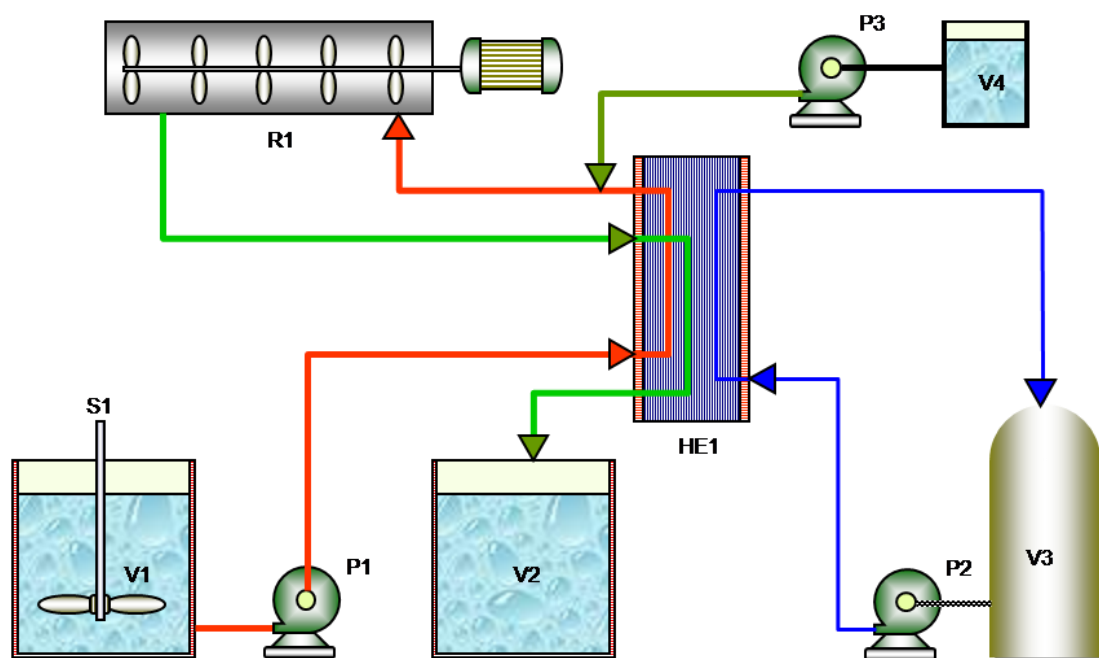


Sterilizacija stajnjaka podrazumeva toplotni tretman viših temperaturnih nivoa, obično pri, ili iznad tačke ključanja vode. Uglavnom, ovaj proces podrazumeva povišen pritisak radi ostvarivanja temperatura iznad 150°C sa produženim vremenskim periodima. Pod ovim uslovima, destrukcija najrezistentnijih spora praktično je zagarantovana. Međutim, ovakav tretman na stajnjacima ekstremno je skup i nepotreban. U prilog tome ide činjenica izvesne degradacija proteina, a kao posledica nje, rapidno prljanje toplotno razmenjivačkih površina sa povišenim zahtevom za njihovo održavanje.

Toplotni tretman animalnih otpada često se izvodi u serijskim ili polukontinualnim sistemima. Njihova prednost je visok stepen kontrole i poverenje u potpunu dekontaminaciju. Međutim, za veće zapremine potencijalno kontaminiranih stočnih otpada, obezbeđenje serijskog toplotnog tretmana postaje nepraktično. Naime, kontinualan procesing omogućava visoke propusne moći, konzistentan tretman i niže troškove preko ušteda putem povratne toplote, ali se pojavljuje problem neizbežno povratnog mešanja finišno tretiranog sa kontaminirano sirovim materijalom. Osnov za popravku procedure je redukcija rezidentnog vremena distribucije tretiranog materijala u adekvatnim reaktorima ove namene, putem pregradno zaptivajućih elemenata, koji kontrolisano menjaju šemu protoka tretiranog materijala. Ideja ka kontinualnom toplotnom tretmanu životinjskih otpada proizašla je iz potrebe za povratnom toplotom, kao značajnog udela ukupnog inputa procesa. Prostije rečeno, energetski bilans zagrevanja TS pri 15 °C do 65 °C može biti približno proračunat iz polaznog osnova: temperatura tretiranog materijala u kontinuitetu 50 °C, pomnožena sa njegovom specifičnom toplotom pri p=const. od ~ 4000 J/kg°C TS, rezultira sa 200 MJ /t TS (ili 55 kWh/t TS). Naravno, postavlja se pitanje značajne količine akumulisane toplote u finišno toplotno istretiranom TS i emisije amonijaka iz njega, uz činjenicu da povretak toplote od 90% redukuje zahtev za energentom na desetinu, tj. aproksimativno 5,5 kWh/t.

Pilotno postrojenje, korišćeno od (*Turner et al, 1999b*), šematski, prikazano je na (sl. 4.24.).





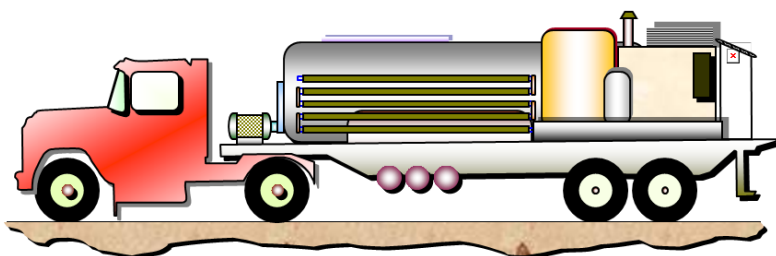
Slika 4.24 Eksperimentalno kontinualno tretmansko postrojenje za inaktivaciju ranga virusa u svinjskom TS: HE1- razmenjivač toplote, P1- hranidbena pumpa TS, P2- toplotna pumpa, P3- završna pumpa za suspenziju virusa, R1- toplotni reaktor, S1- mešač, V2- tretiran TS, V3- snabdevanje toplom vodom, V4- virusni koncentrat

Naime, hladan, sirovi TS, prinudno se potiskuje pumpom kroz razmenjivač toplote, gde se predzagreva od povratne toplote tretiranog TS, a potom sekundarno dogreva do zadate temperature sa protočno toplom vodom iz V3. Tako zagrejan, TS prolazi kroz reaktor, gde se održava na zahtevanoj temperaturi potreban vremenski period. Toplotno tretiran, TS potom prolazi kroz drugu stranu toplotnog razmenjivača, time predajući veći deo toplote pro hladnom ulaznom TS i konačno biva sakupljen u rezervoaru V2.

Laboratorijsko-skalni eksperimenti pokazali su da je tretmanski period od 5 min minimalno rezidentno vreme za adekvatnu dekontaminaciju izabranih virusa, (*Turner i Williams, 1999a; Turner et al, 2000*).

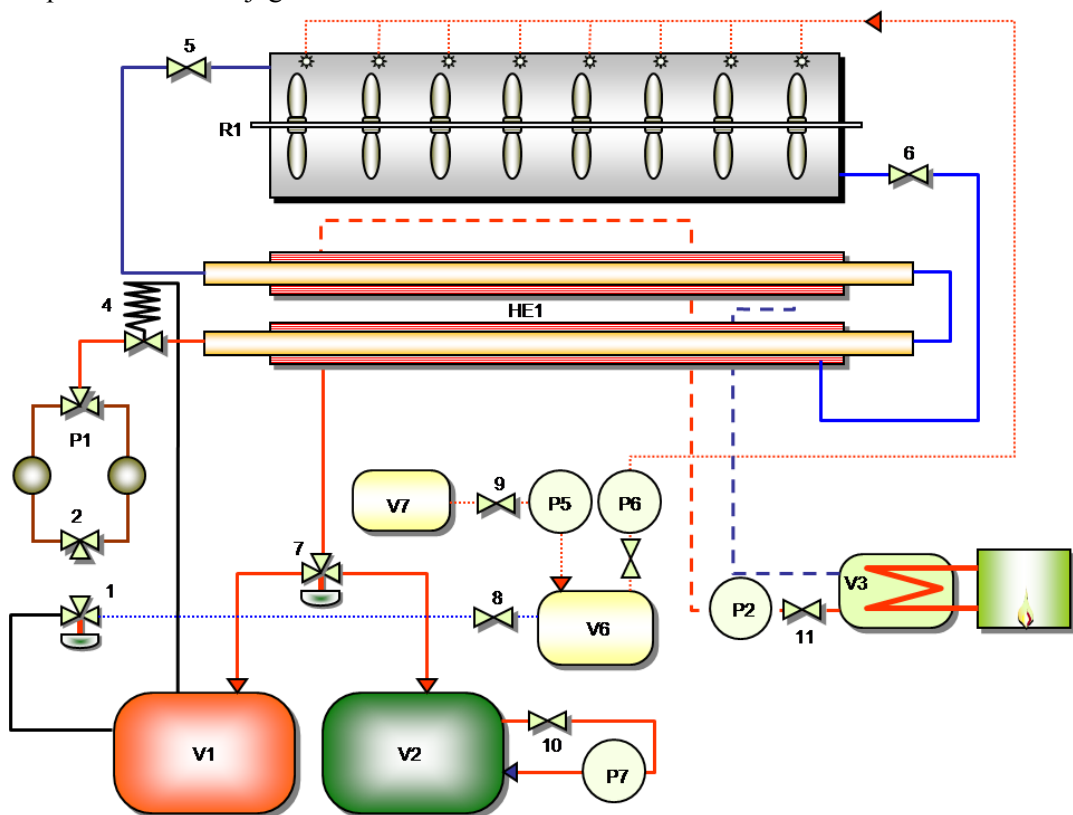
Za razliku prethodnim tretmanima stajnjaka, mikrotalasna radijacija ima prednost dozvoljeno brzog zagrevanja tretiranog materijala, time izazivajući brzu inaktivaciju virusa. Međutim, električna energija, kao izvor mikrotalasa, potrebna za zagrevanje većih količina TS, nije dostupna na mnogim farmskim odredištima. Osim toga, relativno mala količina povratne toplote može biti korišćena za redukciju ukupno angažovane energije. Ipak, bazni problem su visoki polazni troškovi i relativno izražena opasnost od zračećih efekata po radno osoblje i bliže okruženje.

Koncept mobilno tretmanske jedinice aktuelizovan je pošto omogućava efikasnu upotrebu sistema ograničenih resursa na širokim prostorima, (sl 5.12.).



Slika 4.25 Ilustracija mobilnog tretmana sredstva koje mogući razvijenoj na farmama sa potencijalno inficiranim tečnim stajnjacima

Kontinualni kapaciteti uređaja do pet dana mogu biti maksimalno 500 t/dan. Ovakva oprema mora biti potpuno samoodrživa, tj. upotrebljiva na udaljenim odredištima. Dakle, pokretna laboratorija zahteva rezervu energenta, izvora električne energije, vode i dezinfektanata za čišćenje opreme, pre odlaska na novu farmu. Ovo rešenje rezultat je proučavanja (*Burton et al, 1999*), koji su posmatrali aspekte primene potencijalno mobilne aparature za ove namene, kao bezbednog i kvalitativno pouzdanog sistema za različite rangove farmskih lokacija. Varijanta aparature iz domena proučavanja data je na slici 4.26., kao uprošćen tekući dijagram.



Slika 4.26 Dijagram postrojenja toplotnog tretmana za inaktivaciju virusa u svinjskom TS

Ključni projektni kriterijum je nezavisno montiranje na platformi standardne kamionske prikolice. Bold linije reprezentuju sam proces, isprekidane linije reprezentuju zagrevajuću petlju i tačkaste linije sistem vodenog pranja.

Sistem podrazumeva kompletno interno i eksterno pranje sa dezinfekcijom, tokom i na kraju procesa. Kod ove varijante, posuda V7 sadrži dezinfektivni koncentrat a V6

snabdevajuću vodu kao radni medijum. Sa propusnom sposobnošću 500 t/dan, ponuđena jedinica je dizajnirana za kontinualno kretanje do jedne nedelje. Kompletna procedura je automatizovana, a prisustvo operatora tokom procesa je supervizijskog i bezbedonosnog karaktera. Za operativnost iznad nedelju dana, postrojenje će biti snabdeveno svežom vodom, energentom i prapatnim dezinfektantima.

Interesantno pomena je i postojanje posebne operativne procedure za potvrđene slučajeve izbivanja objavljivih bolesti. U svim slučajevima primene toplotnog i drugih tretmana inaktivacije mikrosвета iz tečnih stajnjaka, moraju se primeniti adekvatne disciplinske mere. Drugim rečima, upotreba mobilne jedinice zahteva organizovanu kolekciju svih tečnih otpada na centralno mesto za kontrolisano doziranje u postrojenje i instalaciju posebno čistog rezervoara za prijem tretiranog stajnjaka. Mora biti obezbeđen kontinualan monitoring procesa sa automatskim zapisom dnevnika operativnosti. Time se smanjuje prisutan rizik od „padobranski“ nepredvidive kontaminacije tretiranog materijala i smanjenja uticaja subjektivnog faktora-nepažnje, a posebno eventualno lošeg nastupa namernog razmnožavanja patogenih organizama.

#### Prednosti toplotnog tretmana

- Relativno jednostavan metod.
- Postojanje visokog nivoa poverenja za inaktivaciju patogena.
- Pogodan za širok rang patogena.
- Serijski protoci pogodni su za širok opseg otpada.
- Imaju ograničen ekološki uticaj u poređenju sa hemijskim tretmanima.

#### Mane toplotnih tretmana

- Povećane emisije posebnih neprijatnih mirisa i amonijaka.
- Složena oprema sa specijalizovanim operatorima.
- Prisutni su visoki energetske troškovi osim sa povratnom toplotom.
- Potreba snabdevanja farmaskog odredišta sa gorivom.

Proces spaljivanja identifikovan je kao moguć metod za tretman sa živinarskom prostirkom. Za ovu namenu izgrađena su energetska postrojenja u UK i Holandiji. Mada je živinarski stajnjak često suv, iznad 50% čvrste frakcije, lako sagorljiv, može biti neekonomična izgradnja uređaja za spaljivanje samo za farme čvrstih otpada, a još manje za TS, zbog povišenog sadržaja vode. Proces je kompleksan, a cena uređaja godišnje veoma visoka, aproksimativno ekvivalentna 40 miliona evra za uređaj koji sagoreva 45.000 t suvih frakcija, (*Boon i Thomas, 1994*). Transport stajnjaka i ostalih organskih otpada, sa raznih farmi u centralno postrojenje, povećava troškove u poređenju sa distribucijom na lokalna zemljišta. Tekući troškovi spaljivanja procenjeni su na jedan euro po toni suvih materija sadržanih u otpadu. Međutim, kapitalni troškovi su visoki.

Tehnike iradijacije generalno su upotrebene za dekontaminaciju hrane od potencijalno u njoj začetih ili unešenih patogena „food-borne“. Kako su ovi patogeni uobičajeno združeni sa stočnim stajnjacima, tehnika iradijacije može biti adaptirana za njihov tretman. Zajednički izvor upotrebljen za jonizacionu-gama radijaciju je Cobalt 60 ( $^{60}\text{Co}$ ).

Nove tehnologije koriste bezbedniji i više podesiv proces sa elektronskim snopom ili X-zracima. Ovakvi sistemi su takođe upotrebljeni za sterilizaciju hrane, medicinskih instrumenata i otpada. Ovi sistemi imaju prednost nad  $^{60}\text{Co}$ , u tome, što ne zahtevaju radioaktivan materijal, a jonizirajuća radijacija, nakon propisane apsorbovane doze (AD) tretiranog materijala, prestaje odmah sa prekidom pogona.

Stepen radijacije zavisi od intenziteta izvora i vremena na koje je materijal njome izložen. Posebna prednost ovih tretmana je činjenica da iradijacijski tretiran materijal ne postaje postradioaktivan.

*Yeager i O'Brien (1983)* uočili su da je apsorbovana doza (AD), tj. količina energije jonizacionog zračenja od 10 kGy dovoljna za eliminaciju bakterija i parazita u mulju TS. Međutim, virusi su bili više rezistentni. Neki istraživači ispitivali su inaktivaciju virusa svinjske bolesti plikova (SVDV-swine vesicular disease virus) sa gama iradijacijom i uočili da je to jedan od najrezistantnijih virusa na ovaj tip tretmana. U slučaju najgorih uslova, SVDV u tečnim animalnim fecesima zahteva dozu od 40 kGy za redukciju ispod detektabilnih nivoa, (*Thomas et al, 1982*).

*Apsorbovana doza (AD)* je količina energije jonizacionog zračenja koju apsorbuje supstanca na koju zračenje djeluje. Apsorbovana doza izražava se u Gy (Grey, a Gy = J/kg). Jedan grey (Gy) predstavlja 1 J (džul) energije koju je jonizaciono zračenje predalo 1 kilogramu (kg) materije. Učinci zavise ponajviše od apsorbovane energije i osobina supstance koja je apsorbovala. Pre uvođenja SI sistema, jedinica za apsorbovanu dozu bila je RAD (Radiation Absorbed Dose-Apsorbovana Doza Radijacije). Pri tome je Gy=100 RAD.

*Brzina apsorbovane doze* je količina energije jonizacionog zračenja koju akumulira jedinica materije u jedinici vremena. Izražava se u Gy/s ( $J\ kg^{-1}\ s^{-1}$ ). Veličina brzine apsorbovane doze važna je, jer od nje zavise učinci jonizacionog zračenja na živu supstancu. Ukoliko dve jedinice apsorbuju istu dozu zračenja, ali u različitim vremenskim intervalima ili različitom brzinom apsorbovane doze, posljedice će biti različite.

Primer:	a	b
ukupna AD	4Gy	4Gy
brzina AD	1Gy/h	0.1Gy/h
dužina zračenja	4h	40h
rezultat	može uginuti	blaže posljedice

Apsorbovana doza se može meriti na više načina, no u praksi se ne meri, nego se informacija o apsorbovanoj dozi dobija poznavanjem ili određivanjem ekspozicije. Radi ilustracije, brzina apsorbovane doze može se usporediti s intoksikacijom alkoholom. Dakle, veće količine alkohola raspoređene tokom dugog vremena jetra će bez većih posledica detoksirati. Naprotiv, ista količina alkohola u kratkom vremenu (npr. 2.5 litre rakije šljivovice) biće jeko štetna.

Ekspozicija je zbir naelektrisanja svih jona istog naelektrisanja stvorenih u jedinici mase supstance pri prolasku x ili gama zraka. Skraćenica za ekspoziciju je X, a jedinica C/kg (kulon po kilogram). C/kg je ona količina x ili gama zračenja koja će u kg supstance (zraku) stvoriti ione ukupnog naelektrisanja od 1 kulon. Jedinica ekspozicije izvan SI sistema je rendgen (r), a  $1C/kg = 3867\ r$ .

Brzina ekspozicije je ekspozicija po jedinici vremena i izražava se kao  $(C/kg)/s = C/(kgs)$ .

Signifikantna redukcija bakterijskih patogena u TS ostvarena je sa iradijacijskom dozom X-zraka od 2,5 i 6,5 kGy, (*Herrhut, 1982*).

Kao kod toplotnih tretmana, sa podjednako efektivnim sistemom, postavlja se pitanje razvoja tehnologije za eliminaciju patogena, a koja će biti zahtevana samo za vremena izbijanja objavljive bolesti. Tehnologija još nije dovoljno razvijena kao pogodna alatka za dekontaminaciju farmskih otpada. Generalno, zahteva se unapređeno istraživanje na polju razvoja ove tehnologije.

## Prednosti iradijacije

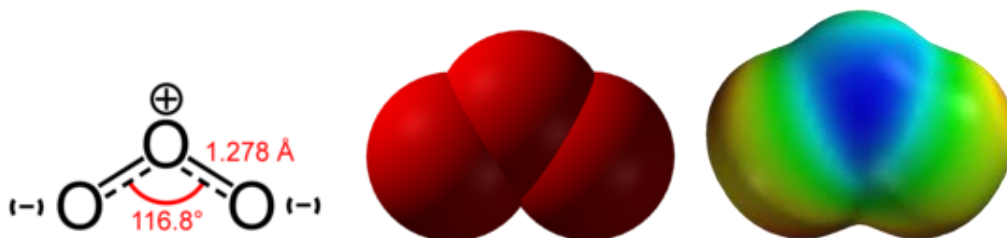
- Jednostavan koncept i veoma efektivan kod izvesnih patogena.
- Zahtevano kratko vreme izlaganja.
- Nivoi doza varirajući u saglasnosti sa rizikom i tipom TS.

## Mane iradijacije

- Veoma visoko kapitalno ulaganje.
- Pogodni samo za kontrolu patogena bez ekološkog benefita.
- Ozbiljna zabrinutost za bezbednost i zdravlje.
- Virusi teže ka priličnoj rezistentnosti.

Ozon ( $O_3$ ) je troatomski molekul koji se sastoji od tri atoma kiseonika. On je *alotropna modifikacija* kiseonika, mnogo nestabilnija od uobičajenog dvoatomskog oblika,  $O_2$ . Pri standardnim uslovima, ozon je plavičasti gas, koji na temperaturi ispod  $-112\text{ }^\circ\text{C}$  prelazi u tamno plavu tečnost, koja dalje ispod  $-193\text{ }^\circ\text{C}$  prelazi u tamno plavi „led“.

*Alotropna modifikacija* nekog elementa je pojava kada se neki element javlja u više oblika sa različitim brojem atoma u molekulu ili strukturnoj formuli



Primer molekula ozona

Ozon je snažan oksidacioni agens, što je u vezi sa njegovom nestabilnošću, pri čemu prelazi u običan dvoatomski kiseonik:  $2 O_3 \rightarrow 3 O_2$ . Ova reakcija ubrzava se sa porastom temperature i padom pritiska. Ozon je opšteprisutan u Zemljinoj atmosferi, dok je u slojevima pri zemlji jedan od opasnih zagađivača, sa štetnim uticajem na ljudska i životinjska pluća. U gornjim slojevima stratosfere, sprečava prodor štetnih UV zraka do površine Zemlje. Takođe može da nastane iz  $O_2$  električnim pražnjenjem u atmosferi ili pod uticajem visokoenergetskog elektromagnetnog zračenja. Brojni električni uređaji mogu generisati ozon, posebno visokonaponski poput laserskih štampača, mašina za fotokopiranje ili lučno zavarivanje. Svi električni motori sa komutatorskim četkicama stvaraju izvesnu količinu ozona, manje više proporcionalnu veličini i snazi motora.

Pri veštačkoj produkciji, rezultatni ozon mehurasto struji kroz otpadnu vodu radi njene dezinfekcije. Ovo se široko koristi u industriji konzumne i preradi otpadne vode, kao parcijalan ili združen metod, jer mikroorganizmi, čak *Cryptosporidium parvum*, mogu biti efikasno uništeni ozonom sa ekonomski umerenim doziranjem. Od strane više autora potvrđeno je da su virusi generalno više otporni na ozonizaciju od bakterija, kao što je *E. coli*. (*Warriner et al, 1985*) tvde da je poliovirus bio više osetljiv na ozon nego koliformi (koliformi su aerobni i fakultativno anaerobni, gram-negativni bacili debelog creva, koji ne prave spore, a fermentišu laktozu radi formiranja kiseline i gasa).

Kada je koncentracija organske materije visoka, primenjena doza ozona mora biti povećana kao proporcija njenoj efikasnoj neutralizaciji. Tako proces postaje skup, a njegova efikasnost opada. Ukupni nivoi organskog ugljenika ukazuju na potrebu veće doze ozona pri pokušaju redukcije broja koliforma. Dakle, viši nivoi ozona biće zahtevani pri inaktiviranju virusa u tečnim stajnjacima sa više zastupljenom čvrstom fazom i povećanim zahtevom za

hemijskim kiseonikom HPK od prisutnog u otpadnoj vodi. Ovo predstavlja razlog zašto je danas upotreba ozona ograničena na vodu za piće ili čistu otpadnu vodu. Tretman ozonom na stočne stajnjake može biti očekivan kao nepraktičan, mada je dekontaminacija vode u izmuzištima moguća.

UV iradijacija Reprezent je jedne od široko primenjenih tehnika pri snabdevanju industrijskom vodom u smeru virusne i bakterijske dekontaminacije. Generalno, virusi su mnogo otporniji na UV zračenje od bakterija (Harris et al, 1987), a u nekim slučajevima, zahtevaju 3-4 puta veće doze od bakterija. Međutim, virusi, suprotno bakterijama, nisu u stanju da fotoreaguju nakon oštećenja nukleinske kiseline sa UV. Bakterija poseduje ćelijske mehanizme za obnavljanje nekih promena pri izlaganju svetlosti izvesnih talasnih dužina.

Dakle, UV je pogodna samo za dekontaminaciju pri visokom prenosu radijacije. Životinjski TS, sa značajnom količinom plutajućeg materijala, očigledno nisu potencijalne materije za primenu tehnologije UV ozračivanja. Mada pogodne i lako montažne, potapajuće lampe u ravnomerno razređenim TS, relativno brzo postaju obložene proteinom ili drugim organskim materijalima poprečno povezanim anorganskim jonima, kao što je kalcijum, željezo i fosfat. Otuda kvarcni rukavi zahtevaju redovno i regularno čišćenje. U ovom slučaju, temperatura TS ima mali efekat na UV dezinfekciju, (Severin et al, 1983). Mada UV tretman nije praktičan za dekontaminaciju tečnog stajnjaka, sem u slučaju prethodnog bistrenja, on može biti pogodan za higijensku vodu sa relativno visokim dozama zračenja.

Stubna filtracija otpadne vode kroz pesak ili zemlju primenjuje se na industrijsku vodu radi prečišćavanja njenih otpadaka i odstranjivanja potencijalno prisutnih patogena. Tako su (Lam et al, 1993) ukazali da je 100% E.coli bilo odstranjeno iz stajnjaka pri prolasku kroz vulkansko zemljišno stub, a manji stepen odstranjivanja zabeležen je pri filtraciji kroz stub granitnog zemljišta. Generalno, svi testirani sistemi nisu pokazali kompletno odstranjivanje patogena. Gerba et al, (1991) ispitivali su zemljišno-vodeni filter tretman za odstranjivanje virusa u otpadnim vodama, i pronašli da je samo  $10^1$  do  $10^2$  redukcione zajednice uočeno nakon kretanja otpadne vode kroz pet metara zemlje, pri koraku 15 metara na dan. Bolje odstranjivanje virusa ostvareno je sporijom stopom kretanja vode 1 m/dan. Ovaj metod je relativno jeftin, ali se njime virusi pre odstranjuju nego inaktiviraju. Zemljišni tip filtera kvalitativno i protočno je kritičan, jer sam proces je veoma spor, tj. protočne stope zahtevaju niske vrednosti radi maksimiziranja odstranjivanja virusa. Usled relativno brzog zagušenja, zemljišni stubovi zahtevaju redovno čišćenje, što postaje zahtevno učestalije pri tretmanu tečnosti sa visokim sadržajima čvrstih primesa, kao što je TS. Stoga, ovaj tretman nije preporučljiv za prečišćavanje raznih varijanti TS, osim eventualno otpadne vode u izmuzištima.

Princip oligolize je dejstvo jonizovanog bakra (Cu) i eventualno parcijalne elektrolize vode. Naime, bakarne elektrode uronjene su u stajnjak, a električna struja niske voltaže (1,5-24 V) propušta se naizmenično između njih u periodu jednog meseca ili duže. Dakle, joni bakra otpuštaju se u varijantu TS i deluju kao bakteriostatski element. Tokom nekoliko dana pre pražnjenja stajnjaka i njegovog tretmana na zemljištu, Cu elektrode su zamenjene Fe elektrodama. Ovo omogućava da oko 75% unešenog bakra putem oligolize bude odstranjeno iz stajnjaka. Velika atrakcija procesa je njegov jednostavan razvoj i mali troškovi ulaganja. Ovo je predmet interesovanja sa aspekta odstranjivanja patogena iz ČS i TS i za redukciju neprijatnih mirisa.

Colanbeen i Neukermans (1992) tretirali su svinjski stajnjak putem oligolize tokom tri meseca i utvrdili da nije bilo signifikantne redukcije patogenih indikatora. Međutim, utvrđen je trend smanjenja neprijatnih mirisa u odnosu na netretiran stajnjak. Rad na Univerzitetima Padova i Milana (Sorliny et al, 1990) indicirao je  $\log_{10}$  redukciju fekalnih coliforma i

streptokoka. Međutim, više od  $10^4$  po litri bilo je ipak prisutno u svinjskom i govedem stajnjaku.

*Isaac et al, (1991)* upoređivali su gasne emisije iz skladištenog i tretiranog stajnjaka putem oligolize. Utvrdili su da je  $H_2S$  opao za 97%, ali nije bilo razlika u organski masnim kiselinama ili fenolnim jedinjenjima. Pad intenziteta neprijatnih mirisa izazvan je jedino redukcijom slobodnih sulfida, pre nego promenama u metabolističkim supstancama proizvedenim od strane mikroba.

Konačan dokaz benefita u primeni ovog metoda sa aspekta redukcije patogena ili kontrole neprijatnih mirisa nejasan je, što stavlja velik znak pitanja nad njegovom širom primenom. Treba ipak naglasiti da je unošenje izvesnih količina bakra u farmske otpatke negativan ekološki uticaj.

Iako sve interesantniji, magnetizam je loše shvaćena tehnologija, principiuelno atraktivna zbog lakog razvoja i niske cene koštanja. Oprema je dostupna uz minimalan pogonski input, ali je na raspolaganju malo objavljenih radova u cilju njene verifikacije. Siromašno objavljena probna istraživanja na nivou laboratorijske skale upoređuju primenjen magnetizam sa kontrolom. Temperatura i sadržaj suve materije nisu odstupale između tretiranog i kontrolisanih stajnjaka, ali je površinski sloj bio neznatno ređi i nitratni sadržaj neznatno manji u tretiranom stajnjaku u odnosu na kontrolni, dok ostale forme azota (tj. 99% od ukupnog azota) nisu se razlikovale, (*Leinonen et al, 1998*).

Uopšteno, u odsustvu dokaza, ova tehnologija ne može biti preporučljiva.

Aditivi stajnjaku, kao posebna forma hemijskih dezinfektanata, označeni su pod mnogo različitih imena. Zajednički, svi oni imaju atraktivnost jednostavne upotrebe, ali objavljena uputstva za upotrebu sa benefitima, praktično, nisu realna. Glavne komponente ovih aditiva kreću od verodostojnih enzima, suvih mikroorganizama i hemikalija, do bizarno aktiviranih silicijumski oksidnih čestica. Njihova preporučena upotreba od strane proizvođača odnosi se na odstranjivanje neprijatnih mirisa i prevenciju stvaranja pokorice ili taloženje TS. Izvestan broj ovih aditiva testiran je, ali bez pouzdanih dokaza njihove efikasnosti pri redukciji brojnih patogena.

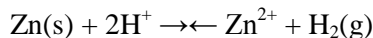
#### 4.12.3. Tehnološki tretmani stajnjaka

Svi organski otpadi, uključujući životinjski stajnjak, neminovno su objekat biološke dekompozicije putem aerobnog ili anaerobnog dejstva mikroorganizama. Na razvojni put ovih sistemskih tretmana može uticati inicialno sastavljanje mikrobiološke flore i faune u otpadnoj vodi i sastav obuhvaćenih substrata. Međutim, glavni limitirajući faktori procesa su preovladavajući uslovi u samoj zoni tretmana: nivo aeracije (*redox potencial*), pH i temperatura otpadne vode, stepen podstaknutosti i održanja biomase (suspendna materija).

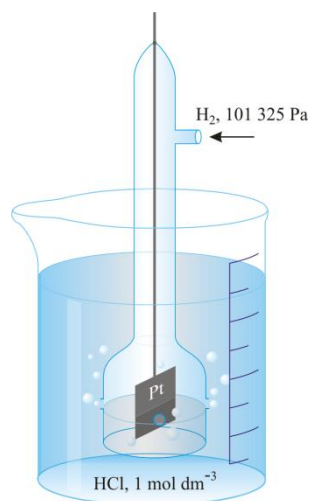
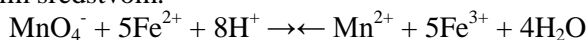
*Redoks* je skraćenica za reakcije oksidacije-redukcije.

*Elektrodni ili redoks potencijal* je potencijal reverzibilne oksidaciono-redukcione elektrode, meren s obzirom na referentnu elektrodu, te korigiran s obzirom na standardnu vodonikovu elektrodu u adekvatnom elektrolitu.

*Redoks-reakcije* su oksidaciono-redukcione reakcije u kojima se prenosi jedan ili više elektrona. Kada atom, jon ili molekula izgubi jedan ili više elektrona, on se oksidira, tj. kada atom, jon ili molekula primi jedan ili više elektrona on se oksidira.



*Redoks-titracija (oksidaciono-redukciona titracija)* je titracija bazirana na *redoks-reakciji*. Npr. željezo u vodi se može odrediti tako da se otopljeno željezo prevede u  $\text{Fe}^{2+}$  i zatim titrira rastvorom kalijum permanganata ( $\text{KMnO}_4$ ), kao jakim oksidacionim sredstvom.



Kontrola procesa podrazumeva uticaj na najbolje uslove tretmanske sredine u cilju interesa aerobnih vrsta. Za aerobnu aktivnost, najvažnije karakteristike digestije obuhvataju:

- Biološka stabilizacija otpada sa poremećajem reaktivnosti tokom oksidacionog procesa organske mase (stanje reprezentovano biološkom potrošnjom kiseonoka-BPK).
- Odstranjivanje neprijatnih mirisa organskih supstanci njihovom oksidacijom radi obezbeđenja relativno mirisno slobodnih jedinjenja, kao što su  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$ .
- Povećanje raspoloživosti nekih biljnih hraniva (na taj način unapređenje hranljive-fertilizacione vrednosti),
- Produkcija toplote (uključujući kontrolu patogena putem pasterizacije).
- Nitrifikaciona i denitrifikaciona aktivnost (mineralizacija azotnih jedinjenja sa omogućavanjem odstranjivanja azota kao forme  $\text{N}_2$  i  $\text{N}_2\text{O}$ ).
- Poboljšanje konzistentnosti otpada putem olakšane manipulacije.
- Za TS aeracija dozvoljava lakše pročišćavanje, a na taj način znatno efikasnije odstranjivanje nerastvorljivih materija, uključujući neke fosfate i teške metale.



*Hemijska potrošnja kiseonika (HPK)* se koristi za procenu stepena zagađenja vode organskim materijama, a naročito ako su prisutne značajne količine industrijskih voda. HPK karakteriše oksidacija komponenata samo u CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O i NH<sub>3</sub>. Ako je poznat hemijski sastav organskih komponenata potrebna teorijska količina kiseonika može se odrediti na osnovu stehiometrijskih jednačina. Laboratorijsko određivanje HPK vrši se dihromatnom oksidacijom u jako kiselom rastvoru. Izmerene vrednosti su obično manje od teorijskih. HPK se najčešće izražava potrošnjom O<sub>2</sub> u mg/l.

*Biološka potrošnja kiseonika (BPK)* je količina kiseonika potrebna da se izvrši biološka oksidacija prisutnih, biološki razgradljivih, sastojaka vode. Stepem zagađenosti vode organskim jedinjenjima definisan je pored HPK i ovim parametrom (BPK). Temperatura i vreme razgradnje utiču na veličinu BPK, tj. sa povećanjem temperature raste i brzina potrošnje kiseonika (biohemijska oksidacija). Smatra se da je potrebno 5 dana kako bi se razgradio veći deo (70%) prisutnih organskih materija, i to na stalnoj temperaturi vode od 20°C, što se i uzima za jedinicu (BPK5). Prvo se odredi količina rastvorenog kiseonika na početku inkubacionog perioda, odnosno prvog dana, a zatim se izmeri količina rastvorenog kiseonika u uzorku nakon 5 dana inkubacije na 20 °C. Razlika između ove dve vrednosti količine rastvorenog kiseonika u uzorku predstavlja vrednost BPK5.

BPK5 vrednosti ne prikazuju stvarnu vrednost ukupnog BPK, jer biološka oksidacija organskih materija zahteva dosta duže vreme od 5 dana. Oko 95-99 % reakcija završava se posle 20 dana. Međutim, kako je ovo isuviše dugo vreme da bi se došlo do rezultata, obično se uzima period od 5 dana za određivanje. Za većinu otpadnih voda, vrednost BPK5 se kreće u granicama između 60-80 % od ukupnog BPK.

Esencijalni preduslov za svaki aerobni sistem tretmana, bilo za dekompoziciju tečne ili čvrste biomase, predstavlja održavanje njene optimalne količine vazduhom putem mikroorganizama. Zadovoljavajuća aeracija u tečnom stajnjaku obuhvata rastvaranje dovoljno kiseonika u substratu radi zamene, po prirodi anaerobnog ambijenta (lišenog kiseonika i hemijske redukcije), sa aerobnim ambijentom. Kao rezultat, reaktivna organska materija, okarakterisana sa BPK5 (petodnevni zahtev za biohemijskim kiseonikom), rapidno je oksidovana u relativno neškodljive produkte kao što su CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O. Isti pristup je zahtevan u sistemskim tretmanima za čvrste otpatke, tj. kompostiranje. Ključni zahtevi su kontrola veličine frakcija na pripreмноj stanici, a potom obezbeđenje adekvatnog mešanja tokom samog procesa. Ovi rezultati u makro-poroznoj strukturi supstrata omogućavaju: adekvatnu aeraciju, kontrolu sadržaja vlage u materijalu i izbegavanje prekomernih gubitaka toplote iz supstrata.

Serijski i polugrupni tretmani tečnih stajnjaka okarakterisani su kao procesi sa nestalnim stanjem, gde se uslovi konstantno menjaju na uređen način. Definicije procesa variraju, ali u većini slučajeva, bazna forma obuhvata parcijalnu posudu koja je napunjena, aerisana a nakon toga potpuno ispražnjena-pravi serijski proces. Mada prostiji, ovaj prilaz neizbežno vodi ka širokoj varijabilnosti u pogledu nivoa zahtevane aeracije, pa je dobra kontrola otežana. Sa kratkim tretmanima, manje od sedam dana, rapidan porast biološke aktivnosti u prvih nekoliko dana može olako prekoračiti kapacitet aeratora i izazvati ogromne količine pene. Jedini upotrebljiv primer ovog pristupa je blaga aeracija lagune u okviru aktivnog perioda od nedelje do mesec dana. U stvarnosti, ovo je često poluserijski proces, kod koga se tokom dorade stajnjaka, on može dodavati po režimu determinisanom pogodnim tajmingom za pražnjenje rezervoara.

Najprihvatljivija strategija serijske dorade je praćenje periodično promenljive i ciklične operacije. Ovakvi procesi često su okarakterisani serijama očiglednih faza, kao što su:

punjenje, aeracija, gravitaciono taloženje i pražnjenje. Kvalitet tretiranog materijala može da se menja od serije do serije usled fluktuacije sastava substrata i varijabilnosti procesa. Istina, postoji opcija usavršavanja kontrole procesa neutralizacije ovih varijacija, ali za tretman TS neisplativa.

Serijska operativnost opravdanija je u tretmanu ČS, što je simbolizovano kroz pojam njegovog kompostiranja.

Kontinualni tretman danas je najprihvatljiviji za otpadne vode i tečne otpatke, uključujući i TS. On se široko koristi kao biološki proces, gde se očekuju slični dnevni volumeni otpadnih fluida. Obezbeđenje konstantnih biološko-fizičkih uslova vodi ka izbegavanju većih varijacija aktivnosti procesa. Visok stepen automatizacije sa niskim učešćem radne snage, u ovom slučaju lako su primenljivi. Alternativa polukontinualne operativnosti koristi se tamo gde se želi određeni stepen pojednostavljenja. Ovo podrazumeva naizmeničan režim rada pumpnih jedinica u cikličnom modalitetu sa lakšom kontrolom procesa. Logično, značajno jeftinije je aktivirati snabdevnu pumpu primenom fiksne doze u satnom intervalu, nego startovati je u stalno kontrolisanoj protočnoj stopi.

Kontinualni sistemi manje su prihvatljivi za tretmane sa ČS. Međutim, velike kompostne jedinice često obuhvataju automatsku kontrolu procesa i opremu za mehaničku manipulaciju, a mogu biti upravljane kao polukontinualne ili kontinualne operacije.

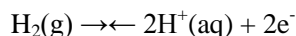
Radi lakšeg praćenja proslednog izlaganja, korisno je definisati neke od glavnih termina, često upotrebljivanih za opis aerobnih procesa. Najopštiji uzrok konfuziji je termin nivo aeracije. Naime, ovaj pojam podrazumeva preovlađujuću, sondno merljivu koncentraciju rastvorljivog kiseonika. Ovi uređaji su na pragu osetljivosti <1 mg po litru kiseonika (*1 mg per liter* „, *lppm*), kada aerobna sredina opstaje stabilna.

Alternativni uređaj za merenje niskih nivoa aeracije je oksidaciono-redukciona redox elektroda (*elektrodni potencijal*) sa izlaznim signalom u milivoltima. Obično korišćena, ili druge licencirane varijante, colomel sonda jasno će uočiti aeracione nivoe približne anaerobnim uslovima.

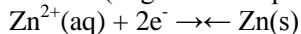
*Elektrodni potencijal* je potencijal elektrohemijske ćelije u kojoj je ispitivana elektroda spojena kao katoda, a standardna vodonikova elektroda ( $E = 0.000 \text{ V}$ ) kao anoda. Na katodi se uvek događa redukcija a na anodi oksidacija.

Elektrodni potencijal je po definiciji redukcijski potencijal. Prema IUPAC (the International Union of Pure and Applied Chemistry) dogovoru, izraz elektrodni potencijal namenjen je isključivo za polureakcije napisane kao redukcije. Predznak elektrodnog potencijala određen je predznakom dotičnog polučlana spojenog sa standardnom vodonikovom elektrodom. Pozitivni predznak ukazuje na spontanost reakcije u odnosu na standardnu vodonikovu elektrodu, tj. polučlan se spontano ponaša kao katoda.

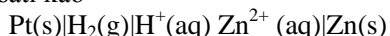
Član za mjerenje elektrodnog potencijala sastoji se od standardne vodonikove elektrode (dogovorno se piše levo)



i elektrode ispitivanog redoks-sastava (dogovorno se piše desno)



i može se shematski napisati kao



Elektromotorna sila (e.m.f.) ispitivanog redoks sastava jednaka je

e.m.f. = Edesna - Elijeva

Prema dogovoru je pri  $p(\text{H}_2) = 101325 \text{ Pa}$  i  $a(\text{H}^+) = 1.00$ , potencijal vodonikove elektrode jednak je  $0.000 \text{ V}$  pri svim temperaturama. Posledica takve definicije je da se ukupni potencijal svakoga galvanskog člana, koji sadrži standardnu vodonikovu elektrodu, pripisuje drugoj elektrodi

$$\text{e.m.f.} = E(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn})$$

Međutim, važno je uočiti da je aeraciona stopa, definisana kao kg O<sub>2</sub> po času snabdevanja, nezavisna od aeracionog nivoa. Napokon, tu je i funkcija konzumacije kiseonika. Npr. neko može aerisati sterilnu vodu na veoma visok nivo od 5-10 mg po litru, ali je praktično implicitna neaktivnost aeracionog procesa.

Efikasnost aeratora čest je termin za indikaciju specifično utrošene pogonske energije. Jedinice su često date kao upotrebljiv kg kiseonika po kWh angažovane energije. Aeratori se smatraju efikasnim ako ostvaruju više od 1 kgO<sub>2</sub>/kWh, čime su oni sa više od 5 kgO<sub>2</sub>/kWh (kao što su mehurasti sistemi), veoma efikasni. Međutim, mehurasti sistemi nisu opšte korišćeni za životinjski stajnjake na račun njihovog niskog specifičnog aeracionog kapaciteta ili intenziteta aeracije. Dakle, intenzitet aeracije je količina kiseonika raspodeljenog po jedinici zapremine reaktora u jedinici vremena, tj. kgO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>h. Intenzivni uređaji, kao što su površinski aeratori i venturi sistemi, snabdeće nekoliko puta veću količinu kiseonika od mehurastih sistema.

Takođe poznat termin visoko varietetnog karaktera, vreme zadržavanja ili hidraulično vreme zadržavanja, definisan je kao zahtevano vreme tretmana za ekvivalent reaktorsko-zapreminskog snabdevanja. Duže boravišno vreme tretmanskog ekvivalenta, tipično iznad nekoliko dana, rezultiraće mnogo blažim zahtevom za aeraciju sistema, a time potrebom za veće operativne rezervore. Energija unešena u tečnost, putem aeracije, često je viša od minimalno zahtevane za dobro mešanje, mada u slučaju dugih boravišnih vremena >40 dana, po pravilu, siromašno mešanje materijala uzrok je niskom intenzitetu njegove aeracije. Dakle, podizanjem stepena automatizacije, tj. pouzdanim sistemom monitoringa sa adekvatnim senzorima niskog histerezisa, ove procese moguće je značajno poboljšati.

Očekivani benefiti aerobno tretiranog TS uglavnom se dovode u vezu sa redukcijom širokog polja uticaja:

- Redukcija emisija neprijatnih mirisa tokom skladištenja tretiranog stajnjaka na farmi i njegovog proslednog rasturanja po zemljištu.
- Skoro totalna eliminacija emisija etana.
- Redukcija koncentracije amonijaka u stajnjaku (ili oksidacijom u nitrat ili asimilacijom u biomasi). Nitrifikacija omogućava veliku redukciju azotnog opterećenja preko proslednog denitrifikacionog procesa.
- Signifikantna redukcija koncentracije reaktivne organske materije (iskazano preko BPK5 sadržaja) uključujući masne kiseline i promenljive (lako isparljive) čvrste faze.
- Oksidacija H<sub>2</sub>S u soli sumporne kiseline (posebno zbog respekta ka zdravlju farmskog osoblja i njihove bezbednosti).
- Dezinfekcija stajnjaka inaktiviranjem izvesnih patogena, koji su strogo anaerobni (žive bez prisustva molekula O<sub>2</sub>),ka što je Enterobacteriaceae (*Salmonella*, *Eschericia coli*), fekalna streptokoka i neki virusi.
- Poboljšanja homogenosti i protočnih karakteristika stajnjaka (redukovani energetski zahtevi za mešanje, moguća upotreba modernih rasturača TS).
- Manje štetnost za lišće (bolja hranibdeno upotrebna vrednost pri korišćenju i znatno unapređenje biljnih performansi).

Muljni oblici, nastali kao produkt sedimentacije iz materije izložene aerobnom procesu, sadrže širok opseg mikroorganizama. Mnogi od njih prirodno su prisutni u životinjskim stajnjacima, a šire u okruženju. Međutim, uslovi biološkog tretmana vodiće ka dominaciji mnogo manjih podgrupnih organizama, takođe efektivnih pri različitim procesima razgradnje organske materije u sirovom otpadu.

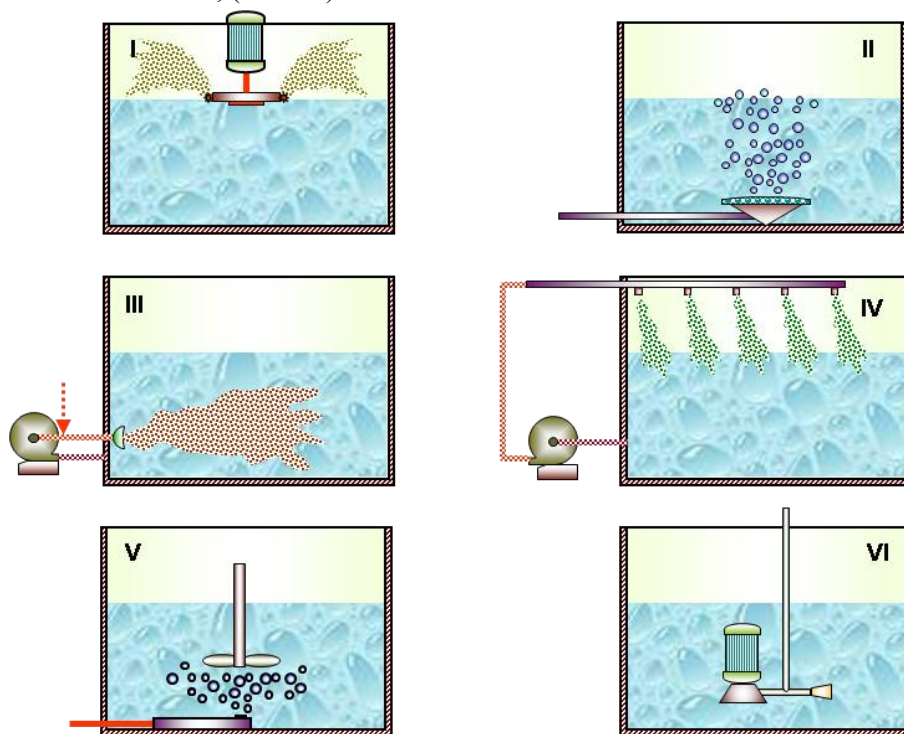
Na osnovu prosečne temperature tretmana, aerobni proces može biti podeljen na psihrofilni (psihrofilne bakterije koje brzo rastu na 10 °C, a sporije na 4,4 °C, izazivajući

nepovoljne fizičke promene i miris mleka), mezofilni (mezofilne bakterije sa optimalnim rastom pri umerenim temperaturama 20-45 °C, optimalno 37 °C) i termofilni (termofilne bakterije sa temperaturnim opsegom 45-90 °C). Psihrofilni procesi (ispod 5 °C) pokazuje veoma sporu degradaciju ugljenika i neprisutnost procesa nitrifikacije (*nitrifikacija*-proces transformacije amonijaka od strane bakterija Nitrosomonas i Nitrosococcus u nitrite, NO<sub>2</sub> i nitrita od strane bakterija Nitrobacter u nitrate, NO<sub>3</sub>, kao rastvorljiv oblik upotrebljiv za biljke. Većina sistema aerobnog tretmana tipa su mezofilnih. Stopa stvaranja toplote, kao rezultat mikrobiološke oksidacije ugljenika, u pozitivnoj je korelaciji sa BPK5. Za mezofilne procese, BPK5-„tovar“ ne treba da pređe vrednost 2 gr/litar/dan. Za održavanje aerobnih uslova, oksidaciono-redukциони potencijal treba tipično da bude iznad +100mV (colomel elektroda), koji je grubo ekvivalentan rastvorenoj koncentraciji kiseonika iznad 0,5 mg/l. U dobro kontrolisanim kontinualnim aerobnim tretmanima, niži nivoi aeracije mogu biti tolerisani, bez značajnih gubitaka performansi raspada organske materije, mada nitrifikacija može biti značajno redukovana.

Većina mikroorganizama, pronađenih pri aeraciji TS i ČS, spadaju u kategoriju heterotrofnih organizama. Ovi organizmi probavljaju organski materijal radi iskorišćenja kompleksa organskih jedinjenja u njemu, fabrikujući njihovu telesnu masu, a pri tome koristeći energiju iz oksidacije organskih materijala.

#### 4.12.4. Aeratori i aeraciona oprema

Aerobni tretman može biti podeljen na kratki (vreme zadržavanja kraće od tri dana) i dugotrajni sa niskom i visokom stopom aeracije. Dostupni su mnogi parcijalni aeratori i aeracioni sistemi na tržištu, (sl. 4.27).



Slika 4.27 Primeri glavnih tipova aeratora  
I- površinski aerator, II- površinski mehurčač, III- injektor vazduha, IV- raspršujuća cev, V- porozni gasni injektor, VI- venturi

Prema načinu realizacije, aeracioni sistemi mogu se podeliti na: aeracija pod pritiskom (npr. perforirane cevi, difuzni disk, cevni difuzor), usisna aeracija (venturi, mlazni motor) i površinski aeracioni sistemi-svaki sa posebnim karakteristikama, (tab. 4.10.).

Tabela 4.10 Karakteristike nekih od glavnih tipova aeratora, (Hahne, 1997).

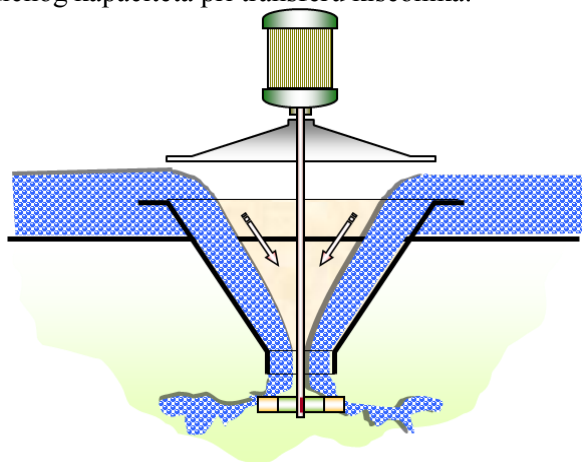
Tip	Perforirana cev	Dufuzorski disk	Usis (venturi aerator)	Površinski aerator
Troškovi ulaganja	***	*	**	***
Tekući troškovi	***	****	**	**
Efikasnost transfera O <sub>2</sub> , kgO <sub>2</sub> /kWh	**	****	***	***
Kontrola mirisa	0,7-0,9	2-5	1-2	1,5-2,3
Kratki tretman, <5 dana	**	***	****	***
Dugi tretmani, >5 dana	*	*	**	***
Nitrifikacija	**	****	***	***
Termofilna aeracija	*	***	**	**
Kontrola penosti	*	****	***	*
Pouzdanost	**	**	***	***
	**	**	***	**

Rejting od \*\*\*\*(najbolji) do \*(najgori)

Izbor pogodnog aeracionog sistema zavisi od nekoliko faktora:

- nabavna cena
- zahtevan intenzitet aeracije (kg O<sub>2</sub> po litru tretiranog tečnog otpada po času),
- zahtevan ukupni aeracioni kapacitet (kg O<sub>2</sub> po času);
- minimalna efikasnost transfera kiseonika (kgO<sub>2</sub>/kWh);
- ciljevi tretmana (npr. redukcija neprijatnih mirisa, stabilizacija TS i ČS, odstranjivanje azota, dezinfekcija),
- važnost kontrole pene,
- važnost pouzdanosti i
- koncentracija sirovog stajnjaka i tip stajnjaka.

Kao primer, usisni i površinski aeratori bolje su prilagođeni za više koncentrovane stajnjake (sl. 4.2.), dok su difuzorski aeratori efikasniji u razblaženim tečnim otpadima usled njihovog malog specifičnog kapaciteta pri transferu kiseonika.



Slika 4.28 Površinski aerator sa vazdušno provodnom i merom za kontrolu pene.

Pri višim protočnim stopama, kontrola penastih formi postaje mnogo važnija. Ovo može da se kontroliše naizmeničnim aeracionim ciklusima, sa rizikom ozbiljne redukcije efekta aeracije stajnjaka i tendencijom ka anaerobnosti procesa. Iskustva ukazuju da je bolje kontrolisati penu upotrebom mehaničkih dezintegratora pene. Generalno, preporučuje se dozvoljeno prisustvo penastog materijala do 30% od zapremine reaktora. Upotreba hemikalija za kontrolu pene moguća je, ali nije preporučljiva zbog nabavne cene aparature za doziranje, tekućih troškova (potrošnja hemikalija) i ponajmanje, zbog rizika prirodnog okruženja. Generalni problem aeracije stajnjaka može biti emisija neprijatnih mirisa, tj. amonijaka i ostalih gasova, kao njenih produkata, posebno kada se proces odvija nekontrolisano. *Burton et al, (1993)* izveštavaju o gubitku 4 do 11% od totalnog azota u formi azotnog oksida pri aeraciji svinjskog stajnjaka. *Pahl et al, (2001)* povezali su ove gubitke za nekompletnu nitrifikaciju i denitrifikaciju. U istim proučavanjima, tokom kratkotrajnih tretmana izgubljeno je do 2% ukupnog azota u formi amonijaka.

Efikasnost aeracije na polju odstranjivanja organske materije limitirana je na više reaktivne organske komponente stajnjaka, kao što su isparljive masne kiseline. Generalno, ova jedinjenja mogu biti smatrana formljivim tokom petodnevno biohemijski zahtevnog procesa za kiseonikom ili BPK5. Aeracioni sistemi sa više od 2-3 dana zadržavanja tretiranog materijala mogu lako odstraniti više od 90% BPK5, a koji pada na nivoe od samo nekoliko desetina ppm nakon pet dana. Nakon toga, ostaje relativno inertna organska frakcija, uglavnom sastavljena od nerastvorljivog materijala. Zavisno od tipa farmskog otpada, ovim se može korisno opravdati do 80% totalnog organskog tovara, što se identifikuje kroz zahtev za HPK datog stajnjaka tokom, ne kraće od, petodnevnog tretmanskog perioda, (*Evans et al, 1983*).

Efekat aerobnog procesa zavisi od dužine njegovog trajanja, pa se shodno tome razlikuju *kratki* i *dugi* anaerobni tretmani. Kratko intervalna aeracija (vreme zadražavanja kraće od dva dana) rezultira rapidnom degradacijom BPK5, sa posebno isparljivim masnim kiselinama, kao ekstremnim reprezentima degradiranih elemenata. U serijskim procesima, brzina degradacije BPK5 striktno zavisi od ambijentalne temperature pod mezofilnim uslovima i raste sa porastom temperature do 40 °C. Za kontinualne procese temperatura ima manji uticaj, posebno kod reaktora sa kontinualnim mešanjem.

Ključna karakteristika aeracije je moć visokog stepena redukcije neprijatnog mirisa iz tretiranih organskih materijala. Mnogi od tih neprijatnih mirisa rezultat su prisustva relativno malih količina jednostavnih organskih jedinjenja jake redukcije prirode, npr. sulfidi. Naime, često su oni rezultat anaerobnog truljenja, a mogu uspešno izazvati odvratnost prisustva humanog faktora u neposrednom okruženju, tj. potrebu ka njihovoj bezuslovnoj eliminaciji. Benefitni uticaj aeracije je kristalan, jer omogućava brzu oksidaciju takvih jedinjenja i posledično formiranje manje neprijatno mirisnih produkata. Međutim, nakon aeracije, anaerobna aktivnost vratiće se u okviru nekoliko dana, sa regeneracijom mirisnih jedinjenja iz ostatka organske materije. Dakle, radi maksimalnog benefita, TS aerisan na kratke periode treba da bude primenjen na zemljištu u okviru dana tretmana,.

Dugotrajniji procesi aeracije >3 dana rezultiraju znatno efektivnijom degradacijom ugljenikovih jedinjenja. Prema rezultatima izveštaja, u okviru četverodnevnog tretmana, za svinjski TS totalna BPK5 koncentracija može biti redukovana sa više od 90%, a HPK redukcija do 33%, (*Sneath et al, 1992*). Pri temperaturnom intervalu 25 do 45 °C i osmodnevnom aeracionom periodu, ostvarena je ukupna redukcija čvrste faze između 10-20%, (*Evans et al, 1983*). Dugotrajna aeracija takođe redukuje emisiju neprijatnih mirisa tokom sledećeg skladištenja i raspodele. Veća stabilnost, pri poređenju sa kratkim tretmanima, može da se očekuje kao rezultat raspada relativno više inertne organske materije, koja će se inače anaerobno raspadati tokom skladištenja. Na primer, aeracija stajnjaka tokom približno

četiri dana, može da redukuje emisiju neprijatnih mirisa nakon njegove raspodele na polju sa 70% u odnosu na netretiran stajnjak. Tokom skladištenja, koncentracija patogena znatno brže opada ako je stajnjak ranije aerisan. Osim toga, dugotrajna aeracija može da transformiše azot u neisparljivu formu nitratnog azota ili njegovo odstranjenje preko prosledne denitrifikacije u  $N_2$  formi.

Prema primenjenoj aeracionoj stopi, razlikuju se visoki ili niski aerobno termofilni procesi. Visoke stope aeracije prati problem intenzivne emisije amonijaka. Obe varijante zadovoljavajuće su za homogenizaciju i stabilizaciju stajnjaka, pri tome značajno smanjujući odnos  $C/N$ , sa propratnom redukcijom neprijatnih mirisa. Kao posebno važno, patogeni mogu biti visokoprocenatno inaktivirani usled viših temperatura tokom termofilnog tretmana. Ovaj proces nazvan je aerobno termofilna stabilizacija (ATS) i uopšteno obuhvata temperature tretmana više od 50 °C.

Dugotrajna aeracija >3 dana vodi ka nitrifikacionim procesima sa akumulacijom nitrita, Evans et al., 1986. Za dobre nitrifikacione performanse važna je dovoljna količina kiseonika i pH vrednost u rangu 6-8. Pri nižim pH vrednostima, nitrifikacija može biti ograničena proizvodnjom azotne kiseline  $HNO_2$ , a pri višim, formiranjem slobodnog amonijaka  $NH_3$ . Ako tretirani materijali u aeracionim rezervoarima nisu adekvatno izmešani, ili se proces odvija pod uslovima redukovane količine kiseonika, moguć je simultan tok nitrifikacije i denitrifikacije. Ovo može rezultirati dovoljnom transformacijom azota, ali nosi rizik zagađenja od nitratnih ili azotnih oksida. Veća efikasnost u pogledu denitrifikacije ostvaruju se serijskim aeratorima ili odvojenim sekcijama za nitrifikaciju i denitrifikaciju.

*Van der Kaa i Van Gastel, (1997)* prikazali su kalkulacioni model dimenzionisanja SBR postrojenja za odstranjivanje azota iz svinjskog TS. Njihov pristup zasnovan je na sledećem:

- oksidaciona stopa amonijuma od strane nitrosomonas bakterija nastaje oko 0,67 kg  $NH_4-N$  po kg nitrosomonas bakterija po danu, pri minimalnoj temperaturi od 10° C,
- koncentracija kiseonika od 1,5 mg/l i
- pH je 8.

Oni tvrde da aeraciona faza treba da bude oko četiri puta duža od prateće anoksidacione faze. Primenjujući ovaj pristup, npr. svinjska farma od 2500 tovnih grla zahtevaće SBR sistem od 90 m<sup>3</sup> radne zapremine tečnog volumena. Oksidacioni kapacitet aeratora trebaće najmanje 600 kg kiseonika/dan. Dodatni ugljenični izvor može biti potreban za kompletnu denitrifikaciju, zavisno od frakcije biodegradabilnog ugljenika u tečnom otpadu. Dostignuti nivo azota ispod 200 mg N/l sa biološkim sredstvima neće biti brzo moguće.

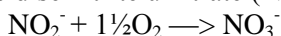
Hemotrofi ili hemoautotrofi (hemosintetički) su organizmi (bakterije) koji energiju za sintezu organskih materija dobijaju putem oksidacije nekih neorganskih jedinjenja. Sam proces se naziva hemosinteza i karakterističan je za neke vrste bakterija.

U zavisnosti od neorganskih materije koje oksidišu hemosintetičke bakterije se dele na: nitrifikacione bakterije, oksiduju jedinjenja azota i imaju glavnu ulogu u njegovom kruženju na našoj planeti; razlikuju se dve vrste ovih bakterije:

Nitrosomonas, bakterija koja oksidiše amonijak  $\text{NH}_3$  (ili amonijum  $\text{NH}_4^+$ ) u nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ):



Nitrobakterije, vrsta koja oksidiše nitrite u nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ):



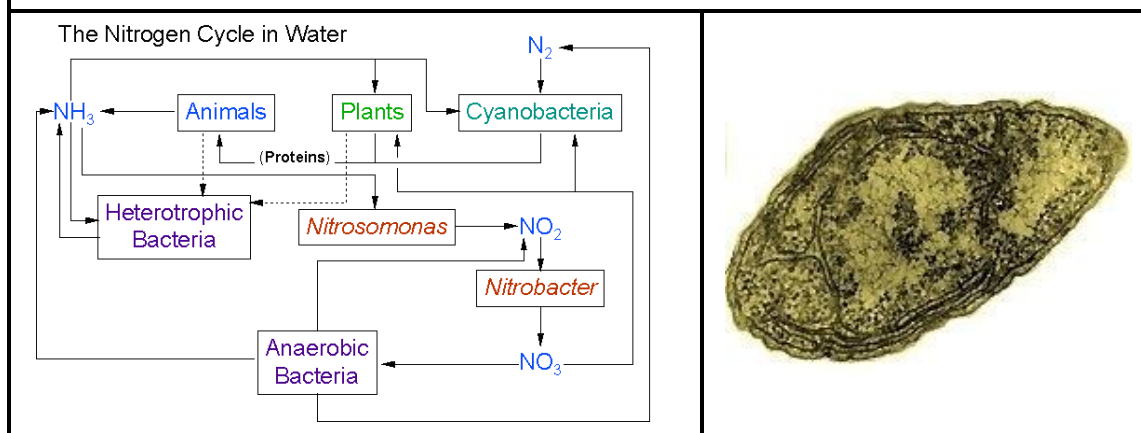
Obe vrste bakterija omogućavaju biljkama da iz zemljišta koriste soli azota pošto ne mogu da apsorbuju atmosferski azot. Na taj način one vrše prirodno obogaćivanje zemljišta solima azota. Nitrifikacione bakterije su aerobni organizmi, pa kada u zemljištu nema kiseonika, njihovo dejstvo prestaje, te se onda aktiviraju anaerobne denitrifikacione bakterije. Ove bakterije redukuju nitrite i nitrate do elementarnog azota. Proces denitrifikacije se u prirodnim uslovima može sprečiti stalnim preoravanjem zemljišta čime se omogućava njeno ventilacija.

Gvožđevite bakterije oksidišu soli gvožđa i nalaze se u vodama bogatim fero-jedinjenjima;

Sumporne bakterije oksidišu vodonik-sulfid do sumpora koji se sakuplja u njihovom telu;

Vodonične bakterije oksidišu vodonik.

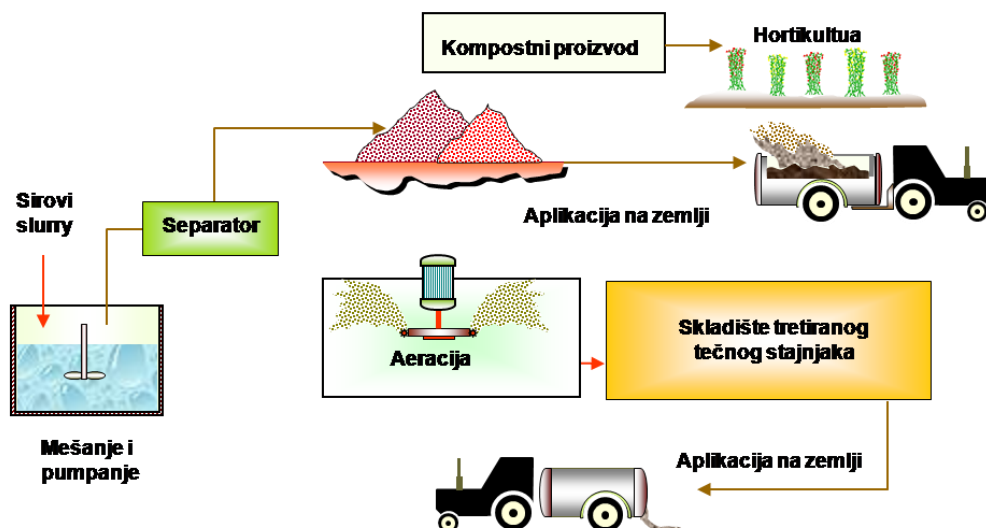
Metanske bakterije vrše oksidaciju metana.



Jednostavan i jeftin sistem za aerobni tretman stajnjaka u cilju smanjenja nivoa neprijatnih mirisa je aerisana laguna. Čvrste primese u stajnjaku povećavaju količinu zahtevanog kiseonika i potrebnu energiju za mešanje. Stepenn oksidacije zavisi od količine ubačenog kiseonika i dozvoljenog vremena reakcije u tretmanskome procesu. Opšta šema operativnosti data je na slici 6.4, a odnosi se na tri bazno upotrebne forme finišnog produkta:

- tretirana tečnost za irgaciju zemljišta,
- netrirane čvrste faze radi inkorporacije u zemlju i
- kompostirane čvrste faze za useve.





Slika 4.29 Šema aeracionog tretmana za životinjski stajnjak, (Bicudo, 2001).

Aerobne lagune mehanički su aerisane, ili projektovane kao prirodno aerobne. Njihova zahtevana projektovana zapremina je oko polovine od ekvivalentne anaerobne lagune. Međutim, radi obezbeđenja dovoljnog površinskog kontakta sa vazduhom, za prirodno aerobnu lagunu zapremina treba da je 4-5 puta veća nego anaerobni tip. Ovakva zapremina, zajedno sa potrebnih 1,5 m dubinskog limita, zahteva veliki zemljišni prostor, što prirodno čini aerobne lagune nepraktičnim za mnoge farme.

Zajednička oprema za aerobne lagune je površinski aerator. Aerisane lagune mogu značajno redukovati neprijatne mirise okruženja. Karakteriše ih hidraulično vreme zadržavanja tretiranog materijala od deset ili više dana. Ako se od njih zahteva samo kontrola mirisa, dovoljno hidraulično vreme zadržavanja je pet ili manje dana. Međutim, najbolje performanse ovih sistema zahtevaju boravišno vreme 20 do 30 dana, uz niže stepene intenziteta aeracije.

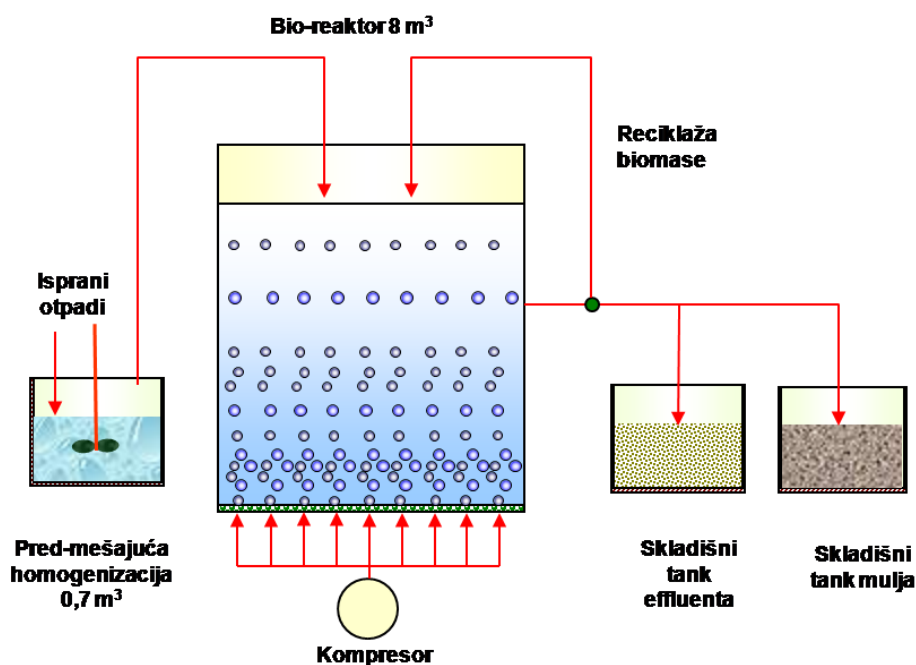
Ako je poželjna konverzija amonijaka u nitrata, tada je neophodan dodatni kiseonik radi azota. Pri deličnom konvertovanju organskog otpada, pod aerobnim uslovima, emisija neprijatnih mirisa iz lagune biće parcijalno redukovana. Očigledno, ovako izvedena aeracija angažovaće niže energetske troškove.

Mnogo izvedenih serijsko-aeracionih tretmana na farmama može biti proglašeno kao forma serijski ili polukontinualno snabdevajućih, tj. dodavanjem ili odstranjivanjem stajnjaka tokom procesa. Korišćenje serijskog tretmana može da izbegne potrebu za separatanim skladišnim kapacitetima za tretman tečnog otpada, ali laguna u tom slučaju mora biti dovoljno skladišna velika. Aeracija i sedimentacija-bistrenje sprovode se sekventno u istom rezervoaru ili laguni. Mehanička aeracija može biti kontinualna i sprovodi se tokom vremena punjenja rezervoara ili lagune. Kontinualna aeracija nudi opciju procesa sa stabilnim stanjem, kao i fenomen izbegavanja inicijalnog talasanja aktivnosti procesa. Alternativno, operativnost sistema sa naizmeničnom aeracijom dozvoljava razvoj aerobnih i anoksičkih uslova u laguni, koji zatim rezultiraju odstranjivanjem azota iz tečne faze putem nitrifikacije i denitrifikacije.

Biološki talozi-mulj, proizvedeni tokom aerobnog tretmana stajnjaka u lagunama, ili u drugim sistemima bioloških tretmana, treba da budu dovedeni u smireno stanje, transportovani, procesuirani i iskorišćeni. Tokom ovih aktivnosti moguća je značajna regeneracija neprijatnih mirisa, naročito kad su čvrste faze zadržane na periode iznad četiri nedelje.

#### 4.13. Serijski reaktori za tretiranje stajnjaka

Bazno operativno ograničenje laguna je kompleksno upravljanje tokom dugog perioda, uz periodične probleme odstranjivanja akumulirane čvrste faze, a bez oštećenja korišćenih sistema obloga i zaptivnih sredstava. Nadalje, zahtevaju veliki prostor, a kontrola tretmanskog sistema može biti teška po zonama aktivnosti. Shodno tome, često je upotreba nadzemnih skladišta prioritarna alternativa za mnoge systemske tretmane. Dakle, kontinualan tretman ponovo je opcija, ali upotreba serijskih sistema ponekad je prioritarna, obzirom da omogućava korišćenje lakših i odvojenih operacija. Jedan primer ovog tipa sistema za svinjski stajnjak opisan je od *Bicudo et al, (2001)*, (sl. 4.30).



Slika 4.30 Dijagram toka za sistem serijskog-grupnog reaktora (SBR) za isprani svinjski stajnjak u USA, (*Bicudo, 2001*).

Sirov stajnjak prepumpavan je u pilotnom postrojenju iz jednog inicijalno kolektorskog skladišta u sud za predmešanje, zatim u sistem serijskog reaktora SBR zapremine 8 m<sup>3</sup>. SBR sisteme karakteriše ponovljivost sekvenci procesa u rezervoaru. Redosled i broj procesnih koraka može da varira. Koršćene su četiri operativne šeme za treman svinjskog stajnjaka, uz ocenu svakog sistema tokom nekoliko meseci, kao i komparativna ocena dva sistema tokom deset dana HRT-hidraulično vreme zadržavanja i šezdesetodnevno vremena zadržavanja čvrste faze-SRT:

- A-kratak aeracioni ciklus (1 h „on“; 1 h „off“)
- B-dug aerobni ciklus (4-6 h „on“; 4 h „off“)
- i dva sa petodnevnim HRT i tridestodnevni SRT:
- C-kratak aeracioni ciklus (1 h „on“; 1 h „off“)
- D-srednji aeracioni ciklus (2 h „on“; 2 h „off“)

Pri tome su tečne probe uzete za ocenu pomoću mirisnog panela tokom nekoliko dana. One su ocenjivane na trokvalitativnom nivou mirisa: intenzitet mirisa (vidna koncentracija), iritacija mirisa (uticaj) i ofanzivnost mirisa (prijatan ili neprijatan). Za svaki parametar, panelisti su pozvani na subjektivnu procenu mirisa, po probama između minimuma (nula) i maksimuma (8)- prosečna vrednost za sve paneliste uzeta je kao skor uzorka.

Aerobni tretman vodio je ka poboljšanju kvalitativnih nivoa mirisa u svim slučajevima. Rejtingi mirisnih intenziteta opali su sa 6,5 u startnom otpadnom fluidu na 0,7 u tretiranom otpadnom fluidu. Rezultati analize kvaliteta mirisa takođe su pokazali da SBR signifikantno poboljšava prihvatljivost iz pritretmanske mirisne deskripcije: „veoma neprijatan“ do postretmanske deskripcije „prirodan miris“ za većinu testiranih operativnih uslova.

Danas postoji mnogo primera postrojenja kontinualnog aerobnih tretmana, pilotnih i u punoj upotrebi, za životinjske otpade u Evropi, posebno u Francuskoj i Holandiji. Tokom skorašnjih godina, mala pilotna postrojenja dala su put potpuno manipulativnim jedinicama sa produktivnošću više od 100 t/dan. Veće pilot studije nastavljaju se sa ciljem što veće povezanosti sa logistikom operativnosti, kao što su fundamentalne debate. Tendencijski, u svim pogledima, dobro su pokrivena u velikom broju dobro prezentovanih studija.

Miris, meren u mirisnim komorama, zasnovan na broju razblaživanja ka pragu detekcije, redukovano je za 70%, bez signifikantno povratnog dejstva tokom četiri meseca anaerobnog skladištenja. Cena ovog tretmana, zasnovana samo na tekućim troškovima, bila je između 2 i 3 eura po ugojenoj svinji do mase 70 kg.

#### **4.14. Kompostiranje čvrstih otpada**

Čvrsti otpad pri uzgoju stoke najčešće je rezultat mešavine prostirke i ekskreta. Tradicionalno, prostirka je bila od slame, periodično dislocirana u spoljašnju gomilu, sa vremenskom dezintegracijom na dole - „seoski stajnjak“. Sadašnje prostirke podrazumevaju usitnjenu slamu, strugotine, pa čak i papir. Važnost prostirke ogleda se kroz visok nivo ugljenika, što neutralizuje visok sadržaj azota u stajnjaku, pri tome produkujući odnos C:N mešavine bliži idealnom 1:20 do 1:40.

Pri razmatranju sistema za manipulaciju sa farmskim tečnim otpadima, vredni pomena su: čvrsti materijal odvojen pri bilo kom separacionom procesu i mulj bilo kog taložnog sistema. Stajnjaci peradarstva sadrže preko 50% čvrste faze, za razliku od ostalih čvrstih otpada farmi, u kojima može biti do 90% vode. Ovakav stajnjak može biti dovoljno suv za spaljivanje, što čini poseban ekološko-energetski postupak sa čvrstim otpadima, posebno u interakciji sa toplotnom pumpom, (Zoranović *et al*, 2010).

Direktno rasturanje netretiranih čvrstih otpada može povećati kvalitet strukture zemljišta, posebno u odnosima organskog sadržaja. Međutim, ako čvrsti stajnjak nije kompostiran, rizici su siromašnih efekata izuzimanja azota usled isparavanja i raskvašavanja. Takođe su prisutni rizici širenja bolesti i intenzivno dugotrajnih neprijatnih mirisa. Kompostiranje poboljšava nutritivnu vrednost životinjskog stajnjaka kroz povezivanje mineralno hranljivih sastojaka u stabilnu organsku strukturu. Uopšteno, kompostiranje može stvoriti stabilnu, suhu, dezinfikovanu i dezodorisanu hranidbenu materiju, što rezultira značajnom popravkom kvaliteta zemljišta. Dakle, kompostiranje omogućava upotrebu širokog opsega organskih taloga, kao i onih sa visokim sadržajem lignifikovane celuloze. U sirovim materijalima, sastojak čvrstih animalnih stajnjaka, ili čvrstih faza separiranih iz tečnog stajnjaka, formira se transportni substrat sa niskim, ili nepostojećim rizikom od širenja patogena. Stoga, primena kompostnog procesa u sektoru uzgoja životinja preporučljiva je iz brojnih razloga, od kojih su bazni:

- volumna i masena redukcija stajnjaka usled dekompozicije organske materije kroz emisiju CO<sub>2</sub> i gubitak vode,
- stabilizacija organskih otpada u domenu redukcije neprijatnih mirisa i emisije amonijaka tokom skladištenja i rasturanja životinjskih stajnjaka,
- inaktiviranje semena korovskih biljaka i nekih patogena,
- veća raspoloživost hraniva iz otpada sa reciklažnim povratkom u procesu uzgoja žita,
- mešanje organske materije sa stajnjacima, uz dodata mineralna hraniva radi formiranja izbalansiranog proizvoda za poboljšanje kvaliteta zemljišta,
- ako se upotrebi visok nivo kontrole na sirovom materijalu, paralelno sa temeljnim mešanjem, stvara se mogućnost razvoja širokog opsega uzgojnih medijuma, a time dodatni dohodak kroz njihovu prodaju i
- kao suv i stabilan koncentrovan materijal, omogućava transport viška hraniva ka regionima i opštinskim zemljištima zahtevnim ka organskoj materiji.

Poslednja taksacija izvodljiva je samo ako proizvod sadrži adekvatnu količinu suve materije, ne miriše i ne širi patogene!

#### 4.14.1. Biološke karakteristike komposta

Pošto je kompost rezultat aerobno mikroskog metabolizma, biološke i hemijske reakcije celog procesa podstaknute su prisustvom kiseonika i inicijalnog mikrobiološkog inokuluma, tj. adekvatno ubrizganog materijala, kao sastavnog dela skoro svakog substrata. Dobro kompostiranje zahteva organski materijal sa C:N odnosom unutar specifičnog opsega i poroznu strukturu radi obezbeđenja razmene gasa, tj. odstranjivanje CO<sub>2</sub> i snabdevanje esencijalnog kiseonika u gomili ili reaktoru. Ugljenik je često odsutan, odakle je preporučljivo mešanje animalnih stajnjaka sa kabastim materijalima, kao što su slama, drvene strugotine, usitnjeni ostaci potkresavanja i šišanja drvenastih kultura, ili ostali tipovi izvora organskog ugljenika radi dobijanja optimiziranog inicijalnog supstrata, sa lakom i makroskopskom strukturom za sigurno održavanje aerobnih uslova i rapidan kompostni proces, bez propratno neprijatnih mirisa. Sadržaj lignifikantne organske materije deluje na mikroski energetsku raspoloživost i hraniva u substratu. Dakle, ona ograničava brzinu kompostiranja, a time porast egzotermalnog mikroskog metabolizma, koji rezultira produkcijom i potrošnjom toplote, što su predznaci za uspešnu dekompoziciju.

#### 4.14.2. Substrati

Sistemi za kompostiranje primenjivi su za opseg čvrstih organskih otpada. U slučaju životinjski farmskih operativnosti, ovo implicira jedan ili više od tri glavna izvora:

1. *Životinjski stajnjak bez prostirke*, čija suva materija prelazi vrednost 20%. Ovaj procenat samo je uočen kod stajnjaka kvočki. Kravlji i svinjski ekskreti raspoložuju suvom materijom u intervalima od 7-16 % i od 1-6%. Stoga, suvi kabasni materijal visokog sadržaja ugljenika, sa eventualno dobrim strukturalnim osobinama, mora se dodati radi formiranja stabilnih slojeva adekvatne makroskopske strukture radi zadovoljavajuće izmene gasa.

2. *Farmski stajnjak*, tj. feces i urin, pomešan sa varirajućom količinom prostirnog materijala, naprosto, opisuje se kao forma farmskog stajnjaka. Međutim, postoje značajne razlike u količini prostirke, tj. u odnosu C:N mešavine, npr. iz brojlerskih objekata sa C:N odnosom 9:1 do ostalih ekstreme konjskog čvrstog stajnjaka, sa odnosom od 55:1.

3. *Čvrste frakcije odstranjene iz stočnih tečnih stajnjaka* separacijom, npr. mehaničkim separatorima, sa bar 15% sadržaja suve materije. Čvrste frakcije iz efikasnih mašina, npr. centrifuge i pužni muljači-prese, najkorisniji su kompostni substrati, sa visokim sadržajem suve materije 20-30%, a koji omogućava kompostiranje bez dodatka kabastih materijala.

Za većinu tečnih stajnjaka u stočarstvu, potreba dodavanja drugačije suve materije, radi dostizanja zahtevane koncentracije čvrste faze 25-35%, može biti veoma visoka, tako da kompostiranje može postati nepraktično. Kao primer, startovanje procesa od 1 tone stočnog tečnog stajnjaka, sa 5% sadržajem suve materije, kompostna mešavina zahteva dodatak nekoliko tona suve celuloze, kako bi se dobila mešavina sa 25% suve materije.

Tako *Piccini et al, (1995)* izveštavaju za farmske oglede sa različitim svinjskim substratima u Italiji. Oni su izvršavani sa:

- a- separiranim čvrstim frakcijama, proizvedenim u dekanterkim centrifugama,
- b- tečni svinjski stajnjak, sa dodatkom 20% slame i drvenog ivera i
- c- dekondenzovanim muljem iz anaerobno pritretiranih mešanih stajnjaka-svinjski i kravlji.

Totalni sadržaj azota u suvoj materiji startne mešavine bio je 1,8-3,5%, uključujući 25-40% amonijačnog azota. Rezultantni kompost bio je dobrog agronomskog kvaliteta, dok su sadržaji azota i fosfora prelazili su granicu 2,5% od suve materije, a kalijuma 0,7-1,7%.

Prostirni materijal, dodavan u feces radi absorpcije vlage, imao je signifikantan uticaj na pravac kompostiranja.

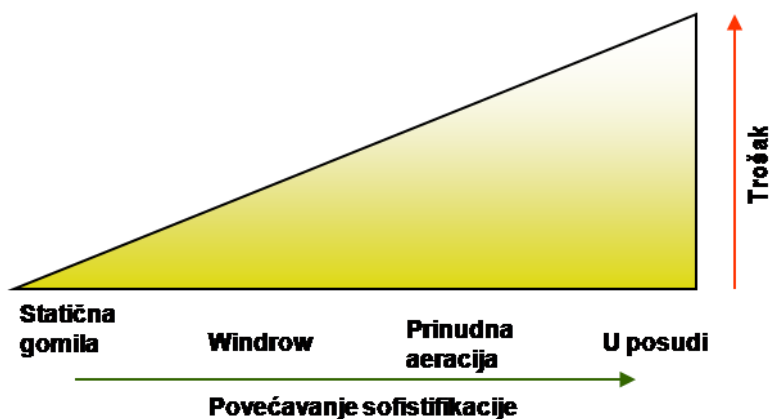
#### 4.14.3. Tehničke karakteristike sistema za kompostiranje

Rang kompostnih sistema razvijan je i evaluirao u pravcima potreba različitih tipova substrata i okolnosti tretmana. Ovi sistemi mogu se kategorizovati na osnovu rangirajuće skale, od niskih do visokih nivoa tehničke sofisticacije. Prateći *Rynk-a (1992)*, četiri tipa kompost sistema mogu biti opisana kao:

- pasivna eracija,
- windrover - mehanička agitacija,
- prinudna aeracija statične gomile i
- kompostni reaktori.

Za bilo koji kompostni sistem centralno je snabdevanje adekvatnom količinom kiseonika, tako da se proces održava u rangu aerobnog. Ova oprema široko varira, od toga da omogućava bazne manipulativne korake sa čvrstom fazom, do visoko sofisticiranih i automatizovanih sistema. Za vindrovere, pravilno prevrtanje kompostne gomile veoma je važna operacija, izvedena bar jednom dnevno u ranom delu procesa. Dostupan je širok rang opreme za ovu operaciju, uključujući samopogonske mašine.

Jedna alternativa za vindrovere je sistem aeracije preko perforiranih cevi, što se može smatrati malim ulaganjem, ali bez benefita za homogenizaciju i seckanje sa gnječenjem, ostvarenog pri upotrebi mnogo aktivnijijeg procesa okretanja sa usitnjavanjem i mešanjem. Ključna odluka pri izboru kompostnog sistema je visina ulaganja, veoma zavisno od nivoa sofisticiranosti, (sl. 4. 31). Često, ali ne uvek, više unapređeni sistemi ostvaruje brže tretmane u manjem prostoru, produkuju bolji i više konzistentan proizvod.



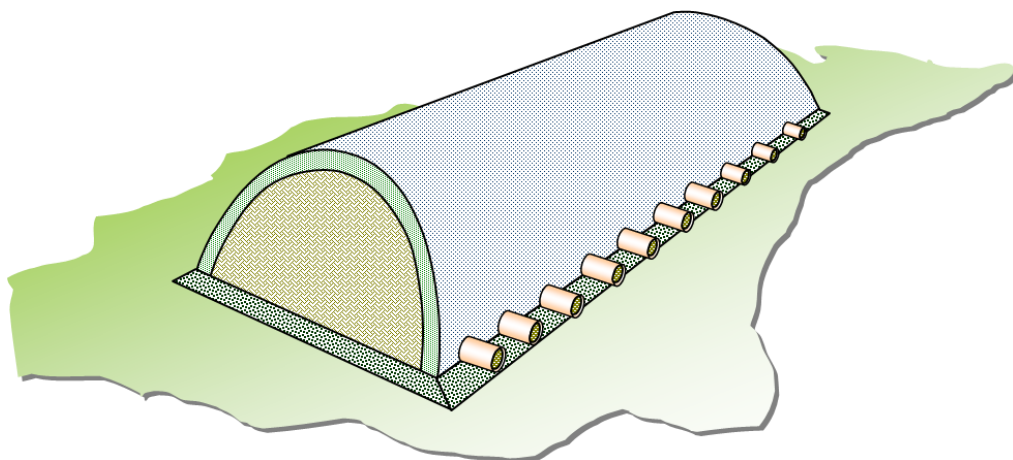
Slika 4.31 Troškovi kompostnog sistema kao funkcija nivoa sofisticiranosti tehnološkog procesa

#### 4.14.4. Pasivna aeracija

Za sve sisteme kompostiranja razmena gasova i snabdevanje kiseonikom kritični su faktori. Ako je hrpa pod uticajem pasivne aeracije velika, kretanje vazduha u njenom jezgru nije zagarantovano. Bolja aeracija može biti ostvarena prolazom vazduha kroz prethodno miksovanu statičku gomilu sa vertikalnim i horizontalnim vazдушnim kanalima. Za uspešno pasivno kompostiranje važno je:

- da su hranidbeni materijali pažljivo pomešani radi ostvarenja dobrog odnosa C:N (oko 30:1),
- tretirana mešavina mora imati adekvatnu teksturu radi podržavanja slobodnog kretanja vazduha i
- optimalno vreme za kompletiranje kompostiranja.

Bitna prednost pasivne aeracije je jeftinije kompostiranje dostupnom baznom opremom na farmi. Međutim, ovaj proces ipak zahteva temeljan menadžment. Naime, kroz pasivnu aeraciju može se ostvariti manji gubitak amonijaka u odnosu na vindroverske tretmane, mada postoji mogućnost intenzivnije emisije amonijaka i degradacije organskih materija. Niži nivoi emisije amonijaka ostvaruju se u malim i dugačkim gomilama, mada one imaju relativno visok stepen gubitka toplote usled značajne razmenjivačke površine i hlađenja vetrom.-konvekcija. Time se održava niska fermentaciona temperatura, čime je emisija amonijaka niska. Ostale metode za prevenciju gubitka amonijaka u atmosferu su stvaranje mešavine substrata sa većim odnosom C:N (50:1), ili pokrivanje gomile substratnim pokrovom sa visokim odnosom C:N, kao što su čista slama, drvene strugotine, prašinate strugotine ili treset, (sl. 4.32).



Slika 4.32 Kompostiranje u „Windrowsima“ upotrebom prirodne ventilacije kroz perforirane cevi, Rynk, 1992.:

150 mm komposta ili tresetno-mahovinasti pokrivač; 100 mm cev izbušena u dva reda sa 15 mm otvorima i međusobnim prostorno-obodnim razmakom od 300 mm; 100-200 mm bazni sloj od komposta, tresetne mahovine ili slame; Aeracione cevi postavljene su na 300-500 mm međusobnog razmaka

Povremeno okretanje pasivno aerisanih gomila može rezultirati signifikantnom redukcijom emisije amonijaka, asistencijom u procesu homogenizacije i pravilnom transformacijom organskih materijala.

#### 4.14.5. Vindroversko kompostiranje

Vindroversko kompostiranje predstavlja sistem u kome su pripremljeni čvrsti materijali rasprostrti u dugu gomilu 1,2 do 3,5 metara visine, 2,0-5,0 m širine i neodređene dužine. Moguća je primena širokog ranga mašinerije za mehaničku agitaciju kompostnih materijala, od jednostavnih grubo lopatičnih do specijalizovanih fino mešajućih. Benefite vindrover kompostiranja karakterišu:

- frekventno okretanje vodi ka boljoj aeraciji, omogućavajući više temperature za duže periode i bolju sanitaciju,
- intenzivno mešanje rastura grudve i povećava kolonizaciju mikroba, što rezultira povećanjem stope dekompozicije, a time kraće vreme kompostiranja,
- homogenizacija i mehanička redukcija dimenzija frakcija vodi ka uniformnom finalnom proizvodu, boljeg kvaliteta i
- relativno niskocenovan proces, tj. jednostavno vođen sistem bez visokih kapitalnih ulaganja.

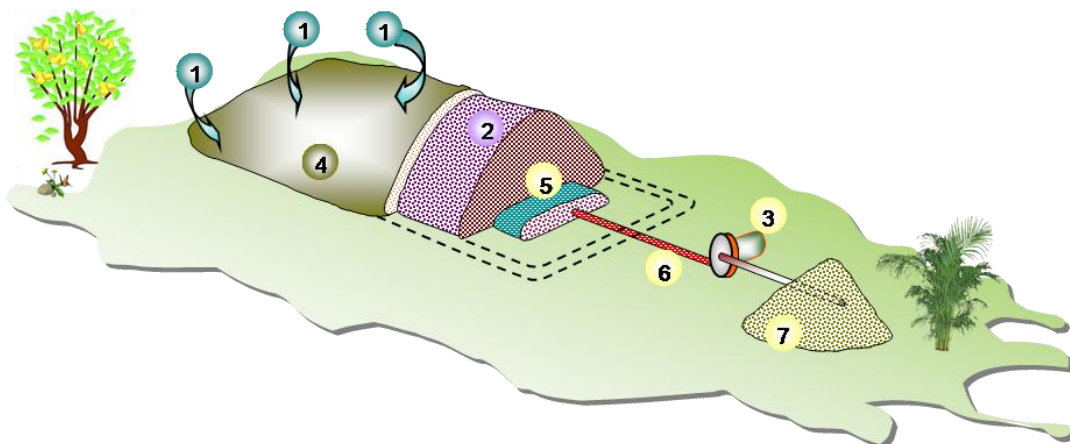
Međutim, vindrover kompostiranje može rezultirati visokim gubicima azota do 70% i frekventno nehomogenom dekompozicijom materije.

#### **4.14.6. Prinudna aeracija statične gomile**

Sa sličnim jediničnim troškovima vindroverskom sistemu, kompostiranje aerisane statične gomile može održati visoke nivoe aeracije, a time intenzivnu aktivnost mikroba. Više posla ulaže se pri kompostiranju industrijskih i gradskih biootpada, uključujući kućne, parkovske i baštenske otpade, razne orezine, povrtarske trimaze, muljne otpatke itd. Čvrsti stajnjaci i čvrste frakcije, separirane iz stočnog tečnog stajnjaka, takođe su dobro prilagodljive materije ovom procesu. Za održavanje neophodne poroznosti gomile mogu se dodavati sirovi materijali, kao što su elastični drveni odsecci i ostali zeleni otpad.

Za azotno visoko sadržajne materijale, dobro upravljani sistem kompostiranja prinudnom aeracijom može obezbediti praktične solucije menadžmenta mirisnih otpada, obzirom da su periodi intenzivnog remećenja vindrover okretanjem materijala izbegnuti. Druga opcija je supstratni pokrivač sa širokom stopom odnosa C:N.

Metod aerisane statične gomile podrazumeva dobro izmešanu gomilu tretiranog materijala, postavljenu na sistem aeracionih cevi ili poroznih podnih cevi. Vazduh se uduvava posredstvom adekvatnog centrifugalnog ventilatora. Ako sistem radi pod pozitivnim pritiskom, polupropustljivi pokrivač može pomoći u redukciji emisije neprijatnih mirisa i takođe zaštititi gomilu od kiše i hlađenja vetrom. Ako sistem radi pod negativnim pritiskom vazduha, izduvni gasovi mogu se propustiti kroz biofilter za kontrolu neprijatnih mirisa, (sl. 4.33.).



Slika 4.33 Kompostiranje vindroverima sa upotrebom prinudne ventilacije, Rynk, 1992.:  
1- usisavanje-suction; 2- dobro mešan sirov materijal; 3- duvaljka, 4- pokrivni sloj od finišnjog komposta; 5- porozna baza; 6- perforirana cev; 7- hrpasti filter od filternog komposta



Ovi sistemi zahtevaju namenski prostor sa energetsom instalacijom za obezbeđenje aeracije gomile, a dobar i homogen kompostni proizvod neće biti realizovan ako hrpe tokom kompostiranja nisu dovoljno fluidno procesuirane. Radi obezbeđenja balansnog prolaza vazduha kroz statičnu gomilu, strukturne osobine tretirane mešavine važne su. Dakle, radi održavanja optimalnih kompostirajućih uslova, zahteva se relativno visoko poznavanje interakcijskih procesa između tretiranog i radnog medijuma.

#### 4.14.7. Posudni Kompostni reaktori

Posudni sistemi kompostiranja kombinuju benefite prethodno dva opisana sistema u cilju ostvarenja rapidne kompostne stope i visoko kvalitetnog finišnog produkta Suštinski, oni su zatvoreni reaktori sa mogućnošću inkorporacije različitih procesa gasnog tretmana, često biofiltera.

Kao zatvoreni reaktori, posudni kompostni sistemi podesni su za lokalna naselja, pošto nude kontrolu neprijatnih mirisa u dobro vođenim sistemima. Postoji širok rang sistema horizontalne i vertikalne konfiguracije, u domenima serijskih ili kontinualno protočnih tretmana.

Horizontalni kompostni sistemi sadrže korita ili jame, zahtevajući prolaz mašine za okretno mešanje. Alternativno, ova konfiguracija sadrži podstičuću posudu sa velikim mikserom.

Vertikalni sistemi često sadrže toranj sa polukontinualno modulnom operacijom, tj. sirov materijal može biti dodat na vrhu i odstranjen sa dna ili obrnuto. Za većinu farmskih sistema posudno kompostiranje sadrži prekomerni trošak.

#### 4.14.8. Nisko troškovni sistemi kompostiranja stajnjaka na farmi

Zavisno od tipa i količine stajnjaka, uspešan tretman može biti ekonomično ostvaren upotrebom nisko troškovnih farmski kompostirajućih tehnika. Kao vredni razmatranja, navode se sledeći nisko cenovni tretmanski sistemi:

- pasivna aeracija i
- neki vindroversko kompostirajući metodi.

Nisko cenovne alternative prikladne su kada se:

- proizvode male ili osrednje količine stajnjaka,
- koriste suvi prostorni sistemi,
- tretirani proizvod koristi na farmi, i
- mesto kompostišta nalazi udaljeno od senzitivnih receptora.

Varijanta nisko inputnog farmskog kompostiranja opisano je primenom pasivne aeracije i nekih vindrover metoda, (*Veeken et al, 2001*). Jednostavna konstrukcija i podrška kompostnih vindrovera može biti ostvarena upotrebom opšte dostupne farmske mašinerije, ili jednostavne specijalizovane forme, (sl. 4.34).



Slika 4.34 Primer nisko cenovnog vindrover sistema kompostiranja

Sa druge strane, jednostavnom modifikacijom tradicionalnog rasturača stajnjaka, mogući su dobri rezultati vindroverskog kompostiranja. Na primer, bazno slamni seoski stajnjak efikasno se kompostira prednjim utovarivačem ili pozadi praznećim rasturačem stajnjaka. U tom pravcu, pomerljive stranice pridodate su u pozadini rasturača radi obezbeđenja varijante vertikalne konstrukcije biterskog vindrovera. Za formiranje konturno pravilne i homogene hrpe, pri obrtanju bitera rasturača stajnjaka, kontinualno se puni hranidbeni materijal i postepeno pomera ka njima.

Kontrolisano obrtanje bitera zahteva se radi održavanja adekvatnih nivoa aeracije formirane gomile, posebno u ranoj, aktivnoj fazi kompostiranja. Radi obezbeđenja razmene kontrolisanih gasova, potrebno je obratiti pažnja na mešanje ulaznog miksa, adekvatnog strukturnog potencijala. Sa dodatkom vazdušno propustljivih, anti higroskopskih, geotekstilnih pokrivača, može biti ostvarena veća kontrola procesa, pri tome redukujući probleme eksczesnog ulaska vode ili njenih gubitaka iz kompostne hrpe.

Radi minimiziranja ekoloških uticaja, nisko cenovni sistem kompostiranja zahteva posebno obraćanje pažnje na:

- mesto postavljanja,
- upravljanje sa kvašenjem i odvodom viška tečnosti,
- kontrolu mirisa,
- količinu mešavina hranidbenog materijala,
- procesno upravljanje i
- kvalitet proizvoda.

#### **4.14.9. Kontrola patogena kompostiranjem**

Mikrobiološka istraživanja verifikovala su sanitarni efekat kompostiranja i pokazala značajnu redukciju gustine mikroorganizama, (Käck, 1996). Koncentracioni indikator organizama, kao E.coli i fekalne streptokoke-fecal streptococci, redukovani su bar sa tri log<sub>10</sub> jedinice. Inokulacije sa salmonelom više od 10<sup>8</sup> po gramu nisu bile moguće za detekciju, prateći deset dana proces kompostiranja u bilo kojim probama. Hentschel (1997) izveštava o startovanju kompostnog procesa u izolovanom prinudno aerisanom reaktoru. Vazduh se snabdevao prema potrošnji kiseonika (ili CO<sub>2</sub> produkciji) upotrebom kompjuterske kontrole. Rezultantno niska aeraciona stopa vodi ka niskim emisijama amonijaka. Međutim, sanitarni efekat nije kompletiran, jer je sveži aeracioni vazduh bio injektovan na dnu toranjskog

reaktora, time hladeći kompostni substrat, reinkubirajući ga klicama, koje su preživljavale pri ambijentalnim temperaturama u šljunkovitoj postelji na dnu reaktora.

Najveći deo složenih sistema, korišćenih pri formiranju medijuma za proizvodnju gljiva, mogu ostvariti sterilnu produkciju, sa respektom na izvesne organizme. Međutim, više tipično, kompostiranje ne nudi pouzdanu barijeru protiv bolesti.

#### 4.14.10. Proizvodi kompostiranja

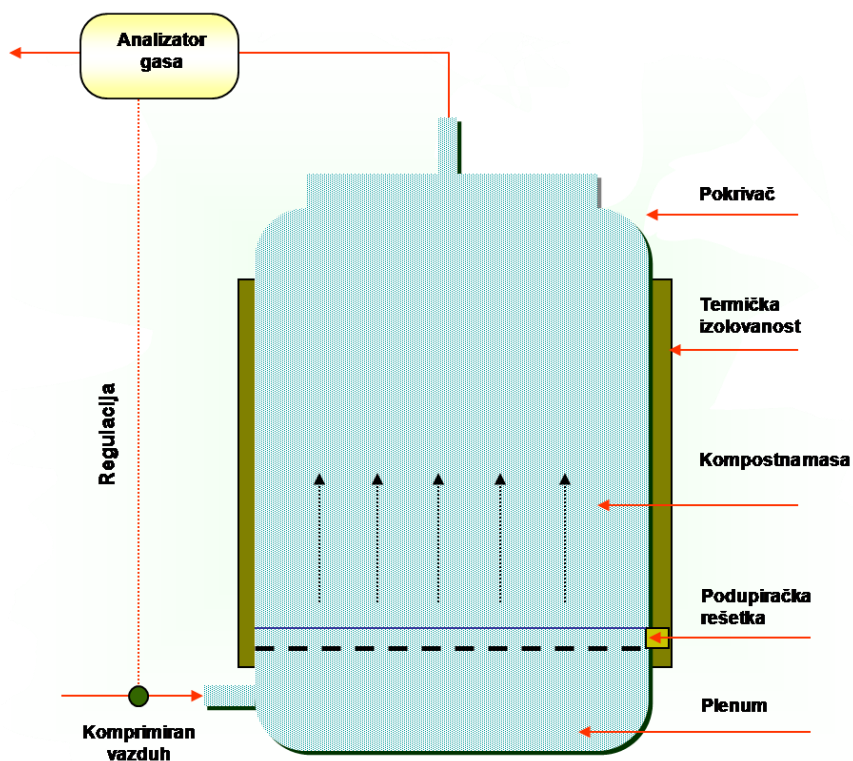
Kompost, kao proizvod aerobnog procesa, nudi mnoge benefite za primenu na zemljištu, a može biti posebno važan pri formiranju održivih farmskih metoda. Najvažniji benefiti primene komposta odlikuju se sledećim:

- stabilna forma organske materije pomaže restauraciju biološke aktivnosti u zemljištu,
- porast kapaciteta održavanja vlažnosti u zemljištima redukuje irigacione zahteve i eroziju,
- poboljšanje strukture zemljišta formiranjem makroskopskih bio-klastera sa porastom intenziteta infiltracije i propustljivosti zemljišta,
- snabdevanje veštačkim hranivom sa niskim hranidbenim gubicima i značajnom redukcijom potrebe za veštačkim inputima,
- porast rezervisanja pH zemljišta,
- moguće ugušenje nosećih bolesti i patogena u zemlji i
- moguća upotreba u zemljištima za organsku produkciju hraniva.

Globalno posmatrano, regulacione kontrole kompostiranja variraju u saglasnosti sa nacionalnim zakonodavstvom posmatranog socijalnog tela. Generalno, realno zastupljena pravila farmskog kompostiranja su: relativno nizak nivo korišćenja kompostnih proizvoda, spoljni otpadi nisu uopšte, ili adekvatno tretirani i godišnji obrađene količine ispod su dozvoljenih pragova.

#### 4.14.11. Neka testiranja emisije gasova tokom kompostnog procesa

Kompostiranje životinjskih stajnjaka može rezultirati gubicima amonijaka. Procenjuje se rang 3% do 75% od inicijalne sadržine amonijačnog azota, (*Schuchardt, 1990*). Kod azotom bogatih materijala važan aspekt je isparavanje amonijačne frakcije. Redukovan gubitak azota tokom kompostiranja može da se ostvari dodavanjem posebnih kabastih materijala (mikrobski dostupni ugljenični resursi), koji mogu zadržati amonijak obezbeđenjem potrebne energijom za opstanak adekvatnih populacija mikroba. Tako je pri sistematskom istraživanju zatvorena posudno kompostno-laboratorijska jedinica radila kao serijski procesor, (sl. 4.35).



Slika 4.35 Šematski dijagram grupnog -serijskog reaktora korišćenog u ogledima, (Käck et al, 1996).

Ovaj sistem nudi monitoring i kontrolu dekompozicionog procesa sa tretmanom emisije gasnih komponenti. Pri tome proučavani su uticaji sledećih parametara na amonijsko isparavanje i sanitet:

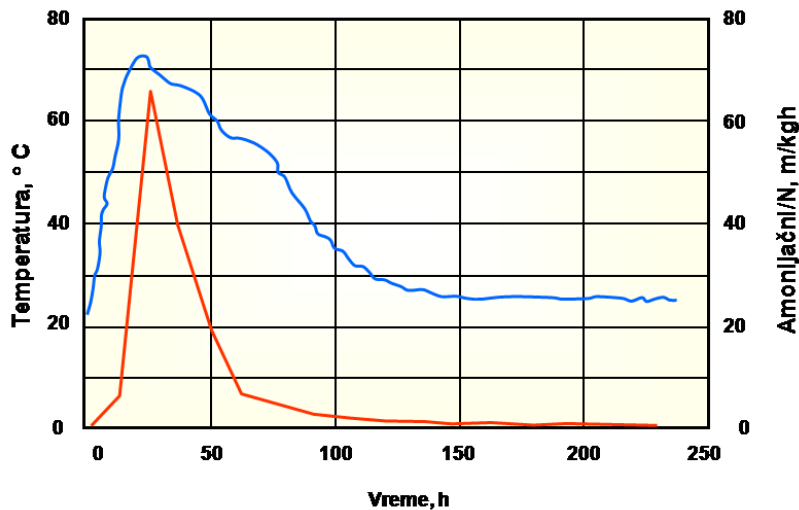
- temperaturni profil (u substratu i izlaznom vazduhu),
- aeraciona stopa (potrošnja  $O_2$ ),
- sadržaj suve materije u substratu, i
- tip substrata.

Neposredno po startovanju aeracije, mikrobska aktivnost rapidno je porasla, vodeći ka povišenju temperature iznad  $70^\circ C$ , (sl. 4.36). Isparavanje amonijaka sledila je krivu temperature i dostigla njen maksimum ( $6,5 \text{ mg NH}_4\text{-N po kg po času}$ ) nakon 26 h. Nakon toga, emisije amonijaka opale su posle 100 h i teško su bile detektovane. Aeraciona stopa i sadržaj suve materije u substratu takođe su uticale na emisije amonijaka, (sl. 4.37). Isparavanje  $NH_3$  raslo je sa povećanjem stepena snabdevanja vazduhom. Gubici amonijaka bili su manji korišćenjem čvrste faze sa 30% umesto 20% suve materije (sm). Čvrste primese iz kravljeg stajnjaka (20% sm) isparila je sa maksimalnih 13,2% od inicijalnog azota-kao amonijačne osnove, tokom deset dana intenzivnog kompostiranja.

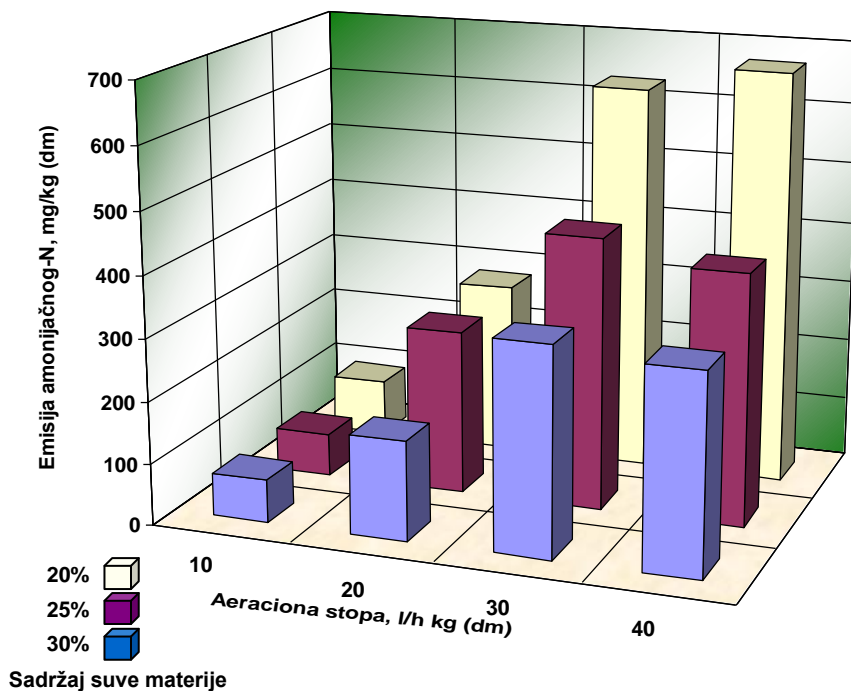
Emisija amonijaka takođe zavisi od odnosa C:N substrata. Pri većim odnosima, tj. više ugljenika, gubici amonijaka pali su, jer dostupni N može biti inkorporiran u mikrobskoj masi, koja raste sa tokom procesom. Na kraju desetog dana intenzivnog kompostiranja, više od 90% inicijalnog azota bilo je stabilizovano kao organska forma. Ovo znači da kompostirana čvrsta

faza može biti rasturena, sa uveliko redukovanim rizikom od raskvašavanja i amonijačnog isparavanja.

Käck (1996), za kompostni sistem sa oblogom, (sl. 4.38), ukazuje na najjači uticaj emisije amonijaka, tj. aeracioni intenzitet praćen sa C:N odnosom, a potom sadržaj azota u substratu, posebno njegov udeo u amonijaku na početku kompostnog procesa. Prilično iznenadno, pH sirovog substrata pokazao je samo sedmičnu korelaciju.



Slika 4.36 Temperatura i emisija amonijaka tokom intenzivnog kompostiranja čvrstih faza iz kraljeg tečnog stajnjaka. Sadržaj suve materije bio je 30% a aeraciona stopa 20 l/hkg suve materije. Temperatura je prikazana Bold linijom a emisija amonijaka sa tankom linijom, (Käck et al, 1996).



Slika 4.37 Uticaj aeracione stope i sadržaja mešavine na emisiju amonijaka, (Käck et al, 1996).

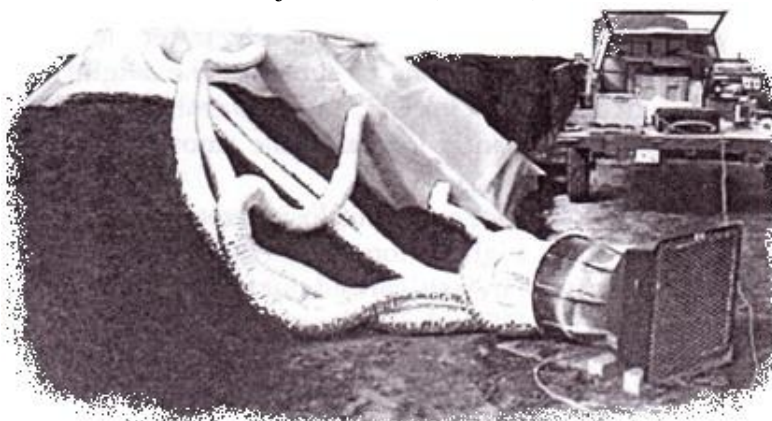


Slika 4.38 Šema eksperimentalno kompostirajuće jedinice upotrebom poklopca radi omogućavanja monitoringa generisane emisije

Emisija metana- $\text{CH}_4$  i azotnog oksida- $\text{N}_2\text{O}$  može takođe biti kontrolisana adekvatnom aeracionom stopom. Aeracione stope, manje od 40 l/min/t supstrata, pri neznatno anaerobnim uslovima, prezentuju visok rizik za  $\text{CH}_4$  i  $\text{N}_2\text{O}$  emisije. Dodavanje zrelog komposta značajno povećava proizvedenu količinu  $\text{N}_2\text{O}$ .

Upotrebljeni kao aditiv za redukciju gubitka amonijaka, prirodni i sintetski zeoliti pokazuju interesantne osobine usled njihovog katjon razmenjivačkog kapaciteta i primetne selektivnosti amonijačnog jona (razmena između katjona u rastvoru i drugog katjona na površini koloidnog, ili drugog površinski aktivnog materijala). U probama, izvedenim od *Piccinini et al, (1995)* u proleće i zimu, zeolit (55% phillipsite i 10% chabasite) dodat je u kompostnu mešavinu radi formiranja 10-20% suve mase. Rezultati su upoređeni sa kontrolnom gomilom, bez dodatnog kabastog materijala. Uočeno je značajno smanjenje gubitaka azota u gomilama sa dodatim zeolitom, sa 36% na 5,5%. U drugom testu, sa dodatim manjim količinama zeolita, gubici amonijaka pali su sa 30 na 20%.

*Scmidt i Bicudo (2001)* istraživali su emisije varijeteta neprijatnih mirisa i  $\text{H}_2\text{S}$  tokom kompostiranja živinskog stajnjaka. U ogleđima poređeni su vindroverski komposti, formirani mešavinom različitih proporcija ljuski suncokreta sa pilećim stajnjakom (1:1 do 3:1). Uzorci su uzimani upotrebom adekvatnih folijskih tunela, (sl. 4.39.).



Slika 4.39 Merenje emisija mirisa i  $\text{H}_2\text{S}$  iz komercijalnih kompostnih operacija upotrebom regulisanog protoka vazduha kroz pokriveni deo gomile

Za sve sumirane vazdušne probe, emisija mirisa rangirana je od 1 do 290 mirisnih jedinica po  $m^3$  po  $m^2$  prostora ( $mj/m^3/m^2$ ), dok za  $H_2S$  od 16 do 342  $\mu g/sekundi/m^2$ . Najviši mirisni i  $H_2S$  protoci registrovani su tokom prvih pet dana kompostiranja, a potom su značajno opadali kroz vreme. Generalno, nema značajnih razlika u emisiji između raznih mešavina.

Postoji rang dostupnih nebioloških metoda koje su već, ili mogu biti upotrebljene u menadžmentu stočnih otpada. Ovo obuhvata fizičke, hemijske i toplotne sisteme, zajedno sa više generalnim menadžment metodama (kao pokrivanje skladišta), od kojih svi mogu ostvariti izvesne benefite. U mnogo slučajeva, oni su brži od bioloških procesa, jer se ne oslanjaju na porast broja i aktivnosti mikroorganizama, a često su više robusni za isti povod. Neke od tehnologija, npr. elektro-flokulacija, ostaju na istraživačkoj pozornici u pogledu aplikacije na tečne izlučevine seoskih domaćinstava.

#### 4.14.12. Varijante i vreme skladištenja stajnjaka

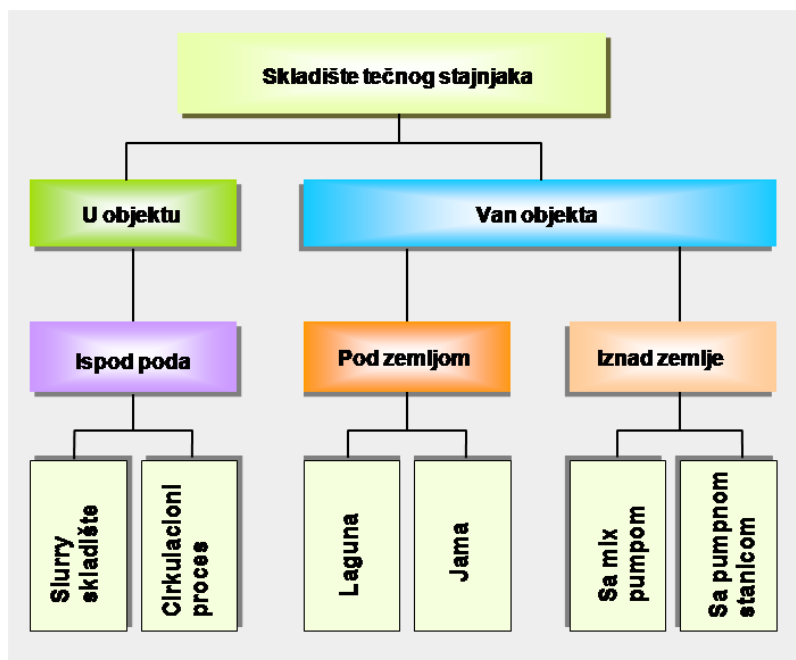
Za ostvarenje maksimalnog benefita stajnjaka pri fertilizaciji useva i travnih površina-pašnjaka, optimalan tajming njegove aplikacije esencijalan je. Ovo implicira potrebu za adekvatnim skladištenjem raznih vrsta stajnjaka, generisanih tokom vremena sa nepoželjnom, a ponekad zabranjenom aplikacijom na polju. Dužina vremena skladištenja varira širom Evrope, u funkciji uzgojnog perioda posmatrane životinjske vrste tokom zime. Shodno tome, u hladnijim područjima Skandinavije vreme skladištenja može biti duže od šest meseci. Veličina skladišta stajnjaka zavisi od potrebnog vremena lagerovanja, kao i broja i tipa stočarskih farmi, (tab. 4.11).

Tabela 4.11 Preporučljiv skladišni kapacitet za neke stočne stajnjake

„Tip životinje“	Volumen skladišta ( $m^3$ ) za jedan mesec po životinji		
	čvrsti stajnjak	prljava voda	tečni stajnjak
<i>Goveda</i>			
Krave	0,6	0,6	2
Goveda, 1-2 godine	0,5	0,5	1,5
Goveda do 1 godine	0,25	0,25	0,5
Tovna telad	-	-	0,5
<i>Za rasplodne krmače</i>			
Bremenita, trodelni obor „3 areas pen“	0,35	0,2	-
Kombinovan uzgoj / uzgajivački obor	0,42	0,15	-
Držanje bez prostirnog materijala	-	-	0,42

Loš vodno higijenski menadžment, cureće pojilice i voda iz drugih izvora, uključujući i padavine, zahteva visoko volumna skladišta. Upotrebom adekvatnih tehničkih sredstava za uštedu vode, npr. visok pritisak čistača i nizak pritisak pojilica, skladišni kapacitet značajno je redukovan. Štaviše, novac može biti ušteden u suvljim regionima, gde je voda troškovno značajan faktor.

Različiti sistemi za skladištenje tečnog stajnjaka-TS prikazani su na slici 4.40. Zbog ekstremnog volumnog zahteva, njegovo skladištenje ispod poda uzgojnog objekta može biti ograničeno. Osim toga, to može izazvati nekontrolisano otpuštanje opasnih gasova pri mešanju ili pražnjenju stajnjaka iz skladišta, npr.  $H_2S$ , (Zoranović et al, 2008c). Međutim, ovaj prilaz može uštedeti značajan skladišni prostor vani, a pri periodičnom mešanju opasnost od anaerobnih gasova niska je. Upotreba zagnjurenog recirkulacionog sistema za mešanje TS u jamama animalnih objekata poželjna je radi redukcije njegovog brbotanja, a time emisije neprijatnih mirisa hazardnih gasnih komponenti u animalnim objektima.



Slika 4.40 Glavne kategorije farmski zasnovanih skladišnih sistema za stočne stajnjake

Duboke skladišne jame dobar su izbor, jer ih TS popunjava samo gravitaciono. Međutim, troškovi konstrukcije u stenovitijoj zemlji mogu biti visoki, a potreba za krupnim carinskim dažbinama pokrivača za jame (dozvola kretanja poljoprivrednim vozilima), očigledno povećava troškove unapređenja.

Lagune za tečni stajnjak mogu biti niskocenovne, ali moraju biti obložene radi zaštite zemljišne vode od zagađenja. Širom Evropske Unije postoje različiti ekološki i tehnički zahtevi za pri izboru ove tehnike skladištenja. Ako se zahteva redukcija emisija neprijatnih mirisa, ili ograničenje skladišnog prostora, lagune gube skladišni prioritet. One su obično plitke, čime zahtevaju veće proporcije prostornih kapaciteta za kišnicu. Za godišnje padavine od 1000 mm, oko 30-40% ukupnog kapaciteta lagune potrebno je samo za ovaj deo vode. Lagune su generalno nepodesni objekti na stenovitom i zemljištu sa lokalno visokim nivoom podzemne vode.

TS skladišteni iznad zemlje, pored animalnih objekata, najopštija su tehnika za njihovo skladištenje kada jeftinije solucije, kao lagune, nisu moguće. Tradicionalni materijali za ovakva skladišta su vodonepropusni betoni, galvanizirane ili emajlirane čelične ploče i debele drvene daske. Za ove svrhe, danas se u Norveškoj i Nemačkoj upotrebljavaju zatvorene plastične vreće sa tekstilnim ojačanjem u cilindričnom čeličnom kontejneru, ili kao jeftinija verzija žičano-rešetkastih ramova. Njihov cilj je redukcija emisija mirisa i amonijaka, uz prevenciju problema skladišnih kapaciteta usled kišnih padavina. Ako je nepokriven, ukupni kapacitet mora sadržati potrebno skladištenje padavina. Rezervoari iznad zemlje najčešće primaju količine TS ekvivalentno 3-6 meseci njihove produkcije, dok zemljano nasipne lagune, više promenljive po kapacitetu, mogu skladištiti produkciju TS više od devet meseci.

Skladišta stajnjaka iznad nivoa poda uzgojnog objekta treba da imaju prijemnu jamu sa snabdevačem putem gravitacionog dotoka. TS iz ove jame periodično se prepumpava u glavno skladište(a). Minimalna zapremina jame treba da je dovoljna za dva do tri dana srednjeg skladišnog perioda.



Postoji nekoliko efektivnih mera za redukciju gasnih i/ili mirisnih emisija iz skladišnih kapaciteta. Za čvrsti stajnjak, veći C:N odnos može redukovati mirisne i NH<sub>3</sub> emisije. Ovo povećanje može se ostvariti većim udelom prostirnog materijala, npr. slame ili drugih vlaknasto- ugljeničnih izvora. Razvoj mikrobske poulacije, sa potencijalom za razgradnju organskog ugljenika, vodi ka imobilizaciji anorganskog azota, sa njegovom inkorporacijom u mikrobsku biomasu, pri tome značajno redukujući gubitke azota putem isparavanja amonijaka.

U prošlosti, kada je čvrsti stajnjak bio najvažniji fertilajzer za produkciju useva, formirana gomila bila je pažljivo pripremana radi izbegavanja gubitka amonijaka usled intenzivne izmene gasova. Sličan efekat može se očekivati primenom adekvatnih pokrivača, koji redukuju razmenu gasova usled protoka vazduha i sprečava ispiranje padavinama.

Instalacije skladišta tečnog stajnjaka prepoznate su kao glavni izvor emisije ofanzivnih mirisa i amonijaka. Do 50% od inicijalnog sadržaja azota u svinjskom TS može biti izgubljeno usled isparavanja. Stepem gubitaka amonijaka povećava se sa tečnom površinom. Situacija je najviše izražena kod TS laguna sa velikom površinom, pri datim volumnim odnosima vode prema suvoj materiji.

Razne vrste pokrivača primenljive su za redukciju emisija mirisa i amonijaka iz skladišta stajnjaka. Činjenično, u nekim delovima Evrope oni su zakonski zahtevani. Širok spektar materijala koristi se za ovu namenu, počev od najjeftinijih prirodnih pokrivača u formi vršno plutajućih slojeva vlaknastog materijala. Ovo je prirodno sretljivo kod govedeg TS, zahvaljujući tendenciji nekih materija u njemu da plutaju, time formirajući pokoricu. Nasuprot tome, taj efekat retko je sretljiv kod svinjskog TS, mada se može formirati veštačka pokorica dodavanjem slame. Sloj usitnjene slame može redukovati emisije amonijaka i neprijatnih mirisa 80-84%, ali i značajno odnešen vetrom pri lošoj pripremi. Naime, za izbegavanje ovog prirodnog efekta savetuje se oko 4-7 kg slame po m<sup>2</sup> od TS površine.

Površinski slojevi pokrivača mogu biti formirani i sa penastim staklom ili penastolovastim česticama, pri čemu se zahteva sloj visine oko 10-15 cm. Ove varijante takođe su jeftine (oko 16 eura po m<sup>2</sup> površine), a mogu biti lako instalirane, uz ostvarenje dobrih rezultata. Mana ove mere je mogućnost uništenja pokrivača putem neophodne procedure mešanja TS. Shodno tome, oko 10% granuliranog materijala godišnje mora biti zamenjeno zbog delimičnog odstranjivanja TS. Ostale granule prirodnih minerala, male zapreminske mase, brzo isplovljavaju na površinu, pri tome prateći homogenizaciju, što je jasna prednost nad slamom, a emisije amonijaka i varijeteta neprijatnih mirisa mogu biti redukovane sa 91-93%.

Kao alternativa, za redukciju emisija gasa i neprijatnih mirisa mogu biti upotrebljene plutajuće plastične ploče. Ovakvi pokrivači treba da imaju inkorporirane stabilizacione panele ili neku formu rama, fiksiranog na stranama lagune ili skladišnog bazena, radi prevencije širenja i stvaranja procepa. Priprema pokrivača za velike lagune može zahtevati njihovo pražnjenje, što je retko sretljivo u komercijalnim svinjarskim jedinicama. Dodavanje pokrivača tokom konstrukcije lagune može povećati instalacione troškove oko 50%. Mnogo skuplje solucije obuhvataju plastične krovove ili šatorske konstrukcije. One imaju prednost izbegavanja kontakta „vetara-vodena površina“, tako redukujući pomenute emisije. Međutim, trošak može biti 4-9 puta veći od onog sa slanim slojem. Za veće površine, jedna opcija je ramska konstrukcija sa centralnim stubnim podupiračem, nadkrivena visoko kvalitetnim plastičnim materijalom sa tekstilnim ojačanjem.

U poređenju sa konvencionalno otvorenim skladištem, upotreba pokrivača može rezultirati redukcijom emisije amonijaka 70-95%. Pokrivač od čvrstog materijala može biti u stanju da ostvari blizu 100% redukcije ovih emisija ali je skupa opcija.

#### **4.15. Tehnike miksovanja TS**

Za efektivno korišćenje bilo kog TS, zbog neizbežne separacije između frakcija u njima, dobro mešanje i homogenizacija poželjni su, posebno pre pražnjenja iz skladišta. Govedi, svinjski i TS živine značajno se razlikuju. Svinjski i živinski uglavnom imaju probleme sa sedimentacijom. Govedi TS okarakterisan je plutajućim slojevima i pokoricom, a zavisno od tipa hrane menja se stepen taloženja. Sa druge strane, pokorice predstavljaju problem, jer se moraju razbiti uz proces mešanja pre rasturanja TS. Nadalje, sedimente taloge često je teže odstraniti od pokorice, što zahteva intenzivno mešanje.

Posebno važan cilj mešanja je formiranje tečne mešavine sa dosledno konzistentnim reološkim osobinama, omogućavajući konstantno protočne uslove tokom rasturanja. Homogenizovana mešavina teži stabilnosti u slučaju govedeg TS prema svinjarskom i živinskom. Međutim, ako se u govedi TS doda previše vode, ova prednost značajno se smanjuje. Za homogenizaciju mešavine živinskog TS potrebna je minimalna protočna brzina  $1 \text{ m s}^{-1}$ , oko  $0,5 \text{ m s}^{-1}$  za svinjski i razblažen govedi TS i  $0,2 \text{ m s}^{-1}$  za gušće govede TS.

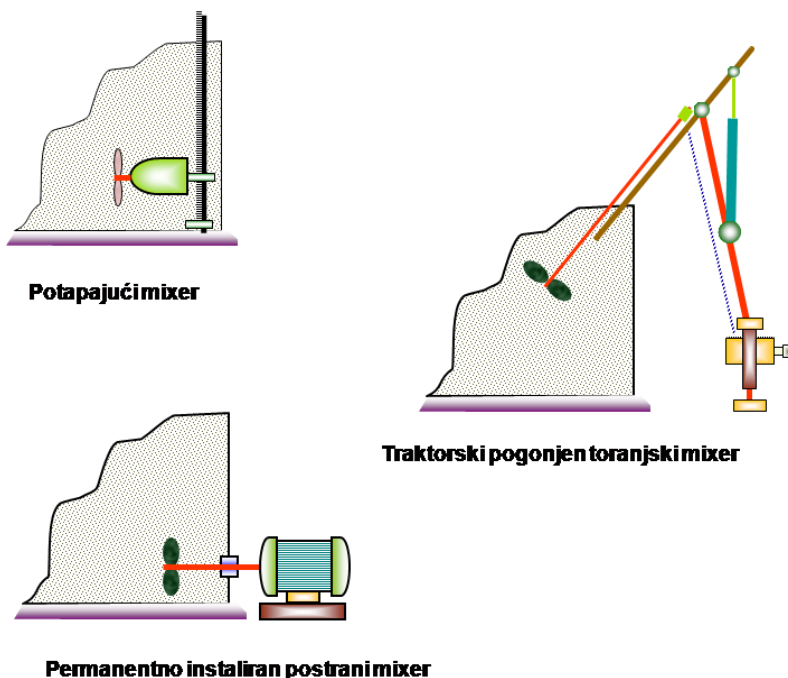
Izvesnu količinu gasnih komponenti, prethodno fermentacijom formiranu, tok procesa mešanja oslobodiće u neposredno okruženje, što je često ozbiljan hazard farmskim radnicima i životinjama. Mešanje TS ispod rešetkastog poda, pri punom uzgojnom objektu, ostvarivo je samo uz adekvatna ventilacija ili smireno nakon iseljenja životinjske populacije.

Za veći kapaciteti skladišta mora se obezbediti efektivan sistem mešanja, a energija homogenizaciju može biti znatna. Činjenično, mešanje angažuje po jediničnoj zapremini TS približno duplo energije od neophodne za njegovo rasturanje po zemljištu. Veoma važan faktor za mogućnost mešanja TS je pravilan dizajn skladišnog kapaciteta. Tamo gde je pristup otežan, kao kod nekih skladišta ispod uzgojnog onjekta, zadovoljavajuće mešanje realan je problem. Za skladišta TS u jamama ispod zemlje, pristup sa traktorom pogonjenim jedinicama, generalno, moguć je, gde su fiksno instalirani mikseri bolji. Generalno, pristup posudama iznad zemlje težak je, a ugrađeni mikseri obavezni. U kružnim skladištima, TS mogu biti homogenizovani mnogo lakše nego u pravougaonim posudama, gde se u uglovima pojavljuje sedimentacija sa propratnom izgradnjom čvrste faze. Duboka tečna skladišta pogodnija su za mešanje prema sa plitkim lagunama.

Postoje tri bazna tipa miksera: *mehanički* - rotirajući, *hidraulički* - pumpe i *pneumatski* - vazdušni mehurač pogonjen kompresorom. Mehanički mikseri najpopularniji su, ali njihova efikasnost zavisi od odnosa prečnika, oblika i brzine. Otuda je od posebne važnosti korektan dizajn sistema. Postoje dve bazne opcije za snabdevanje energijom: električni motori često su upotrebljeni pri regularnom izvođenju mešanja blizu izvora za snabdevanje električnom energijom. Za više udaljena ili presipajuća skladišta sa intenzivnim mešanjem TS, mikseri mogu biti pogonjeni traktorom.

##### **4.15.1. Mobilni propelerni mikseri**

Mobilni propelerni mešači prilagodljivi su, posebno za slučaj mešanja TS u više od jednog skladišta, što ih čini popularnim. Za skladišta iznad zemlje uglavnom postoje mašine traktorski pogonjene, a mogu biti spuštene po strani suda, koristeći hidraulik traktora, (sl. 4.41.).



Slika 4.41 Sistemi mehaničkog mešanje-mixinga za posude tečnog stajnjaka

Pogodni su za skladišta goveđeg TS, pošto se traktor može kretati zajedno sa mikserom pored ivice skladišta. Zbog veće sedimentacione stope, svinjski i živinski TS moraju biti mešani što češće. Veća skladišta, za dobru homogenizaciju, mogu zahtevati više od jednog miksera. Traktorski pogonjen, fiksno instalirani mikser, razvijen je posebno za upotrebu na skladištima TS iznad zemlje. Čvrsta konstrukcija fiksnog miksera potrebna je zbog otpora ka visokom torzionom momentu, veoma čvrsto, a pouzdano pogonsko vratilo rotora esencijalna je komponenta. Često, ovakva oprema prodaje se kao deo paketa sa bazenom.

#### 4.15.2. Zaronjeni električni mikseri

Mada manje snažni od traktorski pogonjenih, ovi mikseri mogu biti veoma efikasni i prilagodljivi u razbijanju kora i resuspenziji sedimentnih slojeva. Lako su pomerljivi po pravcu, dubini i operativnom mestu. Kod tipičnog dizajna propeleri su direktno povezani sa vratilom motora, (sl. 4.41). Normalno, ovakvi mikseri skuplji su zbog nabavne cene i troškova instalacije od traktorski pogonjenih,

#### 4.15.3. Hidraulično ili mlazno miksovanje

Ovaj metod mešanja ostvaruje se pumpama instaliranim unutar ili van TS skladišta. Spoljna opcija obuhvata rapidnu recirkulaciju u bazen TS kroz povratnu petlju putem pumpe i rasprskivača. Pristupačnost opremi jasna je prednost. Radna cev treba da je prečnika 125 mm ili više, sa dva podesiva rasprskivača na kraju povratne cevi, jedan za razbijanje pokorice a drugi agitaciju sedimenata. Ovaj pristup može da zahteva dugo mešanje za veće skladište. Alternativa većih kapaciteta su zaronjene mikser pumpe.

#### 4.15.4. Poređenje sistema

Tabela 4.12 sumira tipične troškove i ograničenja za bazne tipove mešajućih sistema.

Tabela 4.12 Troškovi i performanse ranga mešajućih tehnika, (Kowalewsky, 1996).

Mešajući sistem	Jedinica troška, 000 eura	Maksimal kapacitet suda, m <sup>3</sup>		
		Govedi slurry	Svinjski slurry	Živinski slurry
<i>Spolja montirana pumpa</i>				
Nominalan kapacitet 3000 l/min	10	500	400	200
Nominalni kapacitet 5000 l/min	13	800	600	400
<i>Potopljena pumpa</i>				
7kW motor	911	800	600	400
13 kW motor		1200	900	600
<i>Propeler kroz zid posude</i>				
40 kW traktor	3	900	700	500
80 kW traktor	4	1200	1000	800
<i>Potopljen propelerni mixer</i>				
7 kW motor	5	1300	1000	700
13 kW motor	8	1800	1500	1100
<i>Lebdeći propelerni mixer</i>				
60 kW traktor	8	1800	1500	1100
100 kW traktor	15	2700	1800	1300

Ocena mešajućeg procesa obično je zasnovana na sledećem:

- efektivno pomeranje pokorice i sedimentnih slojeva,
- homogena distribucija nutrienata,
- inputi radne snage i udobnost i
- ulaganje i tekući troškovi.

Uočena su dva značajna faktora pri komparativnoj analizi mikser sistema:

1. nema poboljšanja nutritivnog sastava tokom mešanja i
2. emisija značajnih količina neprijatnih mirisa i štetnih gasova.

#### 4.16. Separacije TS

Najlakši način odstranjivanja nerastvorljivog materijala iz tečnih stajnjaka je prirodno taloženje i sedimentacija. Međutim, proces može biti neefikasan, prostorno i vremenski veoma zahtevan. Prirodna sedimentacija atraktivan je metod pri odstranjivanju čvrstih faza iz TS zbog: niskih troškova obuhvaćene opreme, relativne jednostavnosti procesa i sekundarne funkcije u obezbeđenju skladišnog kapaciteta.

Brža separacija može se ostvariti korišćenjem mehaničkih zasuna, kao lako primenljive tehnika na farmama. Eksperimenti Vandré (1997) pokazali su znatnu redukciju emisije amonijaka za separiran TS, paralelno raspodeljen sa sirovim TS. Ovakva separacija upotrebljiva je radi ispunjenja tri esencijalna zahteva:

1. *poboljšana penetracija*, tj. prodor stajnjaka u zemljište, praćena nižim stopama emisije neprijatnih mirisa i amonijaka, kao i redukovano prisustvo nepoželjnih primesa (trave, lišće, povrće itd.),
2. *laka manipulacija* omogućava bolju preciznost rasturanja, tj. ravnomernu distribuciju nutrienata i njihovo bolje korišćenje od biljaka i
3. redukcija viška organskog tovara i nerastvorljivih komponenti u TS, čime se smanjuje uticaj na produkciju visoke koncentracije amonijačkog azota.

U praksi, pomenuti zahtevi mogu biti nametnuti na separaciju grubljih čvrstih faza iz TS, dok se preostala tečnost raspršuje po zemljištu. Manji volumeni odstranjenih čvrstih faza, zbog mobilnosti i primene, reprezentuju redukovani ekološki rizik. Naravno, ovakav materijal može biti lokalno rasturen ili transportovan na druge farme, kao i regione sa unapređenom opcijom kompostiranja.

Prednosti mehaničkih pregrađivanja obuhvataju:

- redukciju čvrstih frakcija sadržanih u TS radi dobijanja razređene tečne faze,
- poboljšanje homogenosti tečne faze (nema sedimentata i plutajućih slojeva),
- redukcija zahtevanog skladišnog volumena,
- redukcija energetske potrebe za pumpanje i mixovanje,
- izbegavanje blokada tokom narednih manipulacija i
- priprema stajnjaka za biološki tretman.

Neke mane mehaničkog pregrađivanja obuhvataju:

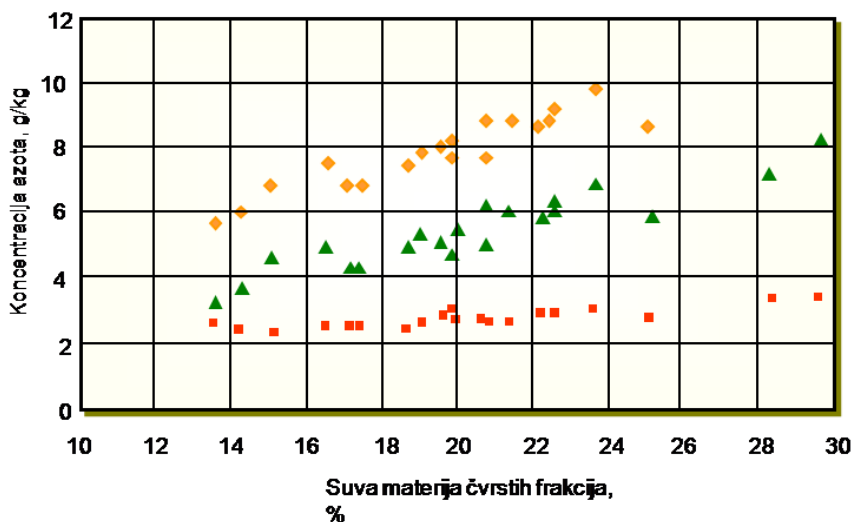
- zahtevani su skladištenje, manipulacija i tehnika rasturanja za tečnu i čvrstu fazu,
- velika ulaganja u mašineriju i
- zahtevana obuka radne snage itd.

Proučavanja sistema pregrađivanja, sedimentacije i centrifugiranja ukazuju da tokom separacije svinjskog TS distribucija nutrienata između čvrstih i tečnih faza široko varira, reflektujući i rastvorljivost. Na primer, organski azot, kao deo ukupnog sadržaja azota, „opravdava“ skoro sav N odstranjen u čvrstoj fazi sa centrifugiranjem TS, (sl. 4.42).

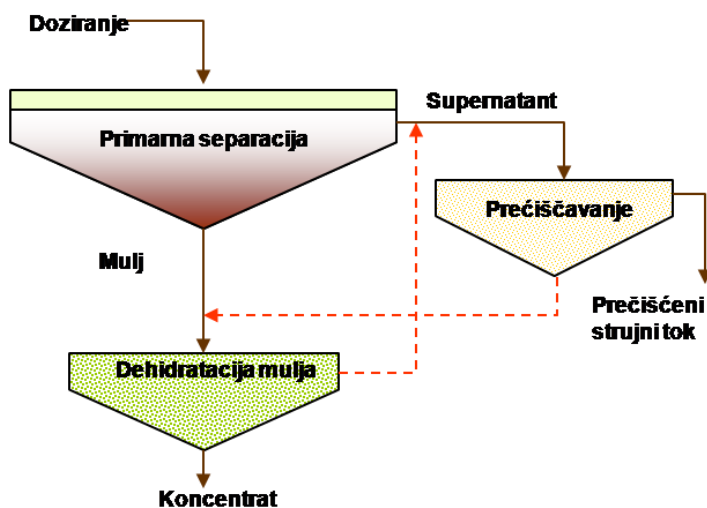
Sa povećanjem sadržaja suve materije u čvrstoj frakciji, ukupan sadržaj azota u njoj takođe raste. Amonijačni azot ostaje relativno konstantan, odražavajući činjenicu da fizička separacija ima mali efekat na bilo koju rastvorljivu frakciju. Sličnu tendenciju pokazuje i kalijum. Fosforna jedinjenja iz celog TS uveliko su odstranjena u čvrstu frakciju, ali je izražen efekat promenljive pH. Drugi uticajan faktor na distribuciju nutrienata može biti dodavanje

flokulanata, npr. katjonskih polimera. Ovakvi aditivi mogu ubrzati separaciju. Tako *Beck i Bihler (1996)* ukazuju na značajno povećanje brzine sedimentacije dodavanjem 10 ppm katjonskog flokulanta u TS.

Najviše separacionih procesa podešeno je na produkciju koncentrisanog mulja ili prečišćene tečne faze-efluenta, a retko oboje u jednoj operaciji. Osiguravanje čistog supernatanta često ide na trošak razblažene muljne faze. Nasuprot tome, formiranje koncentrisanog mulja filterskim zgrudvavanjem, kompromis je procesu prečišćavanja. Paralelno formiranje oba oblika zahteva višestepeni proces, (sl. 4.43). Ova tehničko-tehnološka procedura unapređuje prečišćavanje supernatanta ili zgušnjavanja mulja. Mada je proces ilustrovan kao sedimentaciona operacija, isti principi jednako su primenjivi za sve separacione sisteme.



Slika 4.42 Distribucija azota u čvrstoj frakciji iz svinjskog TS-a centrifugom kao funkcija koncentracije suve materije u čvrstoj frakciji: ♦ ukupan azot, ■ amonijačni azot, ▲ organski azot, (*Beck i Bihler, 1996*).

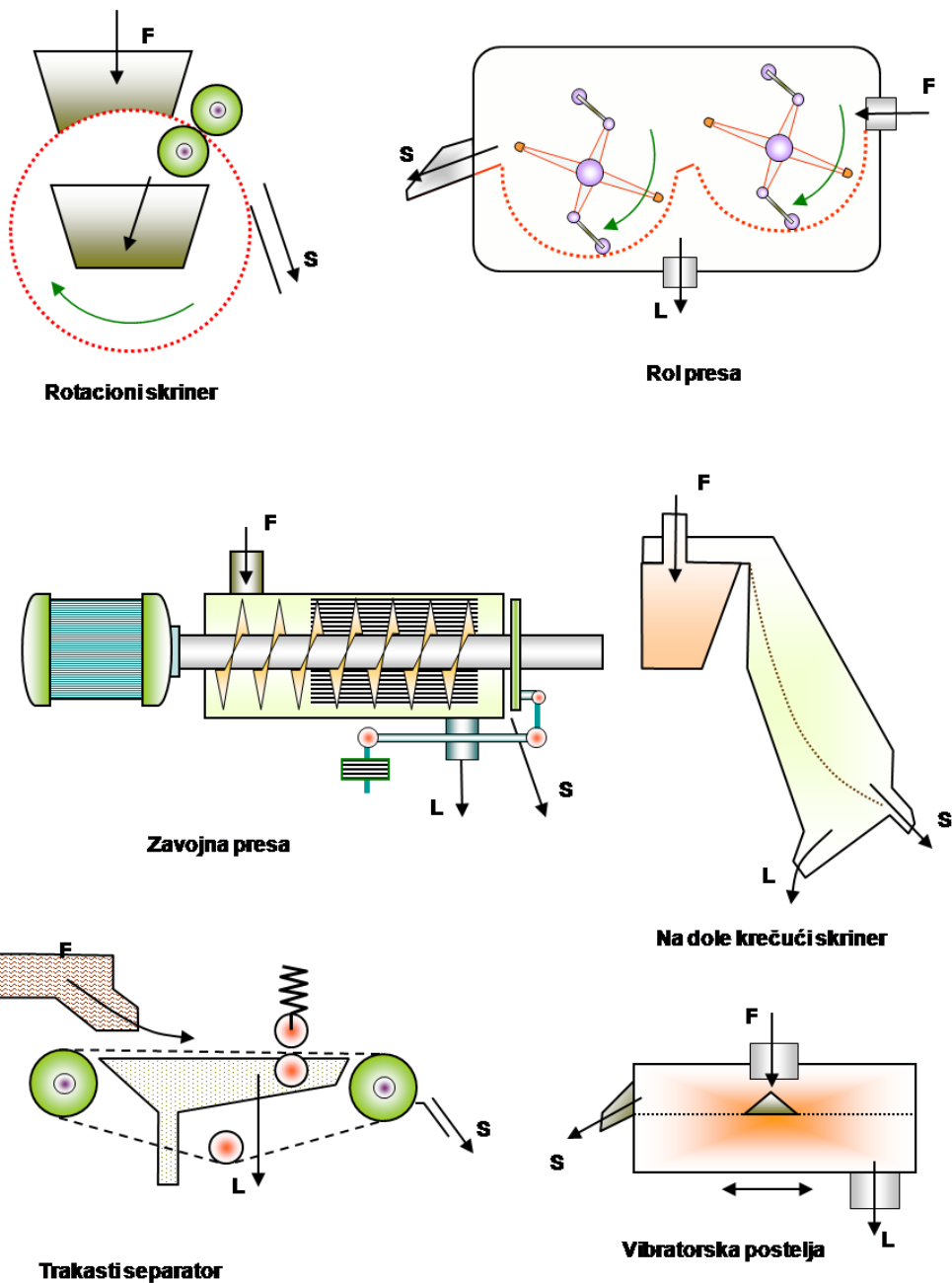


Slika 4.43 Principi separacije za obustavljenu materiju iz tečne faze

Širok rang mehaničkih separatora tržišno je dostupan (npr. savijeno sito, duplo kružno sito, sitasto-trakasta presa, sitasto-bubnjasta presa, zavojno pritiskajući/svrđlasti separator, sitasta centrifuga, centrifugalni dekanter itd.). Pregled pomenutih tipova ilustrovan je na (sl. 4.44). Cene variraju široko reflektujući sofisticiranost i performanse. Pri donjem kraju su bazna zastorna pakovanja (npr. sitasti separatori obuhvataju pumpu i mikser opremu), koštajuća tipično 25000 eura ili manje. Pri gornjem kraju su su centrifuge, koštajuća sa preko 100000 eura, (sl. 4.45). Mada je većina različitih sistema dostupna na tržištu, veoma mali broj stekao je rasprostranjenu popularnost na stočarskim farmama.

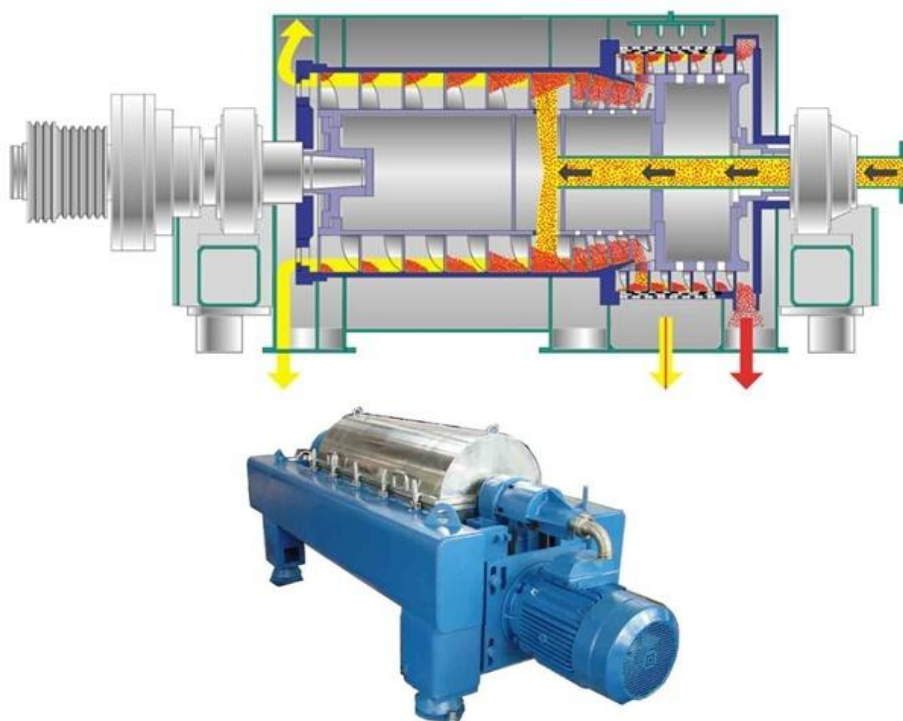
Karakteristični procesni parametri, tj. smeštaj i korišćenje sa održavanjem, efikasnost separacije, redukcija volumena i potrošnja energije, pod uticajem su nekoliko faktora:

- tipa separatora,
- dimenzije okaca sita, ili centrifugalne sile,
- tip stajnjaka,
- aditivi (voda, flokulant) i
- ukupan sadržaj čvrste frakcije sirovog stajnjaka.



Slika 4.44 Tipovi separator: F- doziranje stajnjakom; L- protok skrinovane - „screened“ tečnosti; S- protok čvrstih frakcija ili koncentrata





Slika 4.45 Centrifugalni dekanter za separaciju i koncentraciju mulja iz tečnog stajnjaka

Separator srednjeg ranga može biti zavojna presa, a takođe svrdlasta presa. Performansi podaci za zavojnu presu u gore navedenim uslovima-odnosima dati su kao primer u tabeli 4.13. Ovaj tip mašine robustan je, efektivan i može lako biti podešen prema specifičnim potrebama širokog farmskog ranga, npr. produkcija suvih frakcija podesnih za kompostiranje ili vodene čvrste frkcije sa višim nutrientskim odstranjivanjem. Tabela 4.14. poredi performanse ranga više zajedničkih separatora na stočnim TS.

Tabela 4.13 Separacija govdeđeg stajnjaka sa svrdlastim presa separatorom, (Oechsner et al, 1995).

Otpor sabijanju:	0,75 mm sito „screen“				1,0 mm sito „screen“			
	Vibracije		Bez vibracija		Vibracije		Bez vibracija	
	male	velike	malo	visoko	male	velike	malo	visoko
Obrtni moment, Nm	53	190	53	190	70	190	53	190
Protočna stopa tečnosti, m <sup>3</sup> /h	5	6	4	5	10	12	7	8
Output, kg/h								
čvrste frakcije	1100	700	900	800	1100	800	600	500
tečna faza	4000	4600	3400	3700	8800	10800	5900	7400
Suva materija, kg/m <sup>3</sup>								
sav stajnjak	88	89	81	86	86	81	80	83
tečna faza	48	46	51	46	-	-	-	-
čvrste frakcije	220	280	210	290	240	320	300	340
Efikasnost separacije, %								
suve materije	51	48	57	52	33	27	32	24
azota	20	18	24	20	13	9	10	8
fosfora	33	28	37	30	20	15	17	14
kalijuma	14	13	18	13	10	6	7	5
Specifična energija, kW/m <sup>3</sup>	1,4	1,3	1,6	1,6	-	-	-	-

Najbolji rezultati separacije nutrienata ostvareni su sa centrifugom, posebno u pogledu redukcije fosfata. Relativno velike stope separacije moguće su upotrebom presa sitastog bubnja, ili svrdlasto pritiskajućih separatora. Sa pogodnim tehnologijama moguće je odstranjivanja nutrienata do 80% za fosfor i 50% za azot. Sa ovom tretmanskom opcijom, nutrienti mogu biti koncentrisani u čvrstoj fazi, 10-20% od inicijalne mase, a potom transportovani u druge regione bez viška nutrienda.

Tabela 4.14 Efikasnost separacija nutrienda i tehnički podaci opših separatora stajnjaka

	Trakasta presa	Sitasti bubanj	Zavoljna presa	Sitasta centrifuga	Centrifugalni dekanter
Stopa protoka, m <sup>3</sup> /h	3,3	8-20	4-18	1,9-5,5	5-15
Efikasnost separacije, %					
suve materije	56	20-62	20-65	13-52	54-68
azota	32	10-25	5-28	6-30	20-40
fosfora	29	10-26	7-33	6-24	52-78
kalijuma	27	17	5-18	6-36	5-20
Redukcija volumena, %	29	10-25	5-25	7-26	13-29
Specifična energija, W/m <sup>3</sup>	0,7	1	0,5-2,0	2,2-6,7	2,0-5,3

#### 4.16.1. Separacija mrkim ugljem kao absorbentom

Procesi fizičke separacije generalno su ograničeni na pojavljujuće komponente stajnjaka u zaustavnoj fazi. Separacija može biti poboljšana obuhvatanjem koloidnih i dela rastvorljivih materija upotrebom adsorpcionog medijuma. Tako, zdrobljen mrki ugalj predstavlja dobar adsorbent za izvesne nutriende. Ako se doda u svinjski stajnjak sa učešćem 40 kg/m<sup>3</sup>, efikasnost separacije, uz upotrebu visoko performansnog separatora, npr. centrifugalni dekanter, odstranjivanje pomenutih materija poboljšano je 22%-60%. U pogledu odstranjivanja fosfora uočeno je povećanje izdvajanja 64%-95%. Takođe, za slučaj govedeg TS, dodatak 60 kg/m<sup>3</sup> mrkog uglja dovelo je do separacije 30% inicijalnog azota i 50% fosfora, (Kaysler, 1997).

#### 4.16.2. Zemljani filteri

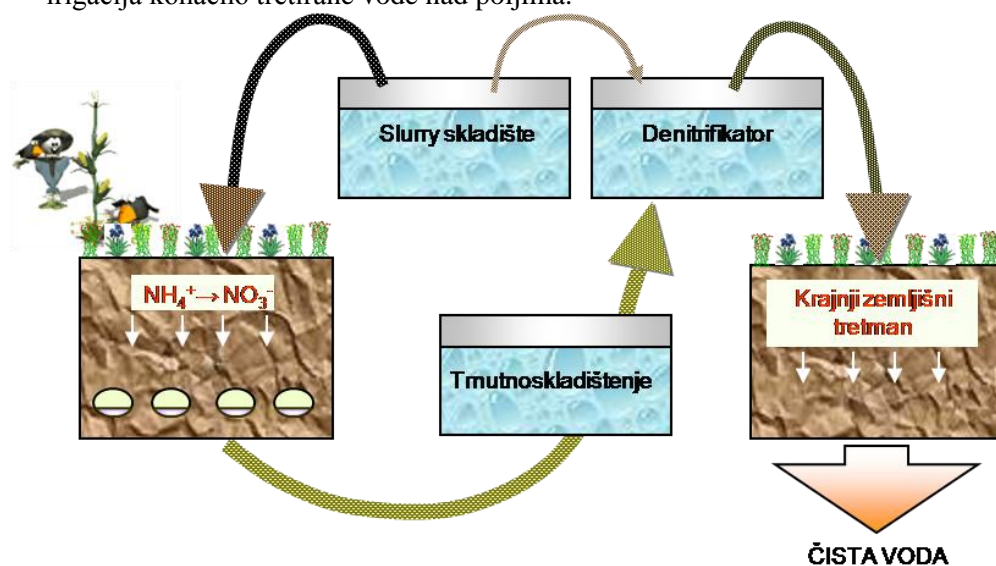
Kretanje stajnjaka kroz zemlju rezultira visokim stepenom prečišćavanja tečne faze, toliko dugo dok kapacitet zemljišta nije prekoračen-faza zasićenja. Ovo je rezultat kombinacije fizičkog procesa separacije, hemijskih reakcija (npr. u slučaju fosfora i teških metala), kao i biološke sa mikrobiološkim aktivnostima, koje ustvari „razbijaju“ i koriste sadržane nutriende. Ovi efekti upotrebljeni su pri konstrukciji sistema zemljišnih filtera. Interesantan primer je „Solepur“ proces postavljen u Britaniji, Francuskoj (Bertrand et al, 1992; Martinez, 1997). Zasnovano na Američkim iskustvima sa BLWRS - Barrièred Landscape Wastewater Renovation System, (Ritter i Eastburn, 1978), tretirana je nitratno bogata drenažna voda iz zemljišta sakupljenog sa polja, koje je zatim denitrifikovano u otvorenom bazenu. „Solepur“ tretmanska jedinica sastoji se iz tri dela, (sl. 4.46):

1. polje od 3000 m<sup>2</sup> (drenirano i zaštićeno od krećućih voda), a dozvoljava totalni povratak cureće vode, koja se cedi kroz porastajuću ražnu travu (*Lolium perenne*), u kojoj je doziran svinjski TS,

2. sistem „skladište-pumpa-reaktor za denitrifikaciju“ i
3. slobodno-nerukovođeno polje za kompletiranje tretmana.

Proces obuhvata sledeće operacije:

- predoziranje upravljanog polja sa suvišnim TS,
- sakupljanje i tretiranje nitratom namočenih produkata i
- irigacija konačno tretirane vode nad poljima.



Slika 4.46 Šematski prikaz „Solepur“ procesa, (Martinez, 1997).

Tokom nekoliko godina,  $5000 \text{ m}^3/\text{ha}$  sirovog svinjskog TS bilo je aplicirano na upravljanom polju (ekvivalent  $1000 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{godini}$ ). Prosečan godišnji tovar nutrijenta bio je  $4900 \text{ kg}/\text{ha}$  od ukupnog azota,  $1600 \text{ kg}/\text{ha}$  od totalnog fosfora i  $1700 \text{ kg}/\text{ha}$  od ukupnog kalijuma. Proces obara COD svinjskog TS sa 99% i odstranjuje 99,9% fosfora i aproksimativno 90% azota. Krajnji efluent je namakajući, sadržavajući veoma nisku koncentraciju organske materije, ali sa relativno visokim nivoom nitrata, rezultirajućih iz oksidacije azota TS u zemlji. Stepenn efikasnosti denitrifikacije bio je zadovoljavajući, demonstriran kroz sadržaj neorganskog-N zemljišnih profila i kontinualnu analizu namočene vode, napuštajuće sa predoziranog polja, a koja pokazuje nitratnu koncentraciju do  $1500 \text{ mg}/\text{l}$ . Sledeće azotno odstranjivanje iz nitratom bogate nakvasine ostvareno je kroz serijski denitrifikacione zone. Sirov svinjski stajnjak, koji obezbeđuje snabdeva ugljenikom radi podrške biološke denitrifikacije, dodat je u zapreminu drenažne vode sa odnosom 1:20 do 1:100.

U „Slepur“ procesu, zemljište je primarna tretmaska stanica, predstavljajući fizičku i biološku barijeru. Njegove zaustavljajuće i biodegradabilne performanse uglavnom su ocenjene kroz istraživačku test analizu namočene vode, ceđenu kroz zemljište. Proces izgleda obećavajuće pri manipulaciji viškom stajnjaka i efluenata u kratkom roku. Međutim, ostaju nepotvrđene sumnje o konačnom kvalitetu zemljišta sa posmatrane zemljišne površine nakon nekoliko godina upotrebe, kada ono može biti očekivano kao teško opterećeno mineralima, organskim talozima i teškim metalima.

#### 4.16.3. Principi membranske separacije

Ako su dva rastvora separirana sa polupropustljivom membranom, voda teče od strane sa većom koncentracijom, izazivajući diferencijalni hidrostatički pritisak-osmotski pritisak.

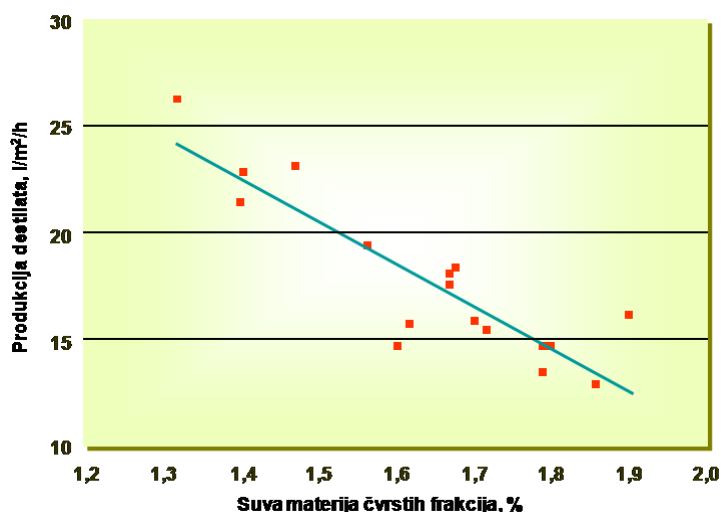
Reverzna osmoza rezultuje povećanjem pritiska na strani veće koncentracije soli, tako iznudaujući prožimanje voda nazad kroz membranu, pri tome zadržavajući minerale i soli. Protok vode kroz membranu zavisi od neto razlike pritisaka. Ova razlika mora biti veća od osmotskog pritiska tečnosti, npr. za morsku vodu sa 3,5% sadržaja soli, osmotski pritisak je oko 25 bara. Niži pritisci biće dovoljni sa više otvorenim membranama, upotrebljenim pri ultra filtraciji, u kojoj neke od malo rastvorenih molekula takođe prolaze kroz membranu, čime je omogućeno lako i zagarantovano odstranjivanje bakterija i virusa. Ovo je više pogodna tehnologija za razblažene otpadne vode iz stočarskih farmi. Ovako dobijena voda-destilat nije pogodna kao pijaća za životinje, ali može biti upotrebljena kao tehnička i higijenska ili za irigaciju ako pH nije mnogo niska.

*Van Gastel i Thelosen (1995)* istraživali su primenu ove tehnologije sa razblaženim animalnim stajnjacima. Cilj je bio određivanje stepena dehidracije TS krmača. Eksperimenti su izvršeni na pilot postrojenju 8 m<sup>2</sup> membranske površine, pod različitim uslovima, sa ubačenim TS prosečnog sadržaja suve materije 1,7%. Povišenje temperature od 10° C do 20° C poboljšava destilacionu produkciju od 15 do 25 l/m<sup>2</sup>h i redukuje potrošnju energije po m<sup>3</sup> destilata sa preko 30 kWh do ispod 20 kWh. Zadržavanje soli bilo je oko 99%, ali značajno redukovano starenjem membrana. Tokom procesa važno je čišćenje membrana radi održavanja njihove efikasnosti. Tako su probe *Schieding (1997)* pokazale da je proces prečišćavanja obavljen nakon 50 radnih časova. Generalno, pomenuti pritretmani sa TS značajno ispomažu efikasnost i dugotrajnost membranskog sistema.

Može se zaključiti, da je upotreba membranske tehnologije u dehidraciji TS krmača moguća, mada je važan preduslov dekompozicija organske frakcije, a čvrste faze moraju biti odstranjene efektivnom sedimentacijom, separacijom ili filtracionim procesima, pre ulaska tečnosti na membranski tretman. Suštinski, efektivno odstranjivanje čestica ne može biti garantovano pri upotrebi samo sedimentacija kao pritretmana.

Ključni faktor membransko-separacionog procesa je kvalitet i kvantitet destilata. Neizbežno, inicijalna i krajnja koncentracija materije važna je, ali je time ostvarena prekomerna kiselosti influenta.

Proučavanja *van der Kaa (1996)* ilustrovana su na slici 4.47, pri redukciji sadržaja suve materije u tretiranom fluidu od 1,9 do 1,3%, skoro dupliran output destilata (od oko 13 na 27 l/m<sup>2</sup>.h).



Slika 4.47 „Permeate“- destilatni fluks kao funkcija ukupnog sadržaja čvrste faze u reverznoj osmotskoj jedinici, (*van der Kaa, 1996*).

Ova otkrovenja podržana su sa rezultatima dobijenim od *Schieding (1997)*. Zakišeljavanje TS sa pH u rangju 5 do 6, ili čak niže, obično je potrebno radi sprečavanja skaliranja i povećanja odstranjivanja nutrijenta, posebno amonijakog azota.

Zasnovano na grupaciji od 500 životinja, troškovi dehidracije TS krmača posredstvom sedimentacije i reverzne osmoze, uključujući njegovo odstranjivanje, je oko 15 eura po m<sup>3</sup> TS produkovanog na farmi, van der Kaa, 1996. Ušteda putem upotrebe prečišćene vode i pada potrebnog kapaciteta skladišta stajnjaka, nisu proračunate. Prema opisanom, membranska separacija može biti buduća opcija za dehidraciju tečnog stajnjaka iz velikih uzgajivačkih jedinica, tj. više od 1000 krmača, ali ovo zavisi od razvoja cena iznošenje stajnjaka i progressa drugih tehnika, kao što je evaporaciona.

#### 4.16.4. Sušenje animalnih otpada

Ma koji tehničko-tehnološki proces dorade stajnjaka bio primenjen, uključujući toplotu, on implicira visoke tekuće troškove, zajedno sa neophodnim kapitalnim troškovima. Sušenje animalnog otpada može omogućiti suštinske dobiti, a specifično:

- velika redukcija u volumenu stajnjaka (omogućava lakši transport),
- produkcija stabilno korisnog proizvoda (lakša manipulacija),
- redukcija emisije amonijaka iz apliciranog suvog produkta i
- sterilizacija.

Očigledno, atraktivnost toplotnog procesa vezana je za stajnjake višeg sadržaja suve materije, posebno iznad 30%, npr. živinski stajnjak, usled smanjenih količina vode za odstranjivanje i višeg prinosa suvih produkata. Sa TS-ma, operacije prikoncentracije i zgušnjavanja, neophodni su prvi koraci, radi izbegavanja visokih troškova sušenja. Sam po sebi, prvi deo sušenja je efektivna evaporacija, koja može biti izvedena u odvojenom konvencionalnom razmenjivaču toplote, gde je kretanje tečnosti iznad tople površine prioritet. Druge faze, u kojima je tečnost progresivno pretvorena u čvrstu fazu, zahteva različitu mehaničku opremu radi obezbeđenja intenzivno mehaničkog podsticanja materijala ka kretanju, bez tendencije zaustavljanja ili napuštanja poželjne tretmanske putanje. U svrhu minimizacije emisija amonijaka, tokom samosušenja koriste se biološki filteri za pečišćavanje izduvnog vazduha.

#### 4.16.5. Evaporacija

„Manura sistem“, razvijen u Danskoj, praktičan je primer primene evaporacione tehnologije procesuiranja stajnjaka u upotrebljiv proizvod. Ovaj sistem razdvaja stajnjak u frakciju koncentrata 10-20% i preostali kondenzat 80-90%. Zaprljanost toplotnog razmenjivača utvrđena je kao jedan od glavnih operativnih problema, (*Weiland, 1997*).

Sama evaporacija ne redukuje tovar nutrijenta, ali povećava njegovu transportabilnost. Ako se u sistem integriše dodatno raspoloživ, adekvatan koračni proces, amonijak može biti skinut toplim vazduhom ili parom.

#### 4.16.6. Redukcija amonijaka

Nepoželjni amonijak može biti iznet iz TS vazduhom ili parnim ubrizgavanjem. Efikasnost procesa pomognut je ako je pH vrednost u porastu do 12, dodavanjem alkalija, kao što je kalcijum oksid, CaO. Oduzimanje amonijaka parom ne zahteva dodavanje bilo koje

hemikalije, ali formiranje pene i sedimentacija čvrtih frakcija, zajednički su problemi ovog tipa tretmana. Značajan broj čišćenja opreme mora biti izvršen radi održavanja procesa na optimalnom nivou, a u tom smislu, prethodna anaerobna digestija može značajno poboljšati proces. Oduzet amonijak potom može biti ispran sa  $H_2SO_4$ . Priznata vrednost amonijačnih rastvora, kao mineralnog fertilajzera ili sirovog materijala za hemijsku industriju, do sada je marginalizovana.

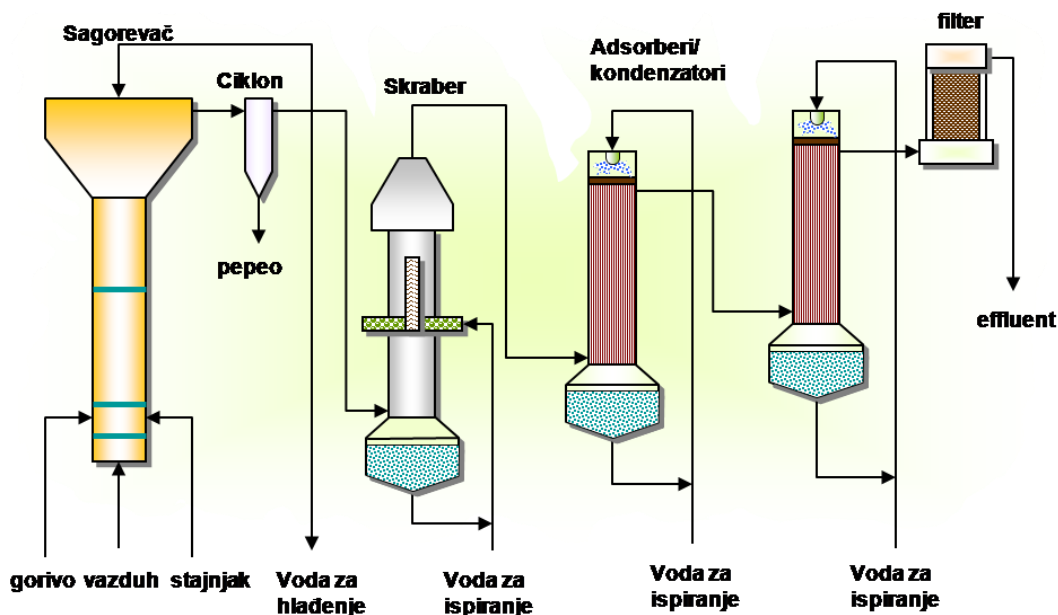
#### **4.16.7. Spaljivanje stajnjaka**

Tokom zadnjih godina, nekoliko pokušaja učinjeno je na rešavanju problema viška animalnog stajnjaka spaljivanjem. Totalno spaljivanje otpada može biti veoma efektivan tretman za redukciju nutritivnih tovara, ali troškovi mogu biti veoma visoki, desetine eura po toni. Sadržaji mineralnih nutrienda koncentrisani su u pepelu ili u cevi za odvod izduvnih gasova.

Sagorevanje čvrstih stajnjaka može biti mrežni generator električne energije. Postrojenja za električnu energiju u UK operišu sa čvrstim živinskim stajnjacima, obuhvatajući prostirne materijale, kao što su drvene strugotine ili slama. Kalorična vrednost substrata može se izjednačiti sa oko jednom polovinom vrednosti za ugalj. Proces sagorevanja startuje pri  $800-850^{\circ}C$ . Kao u normalnom postrojenju za produkciju el. energije sagorvnjem uglja, toplota je transformisana u električnu energiju, upotrbljavajući parne turbine i generatore. Izduvni gasovi prečišćavaju se ciklonski i električnim filterima. Gasni prečistač sastavni je deo siszema. Pepeo se koristi kao dodatak za normalne mineralne fertilajzere. Fabrike električne energije generišu je u redu veličina MW.

*Van der Kaa (1996)* izvestio je rezultate pilot proba na katalitičkom sagorevaču TS na istraživačkoj stanici u Sterksel, Holadija. Postrojenje, prikazano šematski na slici 4.48, imalo je procesni kapacitet od 5 kg (ekvivalent suve materije) po času. Pre nego je stajnjak ubrizgan u komoru za sagorevanje, katalitičke kapi zagrevane su do  $300^{\circ}C$ . Ove kapi slobodno vrtlože naokolo, zajedno sa ubačenim vazduhom u reaktor, time obezbeđujući efikasnije sagorevanje. Ova mešavina se potom ubrizgava pri temperaturi reaktorske radne zapremine do  $750^{\circ}C$ . Nakon toga, protok mešavine se redukuje, a protok TS povećava do maksimuma. Zavisno od organskog sadržaja TS, više ili manje goriva mora biti ubrizgano radi održavanja temperature u peći pri vrednosti  $750^{\circ}C$ . Voda za hlađenje produkata može potencijalno povratiti toplotu sa udelom od 30-50%, zavisno od njene upotrebe, a ohladiti izduvne gasove na  $300^{\circ}C$ .

Gas iz izduvne cevi sagorevača sadrži čestice pepela i gasove, uključujući  $NO_x$ ,  $SO_2$ , CO i  $CO_2$ . Ovaj izduvni gas prolazi kroz ciklon, čime su fine čestice pepela odstranjene. Vodom rastvorljivi gasovi zatim su odstranjeni adekvatnim vlažnim filterima.



Slika 4.48 Pilotska šema spaljiivača za tečni stajnjak sa ciklonom i skraberom za tretman produkovanih izduvnih gasova, (van der Kaa, 1996).

Učešće vode za pranje raste tokom procesa usled kondenzacije izduvnog gasa. Tipičan protok vode za ispiranje je oko 500 l/h (za 5 kg/h čvrste faze). Dva absorbera/kondenzatora dodatni su korak za prečišćavanje vazduha. Gasovi efluenta konačno prolaze čestični filter, pre njihovog puštanja u atmosferu. Opisana tehnologija skoro je opšte upotrebna za odstranjivanje opasnih otpada, mada će njena aplikacija na stočarske otpade biti novoupotrebljena, jer je još uvek na nivou demonstracije praktične primene.

#### 4.16.8. Pasterizacija stajnjaka

Stočni stajnjak sadrži opseg mikroorganizama, kao potencijalni zdravstveni rizik za ljude i životinje. Implementacija sistema toplotnog tretmana za eliminaciju glavnih patogena omogućava manja ograničenja u procesu odstranjivanja stajnjaka, bez opasnosti od širenja bolesti. Efikasnost toplotne destrukcije patogena zavisi od interakcije vremena i temperature. Toplotni izvori obuhvataju sledeće:

- zagrevanje stajnjaka sa spoljnim toplotnim inputom,
- termofilnu aeraciju,
- anaerobno-termofilnu digestiju sa spoljnim enrgetskim inputom i
- dodavanje toplote, generišući hemikalije, kao što je CaO.

Spoljno zagrevanje za pasterizaciju testirano je uz veoma skupu tretmansku proceduru. Osim toga, substrat mora biti tretiran u razdvojenim serijskim posudama, time izbegavajući ukrštnu kontaminaciju. Zengerling (1993) obavio je opširane testove sa pasterizatorom u dve komore. Ovaj proces treba 35 do 55 kWh/m<sup>3</sup> energetskeg inputa pri upotrebi gasnog gorionika, vodeći ka ukupnim troškovima 40 do 50 eura/m<sup>3</sup>. Sistemi za povratak toplote mogu značajno redukovati ove troškove.

Termofilna aeracija upotrebljava se u tretmanima gradske i industrijske otpadne vode. Aplikacija ove tehnologije u poljoprivredi zahteva modifikaciju konvencionalnih skladišnih bazena ili posebno termički izolovane posude. To je samozagrevajući proces, zasnovan na

intenzivnoj dekompoziciji organske frakcije sa mikrobima, stimulisanom kroz intenzivnu aeraciju sa malim mehurićima. Tretmanski proces trajao je minimalno deset dana, (*Oechsner, 1991*). Pri tome, glavni problemi leže u povećanim teškoćama aeracije i oduzimanju amonijaka.

Anaerobna termofilna digestija drugi je alternativni tretman koji vodi pasterizaciji, toliko koliko traje proces pod termofilnim opsegom temperature (52-57° C). Opcija je koprocening stočnog stajnjaka sa otpadnim muljem i domaćinskim otpadima, ali otpadni mulj obično se smatra većim higijenskim rizikom nego sam stajnjak.

#### **4.16.9. Hemijski i mikrobiološki aditivi**

Hemijski tretman TS može biti efektivna opcija kada se postupa sa viškom nutrienata u stajnjaku. Međutim, dodatak hemikalija može da ima ograničenu prednost, npr. redukcija amonijačnih emisija ili redukcija fosfora generišu problem ekološkog uticaja korišćenih hemikalija.

Aditivi u tečni stajnjak koriste se radi uticaja na njegove izvesne osobine, npr. stimulisanje ili usporavanje mikrobno konverzionih procesa. Selektovane mikrobne kulture predlažu se u svrhu ubrzanja digestivnog procesa. One zahtevaju inicijalnu pH vrednost od 6,0 (sa dodavanjem limunske kiseline) i glukozu kao njihovu hranidbenu bazu. Tada se dobija redukcija od pH 8 u netretiranom TS na pH 6 u tretiranom TS, (*Hendriks i Vrielink, 1996b*). Međutim, ova tretmanska opcija skupa je za upotrebu u poljoprivredi.

Da bi se aktivnost TS stimulisala, izuzetak je dodavanje većih količina ugljenih hidrata 5-10%. Ovo može biti namenski učinjeno radi obaranja pH u TS, a time redukovanja emisija amonijaka iz njega. Upotreba enzimskih aditiva predložena je kao metod povećanja digestije TS. Slična situacija pojavljuje se sa rangom produkata prodvanih za kontrolu neprijatnih mirisa. Mnogi od pomenutih aditiva nedokazani su, mada mogu biti upotrebljeni kao kontrolisani, bez dodatnih ekoloških problema. Zabeležena su pozitivna iskustva dodatkom sintetskih zeolita u svrhu redukcije amonijaka.

Emisije amonijaka iz tečnog stajnjaka mogu biti redukovane acidifikacijom TS, radi dovođenja balansa između  $\text{NH}_4^+$  i  $\text{NH}_3$ . Jedna opcija je zakiseliti tečni stajnjak dodavanjem minerala ili organskih kiselina u dozi 70 kg kiseline po animalnom mestu i godini (npr. mlečna kiselina, azotna kiselina). Troškovi su oko 15 eura po uzgojnom mestu, (*Hendriks i Vrielink, 1996a*). Druge probe, koje su dozirale goveđi stajnjak sa 4% mlečne kiseline, pokazale su da pH može biti redukovana do 4,5, tako stabilizujući amonijačni azot. Međutim, bilo je neophodno dodati unapređene doze, jer je mlečna kiselina delimično metabolizirala sa mikrobima. Efekat je bio da emisije metana i amonijaka budu signifikantno umanjene, ali korišćene velike količine kiseline i njihove visoke cene, ozbiljan su ograničavajući faktor.

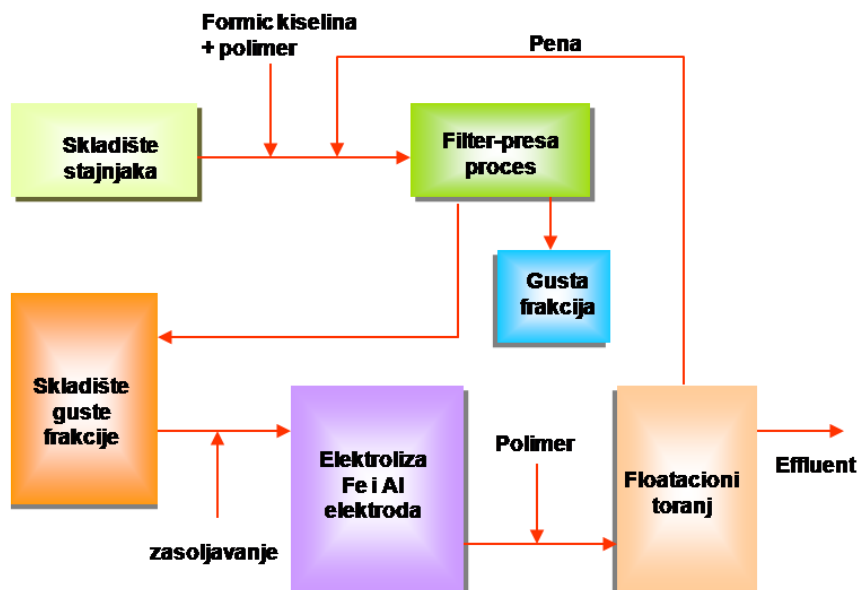
#### **4.16.10. Redukcija fosfata krečnim mlekom**

Sledeći dekompoziciju najvećeg dela organske materije u TSg (sa aerobnim ili anaerobnim tretmanima), 60-70% fosfora može biti odstranjeno obustavljenim čvrstim frakcijama mehaničkom separacijom. Preostala fosforna jedinjenja moguće je redukovati krečnim mlekom. Oko 35 do 40 kg CaO po m<sup>3</sup> TS treba dodato u pritretirani stajnjak. Po redukciji koncentracije fosfora, u izbistrenoj tečnosti može ga biti manje od 2 ppm, (*Weiland, 1997*).



#### 4.16.11. Hemijska elektroflotacija

Ovaj proces je u razvojnoj fazi. Postrojenje za tretman TS sastoji se od dva glavna elementa: trakaste filter prese i elektroflotacione jedinice, gde započinje elektroliza paralelno sa flotacionim korakom. Na izlazu uređaja formiraju se gomile finišnog proizvoda, (sl. 4.49). Iz miksovanog bazena, sirovi TS prepumpava se u trakastu filter presu. Za intenzifikaciju dehidracije na traci, dodati su mravlja kiselina i katjonski polielektrolit. Konvejserska traka odstranjuje produkovan mulj, tipično 20-25% suve materije. Prečišćena tečnost treba da ima manje od 1,5% ukupno čvrstih frakcija. U protivnom, elektrofiltraciona jedinica ne funkcioniše propisno. Izdvojena tečnost prepumpava se u elektroliznu jedinicu. Mehanizam je zasnovan na principu koji stvaranjem jednosmerne struje između željezne i aluminijumske elektrode, formira fero (sa trovalentnim gvoždetom) i aluminijumske jone. Flokulacija uzima mesta kao rezultat reakcije između ovih jona sa organskim komponentama stajnjaka. Flotacija je podržana sa dodavanjem kiseline i/ili polielektrolita. Efluent iz faze elektrolize prepumpava se u flotacioni toranj, gde se formira gomila penaste forme na vrhu tornja, koja se vraća na trakastu filter presu radi dehidracije. Prečišćen efluent, uveliko iscrpljen nutrientima, može bezopasno biti primenjen u velikim dozama na produkcionim zemljištima.



Slika 4.49 Blok dijagram elektroflotacijskog sistema, (van der Kaa, 1997).

#### **4.17. Predlog strateških mera u bliskoj budućnosti**

Pored visokog stepena razvijenosti, poljoprivredni sistemi Zapadne Evrope, u tehničkom i tehnološkom smislu, strateški se usavršavaju. Pri tome je posebno izražena tendencija specijalizacije individualnih farmi, što za naše uslove predstavlja formu stohastičnosti. Pri iznalaženju dislokacijskih odredišta postojeće forme produkovanih stajnjaka, lokalno zemljišno, ipak ostaje glavno odredište, čime oni poprimaju formu hazardnog otpada. Suštinski, redukcija ovog problema u bliskoj budućnosti podrazumeva primenu opisanih reciklažnih tokova. Naime, njihova adekvatna primena rezultiraće izraženim sniženjem stepena ekološkog zagađenja baznih životnih fluida: površinskih i podzemnih potencijala vode u interakciji sa nekontrolisano brzo premestivim vazduhom, kao predmetom raznovrsnih vrsta i nivoa geografski prostornih sporova. Realizacija ovog kompleksnog zadatka podrazumeva ozbiljne strateške promene u našoj poljoprivrednoj proizvodnji, tj. strukture i ponašanja vlasti pod supervizijom domaće javnosti.

Jedan od ključnih problema pri manipulaciji animalnim TS je relativno niska koncentracija suve materije u njima. Kao primer, za neke otpadne vode mlekarstva, ova vrednost može biti značajno ispod  $10 \text{ kg/m}^3$ . Negativnost viška vode u TS odražava se kroz: postojanje potreba za većim skladišnim kapacitetom, otežanu primenu u skladu sa zahtevima produkcionog useva i povišenju troškova transporta. Prema tome, redukcija volumena stajnjaka putem minimiziranja učešća vode, pruža jasne benefite. Bazni preduslov tome je praktična primena strateških direktiva za njenu delotvornu upotrebu na farmi.

Pravilno izabran i primenjen tehničko-tehnološki tretman važan je element generalnog menadžmenta TS, mada su u EU samo neki od pojava sistema na nivou specijalizovanog farminga praktični i efektivni, (tab. 4.15).

Adekvatan tretman stočnih stajnjaka i raznih tečnih produkata u poljoprivredi nije univerzalna solucija sa aspekta resultantno posledičnih problema. Kao takav, on reprezentuje samo deo kompleksa primenljivih solucija. Primer ovome može biti redukcija rizika kontaminacije teškim metalima u zemljištu. Naime, upotreba bakarnog i cink sulfata, kao aditiva životinjskoj hrani, povećava njenu efikasnost i kontroliše dizenteriju kod svinja.

Tabela 4.15 Predlog primene mogućih tretmana sa stajnjacima u domenima poljoprivredne produkcije i ekologije

---

1. Dobar menadžment stočnih otpada (npr. sakupljanje, skladištenje, mešanje, pumpanje i raspršivanje stočnih stajnjaka), prateći postojeće i nadolazeće direktive, može značajno olakšati ekološke probleme u adekvatnim okolnostima, mada je retko kompletno rešenje.

2. Tamo gde postoji lokalni višak stajnjaka, dostupan pogodnom zemljištu za rasturanje, samo dobar menadžment neće biti dovoljan za izbegavanje ekološkog zagađenja. Dakle, viškovi stajnjaka zahtevaće transport van lokalnog prostora ili formu pogodnog tretmana.

3. Čak tamo, gde postoji dobar lokalni balans zemljišnih nutrienata, ipak neka forma tretmana može biti podesna, npr. za redukciju neprijatnih mirisa ili minimizaciju specifičnih rizika od bolesti.

4. Širok rang tehnika za manipulaciju stajnjakom dostupan je, a mogu rešiti mnoge identifikovane probleme i ponuditi značajne benefite. One uključuju: aeraciju (redukcija neprijatnih mirisa, zagađenja vode i vazduha itd.), anaerobnu digestiju i „laguniranje“ (produkcija biogasa (Zoranović et al., 2008b), redukcija neprijatnih mirisa i sadržaja BOD), separaciju (lakša manipulacija, redukcij sadržaja BOD) i kompostiranje (formiranje fertilizacionih proizvoda).

5. Nužan razvoj ranga novih procesa za doprinos efektivnosti tretmana nad stajnjacima u bliskoj budućnosti. Ovo obuhvata toplotne tretmane, prečišćavanje otpadne vode zemljištem, upotrebu hemijskih aditiva i membranskih procesa.

6. Neki tretmansi sistemi podležu potrebi dokazivanja, ili po efektivnosti, i/ili cenovno, kako bi bili praktični adekvatnom nivou farminga. Primena mnogih aditiva u tretiranju stajnjaka nije jednoznačno istražena i naučno potvrđena.

7. Ako je rizik od bolesti ekstreman, tada toplotni tretman može ponuditi pouzdan i efektivan tretman. Prema upotrebi hemikalija, ova alternativa ima manji negativan ekološki uticaj, a rekuperacijom ili regeneracijom toplote, tekući troškovi mogu pasti ispod 1 euro po toni tretiranog materijala, Zoranović et al., 2010.

8. Danas postoje brojna pilot i demonstraciona postrojenja, nudeći kompletan tretman stajnjaka, ponekad sa finišno prodajnim ko-proizvodima. Budućnost ovakvih sistema zavisiće uveliko od prave tržišne vrednosti ovakvih proizvoda i /ii definisane važnosti za ovakvim visoko-stepenim tretmanom.

---

Najveći deo sadržaja teških metala u životinjskoj hrani izlučen je kroz njihov probavni trakt, rezultirajući povišenim koncentracijama u stajnjaku. Uopšteno, umerene stope teških metala u životinjskim hranivima ne rezultuju značajnom akumulacijom teških metala u zemljištu, tj. bilo kakvim oštećenjem njegove biomase. Međutim, njihove visoke aplikacione stope, npr. upotrebljene u područjima intenzivne svinjarske produkcije i ograničenom oraničnom arealu, mogu rezultirati signifikantnom akumulacijom u zemljištu i biljnom toksičnošću.

Jedna od prvih debata simpozijumskih susreta u EU, a marginalno u domaćim uslovima, je širok rang farming scenarija. Faktori, kao što su dimenzija farme, tip zemljišta adekvatnog geografskog lokaliteta, klimat i produkcionim metodi, ukazuju na porast broja farmi individualnih karakteristika u pogledu primenjenih tretmana stajnjakom.

Aplikacija prekomernih količina stajnjaka i/ili rđavog upravljanja, vodi problemu kontaminacije vode (nitrati, fosfati i organska materija), vazdušne emisije (amonijak, azotni oksid i metan) i zemljišnih taloga (fosfati i teški metali). Takođe postoje rizici od

potencijalnih bolesti. Mada ne striktno forma ekološkog zagađenja, debata mirisnih smetnji ponekad je glavni faktor, izazvan pritiskom ugroženog dela javnosti.

Ključ za poboljšani menadžment raznih tipova stajnjaka leži u promeni javnog odnosa prema njihovim vrednostima kao formi organskih fertilizera. Naime, tamo gde postoji lokalni višak stajnjaka, relativno dostupan pogodnom zemljištu za njegovo rasturanje, dobar menadžment neće biti dovoljan za izbegavanje rizika od pomenutih oblika zagađenja. Dakle, viškovi stajnjaka treba da se transportuju u adekvatna van lokalna područja ili će biti zahtevana neka forma propisnog tretmana nad njima.

Problemi stočnog stajnjaka mogu biti efektivno rešavani samo kombinovanim pristupom, uključujući farmere, upravljačku vlast, istraživačke organizacije za obezbeđenje tehničkih solucija i poljoprivredne snabdevače, radi obezbeđenje implementacije ovakvih tehnika. Zahtevane akcije mogu biti sumirane kao:

- informacija, komunikacija i edukacija,
- zakonodavstvo sa propratnim regulativama i
- razvoj ključnih tehnologija za omogućavanje unapređenih poboljšanja sistema menadžmenta stajnjaka.

**4.18. Literatura:**

1. Beck J, Bihler J. 1996. Nutrient transfer during slurry separation processes. Proceedings from EU-funded Concerted Action Workshop at Cemagref, Rennes, November 1996. Edited by C. H. Burton, Silsoe Research Institute, Wrest Park, Silsoe, Bedford, UK.
2. Bernal M P, Roig A, Garcia D. 1993a. Nutrient balances in calcareous soils after application of different rates of pig slurry. *Soil Use and Management* 9: 9-14.
3. Bernal M. P, Lax A, Roing A. 1993b. The effect of pig slurry on exchangeable potassium in calcareous soils. *Biology and Fertility of Soils* 16: 169-172.
4. Bernal M P, Roing A, Madrid R, Navarro, A. F. 1992. Salinity risks on calcareous soils following pig slurry applications. *Soil Use and Management* 8: 125-130.
5. Bertrand M, Martinez J, Levillain S, Hector C. 1992. A biological treatment of pig slurry at the farm scale: the Solepur process. In Proceedings, International Conference on Agriculture Engineering (Ag. Eng.), Uppsala (Sweden), June 1992: 295-296.
6. Bicudo J. R. 2001. Odor control by aerobic treatment systems. Contribution to Matresa workshop IMAG, Wageningen, Netherlands, 11-12 October 2001.
7. Boon A, Thomas V. K. 1994. Some new technologies for treatment of sewage sludge. In *Sewage Sludge Treatment and Disposal. Seminar Documentation*, Manchester, 14 July. IBC Technical Services Ltd.
8. Bruce A. M, Pike E. B, Fisher W. J. 1990. A review of treatment process options to meet EC sludge directive. *J. of Inst. of Water and Environmental Management*, 4(1): 1-13.
9. Burton C. H, Sneath R. W, Farrent J. W. 1993. The effect of continuous aerobic treatment on the fate of the nitrogen in piggery slurry. In *Nitrogen flow in Pig Production and Environmental Consequences, Symposium Proceedings*, Wageningen, 8-11 June 1993 (eds Versteegen, M.W.A.; den Hartog, L. A., Van Kempen, G. J. I. M., Metz, J. M.). EAAP publ. 69: 404-409.
10. Burton C. H. 1997. *Manure Management: Treatment Strategies for Sustainable Agriculture*. Silsoe Research Institute, Bedford, UK, ISBN 0-9531282-0-2.
11. Burton C. H, Turner C, Scotford I. M, Cumby T. R. 1999. A full scale mobile treatment unit for the decontamination of pig slurries containing SVD or ASF viruses – a practical design guide for farm applications. Contract report for the Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London, UK No. CR/973/99/0253, July 1999. Silsoe Research Institute, Silsoe, Bedford, UK
12. Cabrera M. L, Sims J. T. 2000. Beneficial use of poultry by-products. Challenges and opportunities. In *Land Application of Agricultural, Industrial, and Municipal By-Products*, eds J. F. Power, W. A. Dick. SSSA Book Series No. 6, SSSA, Wisconsin: 425-450.
13. Carton O. T, Lenehan J. J. 1998. Sustainable Waste Application Management Project (SWAMP). Optimal use of animal slurries for input reduction and protection of the environment in sustainable agricultural systems. AIR-CT 94-1276, Final Report, 1 October 1994-30 September 1997, European Commission DG12.
14. Chambers B. J, Nicholson F. A, Soloman D. R. 1999. Heavy metals loading from animal manures to agricultural land in England and Wales. In Martinez, J. and Maudet, M. N. (eds), *Proc. 8<sup>th</sup> International Conference on the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture (RAMIRAN 98)*, Rennes (F), 26-29 May 1998: 475-483.
15. Cleasson S, Steineck S. 1996. Plant nutrient management and the environment. Special Report 41. Swedish University of Agricultural Sciences, SLU, Uppsala, Sweden.
16. Colanbeen M, Neukermans G. 1992. Oligolytic treatment of pig slurry. *Revue de l'Agriculture* 45, 4: 701-716.
17. Evans M. R, Deans E. A, Hissett R, Smith M. P. W, Svoboda I. F, Thacker F. E. 1983. The effect of temperature and residence time on aerobic treatment of piggery slurry: degradation of carbonaceous compounds. *Agric. Wastes* 5: 25-36.
18. Evans M. R, Smith M. P. W, Deans E. A, Svobod I. F, Thacker F. E. 1986. Nitrogen and aerobic treatment of slurry. *Agric. Wastes*: 205-213.

19. Gerba C. P, Powelson D. K, Yahya M. T, Wilson L. G, Amy G. L. 1991. Fate of viruses in treated sewage effluent during soil aquifer treatment designed for wastewater reclamation and reuse. *Water Sci. Technol.* 24, 9: 95-102.
20. Greaves J, Hobbs P, Chadwick D, Haygarth P. 1999. Prospects for the recovery of phosphorus from animal manures. A review. *Environmental Technology* 20: 697-708.
21. Hahne, J. 1997. Aeration. Manuscript for EU-Concerted Action CT 94 1897, Rennes meeting, ed. C. H. Burton, Silsoe Research Institute, UK (unpubl.).
22. Harris G. D, Adams V. D, Sorensen D. L, Curtis M. S. 1987. Ultraviolet inactivation of selected bacteria and viruses with photoreactivation of the bacteria. *Water Res.* 21 6: 687-692
23. Hartung J, Phillips V. R. 1994. Control of gaseous emissions from livestock buildings and manure stores. *Journal of Agricultural Engineering Research* 57: 173-179.
24. Hartung J. 1999. Airborne emissions from animal production and its impact on environment and man. In Proceedings of the International Congress 'Regulation of Animal Production in Europe'.
25. Hendriks J, Vrieling M. 1996a. Anzuren van varkensmest met organische zuren. *Praktijkonderzoek Varkenshouderij*, June, 10, 3, 20, Rosmalen, Netherlands.
26. Hendriks J, Vrieling M. 1996b. Anzuren van varkensmest via het voer. *Praktijkonderzoek Varkenshouderij*, June, 10, 3. Rosmalen, Netherlands: 10-11
27. Hentschel A. 1997. Controlled intensive rotting of separated solids from liquid manure in Reactor. Dissertation, faculty IV, University of Hohenheim, Stuttgart, Germany.
28. Herrhut H. 1982. Sewage sludge hygienisation by gamma rays. An overview. *Water Services* 86: 1043-1539.
29. Issac C. E, Coleman R. N, Feddes J. J. R, West B. S. 1991. Odorous compounds from treated pig manure. *J. Can. Agric. Eng.* 33, 1:131-136.
30. Isermann K. 1990. Ammoniakemissionen der Landwirtschaft als Bestandteil ihrer Stickstoffbilanz und Lösungsansätze zur hinreichenden Minderung. (Ammonia emissions from agriculture as part of the nitrogen balance and methods of reduction). In Hartung, J., Paduch, M., Schirz, S., Döhler, H., Van den Weghe, H. (eds), *Ammoniak in der Umwelt*. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, Germany: 1-76.
31. Kayser R. 1997. Technologische Bewertung der FuE – Vorhaben. In Statusseminar 'Umweltverträgliche Gülleaufbereitung und –verwertung' Congress Proceedings, ed. KTBL, Arbeitspapier nr. 242:24-30, Münster Hilstrup, Germany.
32. Käck M. 1996. Ammoniakemissionen bei der Kompostierung separierter Feststoffe aus Flüssigmist in belüfteten Rotteraktoren. (Ammonia emissions during composting of separated solids from liquid manure in aerated composting reactors) Dissertation Universität Hohenheim, Forschungsbericht Agrartechnik im VDI (VDIMEG) 285, Germany
33. Kowalewsky H. D. 1996. Behandlung und Ausbringung von Flüssigmist. Auswertungs und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (aid) e. V. Bonn, Germany, nr. 1201.
34. Lam K. C, Ng S. L, Neller R. J. 1993. Fate of biological and chemical contaminants from on-site disposal of liquid piggery wastes: Results from a soil column study. *Water Science and Technology* 27, 1: 63-75.
35. Leinonen P, Heinonen-Tanski H, Rinne K. 1998. Nitrogen economy of cattle slurry aeration and spreading on to grassland, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science* 48 (1998) 2: 65-72.
36. Martinez J. 1997. Solepur, a soil treatment process for pig slurry with subsequent denitrification of drainage water. *Journal of Agricultural Engineering Research* 66, Silsoe, UK: 51-62.
37. Menzi H, Pain B, Smith K. 1988. Soils manure in Europe. Results of survey by the Working Group on Solid Manure of RAMIRAN. In Martinez J. and Maudet, M. N. (eds): *Proc. 8th International Conference on the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture (RAMIRAN 98)*, Rennes (F), 26-29 May, 2: 383-99.
38. Oechsner H. 1991. Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Entseuchung von Flüssigmist durch aerob-thermophile Stabilisierung. (Process engineering investigations about pasteurisation of liquid manure by aerobic-thermophilic stabilization) Agrarwissenschaftliche Dissertation Universität Hohenheim Forschungsbericht Agrartechnik, MEG/VDI – Schrift Nr. 203, Germany.

39. Oechsner H, Beck J, Förschler J, Käck M, Siemers V. 1995. Feststoffabtrennung aus Flüssigmist mit Preßschneckenseparatoren. Agratechnische Berichte, Nr. 25, Institut für Agrartechnik und Landesanstalt für landw. Maschinen- und Bauwesen, Universität Hohenheim, Germany.
40. Pahl O, Godwin R. J, Hann M. J, Waive T. W. 2001. Cost-effective pollution control by shallow injection of pig slurry into growing crops. *Journal of Agricultural Engineering Research* 80, 4: 381-390.
41. Piccini S, Bonazzi G. 1995. The current situation of the management and disposal of livestock wastes in Italy. Proceedings from EU-funded Concerted Action Workshop at Hohenheim University, October (unpubl.). Ed. C. H. Burton, Silsoe Research Institute, Wrest Park, Silsoe, Bedford, UK.
42. Ritter W. F, Eastburn R. P. 1978. Treatment of dairy cattle wastes by a barriered landscape wastewater renovation system. *Journal of water Pollution Control Federation* 50, USA: 144-150.
43. Rynk R. 1992. On-farm Composting Handbook. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, 152 Riley-Robb Hall, Cooperative Extension, Ithaca, NY 14853-5701, USA: 24-42.
44. Veeken A, De Wilde V, Szanto G, Hamelers B. 2000. Passively aerated composting of straw-rich organic pig manure. In Insam, Klammer and Riddech (eds), *Microbiology of Composting. Proceedings of the Conference in Oktober 2000, Innsbruck, Springer Verlag, Heidelberg, Austria.*
45. Schieding D. 1997. Demonstration einer regional zentralisierten Güllebehandlung durch ein mehrstufiges Verfahren mit einer Umkehrosmosestufe zur Erzeugung vorflutfähigen Wassers. In Statusseminar Umweltverträgliche Gülleaufbereitung und -verwertung congress proceedings, ed. KTBL. Arbeitspapier nr. 242, Münster Hiltrup, Germany: 50-58.
46. Schuchardt F. 1990. Ammoniakverluste bei der Kompostierung tierischer Exkremete. In KTBL, VDI. Ammoniak in der Umwelt – Kreisläufe, Wirkungen, Minderung: 37.1-37.14. Münster Hiltrup, Germany.
47. Schmidt D. R, Bicudo J. R. 2001. Odor and Hydrogen sulfide emissions during composting of caged layer manure. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Int. Conf. on Air Pollution from Agricultural Operations, ASAE, 9-11 October, Des Moines, IA, USA: 75-83.
48. Seedorf J, Hartung J. 1999. Survey of ammonia concentrations in livestock buildings. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 133: 433-437.
49. Severin B. F, Suidan M. T, Engelbrecht R. S. 1983. Effects of temperature on ultraviolet light disinfection. *Environ. Sci. Technol.* 17: 717-721.
50. Sims J. T. 1986. Nitrogen transformations in a poultry manure amended soil. Temperature and moisture effects. *J. Environ. Qual.* 15: 59-63.
51. Sneath R. W, Burton C. H, Williams A. G. 1992. Continuous aerobic treatment of piggery slurry for odour control scaled up to a farm size unit. *Journal of Agricultural Engineering Research* 53: 81-92.
52. Sorlinu C, Ranalli G, Chiumenti R, Donantonnei L. 1990. Study of the Oligolytic Treatment Applied to Livestock Manure at Real Scale Plants. Final Report on Results, Milan/Padua.
53. Thomas F. C, Ouwerkerk T, McKercher P. 1982. Inactivation by gamma irradiation of animal viruses in simulated laboratory effluent. *Appl. Env. Microb.* 43, 5: 1051-1056.
54. Turner C, Williams S. M, Burton C. H, Cumby T. R, Wilkinson P. J, Farrent J. W. 1999a. Pilot scale thermal treatment of pig slurry for inactivation of animal virus pathogens. *J. Environ. Sci. Health, Part B Pestic. Contam. Agric. Wastes* 34, 6: 989-1007.
55. Turner C, Williams S. M. 1999b. Laboratory scale inactivation of African swine fever virus, and swine vesicular disease virus in pig slurry. *Journal of applied Microbiology* 87: 447-453.
56. Turner C, Williams S. M, Cumby T. R. 2000. The inactivation of foot and mouth disease, Aujeszky's disease and classical swine fever viruses in pig slurry. *Journal of Applied Microbiology* 89: 760-767.
57. Vandré R. 1997. Wirkung von Güle-N beim Einsatz von Techniken zur Einarbeitung von Güle in wachsenden Getreidebeständen. In Statusseminar Umwelt-verträgliche Gülleaufbereitung und -verwertung Congress Proceedings, ed. KTBL. Arbeitspapier nr. 242, Münster Hiltrup, Germany.
58. Van der Hoek K. W. 1998. Nitrogen efficiency in global animal production. *Environmental Pollution* 102, S1: 127-132.
59. Van der Kaa C. 1996. Alternative methods for processing waste. Proceedings EU-Concerted Action CT 94 1897, Rennes meeting, ed. C. H. Burton, Silsoe Research Institute, UK.

60. Van der Kaa, C. C. R, Van Gastel, J. P. B. F. 1997. Design of biological nitrogen removal systems for pig slurry. Proefversloag Nr. P 1.192. Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen, The Netherlands.
61. Van Gastel, J.P. B. F. Thelosen J. G. M. 1995. Reduction of the volume of sow slurry with reverse osmosis. P1. 129. Research Institute for Pig Husbandry, the Netherlands.
62. Warman P. R, Termeer W. C. 1996. Composting and evaluation of racetrack manure, grass clippings and sewage sludge. Bioresource Technology 55:95-101.
63. Warriner R, Kostenbarder Jr, K. D, Cliver D. O, Ku W. C. 1985. Disinfection of advanced wastewater treatment effluent by chlorine, chlorine dioxide and ozone. Water Res. 19, 12: 1515-1526.
64. Weiland P. 1997. Stand und Perpektive der Gülleaufbereitung. In Statusseminar 'Umweltverträgliche Gülleaufbereitung und - verwertung' Congress Proceedings, ed. KTBL. Arbeitspapier nr. 242. Münster Hilstrup, Germany: 136-146.
65. Wetter H, Steffens G. 1981. Phosphorus accumulation in soil profiles and phosphorus losses after application of animal manures. In Phosphorus in Sewage Sludge and Animal Waste Slurries, eds T.W.G. Hucker; G. Catroux. D. Reidel, Dordrecht: 309-327.
66. Williams J. R, Chambers B. J, Smith K. A. 1998. Agronomic aspects of organic manure application in the United Kingdom. In EU Concerted Action CT97-3779 Recycling Organic Solids in Agriculture (ROSA), Report of first meeting, 24-25 September, JTI Uppsala, Sweden: 19-23.
67. Yeager J. G, O'Brien R. T. 1983. Irradiation as means to minimise public health risks from sludge-borne pathogens. J. Water Pollut. Control Fed. 55, 7: 977-983.
68. Zengerling G. 1993. Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Pasteurisierung von Flüssigmist, Dissertation, Universität Hohenheim, Forschungsbericht Agrartechnik, MEG-Schriftenreihe nr. 236.
69. Zoranović M, Potkonjak V, Tomić J. 2007. Prečišćavanje vazduha u objektima za svinje. Savremena poljoprivredna tehnika, 33(1-2): 116-123.
70. Zoranović M, Potkonjak V. 2008a. Ekološki tretmani stajnjakom. PTEP, 12(1-2): 22-26.
71. Zoranović M, Bajkin A, Potkonjak V, Vujić Ž. 2008b. Anaerobni tretman supstrata za biogas postrojenja. PTEP, 12(4): 203-206.
72. Zoranović M, Bajkin A, Potkonjak V. 2008c. Redukcija stepena zagađenja vazduha u stočarstvu. Poljoprivredna tehnika, Zemun, (3): 81-88.
73. Zoranović M, Bajkin A, Vujić Ž. 2009. Konvencionalni i razvojni tretmani otpadne vode u stočarstvu. Savremena poljoprivredna tehnika, 35(1): 1-8.
74. Zoranović M, Bajkin A, Potkonjak V. 2010. Energetski i ekološki efekti sistema za prečišćavanje vazduha u procesu sagorevanja biomasenih goriva. Savremena poljoprivredna tehnika, 36(1):53-67.
75. Zoranović M, Dimitrijević Aleksandra, Bajkin A, Ponjičan O, Ivanišević M, Potkonjak V. 2010. Primena toplotne pumpe u stočarstvu. Savremena poljoprivredna tehnika, 36: (4): 438-446.
76. Zoranović M, Potkonjak V, Turan J, Ivanišević M. 2011. Problemi aerobnih i anaerobnih emisija gasova iz stočnog stajnjaka. Savremena poljoprivredna tehnika, 37(2): 213-222.
77. Zoranović M, Potkonjak V, Turan J, Ivanišević M. 2012. Ekološki i energetska značaj emisije amonijaka u fazama tretmana stajnjakom. Savremena poljoprivredna tehnika, 38(2): 109-119.



## 5. FIZIČKE OSOBINE I DISTRIBUCIJA MINERALNIH ĐUBRIVA

### 5. PHYSICAL PROPERTIES AND DISTRIBUTION OF MINERAL FERTILIZERS

Dr Jan TURAN

#### Rezime

Mineralno đubrivo zbog svoje hemijske prirode i osobine apsorbovanja vlage iz vazduha menja svoju mehaničku strukturu u kontaktu sa vlagom, pri čemu se menjaju osnovne osobine sipkosti tog đubriva a time i fizičke karakteristike. Tokom manipulacije mineralnog đubriva sa ovako promenjenim osobinama javljaju se poteškoće i u transportu, pretovaru i rasipanju.

Pred proizvođače rasipača mineralnih đubriva postavljen je nov težak zadatak, da se mašine osposobe da ispune stroge zahteve rasipanja na rubu parcele. Profil rasipanja pri tom proходу ne treba više da bude trouglast i trapezni kao kod uobičajenog rasipanja, već asimetričan i sa rubne strane pravougaoni.

Generalno, više problema se korisnik i rukovaoc može susreti pri rasipanju đubriva a to su sledeći: rasipač da bi ispravno radio mora imati ispravan neoštećen mešač, kod rasipača nižeg tehnološkog nivoa (u našem slučaju rasipač P) dozator je grube a često i neprecizne izvedbe, proizvođači rasipača višeg tehnološkog nivoa daju okvirne tabice podešavanja rasipača za datu normu, đubrivo i granulaciju, preporuke proizvođača rasipača treba uzimati sa rezervom i gde je to moguće izvršiti proveru na terenu u konkretnim uslovima, povećanje norme đubrenja ako je moguće ostvarivati većim otvorom dozatora a ne smanjenom radnom brzinom. Ovo je naročito važno kod đubriva koja imaju veći nasipni ugao i koja sporije prolaze kroz dozator.

**Ključne reči:** mineralno đubrivo, rasipači, distribucija, fizičke karakteristike.

#### Summary

Fertilizer due to their chemical characteristics and properties of absorbing moisture from the air, changes its mechanical structure in contact with moisture, while changing the basic properties of fertilizers flowability and physical properties. During the manipulation of mineral fertilizers with such altered traits, arise difficulties in transportation, transshipment and dissipation.

The producers of mineral fertilizer spreader set new difficult task to enable machine to meet with stringent requirements of fertilizers distribution on the edge of parcel. Profile of fertilizers distribution in this cycles should be more triangular and trapezoidal as in normal dissipation, but asymmetrical and rectangle on outer edges.

Generally, user and the operator can meet more problems at the fertilizers distribution and they are as follows: spreader to make it work properly must have correct intact mixer, distribution of spreader at a lower technological level is rough and often imprecise performance, manufacturers of spreader at higher technological level have indicative tabel for spreader settings for a given norm, fertilizer and granulation spreader manufacturer's recommendations should be taken with caution and where possible to verify on the ground in concrete terms, increase in standard fertilization if it is possible to achieve higher aperture metering and not reduced operating speed. This is especially important for fertilizers have higher bulk angle and that slower pass through the dispenser.

**Keywords:** mineral fertilizer, spreaders, distribution, physical properties.

Svojevremeno je načinjen pokušaj identifikacije mogućih doprinosa poljoprivredne tehnike očuvanju životne sredine (Martinov et al, 1993) i tada su se na prvom mestu našle aktivnosti na unapređenju postupaka zaštite bilja, a na drugom postupci rasipanja mineralnog đubriva. U istom saopštenju napominje se da postoje dve vrste aktivnosti u smislu zaštite životne sredine: ekonomski suprotnosmerne i ekonomski istosmerne. Pravilna raspodela mineralnog đubriva ubraja se u istosmerne; naime, pri adekvatnoj raspodeli mineralnih hraniva ne samo da se smanjuje negativan uticaj na životnu sredinu, već se i štede sredstva, jer se koristi manja količina đubriva, ill je ona usmerena ka povećanju prinosa i prihoda.

Fizički kvalitet je važan kriterijum koji koristi potrošaču pri izboru određenog đubriva. Prihvatljivost đubriva na tržištu ne zavisi samo od sadržaja hranljivih sastojaka , već i njegov fizički kvalitet. Iako je potreba useva za raspoloživom hranljivim materijama , supstanici, što je krajnji razlog za korišćenje đubriva, fizički kvalitet je često razlog za izbor jednog đubrivo u odnosu na drugo. Dobra fizički kvalitet obezbeđuje potrošača lakše, brže, ujednačenije, i jeftiniju aplikaciju na polju, terenu. Pored toga, pri distribuciji i transport đubriva, važno je da ostane đubrivo sipko (da se ne slepi), da se ne pojavi prašina, i da izdrže izlaganje normalnoj atmosferskoj vlazi . Razvijene su proizvodne tehnike , uključujući i razne fizičke tretmane "uslova", da obezbede povoljne fizičke osobine (Hoffmeister et al, 1979).

Potrošač ne može da otkrije da li đubrivo zaista ispunjava garantovanu hranljivost; međutim, zakoni obično regulišu hranljivost i time obezbeđuju neku zaštitu potrošača. Nasuprot tome, fizičko stanje je obično stavka i dogovorni sporazum između potrošača i dobavljača. Normalno, regulatorni zakoni đubriva ne regulišu fizičke osobine đubriva. Međutim, potrošač može sigurno oceniti fizičko stanje đubriva. Jednostavnim posmatranjem, on može da vidi da li je đubrivo ili slepljeno ili u sipkom stanju, da li je ima ili nema prašine, mokro i lepljivo ili suvo.

Kvalitet đubriva se uglavno ocenjuje prema dva kriterijuma: hemijske i fizičke karakteristike. Hemijske karakteristike (sadržaj hranljivih materija, forma, i pristupačnost za usev) i njegova efikasnost (poljoprivredna upotreba) su glavni razlozi upotrebe đubriva. Dobre hemijske karakteristike đubriva se ogledaju u primeni u poljoprivredi. Suprotno tome, fizičke karakteristike đubriva i sposobnost da se odupru pogoršanju su bitni zbog kvaliteta upotrebe, rukovanja, skladištenja, aplikacije, i poljoprivredne upotrebe (Rutland et al, 1991).

Najčešći problem koji se pojavljuje kao rezultat loših fizičkih karakteristika su slepljivanje (anglomeracija, ili formiranje grudvi, zgrudnjavanje) praškavost, loša sipkost, prekomerna higroskopnost (karakteristika absorpcije vlage) i segregacija ( neujednačenost u pogledu frakcija u đubrivu).

Fizički kvalitet može se na mnogo načina odrediti. Ovi metodi merenja mogu varirati od običnih opservacija do sofisticiranih tehnika. Proizvođači su usvojili i/ili razvili metode radi evaluacije njihovih pojedinačnih proizvoda. Međunarodne, nacionalne i regionalne organizacije su usvojile, razvile i/ili objavile procedure u nameri da generalnu primenu različitih đubriva i sirovina (Hoffmeister et al, 1979; Tennessee Valley Authority, 1970; The Fertilizer Institute, 1982; Potts et al, 1984; Palgrave et al, 1984; Canadian Fertilizer Institute, 1986; Rutland et al, 1993; Hofstee et al, 1993). Međunarodna organizacija za standardizaciju (ISO), Tehnički komitet 134/ Podkomitet 3 (Đubriva i zemljišni kondicioneri/ fizičke karakteristike), su bili uključeni prethodnih 20-30 godina u razvoju i usvajanju međunarodnih standardnih metoda za analizu različitih fizičkih karakteristika đubriva. Šta više, samo 6 metoda su odobrena kao međunarodni standardi (Canadian Fertilizer Institute, 1986; Hofstee et al, 1993). Ovo poglavlje definiše različite fizičke karakteristike đubriva; diskutuje o efektima i važnostima ovih fizičkih karakteristika na kvalitet proizvoda; kratko se osvrće na tip metoda koji se koriste pri merenju ovih karakteristika; i daje neke tipične vrednosti svih glavnih karakteristika za različita đubriva.

## 5.1. Fizičke osobine čvrstih đubriva

### 5.1.1 Dimenzije čestica

Distribucija dimenzije čestica đubriva i / ili sirovine đubriva definiše se kao opseg prečnika čestica materijala. Analiza dimenzije čestica se tipično meri prosejavanjem, proces razdvajanja mešavina čestica prema njihovim dimenzijama frakcije (*International Organization for Standardization, 1984*). Dimenzije čestica utiče na poljoprivrednu primenu; granulacija i performance primene; mešanje, skladištenje, rukovanje, i svojstva aplikacija. Neki od razloga za kontrolu dimenzija, sledi u nastavku.

### 5.1.2. Efekti na primenu u poljoprivredi

Đubrivo vrlo slabo rastvorljiva u vodi obično moraju biti osnova za malim dimenzijama čestica da obezbedi dovoljno brzo rastvaranje u zemljištu i korišćenju od strane biljaka. Na primer, efikasnost sirove fosfatne stene generalno se povećava sa fino brušenjem do čestica prečnik od oko 150 mikro metara; ispod toga, malo veća korist je uspostavljena (*Khasawneh et al, 1978*). Drugi materijali niske rastvorljivost koje zahtevaju relativno fino mlevenje uključuju osnovnu šljaku, krečnjak, dolomit, dikalcijum fosfat, i fuzionisani fosfat (*Association of American Plant Food Control Officials, 1994; European Union (formerly European Economic Community), 1976*). Mikroelementi ili sekundarni nutritienti loše rastvorljivosti kao što je sumpor, metalni oksidi ili silicijum dioksidi, zahtevaju fino mlevenje (*Hoffmeister et al, 1979*).

Fino brušenje potrebno za ove materijale često rezultira nepoželjnom prašinom i drugim teškoćama pri rukovanju. Stoga, neka istraživanja i razvoj je usmeren ka regranulaciju pulverizovanih materijala. Metode kontrole prašine osim granulacije uključuju prskanje materijala u prahu lagano sa uljem, vodom, ili amin formulacije.

Ostala đubriva od kojih poljoprivreda ima koristi gde kontrola dimenzija čestica su neki od slabo rastvorljivih sporo oslobađajućih azotnih đubriva, kao što su urea-formaldehid, isobutilidene diurea. Stopa rastvaranja, a samim tim i stopa dostupnosti azota od ovih materijala, pokazano je da zavisi od dimenzije čestica; veće čestice, sporije oslobađanje.

### 5.1.3 Efekti na granulaciju i performanse procesa

U proizvodnji granularnog NPK đubriva, process anglomeracije je jedan od dva primenjena osnovna mehanizma, drugi je zasnovan na gustoj suspenziji nitrofosfatnog tipa procesa. U procesu anglomeracije, 50%-75% sirovine se spremi kao suva čvrsta materija. Zbog mnogo inicijalne (u procesu) i finalne mehaničke čvrstoće anglomeracije granula nastaje usled mehaničkog spajanja ili lepljenja više pojedinačnih čestica, gde su dimenzije čestica, raspodela dimenzija čvrstih čestica veoma važni. Ako finalni proizvod je u opsegu dimenzija 2-5 mm, onda sirovine treba da budu prilično široko distribuirani u rasponu od oko 0.2-3.0 mm (*Schultz et al, 1989*).

Sabijanje je suvi granulacijski process u kojem izmešan material sirovine se anglomeriše usled pritiska. Jedna karakteristika ubacivanja sirovine u proces ima uticaj na kompatibilnost jesu dimenzije čestica. Generalno, da bi se postigla optimalna kompakcija, sabijanje, sirovina treba da se dodaje u velikom ospegu čestica, uglavno u opsegu od 0,1 do 1 mm. Materijal manji od 0,1 mm će uglavnom sadržati više vazduha a čestice veće od 1 mm će imati potrebnu energiju da se rasture u manje (*Lupin et al, 1983; Klein et al, 1991*).

#### **5.1.4 Efekat na skladištenje, rukovanje i karakteristike primene**

Kontrola dimenzija čestica đubriva je bitna da bi se postiglo zadovoljavajuće skladištenje, rukovanje, i karakteristike primene. Pre 1950 godine, skoro sva đubriva su se proizvodila kao relativno fin puder ili u vidu malih kristala. Kao rezultat, đubriva su bila uglavnom praškasta usled skladištenja na gomili ili u vrećama. Puno rada je bilo potrebno da se razbiju grudvice ne bi li đubrivo bilo prihvatljivo za primenu u poljoprivredi.

Međutim brz rast granulacije u ranim pedesetim, dovelo je do velikog poboljšanja u svojstvima skladištenja, rukovanja i primene. Ovaj rast granulacije je paralelno sa poboljšanjima u primeni opreme koje se koriste radi boljih karakteristika nasipanja i smanjenje lepljenja kod zrnastih proizvoda (*Hoffmeister et al, 1979*).

U SAD, tipične dimenzije čestica đubriva su od 1 do 3,35 mm. Asocijacija Zvanične američke kontrole polja hrane definiše granularno đubrivo kao ono koje ima bar 95% čestica proizvoda koje može da prođe kroz otvore 4,75 mm na situ i uključujući otvore od 850 mikrona, i čija najveća čestica prolazi kroz sito koje mora da ima otvor ne veće od četiri puta od onog kroz koje prolazi bar 95% proizvoda. U Evropskim zemljama i Japanu, granulirana đubriva se generalno proizvode u nešto veće čestice; dimenzije čestica je od 2 do 4 mm (*Berquin et al, 1974; Kelly et al, 1974; Maartensdijk et al, 1976*).

Đubriva bi trebala da budu bez čestica toliko malih koji mogu stvoriti šupljine prašine tokom rukovanja i primene, ne samo da zadovolje kriterijume farmera već da bude prevencija nezdravim uslovim rada i zagađenja životne sredine oko biljaka i pri rukovanju.

#### **5.1.5 Efekat na karakteristike mešanja**

Od kako je prednost mešanja đubriva kao bitan system mešanja i distribucije đubriva, kontrola dimenzija čestica je dobila dodatnu važnost kao metod za smanjenje tendenciju segregacije mase. U nekim početnim fazama mešanja, materijali su se mešali bez obraćanja pažnje na dimenzije čestica što je rezultiralo veoma lošoj pomešanosti usled segregacije pogotovo tokom rukovanja đubrivom. Kasnije studije su indetifikovale preklapanje dimenzije čestica više materijala koji se mešaju kao veoma bitna factor proizvodnje mešavine đubriva a da se izbegne segregacija. Efekti u neujednačenosti u ostalim fizičkim karakteristikama, gustini i obliku čestica, beznačajno je u poređenju sa efektom neujednačenosti čestica. (*Hofstee et al, 1993; Hoffmeister et al, 1962; Hoffmeister et al, 1973; Hoffmeister et al, 1964*).

Dimenzije čestica nije toliko neophodno i restriktivno da bi se postigla dobra ujednačenost čestica za mešanje na gomili. Potvrđeno je da materije za mešanje ne bi trebale samo da se slažu u postizanju gornjeg i donjeg limita dimenzije čestica ali bi trebale biti ujednačene po distribuciji dimenzije čestica između ovih granica (*Hoffmeister et al, 1982*)

Neslaganje, neujednačenost u dimenzijama čestica sirovog materijala za mešanje može rezultirati u segregaciju uglavnom preko tri mehanizma: vibracije, kosa površina i trajektorije kretanja (*Hoffmeister et al, 1962; Balay et al, 1983; Cheval et al, 1994*).

Različite studije su pokazale, kako god, da vibracije nisu signifikantni uzorak segregacije više đubriva, uključujući mešavinu gomile đubriva. Segragacija dolazi do izražaja pri vibraciji samo kada su dimenzije čestica pomešanih đubriva značajno različite u smislu da su čestice jednog đubriva u mešavini toliko male da jednostavno skliznu između čestica drugih kompenata mešavine, većih čestica (*Hoffmeister et al, 1979*).

Tip segregacije je najčešći pri rukovanju đubrivom usled proticanja materijala preko samog sebe. Ovo je najčešće prisutno usled koničnosti, jer materijal ima velike šanse da padne

sa vrha konične kupe kada je u nasutom stanju do dna te kupe, odnosno da sklizne po omotaču iste kupe. Klasifikacija dimenzija čestica ili segregacija se događa kada se materijal kreće, transportuje; manje čestice u đubrivu zbog većeg trenja nemaju mogućnost tolikog pomeranja kao velike čestice. Tako manje čestice ostaju u nasuto gomili a veće zbog veće mase a time i energije kreću se po površini gomile i dolaze do njenog oboda, dna. Ovo se samo događa na spoljnoj strani nasipane kupe. Rezultate je segregacija materijala po dimenzijama.

Kada se đubrivo propusti kroz vazduh kakav je pneumatski rasipač đubriva, čestice različitih fizičkih karakteristika imaju različite putanje usled različitog dejstva gravitacije i vazdušne struje. Rezultat je segregacije usled kosog hitca odnosno usled dejstva oblika i dimenzije čestica. Dimenzija čestica je glavni razlog balistik segregacije mešavine granularnih đubriva tokom aplikacije; veće čestice imaju tendenciju da lete dalje u odnosu na one manje (*Hoffmeister et al, 1962; Hoffmeister et al, 1964*). Štaviše, ujednačenost dimenzije čestica kod mešavina đubriva je od ogromnog značaja radi smanjenja segregacije u oba slučaja, kod nagomilavanja i leta, dva najproblematičnija uzorka segregacije đubriva. Činjenica da dimenzije čestica đubriva ima mnogo veći efekat na segregaciju u letu od gustine čestica nije iznenađujuće da uzimajući u obzir relativni efekat na masu granula i tako na inerciju kretanja granula. Povećanjem prečnika granula od 1,18 mm do 3,35 mm povećava se masa dvadesetostruko dok uglavnom opseg gustine granula (1.3 do 2,7 g/cm<sup>3</sup>) prikazuje samo duplu razliku (*Tikhonovich et al, 1991*). Otpor vazduha je takođe mali kod manjih čestica, je, prema Stokovom zakonu smanjne samo u direktnoj proporciji sa prečnikom čestica (*Perry et al, 1984*).

#### 5.1.6 Analiza dimenzija čestica

Distribucija dimenzija čestica se normalno meri sprovođenjem analize pomoću sita reprezentativnog uzorka na sito prečnika 20 cm. Preporučena veličina uzoraka za testirane na ovim sitima varira od dimenzija čestica materijala. Odabrana sita za upotrebu su poređana tako da se dimenzije otvora povećava od dna ka vrhu. Uzorak se stavlja na najviše sito a zatim se sva sita postavljaju na mašinu za trešenje. Tokom treskanja svaka čestica u uzorku gravitaciono pada na dole kroz otvore sita sve dok ne stigne do manjeg otvora nego što je prečnik čestice. Na kraju se meri količina čestica na svakom situ i tako je određen granulometrijski sastav uzorka. U slučaju kada je analiza sitima potrebna za sirovine sa mikročesticama ( kao fosfatna stena), može biti neophodno da se primeni vlažna analiza sitima koristeći vlažni tresać sita (*Rutland et al, 1991*).

Mnoge zemlje imaju standardnu specifikaciju sita i procedure analize kroz sita. Ove specifikacije i procedure su uglavnom generalne i mogu se koristiti za širok spektar proizvoda, uključujući đubriva. ISO ima seriju međunarodnih standarda za test na situ International Organization for Standardization, Central Secretariat, uključujući (1) test sita – tkano od metalne žice i perforirane tacne - nominalne dimenzije otvora (ISO 565) tab. 1; (2) Test sita i test prosejavanja- rečnik (ISO 2395); (3) test prosejavanja (ISO 2591); (4) test sita – tehnički zahtevi i testiranje (ISO 3310/1); i (5) Čvrsta đubriva i kondicioneri zemljišta – test sita (ISO 8397). Serija ISO sita prikazani su u narednoj tabeli.

U poslednjih 20-25 godina razvijeni su metode za analizu dimenzija čestica na internetu radi poboljšanja procesa kontrole (*Bura et al, 1984; Particle Size Analyzers, 1988; Frydenberg et al, 1989; Jergensen et al, 1991*).

Tabela 5.1 Dimenzije sita prema ISO 565

Osnovne dimenzije (R 20/3) <sup>a</sup>	Dopunske dimenzije (R 20) <sup>b</sup>	Dopunske dimenzije (R 40/3) <sup>c</sup>
125	125	125
	112	
		106
	100	
90	90	90
	80	
		75
	71	
63	63	63
	56	
		53
	50	
45	45	45
	40	
		37,5
	35,5	
31,5	31,5	31,5
	28	
		26,5
	25	
22,4	22,4	22,4
	20	
		19
	18	
16	16	16
	14	
		13,2
	12,5	
11,2	11,2	11,2
	10	
		9,5
	9	
8	8	8
	7,1	
		6,7
	6,3	
5,6	5,6	5,6
	5	
		4,75
	4,5	
4	4	4
	3,55	
		3,35
	3,15	
2,8	2,8	2,8
	2,5	
		2,36
	2,24	
2	2	2
	1,8	
		1,7
	1,6	
1,4	1,4	1,4

	1,25	
		1,18
	1,12	
1	1	1

Osnovne dimenzije (R 20/3) <sup>a</sup>	Dopunske dimenzije (R 20) <sup>b</sup>	Dopunske dimenzije (R 40/3) <sup>c</sup>
	900	
		850
	800	
	710	710
	630	
		600
	560	
	500	500
	450	
		425
	400	
	355	355
	315	
		300
	280	
	250	250
	224	
		212
	200	
	180	180
	160	
		150
	140	
	125	125
	112	
		106
	100	
	90	90
	80	
		75
	71	
	63	63
	56	
		53
	50	
	45	45
	40	
		38
	36	
	32	32
	28	
		26
	25	
	22	22
	20	

a. ISO oznaka za glavne dimenzije sa odnos razlika između sita od približno 1,41.

b. ISO oznaka za glavne dimenzije sa odnos razlika između sita od približno 1,12.

c. ISO oznaka za glavne dimenzije sa odnos razlika između sita od približno 1,19.

### 5.1.7. Gustina

Gustina je masa po jedinici zapremine materijala. Postoje tri tipa merenja za određivanje gustin za đubriva i sirovine za đubriva: nasipna gustina, prividna gustina i prava gustina.

#### 5.1.7.1. Nasipna gustina

Nasipna gustina je masa po jedinici zapremine đubriva i uključuje praznine između čestica. veoma interesantno za dimenzije džakova kroz pakovanja u kalibraciji zapreminskih koševa ili pakerica i kada se uzima u razmatranje kapacitet skladišnih binova i transportnih mašina. Gustina je najčešće upotrebljavan termin za opis gustine đubriva. Određena je kao masa kontejnera poznate zapremine koji je napunjen sa uzorkom. Postoje dva tipa merenja gustina- nasuto stanje i sabijeno stanje. Gustina nasutog stanja je definisana od ISO kao masa po jedinici zapremine materijala nakon što je materijal sipan u kontejner pod čisto specifičnim uslovima. Nasuta gustina pokazuje očekivanu minimalnu gustinu (kada je zauzeta najveća zapremina). Za izbegavanje pravljenja previše male opreme i vreća najbolje je koristiti ovu nasipnu gustinu.

#### 5.1.7.2. Sabijena gustina

Sabijena gustina je definisana od ISO kao masa po jedinici zapremine materijala usuto u kontejner a zatim sabijena pod čisto specifičnim uslovima. Sabijena gustina predstavlja maksimalno očekivanu gustinu (najmanje zauzeta zapremina). Generalno kada se meri nasipna gustina granula ili slobodno formirane oblike čestice đubriva može se očekivati da sabijena gustina bude veća za 6 do 12 %od nasipne gustine.

ISO ima seriju međunarodnih standard (International Organization for Standardization, Central Secretariat) za nasipnu gustinu uključujući:

1. Đubriva- određivanje nasipne gustine, ISO 3944
2. Đubriva- određivanje sabijene gustine, ISO 5311 i
3. Đubriva- određivanje nasipne gustine fino granulisanog đubriva ISO 7837.

Vrednosti nasipne gustine đubriva kreću se od 750 do 1500 kg/m<sup>3</sup>.

#### 5.1.7.3. Prividna gustina

Prividna gustina je masa po jedinici zapremine đubriva, isključujući praznine između čestica. Prividna gustina nije verodostojna ako se meri često ali je bila specijalno interesantna u vezi sa studijama o segragacionim karakteristikama i u razvoju procesa granulacije. za dati proizvod, varijacija u gustini može rezultirati u tvrdoći, kapacitetu zadržavanja vlage i karakteristikama skladištenja.

Određivanje prividne gustine granula je napravljena specijalna aparatura za uranjanje poznate mase granula i merenje zapremine tečnosti koja je istisnuta. vrednosti prividne gustine tipično se kreću od 1,22 do 2,65 g/cm<sup>3</sup>.

#### 5.1.7.4. Prava gustina

Prava gustina je masa po jedinici zapremine đubriva isključujući praznine između čestica i pora u česticama. Interesantna je za proces kontrole i dizajniranja procesne opreme. Prava gustina može se odrediti sa vazdušno komparativnim piknometrom. Piknometar ima dve obične komore jednakih dimenzija. Jedna komora je napunjena sa izmerenom zapreminom vazduha. Druga komora je napunjena sa izmerenom količinom uzorka đubriva a onda napunjena sa izmerenom zareminom vazduha. razlika u zapremini vazduha je

izjednačena sa zapreminom uzorka. masa uzorka i zapremina se koriste za izjednačavanja stvarne gustine.

Tabela 5.2 Nasipna, relativna i stvarna gustina pojedinih đubriva

Đubrivo		Nasipna gustina		Relativna gustina	Stvarna gustina
Tip	Formulacija	Nasuta	Sabijena		
		kg/m <sup>3</sup>		g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>
Pilirana urea	46-0-0	720-820	1,3-1,32	1,3-1,32	1,33
Granulisana urea	46-0-0	720-820	1,22-1,3	1,22-1,3	1,33
Piliran amonijum nitrat (visoke gustine)	34-0-0	850-975	900-1025	1,65-1,67	1,71
Kristalisan amonijum sulfat	21-0-0	1000-1100	1100-1200	1,75	1,77
Granulisani amonijum sulfat	21-0-0	785-1040	850-100	1,58-1,65	-
Granulisani diamonijum fosfat	18-46-0	875-1100	1000-1200	1,63-1,65	1,71
Granulisani monoamonijum fosfat	11-55-0	900-1100	1000-1200	1,67-1,78	1,86
Praškasti monoamonijum fosfat	10-50-0	850-1000	-	-	-
Granulani trostruki superfosfat	0-46-0	950-1200	1050-1350	1,93-2,12	2,22
Superfosfat (nasut)	16%-20% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	900-1200	-	-	-
Fosfatna stena	28%-35% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1200-1600	1400-1800	-	2,74-3,16
Granulisani kalijum hlorid	0-0-60	950-1200	1000-1200	1,96-1,99	-
Krupni kalijum hlorid	0-0-60	1050-1150	1100-1200	1,96	2
Standardni kalijum hlorid	0-0-60	1075-1200	1150-1300	-	-
Granulisani kalijum sulfat	0-0-50	1150-1360	1360-1500	1,76	-

### 5.1.8. Statički ugao nasipanja

Definisano je od strane ISO kao ugao baze i omotača kupe đubriva napravljeno od uzorka koji slobodno pada na horizontalnu tacnu pod posebnim uslovima. Manje precizna definicija je ugao sa horizontalom kada đubrivo stoji nakon sipanja ili puštanja u kupu sa fiksne tačke (*Hoffmeister et al, 1979*). Za drugu definiciju, gomila đubriva nema oblik konusa, kupe, da bi imala ugao nasipanja i zapravo ovo je najčešća metoda skladištenja velike količina nasutog đubriva. ugao nasipanja je veoma interesantan kada se uzima u obzir kapacitet skladišta i dizajn sanduka bunkera transportera i nagnutih površina zgrada za nasuto skladištenje đubriva (*Carr et al, 1965; Lauzon et al, 1983; Kuhnemund et al, 1984*). Na ugao nasipanja đubriva najviše utiče oblik čestica, dimenzije i površinska tekstura (*Saxena, 1973; De Dipankar et al, 1989*). Procedura određivanja ugla nasipanja je definisana od ISO, čvrsta đubriva- merenje statičkog ugla nasipanja, ISO 8398. Ova procedura uključuje sipanje uzorka kroz fiksni levak na vertikalno pomerljivu ploču mereći prečnik i visinu konusa gomile, i računanje ugla bazisa kupe pomoću merenja jedinica.



Normalne vrednosti ugla nasipanja ugla nasipanja kreću se od 25° – 45°. sferični proizvodi kao što je pilirana urea imaju niže vrednosti ugla nasipanja, manje od 30° nepravilni oblici kao što je granulirano đubrivo KCl uglavnom ima visok ugao nasipanja (> 35°).

Tabela 5.3 Ugao nasipanja pojedinih đubriva

Đubrivo		Ugao nasipanja
Tip	Formulacija	stepeni
Pilirana urea	46-0-0	27-28
Granulisana urea	46-0-0	34-38
Granulisani amonijum sulfat	21-0-0	36-38
Kristalisan amonijum sulfat	21-0-0	29-36
Pilirani amonijum nitrat	34-0-0	29-38
Granulisani diamonijum fosfat	18-46-0	27-37
Granulisani monoamonijum fosfat	11-55-0	28-37
Prašasti monoamonijum fosfat	10-50-0	30-34
Granulisani trostruki superfosfat	0-46-0	28-35
Granulisani kalijum hlorid	0-0-60	32-41
Krupni kalijum hlorid	0-0-60	31-35
Standardni kalijum hlorid	0-0-60	28-32
Granulisani kalijum sulfat	0-0-50	28-35
Fosforni gips (različiti kameni izvor)	-	30-35

### 5.1.9. Tvrdoća granula

Granulisano đubrivo treba da ima dovoljnu mehaničku tvrdoću da bi se održalo normalno rukovanje i skladištenje bez bitnih lomljenja granula i stvaranja preterane prašine. Mehanička tvrdoća đubriva zavisi od hemijskog sastava načina proizvodnje, poroznosti granula, oblika granula, površine granula i sadržaja vlage. Prepoznata su tri različita načina merenja mehaničke tvrdoće kao poželjne: tvrdoća drobljenja granula, otpornost na abraziju, otpornost na uticaje (*Bhatti et al, 1991; Ibrahim et al, 1992; Rahman et al, 1994*).

Tvrdoća drobljenja definisana je od ISO kao minimalna potrebna sila da se zdrobe pojedinačne čestice. Veoma je korisna u predviđanju mogućeg rukovanja i karakteristike skladištenja granuliranih đubriva. Tvrdoća drobljenja se meri primenom pritiska na individualnu granulu uglavnom specifičnih dimenzija i pritiska potrebnog da izvrši lom svake granule. Stepent preciznosti varira od primene metode merenja pomoću testa gnječenja prstima do mašine za testiranje (*Hoffmeister et al, 1979; Rutland et al, 1993; Ivanov et al, 1985; Murthy et al, 1989; Borisova et al, 1989*). Primena jednostavne metode prst testa može biti prilično koristan brz poljski test opisan u nastavku (*Fruhstorfer et al, 1961*).

Granule koje mogu da se zdrobe između palca i kažiprsta su označene kao meke. Ako mogu da se zdrobe između kažiprsta i tvrde površine +, preporučljivo je da su one srednje tvrdoće. Ako ostaje netaknuta nakon pritiska između kažiprsta i tvrde površine onda se klasifikuje kao tvrda. Komercijalni kompresioni tester ili jednostavna kuhinjska vaga može se koristiti, takođe kasnije je manje tačna.

Iskustva pokazuju da čestice (2,36-2,80 mm prečnika), sa tvrdoćom mrvljenja ispod oko 1,5 kg teže da se rasture lako u formi prašine tokom rukovanja, čestice sa tvrdoćom drobljenja oko 1, 5 do 2,5 kg su prihvatljive sa opreznim rukovanjem a čestice sa tvrdoćom drobljenja većom od 2,5 kg su veoma otporne.

Kada se pravi komparacija tvrdoće mrvljenja veoma je važno da se upoređuju granule istih dimenzija jer tvrdoća drobljenja se signifikantno povećava sa povećanjem dimenzije čestica.

Tabela 5.4 Tvrdoća granula pojedinih đubriva

Đubrivo		Trvrdoća granula
Tip	Formulacija	kg/granuli
Pilirana urea	46-0-0	0,8-1,2
Granulisana urea	46-0-0	1,5-3,5
Granulisana amonijum sulfat	21-0-0	1,5-2,5
Pilirani amonijum nitrat	34-0-0	1,2-1,7
Granulisani diamonijum fosfat	18-46-0	3-5
Granulisani monoamonijum fosfat	11-55-0	2-3
Granulisani trostruki superfosfat (proces nagomilavanja)	0-46-0	4,5-8
Granulani trostruki superfosfat (parna granulacija)	0-46-0	1,5-3
Pilirani kalijum nitrat	13-0-44	1,5-2
Granulisani kalijum hlorid	0-0-60	3-5
Granulisani kalijum sulfat	0-0-50	3-4

#### 5.1.10. Otpornost na abraziju

Otpornost na abraziju je otpornost na formiranje prašine i sitnih frakcija i usitnjavanje granula kao rezultat kontakta tokom rukovanja između dve granule ili granule i opreme. Određuje se merenjem praha ili prašine i finih čestica zasnovanog na uzorku kojima se rukovalo. Postoji mnogo metoda uglavnom razvijenih od strane proizvođača za definisanje otpornosti na abraziju. Generalno ove metode mogu biti podeljene na dva tipa rotacioni bubanj i tip posmatranja. Oba tipa normalno koriste čelične kuglice ili čelične šipke kao srednje abrazivne. Dobijene vrednosti od ovakvih metoda su korisne za dobijanje očekivane degradacije proizvoda tokom procesa rukovanja skladištenja i primene.

Metodom tipa rotacionog bubnja uzorak namenjen za ispitivanje se meri i postavlja u bubanj sa srednje brušenom površinom (srednja abrazija). Zatim bubanj rotira određenom brzinom određeno vreme uzorak i srednje abrazivno sredstvo se uklanja iz bubnja kada se abrazivno sredstvo odvaja od uzorka. Uzorak se preseje kroz sita i odvoji se prašina, sitne čestice i frakcije granula dobijene tokom testa koje su ostale netaknute.

U metodi posmatranja predviđen uzorak se meri i stavlja na sito sa abrazivnim materijalom. Zatim se sve to postavi na mehanički tresač i vrši se mešanje određeno vreme kao i određenom amplitudom i frekvencijom. Prašina, fine čestice i razbijene granule se sakupljaju u posudi ispod sita.

Tabela 5.5 Otpornost na abraziju pojedinih đubriva

Đubrivo		Otpornost na abraziju
Tip	Formulacija	% degradacije
Pilirana urea	46-0-0	10-30
Granulisana urea	46-0-0	0,2-0,3
Granulisani amonijum sulfat	21-0-0	0,2-1
Kristalisani amonijum sulfat	21-0-0	6-10
Pilirani amonijum nitrat	34-0-0	1,5-27
Granulisani diamonijum fosfat	18-46-0	0,5-2
Granulisani monoamonijum fosfat	11-55-0	0,5-2
Granulisani trostruki superfosfat (proces nagomilavanja)	0-46-0	0,1-1
Granulisani trostruki superfosfat (parna granulacija)	0-46-0	1-5
Pilirani kalijum nitrat	13-0-44	10-20
Granulisani kalijum hlorid	0-0-60	2-5
Granulisani kalijum sulfat	0-0-50	5-7

### 5.1.11. Otpornost na uticaje (udar)

Otpornost na uticaje (udar) je otpornost granula na lom nakon udara o tvrdu površinu. Veoma je bitno kada se koristi pneumatski rasipač đubriva, kada se materijal sipa sa neke tačke iznad rasipača tokom punjenja i kada se vreće bace tokom rukovanja odnosno premeštanja. Tvrdoća na udar je određena merenjem polomljenih granula nakon što se uzorak podredi standardizovanom udaru. Udar se izvodi puštanjem uzorka sa određene visine na čeličnu ploču ili nakon udara u čeličnu ploču (*Hoffmeister, 1979; Rutland, 1993; Borisova, 1989; Willems 1981*)[1,8,46,49]. Otpornost na udar se normalno računa određujući procenat različitih granula pre i posle testa ili pregledom uzorka na specifičnu dimenziju pre testa udara a zatim ponovnog pregleda uzorka nakon testa radi određivanja količine loma.

Tabela 5.6 Otpornost na udar pojedinih đubriva

Đubrivo		Otpornost na udar
Tip	Formulacija	% rasturenih granula
Pilirana urea	46-0-0	5-155
Granulisana urea	46-0-0	0,1-1
Granulisani amonijum sulfat	21-0-0	0,1-0,5
Pilirani amonijum nitrat	34-0-0	3-6
Granulisani diamonijum fosfat	18-46-0	0,5-1,5
Granulisani monoamonijum fosfat	11-55-0	0,5-1,5
Granulisani trostruki superfosfat	0-46-0	0-1
Pilirani kalijum nitrat	13-0-44	5-10
Granulisani kalijum hlorid	0-0-60	2-5
Granulisani kalijum sulfat	0-0-50	5-10

### 5.1.12. Higroskopnost

Higroskopnost se definiše kao apsorpcija vlage đubriva pod specifičnim uslovima vlage i temperature. Mnoga đubriva s higroskopna do neke mere zbog njihove visoke rastvorljivosti

u vodi. Više higroskopna đubriva znači više problema koji mogu da se očekuju tokom skladištenja i rukovanja. Faktori koji normalno utiču na stepen higroskopnosti đubriva su hemijski sastav, sadržaj vlage, ambijentalna temperatura, relativna vlažnost struktura čestica i poroznost, vreme izloženosti i površina čestica (*Hegner et al, 1976; Rutland et al, 1984; Babin et al, 1989*). Karakteristike higroskopnosti đubriva mogu biti kvantifikovana i kvalifikovana merenjem kritične relativne vlažnosti i njegove vlažnosti apsorpciono penetracione karakteristike.

### **5.1.13. Kritična relativna vlažnost (KRV)**

Kritična relativna vlažnost (KRV) materijala se definiše kao relativna vlažnost atmosfere u kojoj materijal počinje da apsorbuje vlagu iz atmosfere i ispod koje više ne može da apsorbuje atmosfersku vlagu. Glavni faktori koji diktiraju kritičnu relativnu vlažnost đubriva su hemijski sastav i temperatura ambijentalnog vazduha (*Rutland et al, 1984*). Sve rastvorive soli uključujući soli đubriva imaju karakterističnu kritičnu relativnu vlažnost. Hemijski rečeno kritična relativna vlažnost soli je ona vlažnost vazduha pri kojoj parcijalni pritisci pare vode u vazduhu su identično jednaki ravnoteži pritiska vodene pare iznad rastvora soli na bilo kojoj zadatoj temperature (*Rutland et al, 1984*). Za đubriva relativno visok Kritična relativna vlažnost je prednost jer takav materijal može da se ostavi i rukuje pri više vlažnim atmosferskim uslovima bez mogućnosti da postane mokar i nesipkast ili bez apsorpcije vlage koja može kasnije izazvati grudvanje. Kritična relativna vlažnost đubriva dovodi u velikoj meri ovlaživanje površine nasute kupe. Transfer mase vlage između gomile i vreće; lepljenje i gomilanje na opremi; koncentracija u mešavini nasutog i odabir rukovanja u nasutom stanju ili vrećama i ako je spakovano u vreće neophodan tip vreće. Važnost kritične relativne vlažnosti u drugim oblastima ne bi trebalo da bude zanemareno. Npr. kritična relativna vlažnost ponekad se greškom upoređuje sa univerzalnim merenjem tendencije ka grudvanju u đubrivu. Zapravo ako je đubrivo skladišteno u vodootpornom džaku ili zaštićeno skladište nasute gomile atmosferska vlaga je efektivno isključena i kritična relativna vlažnost tada relativno nema veliku ulogu. U ovim situacijama grudvanje kada se pojavi u vezi je sa ostalim faktorima kao što je sadržaj vlage u đubrivu, hemijske reakcije, ambijentalne temperature vazduha, pritiska u skladištu prisutnosti finih materija i efikasnosti bilo kog tretmana provetranja. Čak i ako je postignut izloženost nasute gomile đubriva krv nije jedini stvarno bitan za uticaje pod vlažim uslovima. Kritična relativna vlažnost je striktno kvantitativno merenje koje pokazuje da li će ili neće vlaga biti apsorbovana od strane materijala pri specifičnoj relativnoj vlažnosti i temperaturi. Kritična relativna vlažnost ne znači ništa u smislu koliko dobro ili koliko loše će đubrivo biti tolerantno na apsorbovanu vlagu. Đubrivo ima ostale karakteristike koje mogu da definišu bolje karakteristike higroskopnosti. Jednostavno najrelevantnija metoda po kojoj se meri kritična relativna vlažnost đubriva je da se izloži uzorak progresivno velikoj relativnoj vlažnosti na određenoj temperaturi. Najniža relativna vlažnost pri kojoj signifikantna količina vlage se apsorbuje (određena merenjem mase) se uzima kao kritična relativna vlažnost. Signifikantna količina vlage za đubrivo može da variraju zavisnoti od tipa i prirode materijala koji se testira. Što je signifikantno za jedno đubrivo možda nije signifikantno za drugo đubrivo. Za određivanje koje se najčešće primenjuje u laboratoriji u laboratorijskoj temperaturnoj važnoj komori opremljenom sa jakom cirkulacijom vazduha i mehaničkim ovlaživačima za kontrolu vlažnosti. Takođe, kritična relativna vlažnost se može izmeriti u poboljšanoj prirodnoj komori u kojoj uzorak stoji u komori opremljenoj sa električnom cirkulacijom vazduha, električnim grejačem sa metalnom mrežom i velikom šoljom da se zadrži kontrola lage pomoću rastvora

soli. Kako god korišćenje ove opreme rezultira u tome da nisu tako ponovljivi a procedura je spora i zahteva puno vremena.

Nekoliko procedura je razrađeno za određivanje kritične relativne vlažnosti đubriva i čistih soli đubriva (*Merz et al, 1993; Yee et al, 1944; Dunmore et al, 1939; Geissler et al, 1968; Geissler et al, 1967; Pustil'nik et al, 1973*). Generalno postoje statične, indirektno metode koje ne simuliraju stvarne uslove i ne mogu da daju pravu kritičnu relativnu vlažnost kao sekundarnu apsorpciju tokom izlaganja. Prikazani su podaci dobijeni od tipične kritične relativne vlažnosti određivanja koristeći metodu opisanu gore. Podaci dobijeni za piliranu ureu su tipični za relativno čiste materijale u kritičnoj tački su skoro definitivni. Ne postoji apsorpcija vlage tokom tri časa pri 70% relativne vlažnosti ali postoji konstantna apsorpcija pri 75%. Podaci pokazuju da diamonijumfosfat sa druge strane pokazuju tipično ponašanje đubriva koji sadrži male količine rastvorljivih primesa. Primetno je da se kritična relativna vlažnost kreće između 70 i 75 %; za praktičnu upotrebu kako god trebalo bi da se prepozna da proizvod će pokupiti malo vlage pri relativnoj vlažnosti pri 60 do 70%. Pri 70% relativne vlažnosti maksimalno 2% vlage će biti apsorbovano. Za većinu diamonijumfosfat đubriva ovo je nedovoljno da dođe do intergranulnog transfer vlage, šta više samo površina granule će biti zahvaćena na nasutoj gomili. Jedna od bitnih prednosti ove metode je da se napravi razlika između kritične relativne vlažnosti i sekundarne apsorpcije usled primesa. Mešavine đubriva uglavnom imaju nižu kritičnu relativnu vlažnost u odnosu na bilo koji drugi konstituent. Efekat mešavine đubriva je više dramatičan u slučaju amonijum nitrata i uree gde je kritična relativna vlažnost ovih mešavina približno 18%. Kritična relativna vlažnost kod svih đubriva se smanjuje sa povećanjem temperature (*Rutland et al, 1991; Hoffmeister et al, 1982*).

Tabela 5.7 Kritična relativna vlažnost pojedinih đubriva

Formulacija	Sastav	Kritična relativna vlažnost (na 30 °C)
46-0-0	Urea	70-75
34-0-0	Amonijum nitrat	55-60
21-0-0	Amonijum sulfat	75-85
18-46-0	Diamonijum fosfat	65-75
12-50-0	Monoamonijum fosfat	70-75
0-46-0	Trostruki superfosfat	75-85
0-0-60	Kalijum hlorid	70-80
13-0-44	Kalijum nistra	80-85
0-0-50	Kalijum fosfat	75-80
10-10-10	Amonijum sulfata, amonijum fosfat, kalijum hlorid, pesak	65-75
8-32-16	Amonijum sulfata, amonijum fosfat, kalijum hlorid, pesak	65-75
10-5-18-2 MgO	Amonijum sulfata, fosfatna stena, kalijum hlorid, kizerit	60-70
20-10-10	Amonijum nitratna baza	55-60
28-28-0	Urea, amonijum polifosfat	55-65
20-20-0	Urea, diamonijum fosfat, fosfatna stena	50-60
16-0-30	Urea, kalijum hlorid	45-55
18-18-10	Urea, diamonijum fosfat, fosfatna stena, kalijum hlorid, zgrudvana, nosači, (balast)	45-55
17-17-17	Urea, amonijum sulfat, diamonijum fosfat, kalijum hlorid	45-55
19-19-19	Urea, amonijum polifosfat, kalijum hlorid	50-60
15-15-15	Urea, diamonijum fosfat, kalijum hlorid, pesak	45-50
12-12-17-2 MgO	Urea, fosfatna stena, kalijum hlorid, kizerit	40-50
12-12-17-2 MgO	Nitrofosfat	60-65

#### **5.1.14. Absorpcija vlage-karakteristike penetracije**

Određivanje kritične relativne vlažnosti prema vlažnosti gore gde đubriva absorbuju vlagu iz atmosfere. Kritična relativna vlažnost ne daje informaciju koliko brzo će vlaga biti apsorbovana ili koji efekat apsorpcije vlage će imati na fizičke karakteristike đubriva. Đubriva variraju različito po njenim mogućnostima na toleranciju apsorbovane vlage. Kada se đubrivo izloži relativnoj vlažnosti iznad vrednosti kritične relativna vlažnosti faktori koji najviše imaju uticaj na apsorpciju vlage- karakteristike penetracije đubriva jesu hemijski sastav, poroznost čestica, površina čestica i stepen kristalitanije.

Tabela 5.8 Absorpcija vlage-karakteristike penetracije pojedinih đubriva

Formulacija	Sastav <sup>a</sup>	Absorpcija vlage-karakteristike penetracije (30 °C, 80% Relativne vlažnosti za 72 h)			
		Absorpcija vlage (mg/cm <sup>2</sup> )	Penetracija vlage (cm)	Kapacitet zadržavanja (%)	Održivost granula <sup>b</sup>
46-0-0	Urea	350	15	3	Preosečno dobro
21-0-0	Amonijum sulfat	100	0	-	Odlično
18-46-0	Diamonijum fosfat	175	2	12	Preosečno dobro
0-46-0	Trostruki superfosfat	235	2	12	Odlično
0-0-60	Kalijum hlorid	135	3	5	Dobro
6-24-24	Amonijum sulfat, amonijum fosfat, kalijum hlorid, pesak	280	2	15	Preosečno
10-10-10	Amonijum sulfat, amonijum fosfat, kalijum hlorid, pesak	270	4	7	Loše
13-13-13	Amonijum sulfat, amonijum fosfat, kalijum hlorid, pesak	365	4	9	Preosečno
28-28-0	Urea, amonijum polifosfat	370	3	15	Loše
17-17-17	Urea, amonijum sulfat, monoamonijum fosfat, kalijum hlorid	580	6	12	Loše
12-19-9	Urea, fosfatna stena, kalijum hlorid	450	5	8	Loše
15-15-15	Urea, fosfatna stena, kalijum hlorid, pesak	491	6	8	Loše
12-12-17-2 MgO	Urea, fosfatna stena, kalijum hlorid, kizerit	445	5	7	Loše

Apsorpcija vlage - karakteristike penetracije je veoma bitno kada razmatramo uslove pri kojima treba da uskladištimo đubrivo kada se predviđa sipkost tokom rukovanja i pomeranja u sistemu transporta i tokom aplikacije na polju (*Tikhonovich et al, 1991; Idnani et al, 1968; Bach et al, 1982; Kuvshinnikov et al, 1985*).

Laboratorijski apsorpciono penetracioni test površina uskladištene nasute gomile učestalo je izložena vlažnoj atmosferi. Šta više, interesanto je raspolagati podatkom koliko brzo vlažnost će biti apsorbovana i koliko brzo i pri kojoj dubini će biti vlaženja i fizičke deklaracije. Laboratorijsko apsorpciono penetracioni test predstavlja metodu za evaluaciju ovih efekata na gomili kada je izložena uticajima (*Hoffmeister et al, 1979; Tennessee Valley Authority, 1970; Rutland et al, 1993*).

Uključuje izlaganje nasute površine đubriva poznate površine na vazdušnoj struji i kontrolisanoj temperaturi vlažnosti za određeno vreme u konstantnoj temperaturno vlažnoj komori. Uzorci su izloženi u staklenom cilindru i periodično s vremena na vreme se proveravaju tokom vremena izloženosti. Evaluacija se vrši merenjem 1. Količine apsorbovane vlage po jedinici površine đubriva 2. Dubini penetracije vlage u đubrivo 3. Kapacitet zadržavanja vlage pojedine čestice đubriva i 4. Nijedan stepen apsorpcije vlage niti dubina penetracije vlage nisu u korelaciji sa kritičnom relativnom vlažnošću. Nijedna od dubina

penetracije vlage nije u korelaciji sa nivoom apsorpcije vlage. Kapacitet zadržanja vlage predstavlja maksimalnu količinu vlage koju će granule apsorbovati pre nego što postanu toliko vlažne da će vlaga biti predata najbližoj granulaciji kapilarno. Visoki kapacitet zadržavanja vlage je poželjna karakteristika koja može da stavi na stranu efekat visokog nivoa apsorpcije vlage. Posebno je u vezi sa hemijskim sastavom i poroznošću granula. Čiste kristalne soli đubriva kao što su urea i  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  generalno su neporozne i imaju nizak kapacitet zadržavanja vlage. Neke primese npr. Fe i Al fosfati od vlažnog procesa kiselina smanjuju kristalnu fazu i povećavaju amorfnu fazu u đubrivima i benefiti su u povećanju kapaciteta zadržavanja vlage. Rezultati laboratorijskih apsorpcionih testova su indikativni prema očekivanoj nasipanom đubrivu ponašanju prema stabilnim visoko vlažnim uslovima ali trebalo bi da se realizuju pod cikličnim uslovima kakvi postoje u realnim skladištima gde rezultati mogu ispoljiti kao korica površine gomile nekih materijala tokom ciklusa sušenja. Takođe trebalo bi da se realizuje da pod takvim cikličnim uslovima proizvodi sa visokim vrednostima kritične relativne vlažnosti budu neapsorbujući pri većoj izloženosti vremenu nego proizvodi sa nižim vrednostima kritične relativne vlažnosti (Hoffmeister et al, 1981; Balay et al, 1983; Cheval et al, 1994).

### 5.1.15. Test sipkosti

Test sipkosti dodatno u izloženosti gomile đubriva su takođe periodično izloženo u vlažnim sredinama tokom rukovanja i transporta putem sistema distribucije i primene u polju. U ovim operacijama efekat vlage na sipkost je glavna briga. Iako dva đubriva mogu imati sličnu kritičnu relativnu vlažnost vrednosti mogu signifikantno različito u mogućnosti da ostanu sipki usled vlažnih uslova. Test sipkosti obezbeđuje metod za evaluaciju za mogućnost đubriva da oстане sipko pod vlažnim uslovima (Hoffmeister et al, 1979; Rutland et al, 1993).

U ovom testu sipkost se određuje merenjem dužine vremena koliko će materijal ostati sipak u rotacionom bubnju pri određenim vlažnim uslovima (u konstantnoj temperaturno vlažnoj komori).

Nekoliko drugih metoda je razvijeno uključujući test skladištenja male gomile i test bušenja da bi se odredio stepen tolerancije đubriva na vlagu (Hoffmeister et al, 1979; Rutland et al, 1991; Tennessee Valley Authority, 1970; Rutland et al, 1993; Mehring et al, 1929; Mehring et al, 1931; Mehring et al, 1930; Rapp et al, 1957; Gantt, 1958; Hoffmeister et al, 1977).

Tabela 5.9 Sipkost pojedinih đubriva

Formulacija	Sastav <sup>a</sup>	Sipkost (minuti na 30 °C, i 90% relativne vlažnosti)		
		25% nije sipko	50% nije sipko	75% nije sipko
46-0-0	Urea	5	10	15
34-0-0	Amonijum sulfat	7	12	16
21-0-0	Amonijum nitrat	475	220	280
18-46-0	Diamonijum fosfat	70	130	180
11-52-0	Monoamonijum fosfat	80	165	190
0-46-0	Trostruki superfosfat	180	240	300
6-24-24	Amonijum sulfat, amonijum fosfat, kalijum hlorid, pesak	155	175	205
10-10-10	Amonijum sulfat, amonijum fosfat, kalijum hlorid, pesak	75	90	105
19-19-19	Urea, amonijum polifosfat, kalijum hlorid	10	20	30
12-6-22-3 MgO	Urea, fosfatna stena, kalijum hlorid, kizerit	31	38	40
12-6-22-3 MgO	Amonijum nitratna baza	37	43	48



### 5.1.16. Tendencija grudvanja

ISO definiše grudvanje kao formaciju koherentne mase od individualnih čestica đubriva između vremena proizvodnje i vremena primene na polju moraju biti uskladištene ili nasuta ili u džakovima (*International Organization for Standardization, 1984*). Vreme skladištenja može varirati od nekoliko dana do cele godine i više. Veoma je važno da tokom skladištenja svo đubrivo ostane potpuno sipko ili da grudvanje bude tako minimalno tako da malo pomeranje i rukovanje će vratiti originalne uslove sipkosti. Nije moguće dati univerzalni kriterijum koji je stepen grudvanja tolerantan jer je primena đubriva široka u različitim oblastima za različite svrhe. Kada se aplikacija vrši mašinama postoji potpuna sloboda kod visokog stepena grudvanja takođe nekoliko malih grudvi može biti prihvatljivo. Za ručnu aplikaciju gde se rasipanje vrši rukom i gde svaki džak može da se primeni za individualni tretman visoki procenat grudvi ili nekoliko grudvi srednje tvrdoće mogu se tolerisati.

#### 5.1.16.1. Uzroci zgrudnjavanja

Zgrudnjavanje đubriva prouzrokovano je formacijom kontaktnih tačaka između čestica (granule, piliranih čestica, tableta, briketa, pudera, kristala itd...). Ove kontaktne tačke su različite i imaju tri imena, fazni kontakt, adhezivni kontakt, i površinska difuzija (*Kurshinnikov, 1978*).

#### 5.1.16.2. Fazni kontakt

Fazni kontakt (slani most) su kristalni mostovi formirani na kontaktnim tačkama između čestice đubriva (*Bookey et al, 1965; Silverberg et al, 1958*). Većina problema sa zgrudnjavanjem da potiču od ovih slanosti mostova. Kristalni mostovi nastaju tokom skladištenja, procesom rastvaranja/kristalizacijom, i/ili toplotnim efektom (*The Complex Phenomenon of Caking, 1981; Tikhonovich et al, 1989*).

#### 5.1.16.3. Adhezivni kontakt

Adhezivni kontakt (kapilarna adhezija) se formira kao rezultat molekularne privlačnosti između površinskih kontakata (*Thompson et al, 1972, Mackay et al, 1985*). Sila privlačnosti uključena je u ovaj fenomen, poznate kao Van der Valsove sile, koje se smatraju da su relativno slabe. Ovaj tip kontakta nastaje uglavnom usled plastičnosti materijala i pritiska prisutnog na đubrivu kada je spakovano u vreće ili nasuto na gomili, a pojava se uglavnom odnosi na vreće i gomilu. Materijal normalno teži da se vrati u slobodno sipku formu već sa prilično malim premeštanjem, rukovanjem.

Difuzija u površinu je rezultat kompleksa voda-so koji sadrže par hidratiziranih jona koji se transportuju između adsorbovane faze i onda formiraju kontakt između susednih čestica. Mehanizam difuzije grudvanja je veoma prisutan kod poroznih struktura čestica (*Kuvshinnikov et al, 1984; Kuvshinnikov et al, 1987a; Kuvshinnikov et al, 1987b*).

#### 5.1.16.4. Faktori koji utiču na zgrudnjavanje

Brojni faktori utiču na tendenciju đubriva da se zgrudva. Ovi faktori mogu se podeliti u unutrašnje faktore, koji su u vezi sa fizičko hemijskim sastavom đubriva, i spoljnim faktorima, koji su povezani sa uslovima spoljne sredine na koje je đubrivo izloženo tokom rukovanja i skladištenja. Očigledno neki od ovih faktora su međusobno povezani. Indetifikacija faktora i pregled faktora koji imaju uticaj na zgrudnjavanje su opisani u radovima (*Kuvshinnikov et al, 1978; Bookey et al, 1965; Silverberg et al, 1958; Thompson et al, 1972; Rutland et al, 1991*;

*Adams et al, 1941; Whynes et al, 1957; Using Anticaking Agents, 1983; Rosenblom et al, 1978; Gamondes et al, 1977).*

### 1. Unutrašnji faktori

Hemisjki sastav đubriva ima efekta na tendenciju zgrudnjavanja. Na primer, objavljeno je da veću tendenciju ka zgrudnjavanju imaju đubriva na bazi amonijum nitrata i uree nego na bazi amonijum sulfata i amonijum fosfata (*Rutland et al, 1990, Rutland et al, 1989; Kuvshinnikov et al, 1989a; Kuvshinnikov et al, 1978b*). Čak i primese mogu imati uticaja na zgrudnjavanje. Đubriva proizvedena putem vlažnog procesa fosforne kiseline karakteristično sadrže značajnu količinu primesa gvožđa i aluminijum fosfata, što je prikazano da služi kao unutrašnja materija protiv zgrudnjavanja u ovim proizvodima (*Tennessee Valley Authority, 1970; Borisov et al, 1978; Borisov et al, 1982*). Gvožđe i aluminijum fosfat su pronađeni kao amorfnj gelovi koji čine tvrdi proizvod i očigledno su nepokretna faza rastvora. Formacija gvožđa i aluminijum fosfata pod relativno visokim pH i uslovima niske temperature definišu se kao strukturni tip gela pre nego kristalna forma (*Ando et al, 1965*).

2. Količina dozvoljene vlage koja ostaje u đubrivu nakon proizvodnje ima veliki efekat na zgrudnjavanje u skladištu. Za većinu mehanizma zgrudnjavanja, prisustvo vlage u fazi rastvora je suština. Viša temperatura sušenja tokom proizvodnje znači da će manje šanse biti za zgrudnjavanje. Stepenn sušenja dovodi do neaktivnosti različitih mehanizama zgrudnjavanja prilično široko i utiče na fizički sastav đubriva. Generalno, ova đubriva sadrže visoku proporciju azotnih soli kojima je potreban veći stepenn sušenja. Ovo je delimično tačno za đubriva koja sadrže amonijum nitrat ili ureu. Sledeća tabela nudi neke osnovne parametre u vezi sa maksimalnom količinom sadržaja vlage koje treba da ima granularno đubrivo. Ove vrednosti bi trebale samo da se koriste kao okvirne vrednosti jer mnogi različiti procesi imaju sekundarni efekat na vlagu u skladištu i karakteristikama transporta date formulacije đubriva. Vrednosti predstavljaju sadržaj slobodne vode (nehidratizane vode).

Vlažnost proizvoda 0%-0,5%: amonijum nitrat, urea, amonijum sulfat, kalcijum nitrat, natrijum nitrat, kalcijum hlorid. Vlažnost proizvoda 0,5%-1%: mešavina đubriva koja sadrže ureu ili amonijum nitrat. Vlažnost proizvoda 1%-1,5%: mešavina đubriva sa N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> odnosom većim od 1:1 koja ne sadrže ureu ili amonijum nitrat. Vlažnost proizvoda 1,5%-2%: mešavina đubriva sa N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> odnosom manjem od 1:1 koja ne sadrže ureu ili amonijum nitrat. Vlažnost proizvoda iznad 2%: Mešavina đubriva koja sadrže manje količine ili ne sadrže azotni superfosfat.

3. Dimenzije, oblik i struktura čestica su takođe bitne. Ako su čestice relativno velike, dobro formirane, i neujednačene po obliku i dimenziji sa veoma malo sitnog materijala, specifična površina je smanjena. Shodno tome, sila privlačenja je smanjena pa je tendencija ka grudvanju manja.

Mehanička čvrstoća ili tvrdoća čestica ima efekat na tendencije grudvanja. Slabe granule mogu se razbiti pod pritiskom ili silom udara (tvrdoća udara) ili tokom rukovanja (habanje i uticaj udara) (*Using Anticaking Agents, 1983*). Kao rezultat toga, značajan količina praha može biti stvorena i time se povećava broj kontaktnih tačaka između čestica.

Higroskopno osobine proizvoda mogu imati uticaj na stepenn zgrudnjavanja (*Venkatesan, 1987*). Sva đubriva sa većim vrtnostima iznad kritične relativne vlažnosti apsorbuj vlagu što za zgrudnjavanje. Kao rezultat apsorpcije vlage je zgrudnjavanje obično duž površine gomile i sa produženim izlaganjem povišenom vlažnošću grudvanje može da postane prilično duboko.

Temperatura proizvoda koji je stavljen u skladištu je još jedan važan faktor koji utiče na tendenciju zgrudnjavanja (*Koltashov et al, 1978; Visvanathan et al, 1978; Saxena et al, 1982; 100. Caking: Complex Problem, 1984*). Više temperature povećavaju hemijsku

reaktivnost, kao što je evaporacija vode, što rezultuje rekristalizacijom i formiranje čvrstih kristalnih mostova. Pored toga, kada je temperatura visoka proizvod započeti formiranje plastičnih čestice koje se deformišu pod pritiskom. Ova deformacija izaziva formiranje kristalnih mostova i kapilarno prijanjanje. Nakon sprovedenog opsežnog istraživanja na tendenciju zgrudnjavanja uree Van Kiipte je istakao, "urea koja se skladišti na gomilu pri 50 ° C do 70 ° C će definitivno formirati jake grudve, niža temperatura skladištenja, manja tendencija ka zgrudnjavanju. Zaključci ovih studija je da ukoliko urea se hladi ispod 30 ° C pre ulaska u skladištenje, ima manji stepen aglomeracija i, uglavnom, aglomerati su mekši (Van Hiffie et al, 1981). Diamonium fosfat, s druge strane, obično je potrebno da se ohladi samo do oko 70 ° C.

Skladište ili skladišna temperatura je važna s obzirom na tendenciju grudvanja. Višim temperaturama će se sniziti kritičnu relativnu vlažnost jednog đubriva i na taj način povećati svoju higroskopnost. Na primer, kritična relativna vlažnost amonijum fosfata 15-15-15 je približno 55% na 30 ° C, a to je oko 45% na 40 ° C. Nasuprot tome, podizanje temperature postojećeg skladišta vazduha će smanjiti relativnu vlažnosti (RH). Ovaj metod se može koristiti da se smanji skladišna relativna vlažnost ispod kritične relativne vlažnosti đubriva.

Vlažnost okolne atmosfere ima uticaja na zgrudnjavanje. Pomenuto prethodno kada je đubrivo izloženo relativnoj vlažnosti iznad kritične relativne vlažnosti, apsorpcija vlage će postojati. Zasićene formulacije će potom biti formirana na površini granula, izazivajući kapilarnu adheziju i procesa kristalizacije zbog promena u temperaturi ili naknadno isparavanjem. Tu ozbiljnost zgrudnjavanja uglavnom zavisi od stope apsorpcije. Stopa apsorpcije zavisi od faktora kao što su: (1) razlike između relativne vlažnosti vazduha i kritične vlažnosti đubriva, (2) kretanja vazduha sa stalnom relativnom vlažnošću đubriva, (3) Kapacitet zadržavanja vlage đubriva, kao pod uticajem granulometrijskog sastava i poroznosti, i (4) po stopi penetracije u rasutom stanju gomile đubriva (Rosenblom et al, 1978).

Trajanje vremena skladištenja utiče na zgrudnjavanje. U većini slučajeva, tendencija đubriva za stvaranje grudvi je najviši tokom prvih nekoliko nedelja nakon proizvodnje. Međutim, ako đubrivo ima tendenciju ka grudvanju, duže vreme skladištenja će generalno rezultirati značajnim povećanjem grudvanja.

4. Pritisak na dnu gomile ili gomile đubriva ima određeno dejstvo na grudvanje (Ahmed et al, 1990). Kao i sa vremenom skladištenja, ako đubrivo ima tendenciju ka grudvanju, preterani i produženo dejstvo pritiska će dovesti do značajnog povećanja grudvanja. Pod pritiskom može doći do deformacija čestica, što dovodi do povećanja kontaktne površine.

Procena tendencije grudvanja - Preveliko grudvanje može prouzrokovati probleme u (1) transportu i vađenju materijal iz skladišnih binova, vagona, kamiona, i barži (2) Primena u polju; i (3) operacije pakovanja. Metode za procenu tendenciju grudvanje đubriva mogu se podeliti u tri vrste, naime, testova za skladištenje velikih vreća, testova za skladištenje malih vreća, i testove ubrzanog zgrudnjavanja.

### 5.1.17. Praškavost

Zbog velikih količina đubriva sa kojom se rukuje u rasutom stanju, njihova prašina je od posebnog značaja i može izazvati značajne probleme (Bhatti et al, 1992; Strathdee et al, 1994). Prvo, značajne količine materijala može da se izgubi tokom obrade, rukovanja, i primena što dovodi do gubitka prihoda. Drugo, zagađenje životne sredine i izloženost zaposlenih opasnim nivoima prašine nisu pokazatelj odgovorne organizacije.

Najčešći izvori prašine kod granuliranih đubriva su (1) neefikasno praćenje operacije, (2) slabe granule, (3) loši dodaci (anti stvrdnjavanje) protiv adhezije, 4) granula površina

kristala granule koji se raspadne pri rukovanju, i (5) prašina iz procesa nastajanja sa površine granula.

Praškavost kod đubriva obično se meri prolazom uzorka kroz struje vazduha suprotnog protoka unutar "kule za otprašivanje" i konstatujući merenjem količine prašine (Hoffmeister et al, 1979; Tennessee Valley Authority, 1970; Rutland et al, 1993). Suprotnosmerni protok vazduha se obično podešava tako da odvoji čestice određenih dimenzija (prašine), a omogućava da granule padne na dno kule. Oprema se takođe može koristiti za procenu sposobnost tipa kondicionera praha (anti stvrdnjavanja), kao što su kaolin-gline, da održavaju đubrivo u granulisanoj obliku.

### 5.1.18. Fizička kompatibilnost u mešavini

Fizička kompatibilnost rasutih mešavina je sposobnost dva ili više materijala da ostane potpuno mešoviti tokom skladištenja, rukovanja, i primene. Kao što je rečeno ranije u odeljku o dimenzijama čestica, segregacija može biti veliki problem u rukovanju rasutih-mešavina đubriva. Segregacija mešavine materijala u rasutom stanju je obično uzrokovana neusklađenosti dimenzija čestica. Najčešći metod za određivanje fizičko kompatibilnost rasutih-mešavina sastojaka je da se odredi dimenzija čestica analize svakog sastojak i uporedite podaci. Postoje dve tehnike koje se koriste za poređenje podataka, odnosno kumulativni raspodela dimenzija čestica i veličine-upotrebu veličine (Hoffmeister et al, 1979; Canadian Fertilizer Institute, 1986; Rutland et al, 1993; Cheval et al, 1986; Hester et al, 1990; Cheval et al, 1991; Terry et al, 1993; Cheval et al, 1994).

Tehnika kumulativne raspodela dimenzija čestica podrazumeva upoređivanje svakog dela kumulativne dimenzija jednog sastojka sa ekvivalentnom kumulativnim dimenzijama frakcije druge sastojka (a). Za ove dimenzije kumulativnih frakcija, primećeno je postojanje razlike u procentima, a najveći od ovih razlika se koristi za utvrđivanje kompatibilnosti. Veća razlika znači veću tendenciju ka segregaciji. Sledeće opšte smernice mogu da se koriste za određivanje kompatibilnosti dimenzija - brza tehnika, razvijena od strane Kanadskog instituta za đubriva, podrazumeva određivanje srednje dimenzije čestice od svakog sastojka mešavine određivanjem 50% čestica koji su zadržali dimenziju u odnosu na ukupne čestice prema distributivnoj krivi. Dimenzija čestica (u milimetrima) u 50% kumulativnog zadržane tačke množi se sa 100 i zaokruži na najbližu 5. Ovaj broj se prikazuje kao oznaka za dimenzije (SGN) te mešavina sastojaka. Oznaka za dimenziju postoji za svaku rasutu mešavinu sastojka u određenom odnosu, a mešavina se ocenjuje smernicama u narednoj tabeli 11.

Tabela 5.10 Očekivana kompatibilnosti

Oznaka dimenzija Razlike u brojevima	Očekivana kompatibilnost, usklađenost
0%-10%	Dobra usklađenost
11%-20%	Srednja usklađenost (posebno obazrivo rukovanje može smanjiti tendenciju ka segregaciji)
>20%	Neusklađenost

### 5.1.19. Sferičnost

Sferičnost je mera okruglosti čestica zrnastih đubriva. Sferičnost je korisna u proceni efikasnosti obrade i grudvanja, rukovanju i osobine skladištenja đubriva. Da bi se odredila

Sferičnost, uzorak granula se distribuira preko nagnutog pokretne trake. Okrugle granule se kotrljaju niz nagib, a prikupljaju se na dnu trake.

Granule nepravilnog oblika ili polomljene koje su koncentrisane gore sprovode se u praznom delu na vrhu pojasa.

#### **5.1.20. Specifična površina**

Specifična površina materijala je njegova površina po jedinici mase; ona ukazuje na finoću i poroznost materijala. To je posebno korisno u određivanju finoće i poroznosti fosfatne stene i fosfogips u proizvodnim procesima fosfornoj kiselinu. Podaci se mogu koristiti za predviđanje reakcione efikasnosti i stope filtracije.

#### **5.1.21. Poroznost**

Poroznost je mera prostora pora kod granuliranog đubriva. Prekomerna poroznost je često razlog loših granula. Takođe, pri sabijanju đubriva i sistema granulacije, poroznost je pokazatelj sabijanja i efikasnost granulacije. Poroznost se određuje merenjem gustine materijala kao i određivanje prave gustinu i izračunavanjem razlike.

#### **5.1.22. Tačka topljenja**

Tačka topljenja đubriva je od interesa u vezi sa piliranjem ili drugim procesima topljenja pri granulaciji u kojima je neophodno topljenje u tečnost. Tačka topljenja je takođe od interesa kod sušenja đubriva koji su granulirana drugim procesima jer ograničava maksimalnu temperaturu sušare.

## 5.2. Materijal ispitivanja

Mineralno đubrivo zbog svoje hemijske prirode i osobine apsorbovanja vlage iz vazduha menja svoju mehaničku strukturu u kontaktu sa vlagom, pri čemu se menjaju osnovne osobine sipkosti tog đubriva. Tokom manipulacije mineralnog đubriva sa ovako promenjenim osobinama javljaju se poteškoće i u transportu, pretovaru i rasipanju. (Nozdrovicki i sar. 2009., Findura i sar, 2010. Turan i sar, 2011)

U laboratorijskim uslovima ispitivane su osobine azotnog mineralnog đubriva Carbamid ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ), Krečni amonijum nitrat ( $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3$ , 60:40) i Amonijum nitrat ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), pri čemu je analiziran granulometrijski sastav, sadržaj vlažnosti đubriva u funkciji od vremena izloženosti delovanja atmosfere vlažnosti i promena osnovnih osobina sipkosti: statički i dinamički ugao nasipanja u zavisnosti od vlažnosti mineralnog đubriva.

U laboratorijskim ispitivanjima korišćena je sledeća oprema: elektronska vaga preciznosti 0,01 gr, sita (Standard prEN 13739-1,2), električna sušnica, psihrometar, aparatura za određivanje statičkog i dinamičkog ugla trenja (Mohsenin et al, 1980).

U laboratorijskim uslovima definisani su uzorci mineralnog đubriva.

Na osnovu laboratorijske defragmentacije na sitima okruglog poprečnog preseka od 1, 2, 3, 4 i 5 mm utvrđen je granulometrijski sastav đubriva (Standard prEN 13739-1,2).

Merenja statičkog i dinamičkog ugla nasipanja za svako od tretiranih đubriva obavljeno je u deset ponavljanja pri definisanoj vlažnosti đubriva. Vlažnost ispitivanih vrsta đubriva je određivana u sušnici za svaki od po 10 uzoraka čime se dobilo na statističkoj verodostojnosti podataka. Đubrivo je izlagano delovanju vlažne sredine (vlažan vazduh sa relativnom vlažnosti  $\phi=0,55$ ). Rezultati su obrađeni standardnim statističkim metodama (Steel and Torrie, 1980) i prikazani dijagramski.

Na početku merenja izmerena je početna vlažnost mineralnog đubriva i posle na svakih 24 h delovanja sredine (vlažan vazduh, ponovo su mereni parametri đubriva s odgovarajućim brojem ponavljanja).

Na osnovu laboratorijskih merenja konstruisani su dijagrami zavisnosti sadržaja vlažnosti mineralnog đubriva od vremena izloženosti delovanju vlažne sredine, kao i dijagrami zavisnosti statičkog i dinamičkog ugla nasipanja za različite vlažnosti mineralnog đubriva.

Primenom standardnih statističkih metoda (Steel and Torrie, 1980) dobijeni su rezultati statističke obrade i prikazani su u tabeli 5.11. Prikazane vrednosti predstavljaju srednju vrednost, dok je u zagradi standardna devijacija za pojedine frakcije.

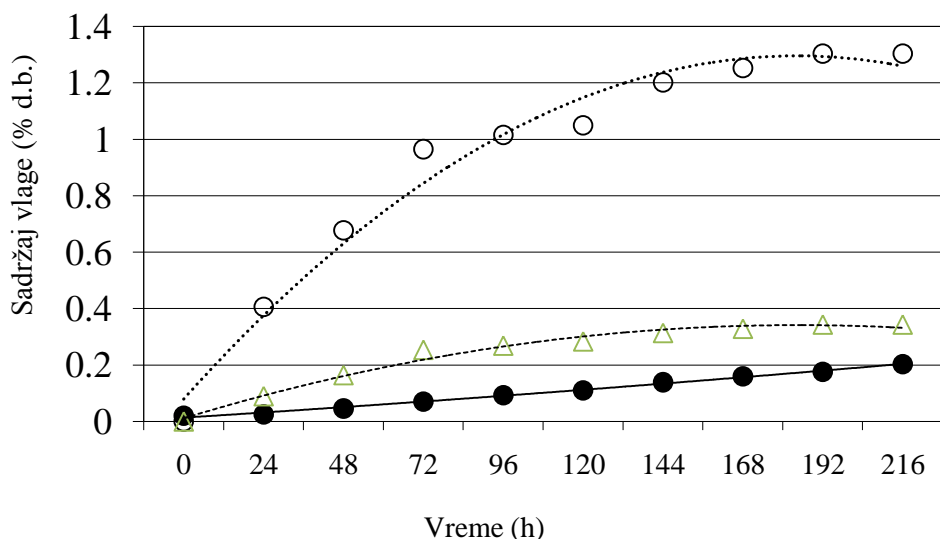
Tabela 5.11 Granulometrijski sastav đubriva

Đubrivo (%)	Prečnik (mm)					
	<1	1-2	2-3	3-4	4-5	5<
Karbamide	0,4 (0,49 7 )	26,3 (9,50 4 )	61,2 (13,83 5 )	10,7 (4,93 1 )	1,1 (2,35 0 )	0,1 (0,34 3 )
Kalcijum amonijum nitrat	0,9 (0,29 2 )	17,5 (4,50 7 )	49,9 (4,28 7 )	28,0 (5,20 1 )	2,6 (2,63 7 )	0,8 (0,77 6 )
Amonijum nitrat	0,3 (0,67 5 )	2,73 (1,72 )	83,1 (9,66 4 )	12,9 (8,10 0 )	0,4 (1,59 7 )	0,4 (1,60 1 )

\*Vrednosti standardnih devijacija su u zagradama.

Granulometrijski sastav analiziranih đubriva zadovoljava osnovni normativ o procentualnom granulometrijskom sastavu mineralnog đubriva (Standard prEN 13739-1,2). Dominiraju frakcije 2-3 mm sa 50 do 83 postotnim udelom. Udeo frakcije ispod 1 mm je na nivou od ispod 1%, dok je udeo krupnih čestica veličine preko 5 mm prečnika sa udelom ispod 1%. Samo u slučaju amonijum nitrata suma sitne (manje od 1mm) i krupne frakcije (preko 5 mm) prelazi vrednost od 1%. Najveće odstupanje standarne devijacije kod uzorkovanja je pokazalo đubrivo Karbamid sa dijapazonom vrednosti standardne devijacije do 13,83 u slučaju udela frakcije 2-3 mm.

Zavisnost funkcije higroskopnog navlaživanja đubriva od vremena izloženosti delovanju spoljnog uticaja najpreciznije je matematički objašnjen polinomom drugog stepena, pri čemu su dobijeni koeficijenti regresije na nivou od 0,9974 do 0,9953 (Tab. 5.12).

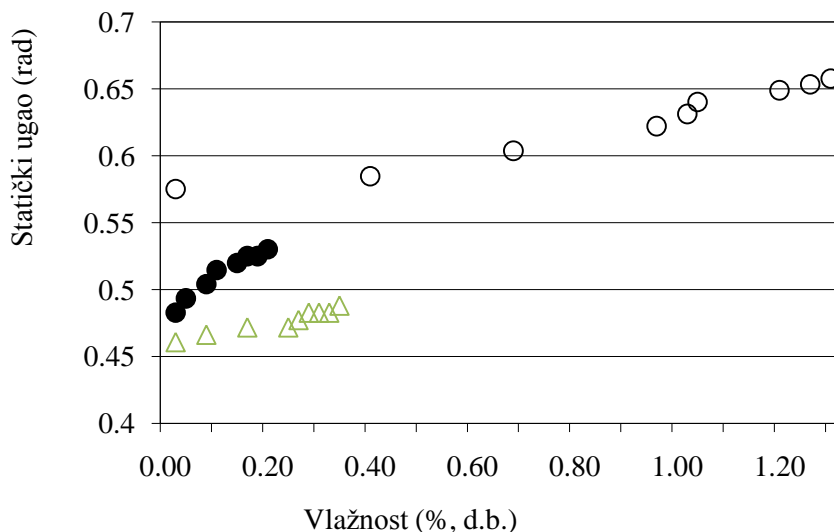


Slika. 5.1 Zavisnost sadržaja vlage od vremena

Tabela 5.12 Jednačine funkcije regresije i koeficijnt korelacije

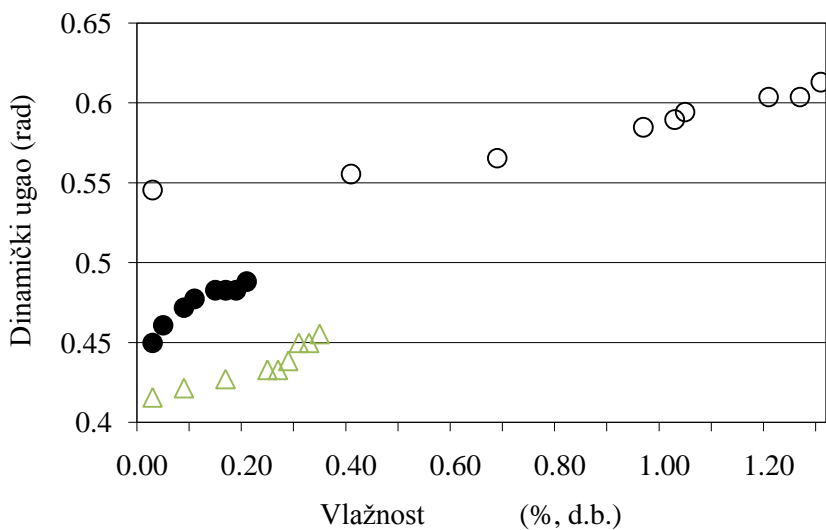
Đubrivo	Legenda	Y	R <sup>2</sup>
Karbamid	•	$w = 6E-07x^2 + 0,0007x + 0,0131$	0,9953
KAN	o	$w = -0,0206x^2 + 0,358x - 0,2577$	0,9774
AN	Δ	$w = -1E-05x^2 + 0,0036x + 0,0113$	0,9831

Kao bitan segment u osobinama mineralnog đubriva su statički i dinamički ugao nasipanja. Uglovi nasipanja utvrđeni su opremom definisanom za ovu vrstu ispitivanja (Mohsenin, 1980). Statički ugao nasipanja definiše razliku sipkog i tečnog materijala i definiše izgled gomile pri nasipanju materijala na ravnu površinu. Poznavanje dinamičkog ugla nasipanja daje prednosti pri definisanju pojave zasvođavanja, odnosno stvaranja uslova za neravnomerno doziranje mineralnog đubriva pri aplikaciji, što ima za posledicu neravnomernost prihrane po površini (Jurišić, 2009; Turan, 2010a)



Slika. 5.2 Statički ugao nasipanja u zavisnosti od vlažnosti

Legenda		y	R <sup>2</sup>
Karbamid	•	$y = 0,0276\ln(x) + 0,463$	0,9892
KAN	o	$y = 0,0223\ln(x) + 0,546$	0,6803
AN	Δ	$y = 0,0111\ln(x) + 0,4503$	0,8209



Slika. 5.3 Dinamički ugao nasipanja u zavisnosti od vlažnosti

Legenda:

		y	R <sup>2</sup>
Karbamid	•	$0,0213\ln(x) + 0,4367$	0,9808
KAN	o	$0,0174\ln(x) + 0,523$	0,682
AN	Δ	$0,0159\ln(x) + 0,3989$	0,7307



Analizirajući sliku 5.2 dolazi se do zaključaka da sa porastom vlažnosti mineralnog đubriva raste statički ugao nasipanja. Sam porast statičkog ugla nasipanja je najizraženiji kod Karbamid đubriva mada Karbamid i AN đubrivo dostižu ravnotežu vlažnosti na oko 0,3% d.b. Karakteristično za KAN đubrivo je veći statički ugao nasipanja pri početnoj vlazi od 0,57 rad, pri čemu KAN đubrivo prima vlagu sve do vrednosti 1,27% d.b. pri čemu i statički ugao nasipanja poraste na 0,66 rad. Koeficijenti regresije koji definišu uspešnost simulacije pojave funkcijom za Karbamid i AN imaju vrednost 0,9882 odnosno 0,8209, dok je to za KAN 0,6803. Ovako visoke vrednosti su logička posledica, jer i u samoj prirodi vlaženja odnosno menjanja udela vlage u materijalu jednog momenta dolazi do zasićenja materijala vlagom, odnosno funkcija ima tangirajuću vrednost, što najbolje i odslikava logaritamska funkcija.

Za razliku od statičkog ugla nasipanja dinamički ugao nasipanja po samoj svojoj definiciji ima manju vrednost. Ovo pravilo se i u našem slučaju potvrdilo pri čemu je dinamički ugao u odnosu na statički ugao nasipanja mineralnog đubriva sa nižom vrednošću kod Karbamid đubriva za 0,03 rad. dok je ova vrednost kod KAN i AN đubriva oko 0,05 rad. Funkcije koje simuliraju kretanje dinamičkog ugla nasipanja đubriva u zavisnosti od sadržaja vlage imaju kao i u slučaju zakonitosti kretanja statičkog ugla logaritamski karakter (sl. 5.3) sa relativno visokim koeficijentom regresije za Karbamid od 0,9808. Dok je ovaj koeficijent u slučaju đubriva KAN i AN na nivou od 0,682 odnosno 0,7307.

Analizirajući razlike koeficijenata regresije kod statičkog, a i kod dinamičkog ugla nasipanja dolazi se do zaključka da povišeni udeo frakcije 3-4 mm uslovljava veći ugao nasipanja što je posebno izraženo na đubrivu KAN.

Poznata su razna rešenja pravilnog podešavanja rasipača uz zaustavljanje ili u toku samog rada. Već je pisano o raznim mogućnostima (*Martinov i sar, 2000; Persson et al, 2000*).

Zahtevi koji se postavljaju pred rasipače đubriva definisani su međunarodnim i nacionalnim standardima. U tom pogledu najdalje se otišlo pri kreaciji Standarda Evropske Unije, sto je definisano u predlozima standardima prEN 13739-1 i prEN 13739-2. U ovim predlozima posebna pažnja posvećena je rasipanju na rubu parcele. Cilj je da se što manje đubriva prebaci na susednu parcelu, na uvratinu, a posebno na otvorene vodotokove. Ove zahteve, u skladu sa definicijama u standardu, pojedine države legalizuju obaveznim propisima. Tako je u Danskoj zabranjena obrada zemljišta na rastojanju manjem od 2 m od vodotoka, a propisuje se maksimalna količina đubriva koje se rasipa van parcele.

Pred proizvođače rasipača mineralnih đubriva postavljen je nov težak zadatak, da se mašine osposobe da ispune stroge zahteve rasipanja na rubu parcele. Profit rasipanja pri tom proходу ne treba više da bude trouglast i trapezni kao kod uobičajenog rasipanja, već asimetričan i sa rubne strane pravougaoni (*Turan i sar, 2010b, Turan i sar, 2009*).

Postoje dva tipa zahteva u pogledu rubnog rasipanja:

1. Primarno vođenje računa o zaštiti životne sredine - ekološki, EOS (Environmental Optimised System), kod kojeg je cilj da što manje đubriva dospe van granica njive).

2. Primarno vođenje računa o ostvarenju što višeg prinosa - prinostni YOS (Yield Optimised System), kod kojeg je cilj da do samog ruba parcele bude rasuta približno ujednacena kolicina đubriva).

Predlog standarda još nije usvojen, a diskutuje se o tome da li da se u konačnoj verziji nađe samo jedan predlog koji bi bio kompromis ekološkog i prinostnog zahteva. To je povezano i sa ostvarivim tehničkim mogućnostima proizvođača opreme. Proizvođači nude različita rešenja za rubno rasipanje, a pregled najznačajnijih dat je u tab.

Generalni zahtevi koji se postavljaju pri sprovođenju rubnog rasipanja đubriva su:

- Uređaj i postupak treba da omogućuje smanjenje gubitaka pri rubnom rasipanju.

- Proizvođač je dužan da da detaljno uputstvo za primenu EOS za sve predviđene širine rasipanja.
- Gubitak pri primeni EOS rubnog rasipanja ne sme da bude veći od 1%.
- Gubitak đubriva pri primeni YOS rubnog rasipanje ne sme da bude veći od 3%.
- Smanjenje količine rasutog đubriva na rubu u odnosu na prvi i drugi normalni prolaz ne sme da bude veća od 30% za EOS i 20% za YOS.
- Povećanje količine rasutog đubriva u rubnom delu ni u jednom slučaju ne sme da bude veća od 120% u odnosu na srednju količinu rasipanja na ostalom delu parcele.

### **5.3. Distribucija mineralnih đubriva**

#### **5.3.1 Uslovi ispitivanja**

Stanje parcele

Ispitivanje je obavljeno na parceli Instituta za ratarstvo i povrtarstvo iz Novog Sada. Parcela ispitivanja je u katastru Srbobrana - Švarc salaš. (sl. 5.4).



Slika. 5.4 Parcela Instituta za ratarstvo i povrtarstvo - Švarc salaš, kod Srbobrana

Brzina i pravac vetra

Brzina vetra merena je elektronskim anemometrom DA 4000 (sl. 5.5), u momentu rada agregata odnosno u momentu uzorkovanja. Brzina vetra je bila zanemariva i oba dana ispitivanja bila je ispod 1 m/s .

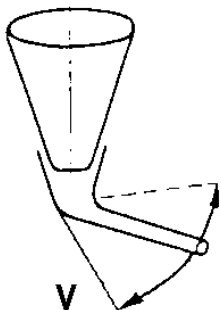


Slika 5.5 Merenje brzine vetra

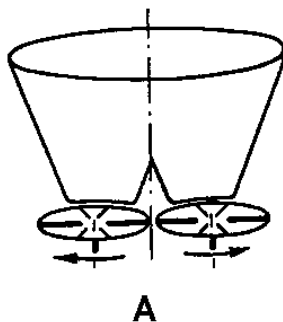
Režimi rada agregata

Od agregata ispitivani su:

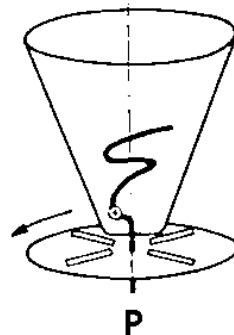
- Rasipač sa klatećom cevi proizvođača Vikon P500 (Sl. 5.6) radnog zahvata 12 m i radne zapremine 500 kg (U daljem tekstu rasipač V)
- Centrifugalni rasipač sa dvostrukim diskom. Kao predstavnik je uzet Amazone (sl. 7) nošeni rasipač komercijalne oznake ZA-M Compact 1000. Nosivost rasipača je 1000 kg a radni zahvat je 24 m (u daljem tekstu A).
- Centrifugalni rasipač sa jednim diskom. Kao predstavnik uzet je nošeni rasipač komercijalne oznake Poljostroj NR 245 (sl. 5.8)



Slika 5.6 Rasipač sa klatećom cevi Vikon P500



Slika 5.7 Centrifugalni rasipač sa dvostrukim diskom A

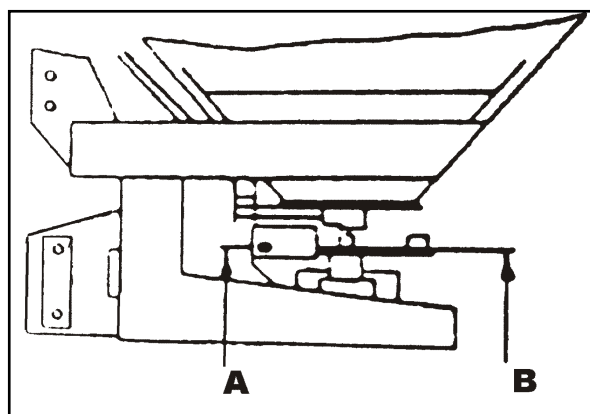


Slika 5.8 Centrifugalni rasipač sa jednim diskom P

Rasipači su agregatirani sa traktorom u tri tačke (nošeni). Radni organ za razbacivanje đubriva je podešen po horizontali i vertikali na traktoru simetrično u odnosu na uzdužnu osu traktora. Visina radnog organa je podešena na 72 cm sa prednje i zadnje strane (poz. A i B na sl 5.9).

Ispitivanje poprečne raspodele vršeno je za tri teoretske norme rasipanja.

Definisane su norme rasipanja:- 150 kg/ha (I)- 300 kg/ha (II)- 500 kg/ha (III)Da bi se ostvarile zadate norme rasipači su podešeni po sledećoj šemi i radili su sa svakim đubrivom sa identičnom podešenošću:



Slika 5.9 Nivelisanje rasipača

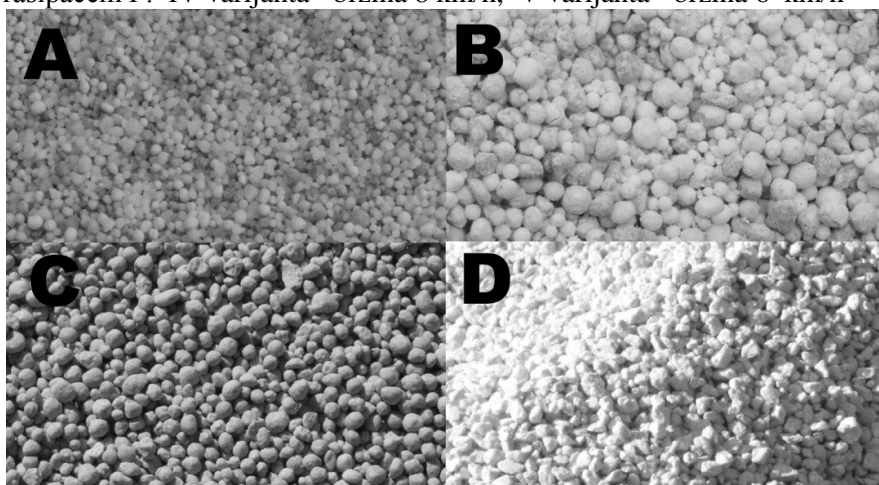
Tabela 5.13 Podešenost rasipača

Rasipač	Norma	Traktor	Radna brzina km/h	Stepen prenosa menjača	PV o/min	Položaj dozatora	Napomena
Klateća cev V	I	TD 75 06	8	V	540	43	1600 o/min mot.
	II					96	
	III		6	IV		96	1700 o/min mot.
Dvostruki disk A	I	IMT 577	8	V	540	25	Ugao lopatica duge: 70 kratke: 89
	II					32	
	III			40			
	IV		V	25		Ugao lopatica duge: 67 kratke: 88	
	V			32			
	VI			36			
Jednostruki disk P	I	IMT 539	8	V	540	3	1600 o/min mot.
	II					6	
	III		6	IV		6	1700 o/min mot.
	IV		8	V		4	1600 o/min mot.
	V		6	IV			1700 o/min mot.

Dodatne varijante u ispitivanju đubriva D

Sa rasipačem A: IV varijanta: 150 kg/ha, V varijanta: 300 kg/ha, VI varijanta: norma 400 kg/ha,

Sa rasipačem P: IV varijanta - brzina 8 km/h, V varijanta - brzina 6 km/h



Slika 5.10 Ispitivana đubriva

Napomena: Granulometrijski sastav đubriva sa slike nije vizuelno uporediv!

U ispitivanju je korišteno mineralno đubrivo pod radnim oznakama A, B, C i D, prikazano na slici 5.10.

Đubriva po svom deklarisanom hemijskom sastavu odgovaraju formulaciji 15:15:15. Đubrivo A je mešano mineralno đubrivo. Đubrivo B je kompleksno mineralno đubrivo. Đubrivo C je kompleksno mineralno đubrivo sa mikroelementima. Đubrivo B se stručno naziva Kompaktno mineralno đubrivo. Hemijski sastav đubriva je određivan i prikazan je u nastavku studije.

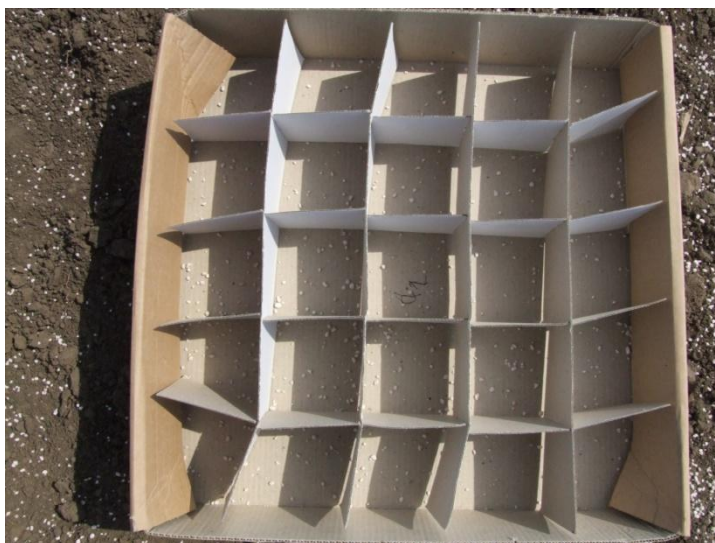
Korištena oprema

Oprema na terenu

U toku ispitivanja od korištene oprema na parceli korišteno je:

- digitalni anemometar DA 4000 (sl. 5.2),
- metarska pantljička (30 m),
- dvometar,
- vizir motke,
- merne posude (sl. 5.11),
- plastične kese “kesa sa hladnim zavarom”,
- flomaster
- marker,
- fotoaparata
- diktafon.

Od navedene opreme, digitalni anemometar prikazan je na slici 5.2 dok ostala oprema spada u tzv. standardnu opremu, osim mernih posuda koje su prikazane na slici 5.11. Merne posude su kartonske kutije, dimenzije 50 x 50 cm a dubine 10 cm, sa pregradama u obliku saća visine 8 cm. Posude su napravljene od kartona i rasklopive su radi pogodnosti transporta. Fotoaparata je komercijalne oznake Fujifilm 9500 dok je Diktafon Olympus VN4500.



Slika 5.11 Merna posuda

Laboratorijska oprema

U laboratorijskim ispitivanjima korištena je sledeća oprema:

- elektronska vaga,

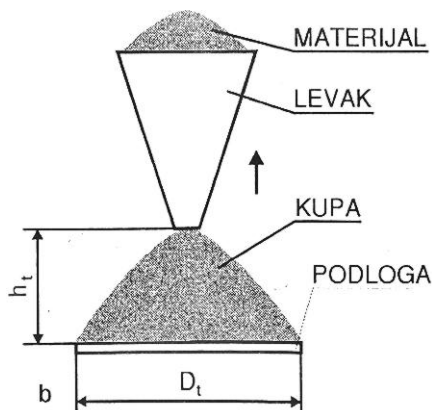
Elektronska vaga je preciznosti 0.01 g a nosi komercijalnu oznaku ET1111.

- aparatura za određivanje statičkog ugla nasipanja po Mohseninu 1980 (sl. 5.12) i

- PC računar P IV

PC računar opremljen je sa licenciranim office (spreadsheet, txtprocessor i presentation aplikacija) i draw softverskim paketima.

- Sita za određivanje granulometrijskog sastava Sita podležu standardu ISO 3310.



Sl. 5.12 Određivanje statičkog ugla nasipanja

### 5.3.2 Metod rada

Utvrđivanje granulometrijskog sastava đubriva

Granulometrijski sastav utvrđen je laboratorijski pri čemu su dobijeni podaci prikazani u vidu laboratorijskog izveštaja.

Shodno standardu JUS ISO 8397 izvršeno je određivanje granulometrijskog sastava uzoraka đubriva NPK/15-15-15 označenih kao uzorak: A,B,C,D

Granulometrijsko određivanje je izvršeno na laboratorijskim sitima prečnika 200 mm prema standardu ISO 3310

Korišćena su sita promera otvora 1,2,3,4,5 mm

Uzorak se prosejavao na uređaju za prosejavanje koji pokreće materijal unutar sklopa u horizontalnom i vertikalnom pravcu.

Određivanjem su ustanovljene sledeće vrednosti:

Tabela 5.14 Granulometrijski sastav uzoraka đubriva

UZORAK	Gr.> 5mm	Gr.5-4 mm	Gr. 4-3mm	Gr.3-2mm	Gr.2-1mm	Gr.<1mm
A	0.20	4.07	19.74	61.55	13.77	0.67
B	2.08	17.69	38.74	32.65	5.73	3.11
C	0.69	15.74	44.54	37.64	1.11	0.28
D	0.07	11.69	40.59	45.21	2.32	0.12

Uzorak A je vizuelno prosto „blending,, mešano đubrivo

Uzorak B je vizuelno mešano đubrivo

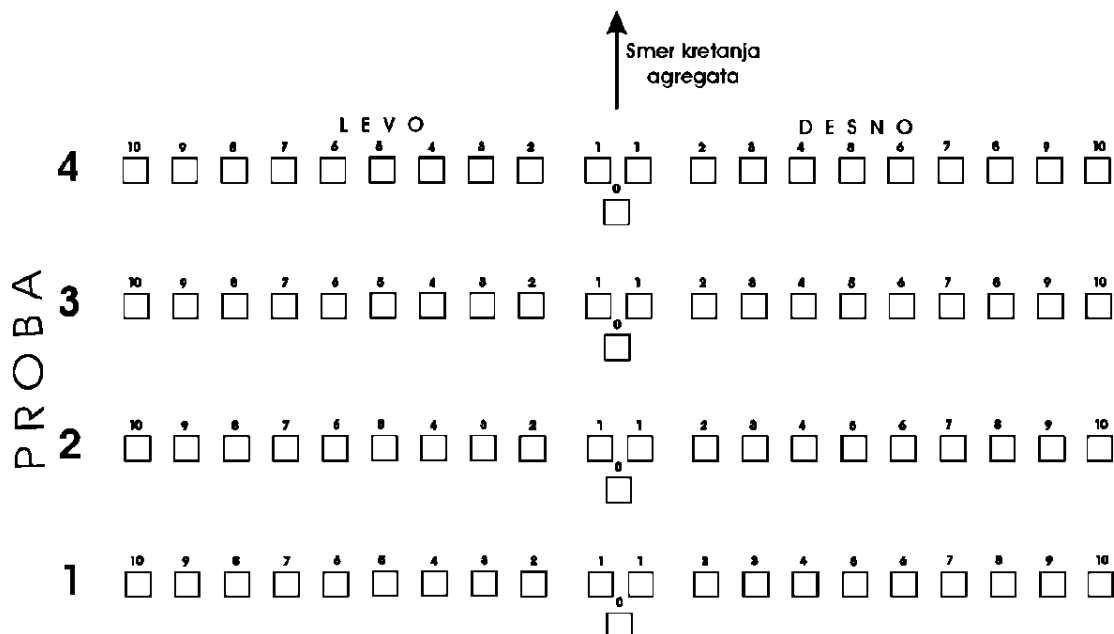
Uzorak C je vizuelno kompleksno đubrivo

Uzorak D je vizuelno kompaktno đubrivo

### Utvrđivanje poprečne raspodele granula

Za uzorkovanje poprečne distribucije ravnomernosti rasporeda mineralnog đubriva po radnom zahvatu rasipača korišteno je 84 posuda. Posude su postavljane u četiri reda (četiri probe), sa napomenom da u sredini je ostavljen prostor za prolaz agregata za rasipanje.

Na terenu se postave posude za uzorke po šemi prikazanoj na slici 5.13 i prolazi agregat i rasuto đubrivo pada u posude, koje se zatim istresaju u posebne kesice koje se beleže radi dalje laboratorijske obrade na elektronskoj vagi preciznosti 0.01 gr. Meri se bruto masa uzorka i u toku obrade podataka na računaru oduzima se tara, odnosno masa kesice. Uzorak iz jedne kesice predstavlja masu đubriva sa  $0.25 \text{ m}^2$ , koja se potom matematičkim relacijama svodi na normu đubrenja po hektaru (kg/ha).



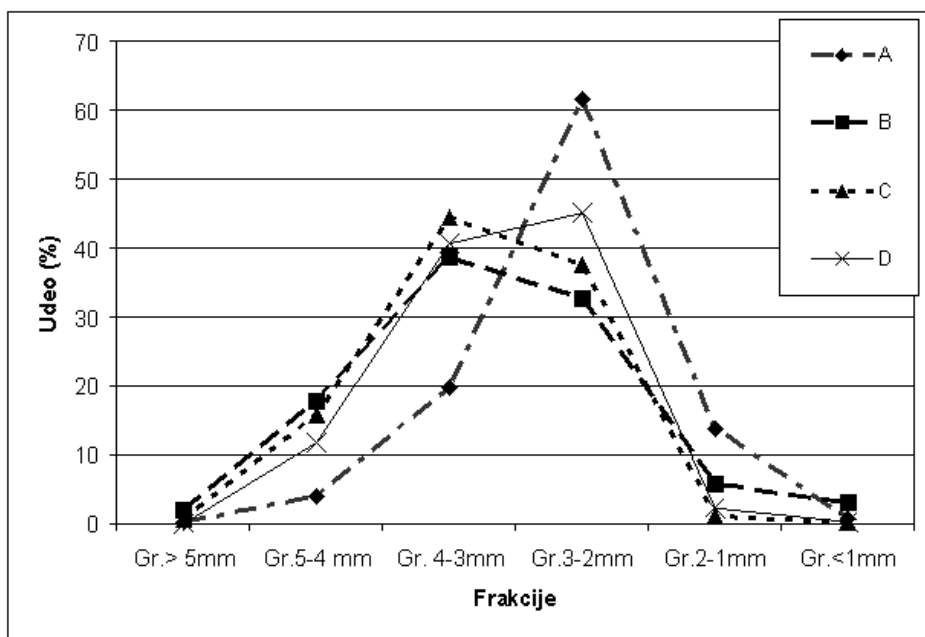
Slika 5.13 Raspored postavljenih kutija za merenje distribucije

### 5.3.3. Rezultati ispitivanja i diskusija

Fizičko-hemijske osobine

Granulometrijski sastav đubriva

Granulometrijski sastav određen je shodno standardu JS ISO 8397 na laboratorijskim sitima prečnika 200 mm po standardu ISO 3310. Izdvojene frakcije i granulometrijski sastav prikazani su slikom 14.



Slika 5.14 Granulometrijski sastav ispitivanih đubriva

Iz priložene analize granulometrijskog sastava uočava se da đubrivo B ima povišen sadržaj frakcija ispod 3 mm, dok uzorci đubriva A, C i D po granulometrijskom sastavu su slični i ne uočava se razlika među njima. Mora se naglasiti da granule uzorka đubriva A, B i C su oblika kuglice dok granule đubriva D su nepravilnog oblika. Sa slike se vidi da je granulometrijski sastav za sve uzorke blizak normalnoj raspodeli.

#### Ugao nasipanja

Osobine trenja sipkavih materijala (zrno, mleveni, granulirani, peletirani pa i seckani proizvodi) važe se za projektovanje mašina namenjenih manipulaciji tim materijalima i za njihovo skladištenje. Za praksu je potrebno i znanje o trenju između čestica poljoprivrednih materijala.

Ugao nasipanja je, kao fizička osobina materijala važan za transportna sredstva i uopšte za predviđanje oblika i dimenzija hrpe nasutog materijala. Koeficijent ugla nasipanja se definiše na sledeći način:

$$\mu_{NS} = \operatorname{tg} \alpha_n \quad (5.1.)$$

U levak se sipa materijal kojemu se određuje statički ugao nasipanja. U momentu nasipanja levak je u donjem položaju, dodiruje podlogu. Podloga je kružnog oblika. Potom se levak polako izdiže i pri tome nastaje kupa. Kada je od nasutog materijala formirana kupa jednake osnove kao što je podloga, levak se fiksira i meri se visina  $h_t$ . U oba slučaja, koeficijent statičkog ugla nasipanja -  $\mu_{ns}$  određuje se iz izraza:

$$\mu_{ns} = \frac{2 * h_t}{D_t} \quad (5.2.)$$

Nasipni ugao meren je po metodici prihvaćenoj od strane Laboratorije za procesnu tehniku, Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu. Rezultati merenja prikazani su tabelarno u tabeli 5.15.

Tabela 5.15 Statički ugao nasipanja za pojedine uzorke đubriva



Visine kupe(h) mm	A	B	C	D
I	32	33	29,5	32
II	27	34	29	32
III	30	35,5	28,8	31
srednje	29,6667	34,1667	29,1	31,6667
ugao u rad	0,5355	0,59945	0,52708	0,56457
ugao u °	30,68	34,35	30,20	32,35

Uočava se da uzorci đubriva A i C imaju statički ugao nasipanja od oko 30° dok đubriva B i D ovaj ugao imaju veći 34° odnosno 32°, što se tumači kod đubriva B povišenim procentom frakcije ispod 1 mm (prašine) a kod uzorka D se tumači samim oblikom granula. Povišen statički ugao nasipanja za posledicu ima smanjeno gravitaciono kretanje đubriva.

#### Poprečna raspodela

Rezultati poprečne raspodele obrađeni su statistički i prikazani u okviru ovog poglavlja dok su polazni dijagrami raspodele prikazani u prilogu studije.

Krive na dijagramima predstavljaju fitovane krive (trendline) polinomi drugog stepena, odnosno kvadratne regresije proizašle iz dijagrama prikazanih u prilogu studije.

Mora se istaći da pojedine tačke na dijagramima u prilogu studije nisu tačke kao rezultat jednog merenja već svaka tačka predstavlja srednju vrednost od 4 ili 3 merenja na istom rastojanju od prohoda agregata (odnosno 4 ili 3 merenja). Na ovaj način se osigurao reprezentativan uzorak za analizu. Radi upoređenja dobijenih vredosti, odnosno upoređenja fitovanih krivi primenjen je t-test ocene razlike aritmetičke sredine za svaki uporedivi uzorak odnosno upređeni su svi podaci sa jednog dijagrama po principu svaki sa svakim.

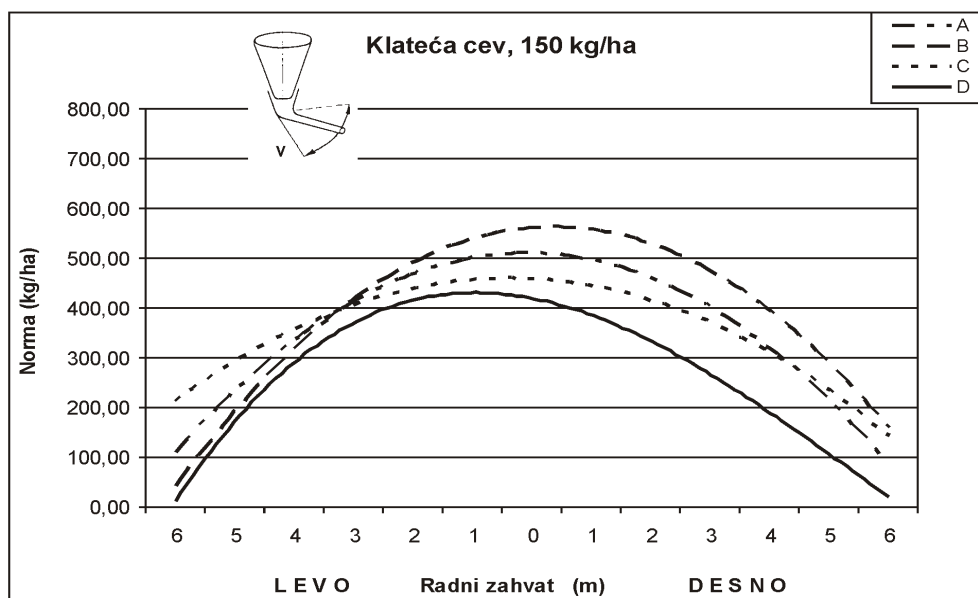
Napomena tumačenja tabele t-testa. Oznaka + znači da postoji statistički značajna razlika između uzoraka, odnosno postoji statistički značajna razlika u pogledu poprečne raspodele između dva uzorka. Oznaka - pokazuje da ne postoji statistički značajna razlika aritmetičkih sredina uzoraka. Sve statističke analize rađene su sa pragom verovatnoće od 95%.

Mora se istaći da su rasipači podešeni na osnovu fabričkih preporuka.

Činjenica je da rasipači nisu ostvarili predviđene norme rasipanja, uprkos tome rezultati su uporedivi, jer su sva đubriva razbacivana u identičnim uslovima.

Rasipač sa klatećom cevi Norma I - 150 kg (sl. 5.15)

Uzorak je uspeo u pogledu ujednačenosti rasipanja i slaganja krivih regresije. Rezultati t- testa (sl. 5.16) upoređenja ovih krivih pokazuju da se đubrivo D statistički značajno razlikuje od ostalih đubriva. Ipak prevladava činjenica da je rasipač radio sa povećanim otvorom dozatora, tako da je i srednja vrednost norme preko 300 kg/ha prebačena i za sva đubriva se kreće od 350 kg/ha za đubrivo A do 380 kg/ha za đubrivo B.

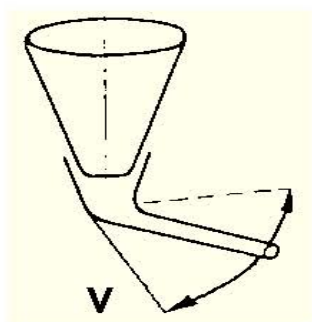


Slika 5.15 Dijagram raspodele rasipač sa klatećom cevi norma 150 kg

	V	I
	A	B
t-Test: Paired Two Sample for Means		
	Variable 1	Variable 2
Mean	350,1307692	381,907692
Variance	23291,54731	35019,0174
Observations	13	13
Pearson Correlation	0,872867957	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	12	
t Stat	-1,245277498	
P(T<=t) one-tail	0,118399048	
t Critical one-tail	1,782287548	
P(T<=t) two-tail	0,236798096	
t Critical two-tail	2,178812827	

	V	I
	A	C
t-Test: Paired Two Sample for Means		
	Variable 1	Variable 2
Mean	350,1308	349,7231
Variance	23291,55	13374,64
Observations	13	13
Pearson Correlation	0,858277	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	12	
t Stat	0,018419	
P(T<=t) one-tail	0,492804	
t Critical one-tail	1,782288	
P(T<=t) two-tail	0,985608	
t Critical two-tail	2,178813	

	V	I
	A	D
t-Test: Paired Two Sample for Means		
	Variable 1	Variable 2
Mean	350,1308	262,9462
Variance	23291,55	24744,53
Observations	13	13
Pearson Correlation	0,879426	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	12	
t Stat	4,123607	
P(T<=t) one-tail	0,000708	
t Critical one-tail	1,782288	
P(T<=t) two-tail	0,001412	
t Critical two-tail	2,178813	



	V	I
	B	C
t-Test: Paired Two Sample for Means		
	Variable 1	Variable 2
Mean	381,9077	349,7231
Variance	35019,02	13374,64
Observations	13	13
Pearson Correlation	0,788644	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	12	
t Stat	0,971819	
P(T<=t) one-tail	0,175161	
t Critical one-tail	1,782288	
P(T<=t) two-tail	0,350323	
t Critical two-tail	2,178813	

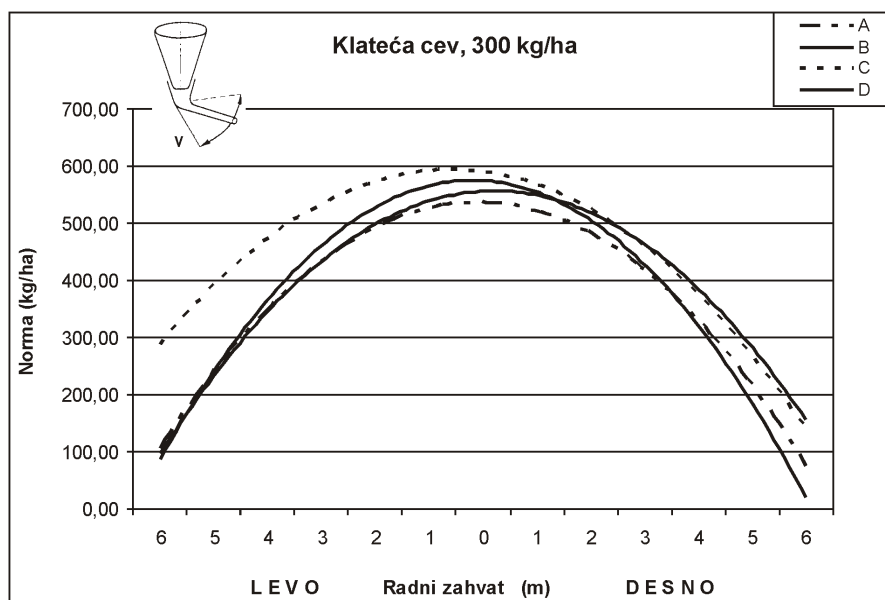
	V	I
	B	D
t-Test: Paired Two Sample for Means		
	Variable 1	Variable 2
Mean	381,9077	262,9462
Variance	35019,02	24744,53
Observations	13	13
Pearson Correlation	0,722859	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	12	
t Stat	3,269918	
P(T<=t) one-tail	0,003352	
t Critical one-tail	1,782288	
P(T<=t) two-tail	0,006704	
t Critical two-tail	2,178813	

150 kg/ha

	V	I	D
Djubrivo	B	C	D
A	-	-	+
B			+
C			+

	V	I
	C	D
t-Test: Paired Two Sample for Means		
	Variable 1	Variable 2
Mean	349,7231	262,9462
Variance	13374,64	24744,53
Observations	13	13
Pearson Correlation	0,823511	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	12	
t Stat	3,464363	
P(T<=t) one-tail	0,00234	
t Critical one-tail	1,782288	
P(T<=t) two-tail	0,004679	
t Critical two-tail	2,178813	

Slika 5.16 Rezultat t-testa jednakosti aritmetičkih sredina, rasipač:V norma: I



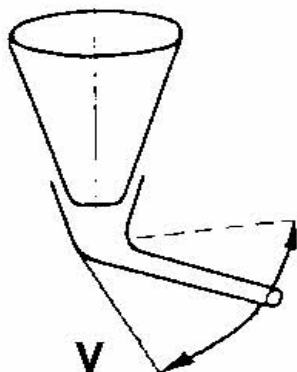
Slika 5.17 Dijagram raspodele Rasipač sa klatećom cevi norma 300 kg

Uzorak je uspeo u pogledu ujednačenosti rasipanja i slaganja krivih regresije. Rezultati t-testa (sl. 5.18) upoređenja ovih krivih pokazuju da se đubrivo C satistički značajno razlikuje od ostalih đubriva. Ipak preovladava činjenica da je rasipač radio sa povećanim otvorom dozatora, tako da je i srednja vrednost norme preko 300 kg/ha prebačena i za sva đubriva se kreće od 363 kg/ha za đubrivo A do 443 kg/ha za đubrivo C.

	V	II
	A	B
t-Test: Paired Two Sample for Means		
	Variable 1	Variable 2
Mean	363,4871795	388,761538
Variance	26782,27806	25408,8942
Observations	13	13
Pearson Correlation	0,950076662	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	12	
t Stat	-1,779406486	
P(T<=t) one-tail	0,050245151	
t Critical one-tail	1,782287548	
P(T<=t) two-tail	0,100490302	
t Critical two-tail	2,178812827	

	V	II
	A	C
t-Test: Paired Two Sample for Means		
	Variable 1	Variable 2
Mean	363,4872	443,7
Variance	26782,28	22353,73
Observations	13	13
Pearson Correlation	0,935642	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	12	
t Stat	-4,997253	
P(T<=t) one-tail	0,000155	
t Critical one-tail	1,782288	
P(T<=t) two-tail	0,000311	
t Critical two-tail	2,178813	

	V	II
	A	D
t-Test: Paired Two Sample for Means		
	Variable 1	Variable 2
Mean	363,4872	371,8046
Variance	26782,28	39516,44
Observations	13	13
Pearson Correlation	0,950147	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	12	
t Stat	-0,448142	
P(T<=t) one-tail	0,331017	
t Critical one-tail	1,782288	
P(T<=t) two-tail	0,662035	
t Critical two-tail	2,178813	



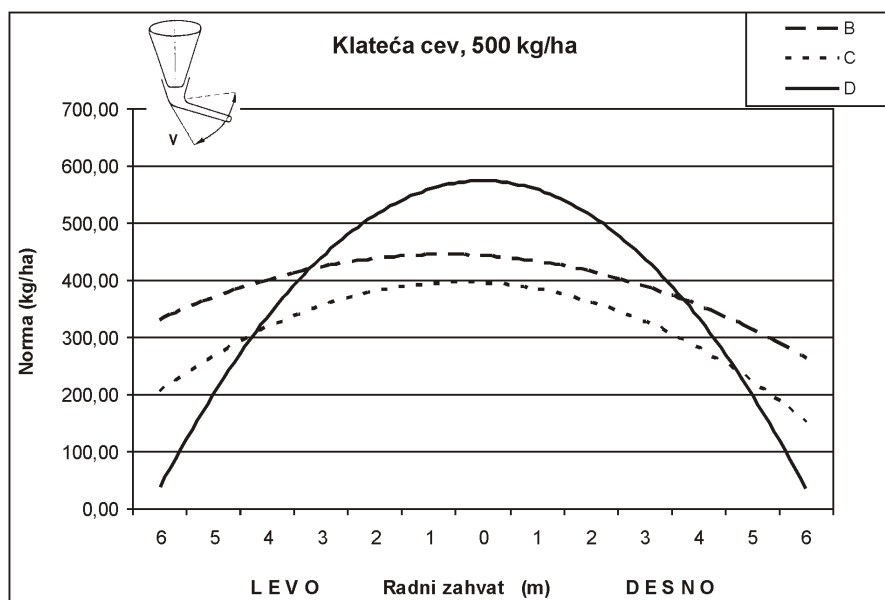
	V	II
	B	C
t-Test: Paired Two Sample for Means		
	Variable 1	Variable 2
Mean	388,7615	443,7
Variance	25408,89	22353,73
Observations	13	13
Pearson Correlation	0,833126	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	12	
t Stat	-2,207498	
P(T<=t) one-tail	0,023747	
t Critical one-tail	1,782288	
P(T<=t) two-tail	0,047493	
t Critical two-tail	2,178813	

	V	II
	B	D
t-Test: Paired Two Sample for Means		
	Variable 1	Variable 2
Mean	388,7615	371,8046
Variance	25408,89	39516,44
Observations	13	13
Pearson Correlation	0,876503	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	12	
t Stat	0,63135	
P(T<=t) one-tail	0,269826	
t Critical one-tail	1,782288	
P(T<=t) two-tail	0,539652	
t Critical two-tail	2,178813	

	V	II	D
Djubrivo	B	C	D
A	-	+	-
B		+	-
C			+

	V	II
	C	D
t-Test: Paired Two Sample for Means		
	Variable 1	Variable 2
Mean	443,7	371,8046
Variance	22353,73	39516,44
Observations	13	13
Pearson Correlation	0,915856	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	12	
t Stat	3,007349	
P(T<=t) one-tail	0,005458	
t Critical one-tail	1,782288	
P(T<=t) two-tail	0,010917	
t Critical two-tail	2,178813	

Slika 5.18 Rezultat t-testa jednakosti aritmetičkih sredina , Rasipač:V norma: II



Slika 5.19 Dijagram raspodele Rasipač sa klatećom cevi norma 500 kg

Norma III - 500 kg (sl. 5.19) Uzorak nije uspeo sa đubrivom A. Rezultati t-testa (sl. 5.20) upoređenja ovih krivi pokazuju da se đubriva B i C statistički značajno razlikuje. Dok razlike ova dva đubriva nemaju u odnosu na đubrivo D.

V

III

V

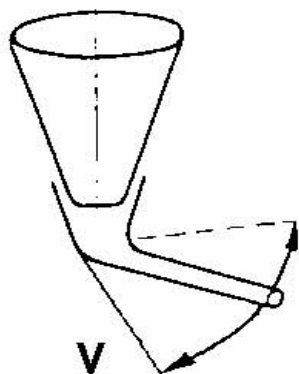
III

V

III

Napomena: Uzorak A djubriva nije uspeo

Napc Uzorak A djubriva nije uspeo



Napomena: Uzorak A djubriva nije uspeo

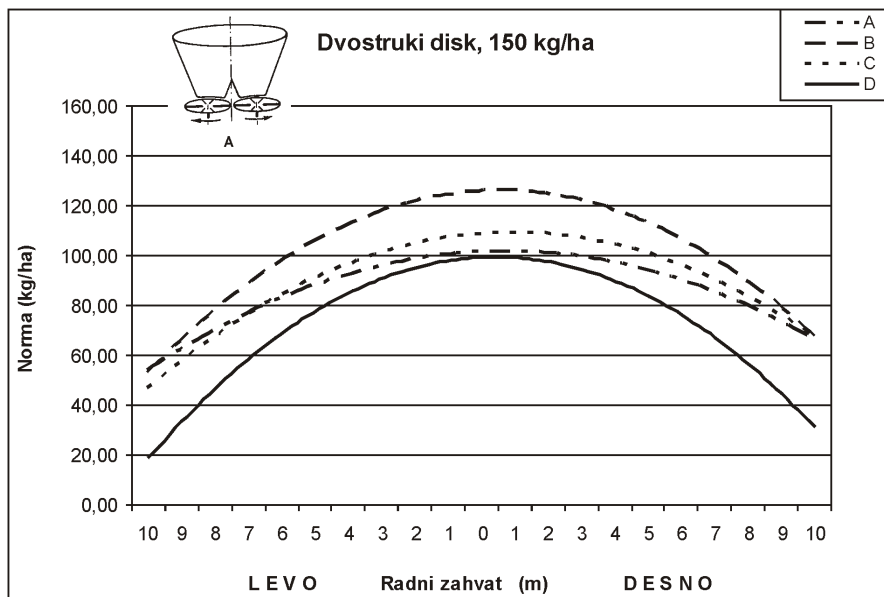
	V	III		
Djubrivo	0	0	C	D
B		0	+	-
C				-

	V	III
	B	C
t-Test: Paired Two Sample for Means		
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	386,8223	311,7462
Variance	3848,586	6939,214
Observatio	13	13
Pearson Cor	0,948379	
Hypothesiz	0	
df	12	
t Stat	8,621722	
P(T<=t) on	8,67E-07	
t Critical on	1,782288	
P(T<=t) tw	1,73E-06	
t Critical tw	2,178813	

	V	III
	B	D
t-Test: Paired Two Sample for Me		
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	386,8223	364,9385
Variance	3848,586	40152,05
Observatio	13	13
Pearson Cor	0,834451	
Hypothesiz	0	
df	12	
t Stat	0,517417	
P(T<=t) on	0,307135	
t Critical or	1,782288	
P(T<=t) tw	0,614269	
t Critical tw	2,178813	

	V	III
	C	D
t-Test: Paired Two Sample for Me		
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	311,7462	364,9385
Variance	6939,214	40152,05
Observatio	13	13
Pearson Cor	0,918358	
Hypothesiz	0	
df	12	
t Stat	-1,496116	
P(T<=t) on	0,080227	
t Critical or	1,782288	
P(T<=t) tw	0,160453	
t Critical tw	2,178813	

Slika 5.20 Rezultat t-testa jednakosti aritmetičkih sredina, Rasipač:V norma: III



Slika 5.21 Dijagram raspodele rasipač sa dva diska norma 150 kg

Uzorak je uspeo u pogledu ujednačenosti rasipanja i slaganja krivih regresije. Rezultati t-testa (sl. 5.22) upoređenja ovih krivih pokazuju da se đubriva statistički značajno razlikuju među sobom osim u slučaju A i C. Pokazalo se da preporuka proizvođača rasipača neodgovara đubrivima, jer sva đubriva su ostvarila manje norme od planiranih, što se i vidi iz srednjih vrednosti sa slike 5.22.



A I  
A B  
t-Test: Paired Two Sample for Means

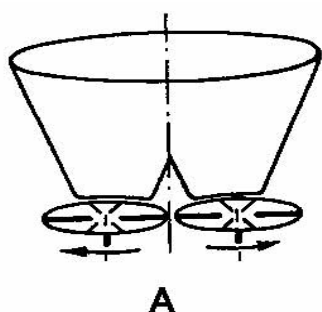
	Variable 1	Variable 2
Mean	86,5381	101,9619
Variance	534,0475	826,2425
Observatio	21	21
Pearson Co	0,322605	
Hypothesiz	0	
df	20	
t Stat	-2,315602	
P(T<=t) on	0,015658	
t Critical on	1,724718	
P(T<=t) tw	0,031317	
t Critical tw	2,085963	

A I  
A C  
t-Test: Paired Two Sample for Means

	Variable 1	Variable 2
Mean	86,5381	90,00476
Variance	534,0475	413,7255
Observatio	21	21
Pearson Co	0,565203	
Hypothesiz	0	
df	20	
t Stat	-0,778492	
P(T<=t) on	0,222696	
t Critical on	1,724718	
P(T<=t) tw	0,445392	
t Critical tw	2,085963	

A I  
A D  
t-Test: Paired Two Sample for Mea

	Variable 1	Variable 2
Mean	86,5381	72,04286
Variance	534,0475	682,7706
Observatio	21	21
Pearson Co	0,678899	
Hypothesiz	0	
df	20	
t Stat	3,334161	
P(T<=t) on	0,001653	
t Critical on	1,724718	
P(T<=t) tw	0,003306	
t Critical tw	2,085963	



A I  
B C  
t-Test: Paired Two Sample for Means

	Variable 1	Variable 2
Mean	101,9619	90,00476
Variance	826,2425	413,7255
Observatio	21	21
Pearson Co	0,748631	
Hypothesiz	0	
df	20	
t Stat	2,869784	
P(T<=t) on	0,004735	
t Critical on	1,724718	
P(T<=t) tw	0,009471	
t Critical tw	2,085963	

A I  
B D  
t-Test: Paired Two Sample for Mea

	Variable 1	Variable 2
Mean	101,9619	72,04286
Variance	826,2425	682,7706
Observatio	21	21
Pearson Co	0,652228	
Hypothesiz	0	
df	20	
t Stat	5,959732	
P(T<=t) on	3,96E-06	
t Critical on	1,724718	
P(T<=t) tw	7,91E-06	
t Critical tw	2,085963	

Dvostruki disk

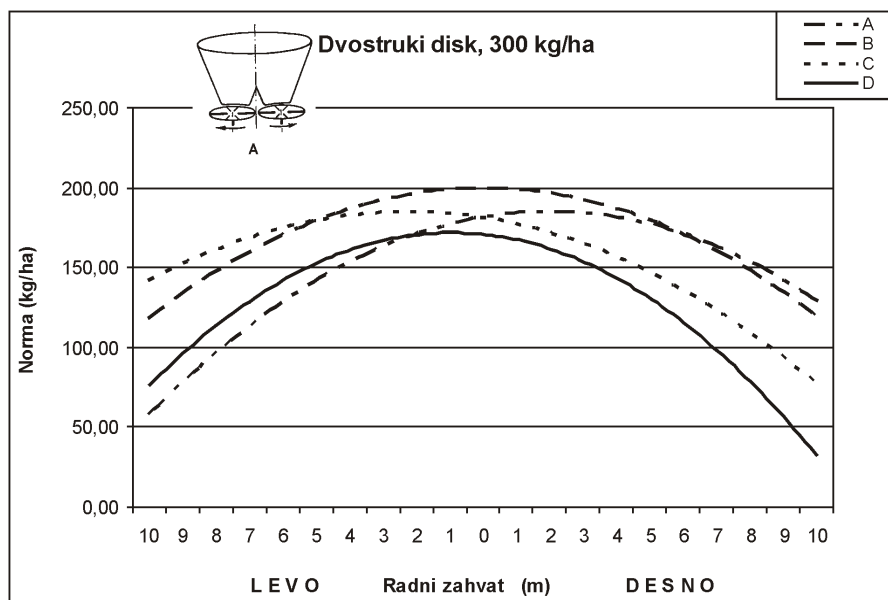
150 kg/ha

Djubrivo	A	I	D
A	+	-	+
B		+	+
C			+

A I  
C D  
t-Test: Paired Two Sample for Mea

	Variable 1	Variable 2
Mean	90,00476	72,04286
Variance	413,7255	682,7706
Observatio	21	21
Pearson Co	0,870384	
Hypothesiz	0	
df	20	
t Stat	6,289053	
P(T<=t) on	1,93E-06	
t Critical on	1,724718	
P(T<=t) tw	3,86E-06	
t Critical tw	2,085963	

Slika 5.22 Rezultat t-testa jednakosti aritmetičkih sredina, rasipač:A norma: I



Slika 5.23. Dijagram raspodele rasipača sa dva diska, norma 300 kg

Rezultati t-testa (sl. 5.24) upoređ enja ovih krivih pokazuju da se đubriva statistički značajno razlikuju među sobom osim u slučaju A i C. Pokazalo se da preporuka proizvođača rasipača neodgovara đubrivima, jer sva đubriva su ostvarila manje norme od planiranih, što se i vidi iz srednjih vrednosti sa slike 5.24.

A II  
A B  
t-Test: Paired Two Sample for Means

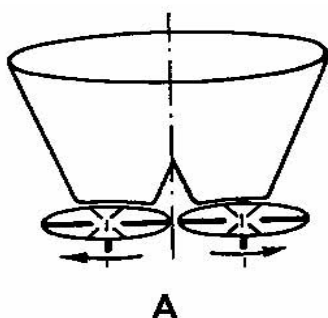
	Variable 1	Variable 2
Mean	149,3286	170,1667
Variance	2391,732	964,8933
Observatio	21	21
Pearson C	0,560576	
Hypothesiz	0	
df	20	
t Stat	-2,346404	
P(T<=t) on	0,014624	
t Critical on	1,724718	
P(T<=t) tw	0,029248	
t Critical tw	2,085963	

A II  
A C  
t-Test: Paired Two Sample for Means

	Variable 1	Variable 2
Mean	149,3286	155,0048
Variance	2391,732	1560,92
Observatio	21	21
Pearson C	0,316074	
Hypothesiz	0	
df	20	
t Stat	-0,497723	
P(T<=t) on	0,312054	
t Critical on	1,724718	
P(T<=t) tw	0,624108	
t Critical tw	2,085963	

A II  
A D  
t-Test: Paired Two Sample for Mea

	Variable 1	Variable 2
Mean	149,3286	128,0667
Variance	2391,732	1954,861
Observatio	21	21
Pearson C	0,50438	
Hypothesiz	0	
df	20	
t Stat	2,093856	
P(T<=t) on	0,024609	
t Critical on	1,724718	
P(T<=t) tw	0,049218	
t Critical tw	2,085963	



A II  
B C  
t-Test: Paired Two Sample for Means

	Variable 1	Variable 2
Mean	170,1667	155,0048
Variance	964,8933	1560,92
Observatio	21	21
Pearson C	0,6157	
Hypothesiz	0	
df	20	
t Stat	2,181315	
P(T<=t) on	0,020634	
t Critical on	1,724718	
P(T<=t) tw	0,041268	
t Critical tw	2,085963	

A II  
B D  
t-Test: Paired Two Sample for Mea

	Variable 1	Variable 2
Mean	170,1667	128,0667
Variance	964,8933	1954,861
Observatio	21	21
Pearson C	0,824154	
Hypothesiz	0	
df	20	
t Stat	7,532707	
P(T<=t) on	1,46E-07	
t Critical on	1,724718	
P(T<=t) tw	2,92E-07	
t Critical tw	2,085963	

Dvostruki disk

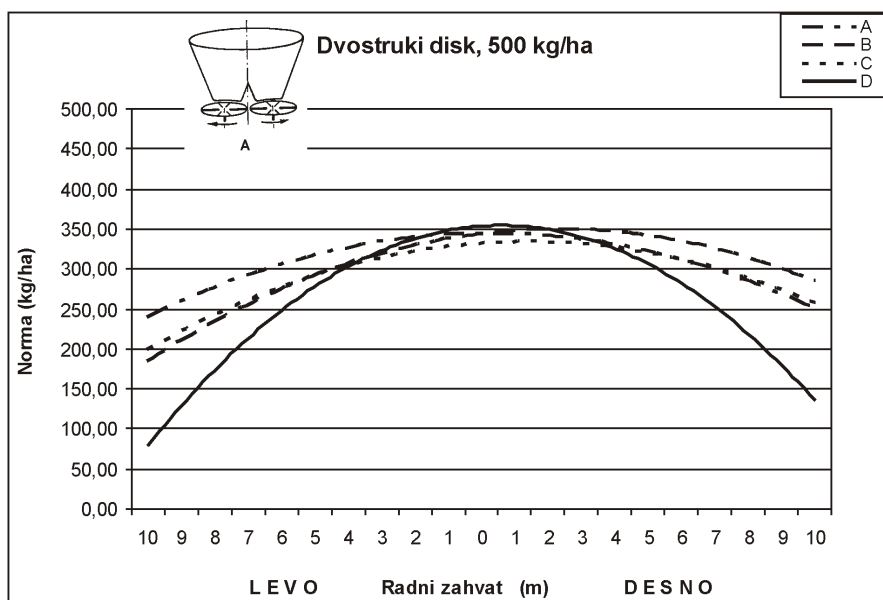
300 kg/ha

	A	B	C	D
Djubrivo				
A	+	-		+
B			+	+
C				+

A II  
C D  
t-Test: Paired Two Sample for Mea

	Variable 1	Variable 2
Mean	155,0048	128,0667
Variance	1560,92	1954,861
Observatio	21	21
Pearson C	0,883386	
Hypothesiz	0	
df	20	
t Stat	5,956216	
P(T<=t) on	3,99E-06	
t Critical on	1,724718	
P(T<=t) tw	7,98E-06	
t Critical tw	2,085963	

Slika 5.24 Rezultat t-testa jednakosti aritmetičkih sredina, rasipač: A norma: II



Slika 5.25 Dijagram raspodele rasipač sa dva diska norma 500 kg

Rezultati t-testa (sl. 5.26) upoređ enja ovih krivih pokazuju da se đubrivo D statistički značajno razlikuje od ostalih đubriva. Pokazalo se da preporuka proizvođača rasipača neodgovara đubrivima, jer sva đubriva su ostvarila manje norme od planiranih, što se i vidi iz srednjih vrednosti sa slike 5.26.

A III  
A B  
t-Test: Paired Two Sample for Means

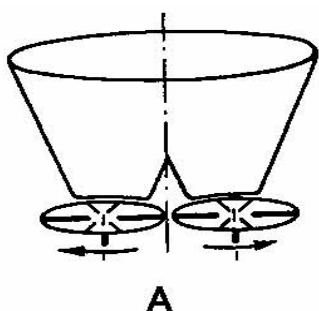
	Variable 1	Variable 2
Mean	308,6	304,4476
Variance	5276,503	5636,97
Observatio	21	21
Pearson C	0,845013	
Hypothesiz	0	
df	20	
t Stat	0,46199	
P(T<=t) on	0,324537	
t Critical on	1,724718	
P(T<=t) tw	0,649074	
t Critical tw	2,085963	

A III  
A C  
t-Test: Paired Two Sample for Means

	Variable 1	Variable 2
Mean	308,6	294,4095
Variance	5276,503	2887,636
Observatio	21	21
Pearson C	0,763602	
Hypothesiz	0	
df	20	
t Stat	1,38553	
P(T<=t) on	0,090574	
t Critical on	1,724718	
P(T<=t) tw	0,181149	
t Critical tw	2,085963	

A III  
A D  
t-Test: Paired Two Sample for Mea

	Variable 1	Variable 2
Mean	308,6	263,5286
Variance	5276,503	10021,57
Observatio	21	21
Pearson C	0,753935	
Hypothesiz	0	
df	20	
t Stat	3,137679	
P(T<=t) on	0,002591	
t Critical on	1,724718	
P(T<=t) tw	0,005182	
t Critical tw	2,085963	



A III  
B C  
t-Test: Paired Two Sample for Means

	Variable 1	Variable 2
Mean	304,4476	294,4095
Variance	5636,97	2887,636
Observatio	21	21
Pearson C	0,810835	
Hypothesiz	0	
df	20	
t Stat	1,033282	
P(T<=t) on	0,156903	
t Critical on	1,724718	
P(T<=t) tw	0,313805	
t Critical tw	2,085963	

A III  
B D  
t-Test: Paired Two Sample for Mea

	Variable 1	Variable 2
Mean	304,4476	263,5286
Variance	5636,97	10021,57
Observatio	21	21
Pearson C	0,755505	
Hypothesiz	0	
df	20	
t Stat	2,859009	
P(T<=t) on	0,00485	
t Critical on	1,724718	
P(T<=t) tw	0,009701	
t Critical tw	2,085963	

Dvostruki disk

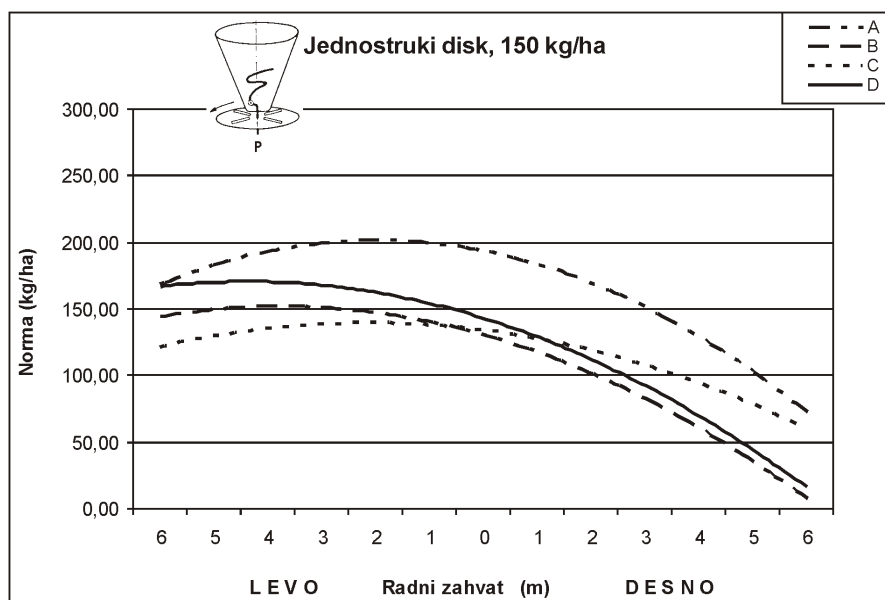
500 kg/ha

Djubrivo	A	III	D
A	-	-	+
B		-	+
C			+

A III  
C D  
t-Test: Paired Two Sample for Mea

	Variable 1	Variable 2
Mean	294,4095	263,5286
Variance	2887,636	10021,57
Observatio	21	21
Pearson C	0,877919	
Hypothesiz	0	
df	20	
t Stat	2,404517	
P(T<=t) on	0,013	
t Critical on	1,724718	
P(T<=t) tw	0,026	
t Critical tw	2,085963	

Slika 5.26 Rezultat t-testa jednakosti aritmetičkih sredina, rasipač:A norma: III



Slika 5.27 Dijagram raspodele rasipač sa jednim diskom norma 150 kg

Rezultati t-testa (sl. 5.28) upoređenja ovih krivi (sl. 5.27) pokazuju da se đubrivo A statistički značajno razlikuje od ostalih đubriva. Pokazalo se da nesavršenost konstrukcije rasipača sa jednim diskom (nesimetričnost raspodele po širini-zahvatu) je uočljiva (veće vrednosti za levu u odnosu na desnu stranu rasipanja).

P I  
A B  
t-Test: Paired Two Sample for Means

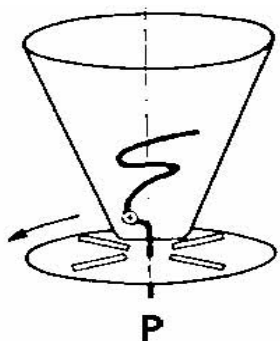
	Variable 1	Variable 2
Mean	165,2769	109,4
Variance	3174,317	2696,328
Observatio	13	13
Pearson C <sub>r</sub>	0,754461	
Hypothesiz	0	
df	12	
t Stat	5,279549	
P(T<=t) on	9,74E-05	
t Critical or	1,782288	
P(T<=t) tw <sub>1</sub>	0,000195	
t Critical tw	2,178813	

P I  
A C  
t-Test: Paired Two Sample for Means

	Variable 1	Variable 2
Mean	165,2769	117,4667
Variance	3174,317	916,3496
Observatio	13	13
Pearson C <sub>r</sub>	0,817732	
Hypothesiz	0	
df	12	
t Stat	4,778535	
P(T<=t) on	0,000225	
t Critical or	1,782288	
P(T<=t) tw <sub>1</sub>	0,00045	
t Critical tw	2,178813	

P I  
A D  
t-Test: Paired Two Sample for Mea

	Variable 1	Variable 2
Mean	165,2769	123,1282
Variance	3174,317	3853,151
Observatio	13	13
Pearson C <sub>r</sub>	0,873605	
Hypothesiz	0	
df	12	
t Stat	5,018614	
P(T<=t) on	0,00015	
t Critical or	1,782288	
P(T<=t) tw <sub>1</sub>	0,0003	
t Critical tw	2,178813	



P I  
B C  
t-Test: Paired Two Sample for Means

	Variable 1	Variable 2
Mean	109,4	117,4667
Variance	2696,328	916,3496
Observatio	13	13
Pearson C <sub>r</sub>	0,831782	
Hypothesiz	0	
df	12	
t Stat	-0,920769	
P(T<=t) on	0,187655	
t Critical or	1,782288	
P(T<=t) tw <sub>1</sub>	0,375311	
t Critical tw	2,178813	

P I  
B D  
t-Test: Paired Two Sample for Mea

	Variable 1	Variable 2
Mean	109,4	123,1282
Variance	2696,328	3853,151
Observatio	13	13
Pearson C <sub>r</sub>	0,881852	
Hypothesiz	0	
df	12	
t Stat	-1,683348	
P(T<=t) on	0,05906	
t Critical or	1,782288	
P(T<=t) tw <sub>1</sub>	0,11812	
t Critical tw	2,178813	

Jednostruki disk

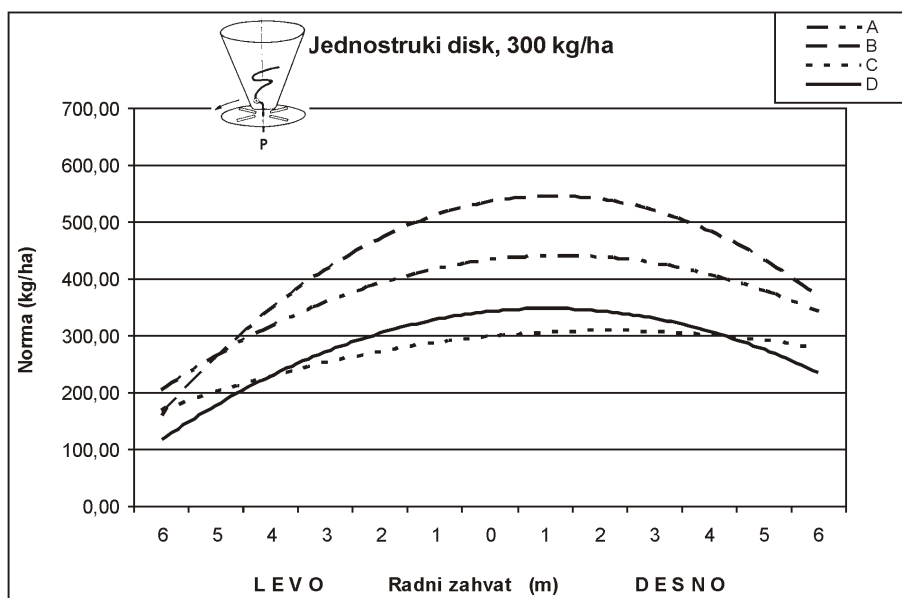
150 kg/ha

	P	I	D
Djubrivo	B	C	
A	+	+	+
B		-	-
C			-

P I  
C D  
t-Test: Paired Two Sample for Mea

	Variable 1	Variable 2
Mean	117,4667	123,1282
Variance	916,3496	3853,151
Observatio	13	13
Pearson C <sub>r</sub>	0,91245	
Hypothesiz	0	
df	12	
t Stat	-0,557552	
P(T<=t) on	0,2937	
t Critical or	1,782288	
P(T<=t) tw <sub>1</sub>	0,5874	
t Critical tw	2,178813	

Slika 5.28 Rezultat t-testa jednakosti aritmetičkih sredina, rasipač: P norma: I



Slika 5.29 Dijagram raspodele rasipač sa jednim diskom norma 300 kg

Rezultati t-testa (sl. 5.30) upoređenja ovih krivih (sl. 5.29) pokazuju da se đubriva statistički značajno razlikuju. Jedino u slučaju đubriva C i D se pokazalo da ne postoji statistički značajna razlika.



P II  
A B  
t-Test: Paired Two Sample for Means

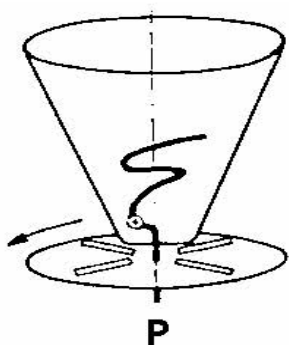
	Variable 1	Variable 2
Mean	371,6846	430,6538
Variance	7159,106	19973,79
Observatio	13	13
Pearson C <sub>i</sub>	0,923315	
Hypothesiz	0	
df	12	
t Stat	-2,99168	
P(T<=t) on	0,00562	
t Critical or	1,782288	
P(T<=t) tw <sub>i</sub>	0,011239	
t Critical tw	2,178813	

P II  
A C  
t-Test: Paired Two Sample for Means

	Variable 1	Variable 2
Mean	371,6846	270,1846
Variance	7159,106	2490,591
Observatio	13	13
Pearson C <sub>i</sub>	0,767188	
Hypothesiz	0	
df	12	
t Stat	6,499276	
P(T<=t) on	1,47E-05	
t Critical or	1,782288	
P(T<=t) tw <sub>i</sub>	2,94E-05	
t Critical tw	2,178813	

P II  
A D  
t-Test: Paired Two Sample for Mea

	Variable 1	Variable 2
Mean	371,6846	278,1436
Variance	7159,106	10390,93
Observatio	13	13
Pearson C <sub>i</sub>	0,921319	
Hypothesiz	0	
df	12	
t Stat	8,284445	
P(T<=t) on	1,31E-06	
t Critical or	1,782288	
P(T<=t) tw <sub>i</sub>	2,62E-06	
t Critical tw	2,178813	



P II  
B C  
t-Test: Paired Two Sample for Means

	Variable 1	Variable 2
Mean	430,6538	270,1846
Variance	19973,79	2490,591
Observatio	13	13
Pearson C <sub>i</sub>	0,86657	
Hypothesiz	0	
df	12	
t Stat	5,717505	
P(T<=t) on	4,82E-05	
t Critical or	1,782288	
P(T<=t) tw <sub>i</sub>	9,64E-05	
t Critical tw	2,178813	

P II  
B D  
t-Test: Paired Two Sample for Mea

	Variable 1	Variable 2
Mean	430,6538	278,1436
Variance	19973,79	10390,93
Observatio	13	13
Pearson C <sub>i</sub>	0,93528	
Hypothesiz	0	
df	12	
t Stat	9,407531	
P(T<=t) on	3,45E-07	
t Critical or	1,782288	
P(T<=t) tw <sub>i</sub>	6,9E-07	
t Critical tw	2,178813	

Jednostruki disk

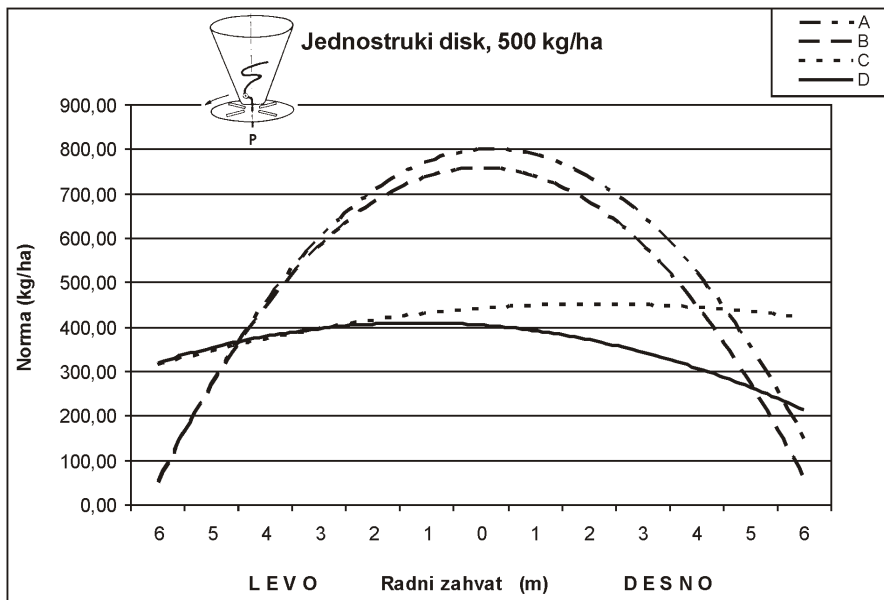
300

Djubrivo	P	II	D
A	+	+	+
B		+	+
C			-

P II  
C D  
t-Test: Paired Two Sample for Mea

	Variable 1	Variable 2
Mean	270,1846	278,1436
Variance	2490,591	10390,93
Observatio	13	13
Pearson C <sub>i</sub>	0,741232	
Hypothesiz	0	
df	12	
t Stat	-0,3927	
P(T<=t) on	0,350714	
t Critical or	1,782288	
P(T<=t) tw <sub>i</sub>	0,701427	
t Critical tw	2,178813	

Slika 5.30 Rezultat t-testa jednakosti aritmetičkih sredina , Rasipač: P norma: II



Slika 5.30 Dijagram raspodele rasipač sa jednim diskom norma 300 kg

Rezultati t-testa (sl. 5.32) upoređenja ovih krivih (sl. 5.31) pokazuju da se đubriva statistički značajno razlikuju. Jedino u slučaju đubriva C i D se pokazalo da ne postoji statistički značajna razlika.

P III  
A B  
t-Test: Paired Two Sample for Means

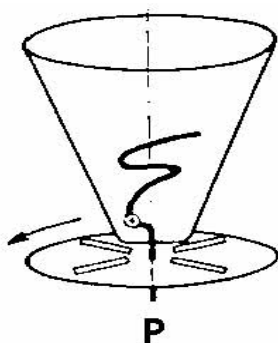
	Variable 1	Variable 2
Mean	527,4462	485,8051
Variance	67766,46	67838,13
Observatio	13	13
Pearson C	0,974745	
Hypothesiz	0	
df	12	
t Stat	2,565542	
P(T<=t) on	0,012374	
t Critical or	1,782288	
P(T<=t) tw	0,024748	
t Critical tw	2,178813	

P III  
A C  
t-Test: Paired Two Sample for Means

	Variable 1	Variable 2
Mean	527,4462	413,8359
Variance	67766,46	2879,814
Observatio	13	13
Pearson C	0,587515	
Hypothesiz	0	
df	12	
t Stat	1,758992	
P(T<=t) on	0,052013	
t Critical or	1,782288	
P(T<=t) tw	0,104027	
t Critical tw	2,178813	

P III  
A D  
t-Test: Paired Two Sample for Me

	Variable 1	Variable 2
Mean	527,4462	351,2615
Variance	67766,46	6950,514
Observatio	13	13
Pearson C	0,543928	
Hypothesiz	0	
df	12	
t Stat	2,809943	
P(T<=t) on	0,007876	
t Critical or	1,782288	
P(T<=t) tw	0,015751	
t Critical tw	2,178813	



P III  
B C  
t-Test: Paired Two Sample for Means

	Variable 1	Variable 2
Mean	485,8051	413,8359
Variance	67838,13	2879,814
Observatio	13	13
Pearson C	0,481868	
Hypothesiz	0	
df	12	
t Stat	1,064525	
P(T<=t) on	0,14972	
t Critical or	1,782288	
P(T<=t) tw	0,29944	
t Critical tw	2,178813	

P III  
B D  
t-Test: Paired Two Sample for Me

	Variable 1	Variable 2
Mean	485,8051	351,2615
Variance	67838,13	6950,514
Observatio	13	13
Pearson C	0,585331	
Hypothesiz	0	
df	12	
t Stat	2,18328	
P(T<=t) on	0,024801	
t Critical or	1,782288	
P(T<=t) tw	0,049602	
t Critical tw	2,178813	

	P	III	
Djubrivo	B	C	D
A	+	-	+
B		-	+
C			+

P III  
C D  
t-Test: Paired Two Sample for Me

	Variable 1	Variable 2
Mean	413,8359	351,2615
Variance	2879,814	6950,514
Observatio	13	13
Pearson C	0,153904	
Hypothesiz	0	
df	12	
t Stat	2,453902	
P(T<=t) on	0,015188	
t Critical or	1,782288	
P(T<=t) tw	0,030376	
t Critical tw	2,178813	

Slika 5.32 Rezultat t-testa jednakosti aritmetičkih sredina, rasipač: P norma: III

Ostvarenje normi

Opšti je zaključak da rasipanje đubriva nije donelo jasno razgraničenje o samom rasipanju đubriva. Zbog toga, da bi se pojednostavilo i svelo na uočljivo, rezultati su dati tabelarno u tabelama 5.16 do 5.19. Izvorni dijagrami proračuna regresionih krivi kao i tabele jednačina regresije i korelacije dati su u prilogu, u prilogu su dati i rezultati F-testa Varijansi distribucija.

Tabela 5.16 Srednje vrednosti norme đubrenja za pojedina đubriva

Rasipač	V			A			P			Sred. vred. količine
Đubrivo	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
A	350,13	363,49		86,54	149,33	308,60	165,28	371,68	527,45	290,31
B	381,91	388,76	386,82	101,96	170,17	304,45	109,40	430,65	485,81	306,66
C	349,72	443,70	311,75	90,00	155,00	294,41	117,47	270,18	413,84	271,79
D	262,95	371,80	364,94	72,04	128,07	263,53	123,13	278,14	351,26	246,21

Tabela 5.17 Rang lista srednje vrednosti norme

Rasipač	V			A			P			Sred. vred. ranga
Đubrivo	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
A	2	4		3	3	1	1	2	1	2,13
B	1	2	1	1	1	2	4	1	2	1,67
C	3	1	3	2	2	3	3	4	3	2,67
D	4	3	2	4	4	4	2	3	4	3,33

Tabela 5.18 Relativna ocena položaja na rang listi

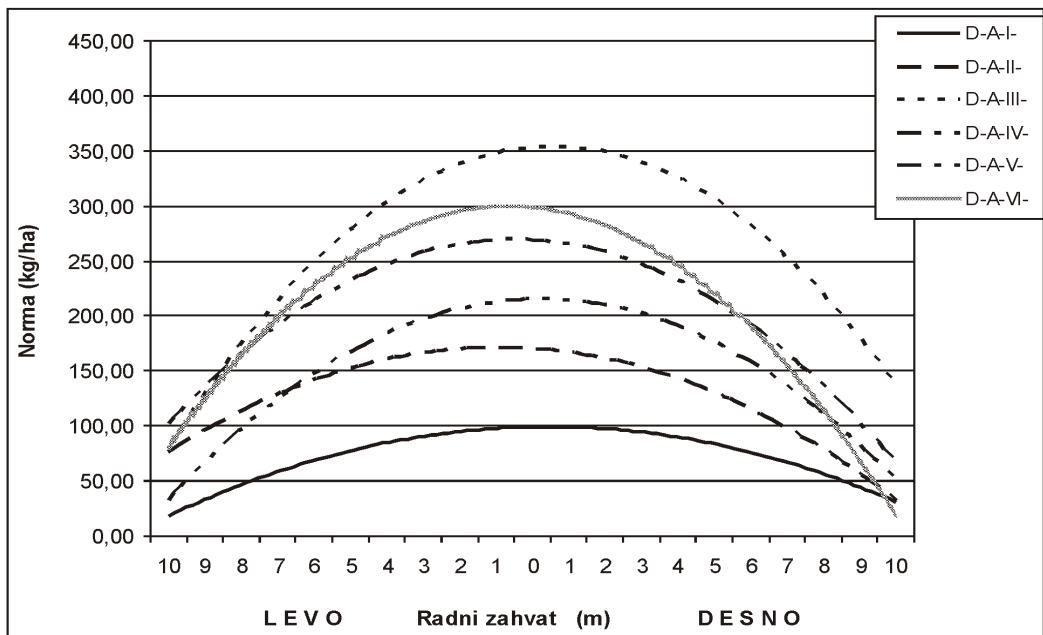
Rasipač	V			A			P			Sred. vred. ocena
Đubrivo	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
A	4	2		3	3	5	5	4	5	3,88
B	5	4	5	5	5	4	2	5	4	4,33
C	3	5	3	4	4	3	3	2	3	3,33
D	2	3	4	2	2	2	4	3	2	2,67

Tabela 5.19 Relativna ocena položaja na rang listi normi

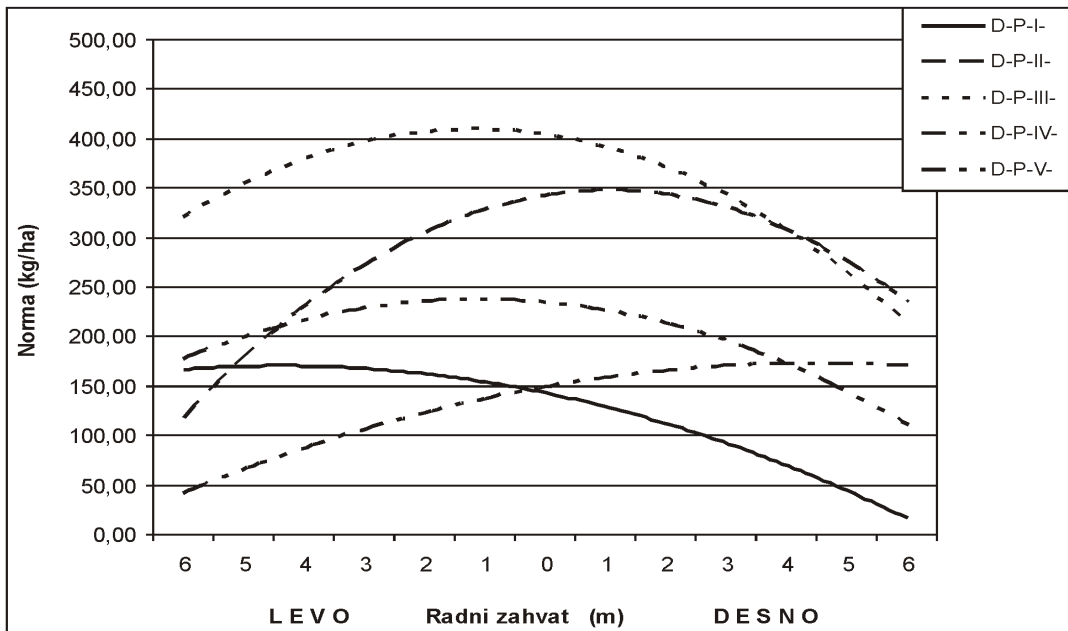
Rasipač	V			A			P			Sred. vred. ocene količine
Đubrivo	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
A	3,5	3,6		0,9	1,5	3,1	1,7	3,7	5,3	2,90
B	3,8	3,9	3,9	1,0	1,7	3,0	1,1	4,3	4,9	3,07
C	3,5	4,4	3,1	0,9	1,6	2,9	1,2	2,7	4,1	2,72
D	2,6	3,7	3,6	0,7	1,3	2,6	1,2	2,8	3,5	2,46

Za praktičnu analizu tabele 4 i 5 nemaju značaj i nisu merodavne jer se prekomerno relativizuje razlika pojedinih normi. Za analizu i dalje preporuke relevantna je tabela 3 i tabela 6. Brojke u tabeli 6 su u stvari stoti deo norme, odnosno brojeva iz tabele 3, i kao takvi su pogodniji za upoređenje. Na osnovu do sada iznetog nameće se zaključak da ako se želi ispoštovanje norme đubriva D, neophodno je na rasipaču sledeće:

- povećanje otvora dozatora za 1/5 do 1/4 pri čemu se ne gubi na učinku ili.
- smanjiti radnu brzinu za 1/4, pri čemu bi se beležio pad površinskog učinka rasipača za oko 20%.



Slika 5.33 Dijagram krivih rasipanja đubriva (Rasipač: A, đubrivo: D)



Slika 5.34 Dijagram krivih rasipanja đubriva (Rasipač: P, đubrivo: D)

Zbog postojećeg problema u drugom delu ispitivanja dat je akcenat na podešenost rasipača i đubrivo D.

Na terenu su urađene dodatne tri varijante sa rasipačem A i dodatne dve varijante sa rasipačem P. Sa rasipačem V su urađene samo osnovne tri varijante. U okviru svake varijante urađena su četiri ili tri uzorka u zavisnosti od radnih uslova.

Opcije varijanti rada rasipača date su u tabeli, a dijagrami raspodele na slikama 5.33 i 5.34. Analizirajući krive na slikama 5.33 i 5.34, tabelu, dolazi se do podatka kako treba podesiti rasipač dabi se ostvarila željena norma.

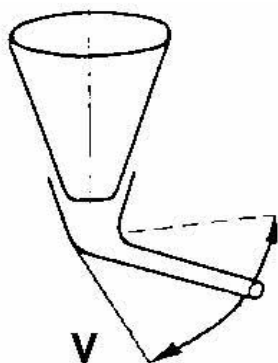
Napomena o rasipačima (*Turan, 2006; Turan 2007*):

- Rasipač da bi ispravno radio mora imati ispravan neoštećen mešač,
- Kod rasipača nižeg tehnološkog nivoa (u našem slučaju rasipač P) dozator je grube a često i neprecizne izvedbe,
- Proizvođači rasipača višeg tehnološkog nivoa daju okvirne tabice podešavanja rasipača za datu normu, đubrivo i granulaciju,
- Preporuke proizvođača rasipača treba uzimati sa rezervom i gde je to moguće izvršiti proveru na terenu u konkretnim uslovima,
- Povećanje norme đubrenja ako je moguće ostvarivati većim otvorom dozatora a ne smanjenom radnom brzinom. Ovo je naročito važno kod đubriva koja imaju veći nasipni ugao i koja sporije cure kroz dozator.

	V	I
	A	B
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	350,1308	381,908
Variance	23291,55	35019
Observations	13	13
df	12	12
F	0,885111	
P(F<=f) one-t	0,245286	
F Critical one-	0,372213	

	V	I
	A	C
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	350,1308	349,7231
Variance	23291,55	13374,64
Observatio	13	13
df	12	12
F	1,741471	
P(F<=f) on	0,174835	
F Critical o	2,888637	

	V	I
	A	D
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	350,1308	262,94615
Variance	23291,55	24744,533
Observations	13	13
df	12	12
F	0,941281	
P(F<=f) one-tail	0,459122	
F Critical one-tai	0,372213	



	V	I
	B	C
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	381,9077	349,7231
Variance	35019,02	13374,64
Observatio	13	13
df	12	12
F	2,818314	
P(F<=f) on	0,054413	
F Critical o	2,888637	

	V	I
	B	D
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	381,9077	262,94615
Variance	35019,02	24744,533
Observations	13	13
df	12	12
F	1,415222	
P(F<=f) one-tail	0,27837	
F Critical one-tai	2,888637	

150 kg/ha

	V	I	D
Djubrivo	B	C	D
A	+	+	+
B		+	+
C			+

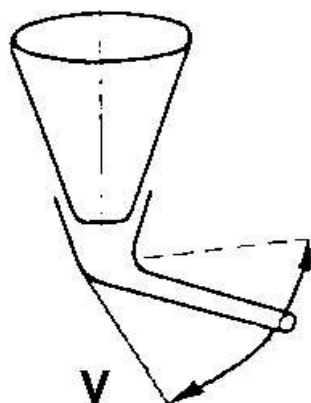
	V	I
	C	D
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	349,7231	262,94615
Variance	13374,64	24744,533
Observations	13	13
df	12	12
F	0,540509	
P(F<=f) one-tail	0,150147	
F Critical one-tai	0,372213	

Slika 5.35 Rezultat F- testa jednakosti varijansi za rasipač V, norma I

	V	II
	B	A
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	389,092	363,818
Variance	25408,89	26782,3
Observations	13	13
df	12	12
F	0,94872	
P(F<=f) one-tail	0,464424	
F Critical one-tail	0,372213	

	V	II
	C	A
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	444,0304	363,8176
Variance	22353,73	26782,28
Observations	13	13
df	12	12
F	0,834646	
P(F<=f) one-tail	0,379646	
F Critical one-tail	0,372213	

	V	II
	D	A
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	372,1351	363,81761
Variance	39516,44	26782,278
Observations	13	13
df	12	12
F	1,47547	
P(F<=f) one-tail	0,255322	
F Critical one-tail	2,686637	



	V	II
	C	B
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	444,0304	389,092
Variance	22353,73	25408,89
Observations	13	13
df	12	12
F	0,87976	
P(F<=f) one-tail	0,414009	
F Critical one-tail	0,372213	

	V	II
	B	D
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	389,092	372,13505
Variance	25408,89	39516,435
Observations	13	13
df	12	12
F	0,642996	
P(F<=f) one-tail	0,227772	
F Critical one-tail	0,372213	

Djubrivo	V	II	D
A	+	+	+
B		+	+
C			+

	V	II
	C	D
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	444,0304	372,13505
Variance	22353,73	39516,435
Observations	13	13
df	12	12
F	0,565682	
P(F<=f) one-tail	0,16848	
F Critical one-tail	0,372213	

Slika 5.36 Rezultat F- testa jednakosti varijansi za rasipač V, norma II



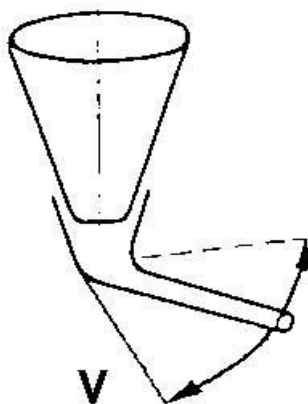
V III

V III

V III

Napomena Uzorak A djubriiva nije uspeo

Nač.Uzorak A djubriiva nije uspeo



Napomena: Uzorak A djubriiva nije uspeo

	V	III	D
Djubriivo		C	
B		+	+
C			+

	V	III
	B	C
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	387,0701	312,0766
Variance	3848,586	6939,214
Observatio	13	13
df	12	12
F	0,554614	
P(F<=f) one	0,160345	
F Critical o	0,372213	

	V	III
	B	D
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	387,0701	365,2689
Variance	3848,586	40152,046
Observations	13	13
df	12	12
F	0,09585	
P(F<=f) one-tail	0,00014	
F Critical one-tai	0,372213	

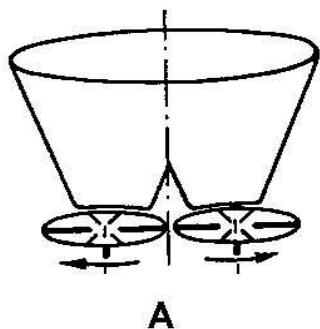
	V	III
	D	C
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	365,2689	312,07659
Variance	40152,05	6939,2144
Observations	13	13
df	12	12
F	5,786252	
P(F<=f) one-tail	0,002419	
F Critical one-tai	2,686637	

Slika 5.37 Rezultat F- testa jednakosti varijansi za rasipač V, norma III

	A	I
	A	B
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	86,5381	79,58095
Variance	534,0475	607,6996
Observations	21	21
df	20	20
F	0,878802	
P(F<=f) one-tail	0,387743	
F Critical one-tail	0,470775	

	A	I
	C	A
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	90,00476	86,5381
Variance	413,7255	534,0475
Observations	21	21
df	20	20
F	0,774698	
P(F<=f) one-tail	0,286722	
F Critical one-tail	0,470775	

	A	I
	A	D
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	86,5381	72,04286
Variance	534,0475	682,7706
Observations	21	21
df	20	20
F	0,782177	
P(F<=f) one-tail	0,29396	
F Critical one-tail	0,470775	



	A	I
	C	B
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	90,00476	79,58095
Variance	413,7255	607,6996
Observations	21	21
df	20	20
F	0,680806	
P(F<=f) one-tail	0,198641	
F Critical one-tail	0,470775	

	A	I
	B	D
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	79,58095	72,04286
Variance	607,6996	682,7706
Observations	21	21
df	20	20
F	0,89005	
P(F<=f) one-tail	0,398533	
F Critical one-tail	0,470775	

Dvostruki disk 150 kg/ha

	A	I	
Djubrivo	B	C	D
A	+	+	+
B		+	+
C			+

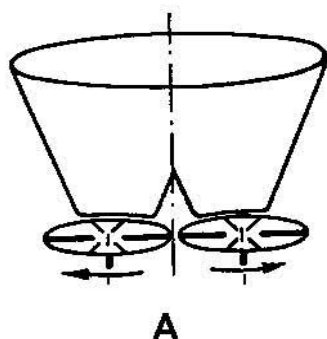
	A	I
	C	D
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	90,00476	72,04286
Variance	413,7255	682,7706
Observations	21	21
df	20	20
F	0,605951	
P(F<=f) one-tail	0,135528	
F Critical one-tail	0,470775	

Slika 5.38 Rezultat F- testa jednakosti varijansi za rasipač A, norma I

	A	II
	A	B
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	149,3286	144,9286
Variance	2391,732	667,3171
Observations	21	21
df	20	20
F	3,584101	
P(F<=f) one-tail	0,003145	
F Critical one-tail	2,124155	

	A	II
	C	A
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	155,0048	149,3286
Variance	1560,92	2391,732
Observations	21	21
df	20	20
F	0,652632	
P(F<=f) one-tail	0,173896	
F Critical one-tail	0,470775	

	A	II
	A	D
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	149,3286	128,0667
Variance	2391,732	1954,861
Observations	21	21
df	20	20
F	1,223479	
P(F<=f) one-tail	0,328146	
F Critical one-tail	2,124155	



	A	II
	C	B
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	155,0048	144,9286
Variance	1560,92	667,3171
Observations	21	21
df	20	20
F	2,339098	
P(F<=f) one-tail	0,032175	
F Critical one-tail	2,124155	

	A	II
	B	D
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	144,9286	128,0667
Variance	667,3171	1954,861
Observations	21	21
df	20	20
F	0,341363	
P(F<=f) one-tail	0,010157	
F Critical one-tail	0,470775	

Dvostruki disk 300 kg/ha

	A	II	D
Djubrivo	B	C	D
A	+	+	+
B		+	+
C			+

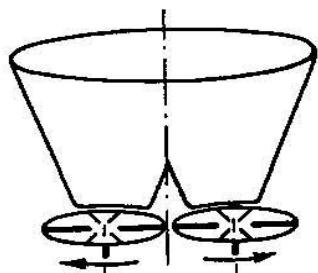
	A	II
	C	D
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	155,0048	128,0667
Variance	1560,92	1954,861
Observations	21	21
df	20	20
F	0,798481	
P(F<=f) one-tail	0,309789	
F Critical one-tail	0,470775	

Slika 5.39 Rezultat F- testa jednakosti varijansi za rasipač A, norma II

	A	III
	A	B
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	308,6	304,4476
Variance	5276,503	5636,97
Observations	21	21
df	20	20
F	0,936053	
P(F<=f) one-tail	0,441993	
F Critical one-tail	0,470775	

	A	III
	A	C
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	308,6	294,4095
Variance	5276,503	2887,636
Observations	21	21
df	20	20
F	1,827274	
P(F<=f) one-tail	0,093172	
F Critical one-tail	2,124155	

	A	III
	A	D
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	308,6	263,5286
Variance	5276,503	10021,57
Observations	21	21
df	20	20
F	0,526514	
P(F<=f) one-tail	0,080032	
F Critical one-tail	0,470775	



A

	A	III
	B	C
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	304,4476	294,4095
Variance	5636,97	2887,636
Observations	21	21
df	20	20
F	1,952105	
P(F<=f) one-tail	0,071612	
F Critical one-tail	2,124155	

	A	III
	B	D
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	304,4476	263,5286
Variance	5636,97	10021,57
Observations	21	21
df	20	20
F	0,562484	
P(F<=f) one-tail	0,103448	
F Critical one-tail	0,470775	

Dvostruki disk 500 kg/ha

	A	III	
Djubrivo	B	C	D
A	+	+	+
B		+	+
C			+

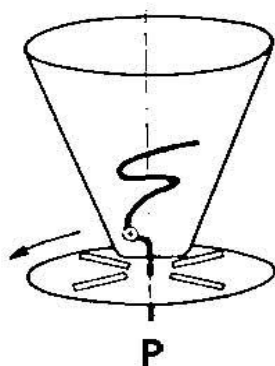
	A	III
	C	D
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	294,4095	263,5286
Variance	2887,636	10021,57
Observations	21	21
df	20	20
F	0,288142	
P(F<=f) one-tail	0,003825	
F Critical one-tail	0,470775	

Slika 5.40 Rezultat F- testa jednakosti varijansi za rasipač A, norma III

	P	I
	A	B
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	165,6074	109,7304
Variance	3174,317	2696,328
Observations	13	13
df	12	12
F	1,177274	
P(F<=f) one-tail	0,391005	
F Critical one-tail	2,686637	

	P	I
	A	C
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	165,6074	117,7971
Variance	3174,317	916,3496
Observations	13	13
df	12	12
F	3,464089	
P(F<=f) one-tail	0,020351	
F Critical one-tail	2,686637	

	P	I
	A	D
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	165,6074	123,4586
Variance	3174,317	3853,151
Observations	13	13
df	12	12
F	0,823824	
P(F<=f) one-tail	0,371265	
F Critical one-tail	0,372213	



	P	I
	C	B
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	117,7971	109,7304
Variance	916,3496	2696,328
Observations	13	13
df	12	12
F	0,339851	
P(F<=f) one-tail	0,036729	
F Critical one-tail	0,372213	

	P	I
	D	B
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	123,4586	109,7304
Variance	3853,151	2696,328
Observations	13	13
df	12	12
F	1,429036	
P(F<=f) one-tail	0,272906	
F Critical one-tail	2,686637	

Jednostruki disk 150 kg/ha

	P	I	
Djubrivo	B	C	D
A	+	+	+
B		+	+
C			+

	P	I
	C	D
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	117,7971	123,4586
Variance	916,3496	3853,151
Observations	13	13
df	12	12
F	0,237818	
P(F<=f) one-tail	0,00953	
F Critical one-tail	0,372213	

Slika 5.41 Rezultat F- testa jednakosti varijansi za rasipač P, norma I

	P	II
	B	A

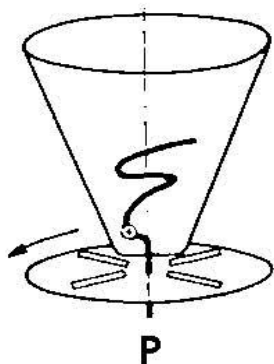
	Variable 1	Variable 2
Mean	430,9843	372,0151
Variance	19973,79	7159,106
Observations	13	13
df	12	12
F	2,789983	
P(F<=f) one-tail	0,044073	
F Critical one-tail	2,686637	

	P	II
	A	C

	Variable 1	Variable 2
Mean	372,0151	270,5151
Variance	7159,106	2490,591
Observations	13	13
df	12	12
F	2,874461	
P(F<=f) one-tail	0,039817	
F Critical one-tail	2,686637	

	P	II
	A	D

	Variable 1	Variable 2
Mean	372,0151	278,474
Variance	7159,106	10390,93
Observations	13	13
df	12	12
F	0,688977	
P(F<=f) one-tail	0,264279	
F Critical one-tail	0,372213	



	P	II
	B	C

	Variable 1	Variable 2
Mean	430,9843	270,5151
Variance	19973,79	2490,591
Observations	13	13
df	12	12
F	8,019697	
P(F<=f) one-tail	0,000522	
F Critical one-tail	2,686637	

	P	II
	B	D

	Variable 1	Variable 2
Mean	430,9843	278,474
Variance	19973,79	10390,93
Observations	13	13
df	12	12
F	1,922233	
P(F<=f) one-tail	0,135854	
F Critical one-tail	2,686637	

Jednostruki disk 300

	P	II	
	B	C	D
Djubrivo			
A	+	+	+
B		+	+
C			+

	P	II
	C	D

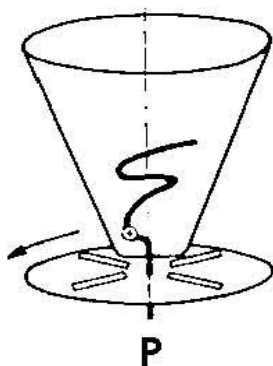
	Variable 1	Variable 2
Mean	270,5151	278,474
Variance	2490,591	10390,93
Observations	13	13
df	12	12
F	0,239689	
P(F<=f) one-tail	0,009838	
F Critical one-tail	0,372213	

Slika 5.42 Rezultat F- testa jednakosti varijansi za rasipač P, norma II

	P	III
	A	B
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	527,7766	486,1356
Variance	67766,46	67838,13
Observations	13	13
df	12	12
F	0,998944	
P(F<=f) one-tail	0,499285	
F Critical one-tail	0,372213	

	P	III
	A	C
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	527,7766	414,1663
Variance	67766,46	2879,814
Observations	13	13
df	12	12
F	23,53154	
P(F<=f) one-tail	1,77E-06	
F Critical one-ta	2,686637	

	P	III
	A	D
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	527,7766	351,592
Variance	67766,46	6950,514
Observations	13	13
df	12	12
F	9,749848	
P(F<=f) one-ta	0,000198	
F Critical one-	2,686637	



	P	III
	B	C
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	486,1356	414,1663
Variance	67838,13	2879,814
Observations	13	13
df	12	12
F	23,55643	
P(F<=f) one-tail	1,76E-06	
F Critical one-ta	2,686637	

	P	III
	B	D
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	486,1356	351,592
Variance	67838,13	6950,514
Observations	13	13
df	12	12
F	9,760159	
P(F<=f) one-ta	0,000197	
F Critical one-	2,686637	

Djubrivo	P	III	D
	B	C	
A	+	+	+
B		+	+
C			+

	P	III
	C	D
F-Test Two-Sample for Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	414,1663	351,592
Variance	2879,814	6950,514
Observations	13	13
df	12	12
F	0,414331	
P(F<=f) one-ta	0,070512	
F Critical one-	0,372213	

Slika 5.43 Rezultat F- testa jednakosti varijansi za rasipač P, norma III

Tabela 5.20 Jednačine fitovanih krivi (dijagrami na slikama 35 do 43)

Rasipač	Đubrivo	I	II	III
V	A	$-11,478x^2 + 158,93x - 39,295$	$-12,415x^2 + 171,35x - 53,838$	$-4,0513x^2 + 51,066x + 284,59$
	B	$-12,832x^2 + 189,55x - 136,52$	$-11,949x^2 + 172,22x - 63,964$	$-6,045x^2 + 80,194x + 131,22$
	C	$-7,8279x^2 + 103,83x + 116,09$	$-10,513x^2 + 134,83x + 162,2$	$-6,045x^2 + 80,194x + 131,22$
	D	$0,6635x^3 - 25,133x^2 + 231,29x - 195,36$	$-14,501x^2 + 197,43x - 96,662$	$-14,944x^2 + 208,97x - 156,38$
A	A	$-0,4149x^2 + 9,7308x + 44,911$	$-0,8862x^2 + 23,069x + 35,288$	$-0,997x^2 + 22,45x + 218,85$
	B	$-0,6607x^2 + 15,258x + 38,305$	$-0,8129x^2 + 17,929x + 101,12$	$-1,0976x^2 + 29,158x + 156,77$
	C	$-0,5206x^2 + 12,463x + 34,991$	$-0,7222x^2 + 12,635x + 129,89$	$-1,0382x^2 + 25,714x + 175,24$
	D	$-0,7451x^2 + 17,016x + 2,3466$	$-1,1661x^2 + 23,466x + 53,795$	$-2,4585x^2 + 56,913x + 25,106$
P	A	$-2,0379x^2 + 20,559x + 149,75$	$-4,4571x^2 + 73,903x + 135,16$	$-19,475x^2 + 280,97x - 212,47$
	B	$-1,5195x^2 + 9,8837x + 135,94$	$-7,582x^2 + 123,44x + 44,243$	$-19,535x^2 + 273,88x - 200,6$
	C	$-1,2014x^2 + 11,702x + 111,24$	$-2,0936x^2 + 38,364x + 133,53$	$-2,0625x^2 + 37,729x + 279,67$
	D	$-1,4279x^2 + 7,45x + 160,94$	$-4,6353x^2 + 74,706x + 47,226$	$-3,826x^2 + 44,647x + 279,77$

Tabela 5.21 Vrednosti koeficijenata regresije za fitovane krive dijagrama rasipanja (dijagrami na slikama 35 do 43)

Rasipač	Đubrivo	I	II	III
V	A	0,9456	0,9635	
	B	0,8269	0,952	0,8374
	C	0,802	0,9283	0,9215
	D	0,9017	0,8997	0,9279
A	A	0,3878	0,5738	0,2132
	B	0,6169	0,7683	0,4112
	C	0,8297	0,636	0,5288
	D	0,934	0,8744	0,7072
P	A	0,5219	0,7433	0,9492
	B	0,8725	0,7072	0,9386
	C	0,6962	0,7928	0,6593
	D	0,7073	0,4855	0,5248



## 5.4 Literatura

1. Adams J. R. and Ross W. H. 1941. Relative Caking Tendency of Fertilizers. *Industrial and Engineering Chemistry*, 33(1):121-127.
2. Ahmed S. M. 1990. Caking of CAN Fertilizer - Its Prevention. *Technology and Development (Kuwait)*, 15(1):75-84.
3. Ando, Jumpei, Mitsuhiko Omura, and Takashi Akiyama. 1965. Precipitates from the Ammoniation of Wet-Process Phosphoric Acid and the Viscosity of the Product Slurry. *Kogyo Kagaku Zashi*, 68:2327-2331.
4. Association of American Plant Food Control Officials. 1994. Official Publication, No. 47. Copies may be purchased from North Carolina Department of Agriculture, 4000 Reedy Creek Road, Raleigh, NC, U.S.A.
5. Babin J. J. 1989. Contribution of the Understanding of Hygroscopicity of Fertilizers. *Hungarian Journal of Industrial Chemistry*, 17:61-71.
6. Bach Bjorn. 1982. Packaging, Transportation, and Storage of Fertilizers. Seminar on Fertilizer Quality Control and Handling held in New Delhi, India, pp. 313-329.
7. Balay H. L. 1983. Fertilizer Properties Related to Bulk Storage and Handling. Custom Applicator, February.
8. Banaj Đ, Kovačević V, Tadić. 2009. Bogballe Spreader Testing Using Croatia Produced Fertilizers, CIGR Section V, Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, Rosario, Argentina.
9. Berquin, Y, and Burko J. 1974. Hot Spheroidizer Processes and Complex Fertilizers: Recent Developments, Proceedings of the 24th Annual Meeting of the Fertilizer Industry Round Table, pp. 110-112, Washington, D.C, U.S.A.
10. Bhatti, Muhammad Essa. 1991. "Quality Control Measures for Developing of 10:20:20 Grade Fertilizer," *Fertilizer Research*, 28:213-216.
11. Bhatti, Muhammad Essa. 1992. Physical Properties Comparative Study of Urea of Different Companies in Pakistan. *Fertilizer Research*, 32:13-17.
12. Bookey J. B. and Raistrick B. 1965. Caking of Mixed Fertilizers. IN *Chemistry and Technology of Fertilizers*, Vincent Sauchelli (Ed.), pp. 454-479, Reinhold Publishing Corporation, New York, U.S.A.
13. Borisov V. M. Yu. V. Azhikina and L. S. Gerke. 1978. Methods for Reducing the Cakeability of Phosphorus-Containing Fertilizers. *The Soviet Chemical Industry*, 10(8):590-591.
14. Borisov V. M. Yu. V. Azhikina, B. M. Maslennikov, S. B. Kapilevich, L. S. Gerke, and A. A. Brodskii. 1982. Physicochemical Fundamentals of Technology for Noncaking Complex Fertilizers Based on Monoammonium Phosphate. *The Soviet Chemical Industry*, 14(6):346-348.
15. Borisova L. I, M. P. Talkhaev and S. Ya Gal'perina. 1989. Quality Control of Phosphorite Pellets. *Khimicheskaya Promyshlennost*, 21(10):751-754.
16. Bura K. J. 1984. Improved Methods of Particle Size Analysis. *Particle Size Analysis of Construction Materials, Analytical Proceedings, Volume 21*, pp. 133-134, April.
17. Caking: Complex Problem, 1984. *Fertilizer Focus*.
18. Canadian Fertilizer Institute. 1986. *The CFI Guide of Material Selection for the Production of Quality Granular Blends*, Suite 301, 280 Albert Street, Ottawa, Ontario K1P5G8, Canada.
19. Carr R. L. 1965. Evaluating How Properties of Solids. *Chemical Engineering*, pp. 163-168, January 18.
20. Cheval J. L. 1986. Material Selection for the Production of High Quality Blends. Paper presented at the 36th Annual Meeting of the Fertilizer Industry Round Table, Baltimore, MD, U.S.A.
21. Cheval J. L. 1991. Update on the Canadian Fertilizer Quality Assurance Program and SGN Industry View, Association of American Plant Food Control Officials, Official Publication No. 44.
22. Cheval J. L. 1994. A Blender's Tool for Quick SGN Determination., Paper presented at the 44th Annual Meeting of the Fertilizer Industry Round Table, Orlando, FL, U.S.A.

23. Cheval J. 1994. Top Quality Blends, presented at the 5th Latin America Fertilizer International Conference, April 17-19, Palm Beach, FL, U.S.A.
24. Clayton, W. E. 1984. Humidity Factors Affecting Storage and Handling of Fertilizers. IFDC-P-International Fertilizer Development Center, P.O. Box 2040, Muscle Shoals, AL, U.S.A.
25. Čuljat M, Gašpar I, Duvnjak V. 1993. Raspodjela mineralnih gnojiva. *Agrotehničar* (1-2): 25-28.
26. De Dipankar. 1989. Flow Behaviour of Chemical Fertilizers As Affected by Their Properties. *Journal-Agricultural Engineering Research*, 42:235-249.
27. Dunmore F. W. 1939. An Improved Electric Hygrometer. Research Paper RP1265, Journal of Research of the National Bureau of Standards, 23:701-714.
28. European Union (formerly European Economic Community). 1976. Official Journal of the European Communities, Volume 19, No. L24, Council Directive 76/116/EEC, Office of Official Publications of the European Union, L-2985, Luxembourg.
29. Fruhstorfer A. 1961. Testing Granular Fertilizers for Hardness. Paper No. LE/61/58, The International Superphosphate Manufacturers' Association, Wiesbaden, Germany.
30. Frydenberg Wilhelm. 1989. The Development and Use of an On-Line Particle Analyses in a Prilling or Granulation Plant. Paper read before The Fertilizer Society of London, October.
31. Gamondes J. P. and J. B. Van't Hoff. 1977. How-to Prevent Fertilizer Caking, Nitrogen, No. 105:32-35, January-February.
32. Gantt C. W. W. C. Hulburt H. F. Rapp and J. O. Hardesty. 1958. Determining the Drillability of Fertilizers, U.S. Department of Agriculture, Production Research Report No. 17, Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., U.S.A.
33. Geissler P. R. 1967. Method for Determining the Critical Relative Humidity of Fertilizer, U.S. Patent 3,304,767.
34. Geissler P. R. 1968. Hygroscopicity of Complex Fertilizers - Determination of Critical Relative Humidity of Multicomponent Systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 16(3):378-383.
35. Hegner P. and L. Jager. 1976. Hygroscopicity of Fertilizer Materials. Research Institute of Inorganic Chemistry, 400 60 Usti nad Labem, Czechoslovakia.
36. Helong Yu, Guifen Chen, Dayou Liu, 2009. Research and application of precision fertilization on maize. IFIP International Federation for Information Processing, Volume 293, Computer and Computing Technologies in Agriculture II, Volume 1, pp. 477-486.
37. Hester Lance, Michael F. Broder, and Carl A. Cole. 1990. Particle Size Characteristics of Alabama Fertilizer Materials -1989, TVA Circular Z-285. Paper presented at the 40th Annual Meeting of the Fertilizer Industry Round Table, November 12-14, Baltimore, MD, U.S.A.
38. Hoffmeister G. 1979. Physical Properties of Fertilizers and Methods for Measuring Them. TVA Bulletin Y-147, Tennessee Valley Authority, Environmental Research Center, Muscle Shoals, AL, U.S.A.
39. Hoffmeister G. H. 1981. Evaluating and Correcting Segregation in Bulk Blends. Custom Applicator, February.
40. Hoffmeister G. H. 1982. Particle Size Requirements for Bulk Blend Materials, TVA Circular Z-146, Paper presented at the 36th annual meeting of the Association of American Plant Food Control Officials, August 3-4, Columbus, OH, U.S.A.
41. Hoffmeister G. and C. P. Harrison. 1982. Critical Humidity-Temperature Relationships for Several Fertilizers. TVA circular Z-143, Paper presented at the 184th National Meeting of the American Chemical Society, September 12-17, Kansas City, MO, U.S.A.
42. Hoffmeister George and C. P. Harrison. 1977. Physical Properties of Granular Urea-Based NP and NPK Fertilizers. Proceedings of the 27th Annual Meeting of the Fertilizer Industry Round Table, pp. 162-170, Washington, D.C., U.S.A.
43. Hoffmeister George S. C. Watkins, and Julius Silverberg. 1964. Bulk Blending of Fertilizer Material: Effect of Size, Shape, and Density on Segregation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 12(1):64-69.
44. Hoffmeister George. 1962. Compatibility of Raw Materials in Blended Fertilizers Segregation of Raw Materials, Proceedings of the 12th Annual Meeting of the Fertilizer Industry Round Table, pp.

83-88, Washington, D.C., U.S.A.

45. Hoffmeister George. 1973. Quality Control in a Bulk Blending Plant, Proceedings of the TVA Fertilizer Bulk Blending Conference, TVA Bulletin Y-62, pp. 59-70, Tennessee Valley Authority, Environmental Research Center, Muscle Shoals, AL, U.S.A.

46. Hofstee J. S. 1993. Physical Properties of Fertilizer in Relation to Handling and Spreading, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.

47. Hong J.H. Kim, Y.J. Chung, J.H., Rhee, J. Y. 2006. Moisture Absorption of Granular Fertilizer and Its Distribution Characteristic by a Pneumatic Applicator. An ASABE Meeting Presentation. Portland Convention Center, Portland, Oregon, 9 - 12 July 2006. Paper Number: 061072

48. Ibrahim Y. A. 1992. Product Quality Improvement on Urea Prills. Paper presented at the 1991 IFA Technical Conference, The Hague, Netherlands, October 6-8.

49. Idnani M. A. and O. P. Chawla. 1968. Moisture Absorption and Caking in Ammonium Sulphate. Fertiliser News, pp. 26-28, November.

50. International Organization for Standardization. 1984. Fertilizers and Soil Conditioners — Vocabulary, ISO 8157, Central Secretariat, 1, rue de Varembe, Case Postale 56, Ch-1211 Geneve 20, Switzerland.

51. International Organization for Standardization. Central Secretariat, 1, rue de Varembe, Case Postale 56, Ch-1211 Geneve 20, Switzerland.

52. Ivanov M. E. A. Sh. Berkovich, A. B. Ivanov and T. N. Kozlova. 1985. Determination of the Static Strength of Ammonium Nitrate Granules. The Soviet Chemical Industry, 17(6):348-350.

53. Jorgensen T. 1991. A Particle Analyser for Measuring Particle Size Distribution and Shape, On-Line or in the Laboratory. Fertilizer Research, 28:109-114.

54. Jurišić M, Plaščak I. 2009. Geoinformacijski sustavi, GIS u poljoprivredi i zaštiti okoliša. Poljoprivredni fakultet u Osijeku.

55. Kelly W. J. 1974. Solids Handling and Metering in an NPK Prilling Plant. Proceedings of the Fertilizer Society, (London), No. 141.

56. Khasawneh F. E., and E. C. Doll. 1978. The Use of Phosphate Rock for Direct Application to Soils. Advances in Agronomy, 30:159-206.

57. Klein Maurice O. 1991. The Manufacture of Fertilizers by Compaction/Granulation, IN Urea-Based NPK Plant Design and Operating Alternatives. Workshop Proceedings, pp. 119-132, SP-15, International Fertilizer Development Center, P.O. Box 2040, Muscle Shoals, AL, U.S.A.

58. Koltashov N. A. 1978. Caking of Urea as a Function of Loading Temperature and Packaging Method. Khimiya v sel'skom khozyaistve, 16(8):25-28.

59. Kuhnemund B. 1984. Bin Storage of Bulk Materials. Pit & Quarry, 76(8):57-59, 62, February.

60. Kurshinnikov I. N. and G. F. Chelidik. 1978. Methods of Eliminating the Caking of Fertilizers IN Proceedings of the Soviet-Swedish Symposium on the Beneficiation of Phosphate Rock, pp. 180-186, Tallinn, Estonia.

61. Kuvshinnikov I. M. 1985. Quantitative Evaluation of the Hygroscopicity of Fertilizer. The Soviet Chemical Industry, 17(3):153-155.

62. Kuvshinnikov I. M. A. V. Kononov, L. I. Evdokimova, V. A. Frolkina, M. P. Lobacheva and S. A. Troitskaya. 1989. Balanced Compound Fertilizers Made From Ammonium Phosphates and Urea. Khimicheskaya Promyshlennost, 21(10):747-748.

63. Kuvshinnikov I. M. A. V. Kononov, V. A. Frolkina, S. A. Troitskaya, M. P. Lobacheva and L. I. Evdokimova. 1989. Physical Properties of Diammosphoska. Khimiya Promyshlennost, 21(9):674-676.

64. Kuvshinnikov I. M. V. A. Timofeev and M. P. Komarov. 1987. Theoretical and Technological Foundations of the Elimination of the Cakeability of Mineral Fertilizers. Mendeleev Chemistry Journal, 32(4):51-55.

65. Kuvshinnikov I. M. V. G. Dubinin L. B. Geladze V. T. Kukushkin and M. P. Komarov. 1987. Structure of Granules of Complex Fertilizers and Their Caking. Journal of Applied Chemistry of the USSR, 60(6): 1384-1386, June.

66. Kuvshinnikov I. M. Z. A. Tikhonovich S. A. Troitskaya and V. A. Frolkina. 1984. Mechanism of the Modifying Action of Surfactants Used to Eliminate the Tendency of Complex Fertilizers to Cake. The Soviet Chemical Industry, 16(1):25-27.

67. Lauzon Michael. 1983. How to Avoid Flow Problems in Hoppers and Feeders. Canadian Chemical Processing, 67(4):31-32, June.
68. Lazić V, Turan J. 1994. Izbor mašina za đubrenje semenskog kukuruza. In proc: Mehanizovana proizvodnja semenskog kukuruza. Monografija. Institut za poljoprivrednu tehniku, Novi Sad, „Pobeda-Holding“ DD, Novi Sad, 84-88.
69. Lupin M. S. and N. D. Le. 1983. Compaction, Alternative Approach for Granular Fertilizers T-25, International Fertilizer Development Center, P.O. Box 2040, Muscle Shoals, AL, U.S.A.
70. Maartensdijk Sinte. 1976. Direct Production of Granulated Superphosphates and PK Compounds from Sulphuric Acid, Phosphoric Acid, Rock Phosphate and Potash, Paper No. TA/76/12, Presented at the International Superphosphate Manufacturers' Association Technical Conference, The Hague, Netherlands.
71. Mackay P. A. and K. S. Sharpies. 1985. The Use of Special Oils and Coatings to Prevent Caking of Fertilizers, Proceedings of the Fertilizer Society, (London), No. 239.
72. Martinov M, Konstantinović M. 2002. Pravilna raspodela mineralnog hraniva. Revija agronomska saznanja, 12,(6): 12-14.
73. Mehring A. L. 1929. Factors Affecting the Drillability of Fertilizers. Industrial and Engineering Chemistry, 21(12):1219-1223.
74. Mehring A. L. 1931. Measurement of Drillability of Fertilizers. Industrial and Engineering Chemistry, Analytical Edition, 3(1):34-38.
75. Mehring A. L. and G. A. Cumings. 1930. Factors Affecting the Mechanical Application of Fertilizers to the Soil. U.S. Department of Agriculture, Technical Bulletin No. 182, Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., U.S.A.
76. Merz A. R. W. H. Fry, J. O. Hardesty and J. R. Adams. 1933. Hygroscopicity of Fertilizer Salts. Industrial and Engineering Chemistry, 25(2): 136-138.
77. Mohsenin N.N. 1980. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publishers, New York-London-Paris, s. 742.
78. Murthy D.V.S. and A. P. Rao. 1989. Effect of Binding Agents in NP Granulation. Indian Journal of Technology, Vol. 27:121-124, March.
79. Nozdrovický L, Macák M, Findura P. 2009. Vplyv granulometrického zloženia priemyselných hnojív na priečnu rovnomernosť aplikácie. In: New Trends in Design and Utilisation of Machines in Agriculture, Landscape Maintenance and Environment Protection [elektronický zdroj] : Proceedings of the International Scientific Conference, Prague, p. 210-218, 978-80-213-1897-7
80. Palgrave D. A. 1984. Importance of Measuring Physical Properties in Fluid Fertilizers. Paper No. 203, 98th Meeting of AOAC International, Washington, D.C., U.S.A.
81. Particle Size Analyzers: Out of the Lab, Into the Plant. 1988. Chemical Engineering, pp. 95-98, November 7.
82. Perry R. H. C. H. Chilton and S. D. Kirkpatrick (Eds.). 1984. Perry's Chemical Engineers Handbook, Sixth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, NY, U.S.A.
83. Persson K. 2000. New results of testing fertiliser spreaders, Agricultural Engineering, 6(1-4): 1-9.
84. Potts J. M. (Ed.). 1984. Fluid Fertilizers, TVA Bulletin Y-185, Tennessee Valley Authority, Environmental Research Center, Muscle Shoals, AL, U.S.A.
85. Pustil'nik G. A. V. S. Talanova and Y. A. Vakhrushev. 1973. Accelerated Method for Determining Hygroscopic Points of Fertilizers and Salts. Khim. Prom. (Moscow), 49(II):844-845 (Russ.); Soviet Chemical Industry, 5(11):708-709.
86. Rahman M, Jalilur P, Bozadjiev and Y. Pelovski. 1994. Studies on the Effects of Some Additives on the Physicomechanical Properties of Urea- Ammonium Sulphate (4UAS) Pellets. Fertilizer Research, 38:89-93.
87. Rapp H. F. and J. O. Hardesty. 1957. Granulation of Mixed Fertilizers in Experimental Equipment and Determination of Storage and Drilling Characteristics of the Products. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 5(6):426-433.
88. Rieschel H, and K. Zech. 1981. Comparison of Various Test Methods for the Quality Control of Potash Granulate, "Phosphorus and Potassium No. 115:33-39, September/October.
89. Rosenblom Jan, and Stig Zettervall. 1978. Anticaking Treatments of Granular Inorganic Salts

- Such as Phosphate Based Complex Fertilizers and Ammonium Nitrate. IN Proceedings of the Soviet-Swedish Symposium on the Beneficiation of Phosphate Rock, pp. 158-179, Tallinn, Estonia.
90. Rutland D. W, and J. R. Polo. 1989. Comparative Properties of Urea-Based NPK Fertilizers. Proceedings of the 39th Annual Meeting of the Fertilizer Industry Round Table, pp. 159-172, Atlanta, GA, U.S.A.
  91. Rutland D. W. 1984. Comparison of Hygroscopic Properties of Mixtures of Granular Materials (Bulk Blends) and Granulated Mixtures. Proceedings of the 34th Annual Meeting of the Fertilizer Industry Round Table, pp. 89-98, Baltimore, MD, U.S.A.
  92. Rutland D. W. 1991. Fertilizer Caking: Mechanisms, Influential Factors, and Methods of Prevention. *Fertilizer Research*, 30:99-114.
  93. Rutland D. W. 1991. Storage and Handling Characteristics of Urea-Based NPK Fertilizers. IN Urea-Based NPK Plant Design and Operating Alternatives, Workshop Proceedings, pp. 82-88, SP-15, International Fertilizer Development Center, P.O. Box 2040, Muscle Shoals, AL, U.S.A.
  94. Rutland D. W. and J. R. Polo. 1990. Urea in NPK Fertilizers: How Much Can You Use. *Phosphorus & Potassium*, 166:25-32, March-April.
  95. Rutland David W. 1991. The Effect of Fertilizer Physical Properties on Product Quality and the Methods Used to Evaluate Them, Presented at the FADINAP Asia Pacific Regional Symposium on Fertilizer Legislation, Ho Chi Minh City, Vietnam.
  96. Rutland David W. 1993. Manual for Determining Physical Properties of Fertilizer, Reference Manual IFDC-R-10, Second Edition, International Fertilizer Development Center, P.O. Box 2040, Muscle Shoals, AL, U.S.A.
  97. Saxena R. C. 1982. Let Your Granules Glide. *Self-Reliance*, 8(3):6-8.
  98. Saxena R. C. and S. Varma. 1973. Effect of Moisture on the Flow Characteristics of Granular Fertilizers. *Technology*, 10(1&2):42-45.
  99. Schultz James J. 1989. Production of Granular NPKs in Ammonium Phosphate Plants, T-36, International Fertilizer Development Center, P.O. Box-2040, Muscle Shoals, AL, U.S.A.
  100. Silverberg, Julius, J. R. Lehr and George Hoffmeister Jr. 1958. Microscopic Study of the Mechanism of Caking and Its Prevention in Some Granular Fertilizers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 6(6):442-448.
  101. Smith P. G. 1980. Apparatus for Determining the Strength of Granules. *Laboratory Practice*, pp. 743-744, July.
  102. Standard prEN 13739-1. Agricultural and forestry machinery-broadcasters and full width distributors for solid fertiliser - Environmental preservation - Part 1: Requirements.
  103. Standard prEN 13739-2. Agricultural and forestry machinery-broadcasters and full width distributors for solid fertiliser - Environmental preservation - Part 2: Test methods.
  104. Stanley-Wood N. G. and G. J. Llewellyn. 1982. In-Stream and On-Line Particle Size Analysis. *Chemical Society, Analytical Proceedings*, 19(11):527-528, November.
  105. Steel R.G.D. and Torrie S.H., 1980. Principles and Procedure of Statics. A Biometrical Approach. McGraw-Hill Press, New York, USA.
  106. Strathdee Graeme G. 1994. Managing Potash Product Quality in Global Markets. *Phosphorus & Potassium*, No. 193, September-October.
  107. Tennessee Valley Authority. 1970. Effect of Aluminum and Iron on the Physical Properties of Ammonium Phosphate Fertilizers. IN *New Developments in Fertilizer Technology*, 8th Demonstration, p. 14, TVA Bulletin Y-12, TVA, NFDC, Muscle Shoals, AL, U.S.A.
  108. Tennessee Valley Authority. 1970. TVA Procedures for Determining Physical Properties of Fertilizers, Special Report No. S-444, Environmental Research Center, Muscle Shoals, AL, U.S.A.
  109. Terry D. C. 1993. Size Guide Number and Bulk Blend Quality. Paper presented at the 43rd Annual Meeting of the Fertilizer Industry Round Table, October 25-27, New Orleans, LA, U.S.A.
  110. The Complex Phenomenon of Caking, 1-9.8X- *Fertilizer Focus*, pp. 36-37, 39, July.
  111. The Fertilizer Institute. 1982. *Fertilizer Sampling and Analytical Methods*, Fourth Edition; Product Quality Committee, 1015 18th Street, N.W., Washington, D.C., U.S.A.
  112. Thompson D. C. 1972. *Fertilizer Caking and Its Prevention*. Proceedings of the Fertilizer Society (London), No. 125.
  113. Tikhonovich Z. A. A. Ya. Syrchenkov V. F. Kabanov A. I. Grapas and I. M. Gurman. 1989.

- Study of the Physicomechanical Properties of Nitrophoska. *Khimiya Promyshlennost*, 21(9):671-673.
114. Tikhonovich Z. A. and N. N. Bogdanova. 1991. Some Aspects of the Hygroscopicity of Fertilizers. *The Soviet Chemical Industry*, 23(2):89-90.
115. Turan J, Mehanidžić R, Kosovac M. 2006. Granulometrijski sastav i poprečna distribucija mineralnog đubriva. *Studija. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad*.
116. Turan J, Kosovac M. 2007. Fizičke osobine i poprečna distribucija mineralnog đubriva. *Studija. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad*.
117. Turan J, Kosovac M. 2008. Poprečna distribucija mineralnog đubriva, *Savremena poljoprivredna tehnika*, 34(1-2): 40-46.
118. Turan J, Findura P. 2009. Preklapanje prohoda pri raspodeli mineralnog đubriva = Mineral fertilizer distribution overlap. In *Savremena poljoprivredna tehnika = Contemporary agricultural Engineering*. ISSN 0350-2953. 35(1-2): 2009, 9-15.
119. Turan J, Findura P. 2010a. Granulometrijski sastav i poprečna raspodjela kompaktnog mineralnog gnojiva = Comparison and transverse distribution of compact fertilizer. *Agriculture in nature and environment protection [elektronicky zdroj]: proceedings & abstracts. 3rd international scientific / professional conference, Vukovar, 31 st May - 2nd June 2010. Osijek: Poljoprivredni institut Osijek, 2010. ISBN 978-953-7693-00-8. S. 51-56*.
120. Turan J, Findura P. 2010b. Influence of wind on distribution of compact mineral fertilizer. *Technoforum 2010 : zbornik vedeckych prac, pokroky vo vyskume pol'nohospodarskej a environmentalnej techniky - ISBN 978-80-552-0381-2. S. 251-257*.
121. Turan J, Findura P, Vucelja D. 2010. Uticaj vlaznosti na ugao nasipanja mineralnog đubriva Influence of humidity to the filling angle of fertilizer. *Savremena poljoprivredna tehnika* ISSN 0350-2953. 36(1): 32-38.
122. Turan J, Findura, P. Đalović. I, Sedlar A, Bugarin R, Janić T. 2011. Influence of moisture content on the angle of repose of nitrogen fertilizers. In: *International Agrophysics*, 25: 201-204.
123. Using Anticaking Agents, 1983. *Nitrogen*, No. 146 November-December.
124. Using Anticaking Agents, 1983. *Nitrogen*, No. 146:21-23, November-December.
125. Van Hijfte, Willie H.P. 1981. The Coating of Straight Nitrogen Fertilizers. IN *Proceedings of the 31st Annual Meeting of the Fertilizer Industry Round Table*, pp. 181-187, Washington, DC., U.S.A.
126. Venkatesan, T. N. 1987. Fertilizer Conditioning: Need of the Hour. *Fertilizer Industry, Annual Review*, 10:213-216.
127. Visvanathan T. R., S. Balasubramaniam, and J. Bennett. 1978. Problem of Caking in NPK Granular Fertilizers. *Fertiliser News*, 23(8):37-40.
128. Whyne A. L., and T. P. Dee. 1957. The Caking of Granular Fertilizers: An Investigation on a Laboratory Scale. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 8:577-591.
129. Willems M, and R. van Hardevell. 1981. Production of High Quality Urea Prills. *Proceedings of the 31st Annual Meeting of the Fertilizer Industry Round Table*, pp. 64-72, Washington, D.C., U.S.A.
130. Yee J. Y. 1944. Determining Hygroscopicity of Fertilizers. *Industrial and Engineering Chemistry, Analytical Edition*, 16(6):367-369.
131. Zinkevičius R. 2008. Influence of soil sampling for precision fertilizing, *Agronomy Research* 6 (Special issue), 423-429.



CIP - Каталогизација у публикацији  
Библиотека Матице српске, Нови Сад

631.171

EKOLOŠKI i energetski parametri primene poljoprivredne mehanizacije [Elektronski izvor] :  
monografija / Anđelko Bajkin ... [et al.]. - Novi Sad : Poljoprivredni fakultet, 2014.

Način dostupa (URL):

<http://polj.uns.ac.rs/wp-content/uploads/2014/10/Ekoloski-i-energetski-parametri-primene-poljoprivredne-mehanizacije-monografija.pdf>. - Opis zasnovan na stanju na dan: 25.11.2014.

ISBN 978-86-7520-318-6

1. Бајкин, Анђелко

а) Пољопривредна механизација

COBISS.SR-ID 291521543