



**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ**

**Департман за пољопривредну технику**



**Лазар Туршијан**

Дипл. инж. пољопривредне технике

**ПРОЈЕКТОВАЊЕ ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ПРСКАЛИЦЕ ЗА ТЕСТИРАЊЕ  
УТИЦАЈА РАДНИХ ПАРАМЕТАРА НА РАД РАСПРСКИВАЧА**

**МАСТЕР РАД**

**Нови Сад, 2022.**



**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ**

**Департман за пољопривредну технику**



Кандидат

Лазар Туршијан

Ментор

Проф. Др Александар Седлар

**ПРОЈЕКТОВАЊЕ ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ПРСКАЛИЦЕ ЗА ТЕСТИРАЊЕ  
УТИЦАЈА РАДНИХ ПАРАМЕТАРА НА РАД РАСПРСКИВАЧА**

**МАСТЕР РАД**

**Нови Сад, 2022.**

**Комисија за оцену и одбрану мастер рада:**

---

Др Александар Седлар, ментор  
ванредни професор за ужу научну област, Пољопривредна техника  
Пољопривредни факултет, Универзитет у Новом Саду

---

Др Рајко Бугарин, председник комисије  
ванредни професор за ужу научну област, Пољопривредна техника  
Пољопривредни факултет, Универзитет у Новом Саду

---

Др Јан Туран, члан комисије  
редовни професор за ужу научну област, Пољопривредна техника  
Пољопривредни факултет, Универзитет у Новом Саду

## САДРЖАЈ

<b>1. УВОД</b> .....	1
<b>1.1.1. Радни делови прскалице</b> .....	4
<b>1.1.2. Распрскивачи</b> .....	5
<b>1.1.2.1. Хидраулични распрскивачи</b> .....	6
<b>1.1.2.2. Лепезасти (Т – распрскивачи)</b> .....	6
<b>1.1.2.3. Одбојни распрскивачи</b> .....	8
<b>1.1.2.4. Вртложни распрскивачи</b> .....	9
<b>1.1.2.5. Истраживања примене различитих типова распрскивача</b> .....	9
<b>1.1.2.6. Утицај радног притиска на величину капљица и попречну дистрибуцију распрскивача</b> .....	10
<b>2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ</b> .....	11
<b>2.1. Директна метода квантификације депозита трејсером</b> .....	11
<b>2.2. Депозит пестицида измерен на усеvu</b> .....	16
<b>2.3. Ефикасност депозита распрскивача</b> .....	23
<b>2.3.1. Побољшани типови распрскивача</b> .....	27
<b>3. ЗАДАТАК И ЦИЉ РАДА</b> .....	29
<b>4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА</b> .....	30
<b>4.1. Радно окружење програма</b> .....	31
<b>4.2. Информације о коришћеним распрскивачима и методологији извођења лабораторијских огледа</b> .....	34
<b>5. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА СА ДИСКУСИЈОМ</b> .....	40
<b>5.1. Карактеристике лабораторијске прскалице „Lab SprayTech“</b> .....	40
<b>5.2. Утицај типа распрскивача и радних параметара прскања на висину депозита препарата у заштити пшенице</b> .....	49
<b>6. ЗАКЉУЧАК</b> .....	52
<b>7. ЛИТЕРАТУРА</b> .....	54

## ПРОЈЕКТОВАЊЕ ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ПРСКАЛИЦЕ ЗА ТЕСТИРАЊЕ УТИЦАЈА РАДНИХ ПАРАМЕТАРА НА РАД РАСПРСКИВАЧА

Лазар Туршијан

### РЕЗИМЕ

Пројекат дизајнирања и израда лабораторијске прскалице „Lab SprayTech“ је реализован у склопу Лабораторије за контролу технике за апликацију пестицида (ЛТАР), Департмана за Пољопривредну технику, Пољопривредног факултета, Универзитета у Новом Саду са циљем развоја лабораторијске опреме која ће бити коришћена за испитивање утицаја различитих радних параметара на рад распрскивача који се користе као завршни елементи на свакој машини за апликацију пестицида било да је реч о ратарској, повртарској или воћарској производњи.

Радни параметри чије вредности се могу дефинисати при раду лабораторијске прскалице су: притисак (bar), брзина кретања (km/h), норма третирања (l/ha), док је у самој лабораторији још могуће и симулирати појаву дрифта помоћу вентилатора. Сви наведени параметри утичу на рад самих распрскивача чији ће се утицај моћи тестирати и испитати у контролисаним условима, а на основу истраживања и добијених резултата о утицајима промене поменутих параметара пољопривредни произвођачи ће моћи да добију савет и препоруку који тип распрскивача употребити, када и у којим условима.

Самим испитивањем утицаја ових параметара на распрскиваче и уз помоћ формираних препорука пољопривредни произвођачи ће смањити прекомерну употребу средстава за заштиту биља. Уједно ће доћи до повећања депозита употребом оптимално одабраног типа распрскивача за конкретне услове третирања, односно пољопривредни произвођачи ће повећати ефикасност употребе својих машина за апликацију пестицида, а самим тим ће доћи и до повећања економичности ових машина.

**Кључне речи:** прскалица, распрскивачи, радни параметри, депозит, ефикасност

## **DESIGNING OF LABORATORY SPRAYER FOR TESTING THE IMPACT OPERATING PARAMETERS ON THE NOZZLES**

**Lazar Turšijan**

### **SUMMARY**

The project of designing and manufacturing laboratory sprayer "Lab SprayTech" was realized in the Laboratory for Control of Pesticide Application Technology (LTAP), Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, University of Novi Sad with the aim and need of such laboratory equipment to be used for testing the impact of different operating parameters on the operation of sprayer nozzles used as a final elements on every pesticide application machine, whether it is use in a field, vegetable or fruit production.

Operating parameters whose values can be defined during the operation of the laboratory sprayer are: pressure (bar), speed (km / h), application rate (l / ha), while in the laboratory it is still possible to simulate the occurrence of drift with a fan. All these parameters affect the operation of sprayer nozzles whose impact can be tested in controlled conditions, and based on research and results on the effects of changes in these parameters, farmers will receive advice and recommendation on which type of nozzles to use when and in what conditions.

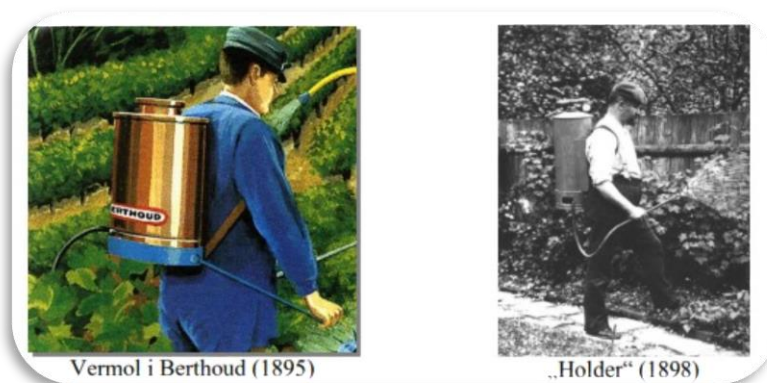
Examining the impact of these parameters on sprayer nozzles and giving recommendations to farmers will reduce the excessive use of plant protection products, there will be an increase in deposits using a chosen type of sprayer nozzles for specific treatment conditions, farmers will increase the efficiency of their pesticide application machines and they will also increase the economy of these machines.

**Keywords:** sprayer, nozzles, operating parameters, deposit, efficient

## 1. УВОД

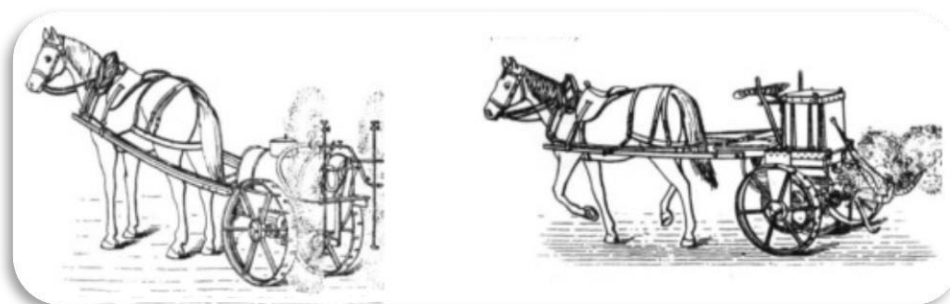
За апликацију пестицида у ратарству се најчешће користе прскалице. Прскалице су најзаступљеније машине, од свих машина, опреме и уређаја за апликацију пестицида, у пољопривредној пракси наше земље. Слична ситуација је и у осталим европским земљама, са изузетком Шпаније у којој су орошивачи најзаступљеније машине за апликацију пестицида. Према подацима из 2009. године прикупљеним из 25 европских земаља укупан број прскалица и орошивача у Европи је преко 2.000.000,00. Према пољопривредном попису из 2012, број тракторских прскалица у Србији је износио 138.084,00.

У Европи је прва леђна прскалица направљена у Француској од Вермола и Бертуда 1895. године, а фирма „Holder“ у Немачкој 1898. године прави прву леђну прскалицу која је радила под притиском. (сл. 1.)



Слика 1. Прве леђне прскалице

Међу првим запрежним прскалицама у Европи су прскалице направљене од 1909. до 1910. године од Carl Platza-а у Немачкој. (сл. 2.)



Слика 2. Запрежне прскалице са почетка XX века

Након запрежних прскалица са појавом трактора уследила је појава тракторских прскалица, почев од прскалице приказане на слици 3а, направљене средином прошлог века у фирми „Holder“, па до савремених прскалица са почетка XXI века, (сл. 3б).



а) Прскалица фирме „Holder“

б) Савремена прскалица фирме „Rau“

Слика 3. Развој тракторских прскалица

У тексту су већ поменуте ношене, запрежне и тракторске прскалице. Запрежне прскалице данас више нису у употреби, а све остале могу да се поделе према начину ношења на:

- Ручне,
- Леђне,
- Ручно превозне,
- Тракторске ношене,
- Тракторске вучене.

Поред наведених, прскалице могу бити такође и самоходне машине, али у нашој земљи је број таквих прскалица и даље релативно мали. Без обзира на различитости које постоје међу прскалицама, по њиховој грађи, начину ношења и осталом, радни делови свих прскалица су мање или више слични.





Ручна прскалица



Леђна прскалица



Ручно превозна са ручним погоном



Ручно превозна са моторним погоном



Тракторска ношена прскалица



Тракторска вучена прскалица



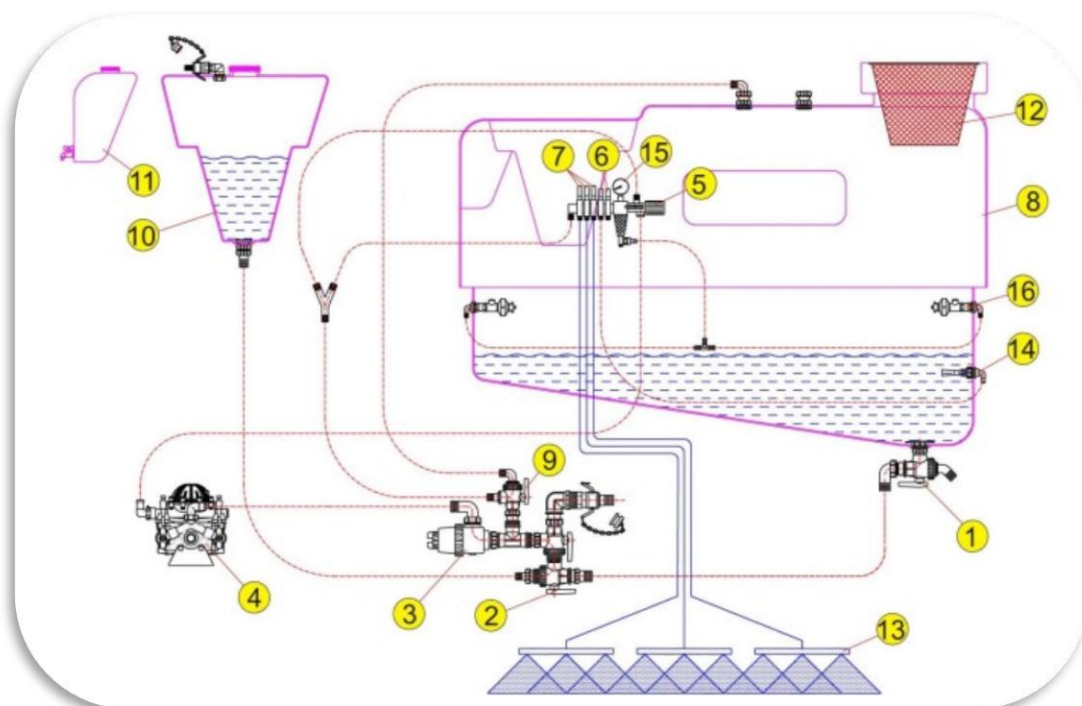
Савремена самоходна прскалица

Шема 1. Приказ прскалица према начину ношења

### 1.1.1. Радни делови прскалице

Типична прскалица се састоји од следећих делова:

- Резервоара,
- Пумпе,
- Система за мешање радне течности,
- Спроводних цеви,
- Прскајућих крила,
- Распрскивача



Слика 4. Шематски приказ рада и делова прскалице

- 1 – разводни вентил са испустом; 2 – разводни вентил; 3 – усисни филтер; 4 – пумпа; 5 – регулатор притиска; 6 – вентил за мешаче у резервоару; 7 – вентили за отварање појединих секција; 8 – главни резервоар; 9 – разводни вентил; 10 – резервоар за испирање; 11 – резервоар за чисту воду (прање руку); 12 – уливно сито; 13 – распрскивачи; 14 – мешач; 15 – манометар; 16 – ротационе млазнице за прање главног резервоара

Већина компоненти прскалице јесу интегралне компоненте које се мењају само у случају установљења њихове дисфункционалности. Да би заштита била што успешнија, неопходно је добро упознати радне делове, функционисање, регулисање и одржавање машина и уређаја који се користе за апликацију.

У том циљу значајан је лабораторијски рад са прскалицама током зимског периода када пољопривредни инжењери, техничари или пољопривредни произвођачи имају времена да унапреде своје знање. Лабораторијски рад омогућава смањење грешака у раду на њивама током сезоне. Посебан акценат, током рада у лабораторији треба ставити на примену различитих типова распрскивача јер они представљају завршне елементе прскалице. Провера њихове попречне дистрибуције и депозита који оставарују на третираном објекту, при различитим вредностима притиска, радних брзина и норме третирања омогућиће значајно повећање квалитета и ефикасности заштите биља. За потребе рада у лабораторији неопходно је конструисати лабораторијску прскалицу. Ова прскалица мора имати све компоненте, као и прскалица за рад у њиви али прилагођене раду у затвореном простору. Посебно значајано је да при раду са лабораториском прскалицом се могу мењати брзина рада, притисак и тип распрскивача.

### **1.1.2. Распрскивачи**

Распрскивачи су завршни елементи прскалице и они одређују величину капљица, облик и угао излазног млаза, количину течности и квалитет покривања третиране површине. Структура и спектар капљица у млазу су веома важни параметри распрскивача и од њих зависи прецизност депозиције, тј. количина заштитног средства која се наноси на објекат заштите. Структуру и спектар капљица у млазу приказује величина капи у млазу, а она највише зависи од облика излазног отвора распрскивача и радног притиска. Може се рећи да су најважније карактеристике распрскивача:

- Капацитет распрскивача,
- Величина капљице,
- Радни притисак,
- Млаз,
- Домет млаза.

За трансформисање компактног млаза течности у један млаз раздвојених капљица (дезинтегрисан), течност мора да има велику брзину, која је у стању да се супростави силама унутрашње кохезије течности. То може да се оствари хидрауличним, механичким (центрифугалним) и пнеуматским путем. Код уређаја за примену пестицида је присутна хидраулична дезинтеграција течности у највећем броју случајева. У пракси је присутна и хидропнеуматска дезинтеграција (орошивачи, прскалице са ваздушном подршком), док је механичка (центрифугална), као и термичка присутна само код замагљивача и неких орошивача.

#### **1.1.2.1. Хидраулични распрскивачи**

Хидрауличне распрскиваче карактерише ширина млаза од  $60^\circ$  до  $120^\circ$ , а ретко и до  $140^\circ$ . На распрскивачу може да се мења излазни угао млаза, величина отвора улошка, капацитет и притисак. Променом притиска мења се и величина капи, мањи притисак даје веће капи и обрнуто. Притисак је основна величина. Захваљујући малом отвору, код ових распрскивача течност добија већу брзину и то од 10 до 50 m/s, која је у стању да преовладава унутрашње силе кохезије течности и тако се ствара млаз капљица различитих величина. Облик млаза зависи од излазног отвора улошка распрскивача, тако да распрскивачи, који остварују лезасте млаз, имају елиптичан отвор, а конусни млаз – кружни отвор. Постоје и распрскивачи код којих се млаз по изласку из елиптичног отвора одбија од једне косе површине – одбојни распрскивачи. У зависности од облика млаза разликују се Т - распрскивачи, вртложни, и одбојни хидраулични распрскивачи.

#### **1.1.2.2. „Т“ – распрскивачи (Лезасти)**

„Т“ распрскивачи су добили име због карактеристичног начина допремања течности до улошка распрскивача и њеног избацивања које има изглед обрнутог слова „Т“.

„Т“ распрскивачи дају млаз у облику лезе. Могу бити са различитим излазним углом млаза од  $60^\circ$  до  $120^\circ$ . Недостатак „Т“ распрскивача јесте склоност ка загушењу. То може да се отклони уградњом финих филтера већих површина. Последњи филтер се уграђује у тело распрскивача и зависи од величине отвора распрскивача. Код употребе стандардних „Т“ распрскивача спектар капи је хетероген. Величина капи зависи од радног притиска, односно повећањем притиска, повећава се и удео ситних капи у млазу.

Ситне капи су добре јер остварују бољу покривеност и бољу продорност у биљну масу, али су и подложније дрефту. Са друге стране крупне капи су отпорније на дрефт, али проблем је слабија покривеност и потенцијална опасност од евентуалног склизања са биљке. Да би се помириле ове супротности направљена је друга генерација „Т“ распрскивача, (сл. 5.), која има преткоморе које служе за умиривање течности и укрупњавање, односно уједначавање капљица, које се боље усмеравају ка биљкама. Наведени распрскивачи су стабилнији у погледу промене притиска, што значи да његово повећање мање утиче на смањење капљица. Такав је нпр. распрскивач ASJ WR.



Слика 5. Анти дрефт распрскивачи новије генерације

Осим приказаних „Т“ распрскивача постоји још доста других под – типова као што су распрскивачи са двоструким млазом, нпр. ASJ TFS (*Twin Fan Standard*). Наведене распрскиваче карактерише добра продорност у густе усеве и ситне капи. Одлични су за третирање усколисних култура и корова. Двомлазни распрскивачи се израђују као стандардни, антидрифт ASJ TFLD (*Twin Fluid Low Drift*) и ињекторски (хидропнеуматски) ASJ TFA (*Twin Fluid Air*). (сл. 6). Хидропнеуматски распрскивачи дају крупније капи, захваљујући чињеници да имају ињекторе у којима долази до мешања ваздуха и течности.



Слика 6. ASJ распрскивачи са двоструким лезастим млазом

Последња реч у производњи распрскивача јесу „турбо – дроп“ распрскивачи. Типични представник ових распрскивача је Агротопов TD ADF распрскивач приказан на (сл. 7). Турбо – дроп распрскивачи су јединствени у свету. Поседују ињекторску комору са два проширења за умирење капљица. Управо то им омогућава већу концентрацију ситних капљица у средини млаза, а у спољашњим деловима већу заступљеност крупнијих капи отпорних на дрифт.



Слика 7. Турбо – дроп асиметрични двомлазни распрскивачи

TD – ADF варијанта има дупли млаз, са закошеним млазом у правцу кретања под углом од  $10^\circ$ , односно  $50^\circ$  уназад у односу на центар. Једино овакви распрскивачи обезбеђују квалитетан третман при радним брзинама већим од 15 km/h.

### 1.1.2.3. Одбојни распрскивачи

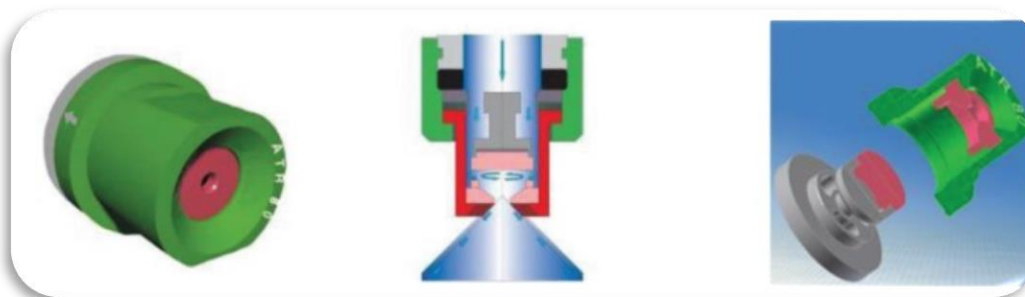
Одбојни распрскивачи су израђени тако да је насупрот отвору за течност постављен одбојни елемент, тако да течност, излазећи кроз отвор, удара о елемент и разбија се у ситне капљице, формирајући копренаст млаз. Угао млаза код одбојних распрскивача се креће до  $170^\circ$ , односно имају већу ширину захвата. Добра страна им је што излазни отвор не мора бити сувише ситан па је мања опасност од загушења. (сл. 8).



Слика 8. Одбојни распрскивачи широког угла прскња

#### 1.1.2.4. Вртложни распрскивачи

Вртложни распрскивачи стварају конусни млаз са неправилним распоредом капљица – концентрација капљица је највећа по ободу, а према унутра се смањује. Дезинтеграција течности се постиже вртложењем исте у распрскивачу (сл. 9).



Слика 9. Вртложни распрскивач са урезаним спиралним жлебом

#### 1.1.2.5. Истраживања примене различитих типова распрскивача

Са појавом новијих типова/подтипова „Т“ распрскивача, јавио се проблем правилног избора распрскивача у складу са кључним факторима успеха третмана: фазом развоја усева, фазом развоја патогена, начину деловања препарата, дози и временским условима. У пракси се не прави разлика између стандардних, антидрифт и ињекторских распрскивача.

Ињекторски распрскивачи, као што је то објашњено, су подтип класичних „Т“ распрскивача који, увлачењем ваздуха кроз ињектор у свом телу, обезбеђују крупније капи добре за третмане при брзинама ветра од 3 до 5 m/s.

Антидрифт распрскивачи су напредна генерација (подтип) класичних распрскивача, који имају способност да не мењају значајније спектар капи у млазу, са променом радног притиска од 2 до 4 bar. Посебан акценат треба ставити на двомлазне распрскиваче који могу бити стандардни, антидрифт и ињекторски. Они представљају задњу генерацију распрскивача и код усколисних култура, као што је пшеница, одлично су решење, јер по проласку прскалице први млаз третира клас пшенице одозго и напред, а услед ваздушне струје коју стварају крила долази до повијања пшенице напред, што обезбеђује другом млазу да покрије клас и стабло са задње стране.

Резултати испитивања, током 2016, у пшеници су показали да за третирање класа треба користити ињекторске двомлазне распрскиваче и да исти при раду са нормом од 150 l/ha обезбеђују да на клас доспе 61,56 % препарата, док је применом норме од 200 l/ha, доспела депозиција препарата на класу 58,38 %. Са друге стране примена једномлазних стандардних распрскивача обезбеђује свега 29 % од примењене дозе фунгицида. Код третирања корова у кукурузу (2017.) у фази раста 3 – 6 листова најбоља депозиција се остварује при норми од 200 l/ha, применом класичних или анти дрифт двомлазних TFS/TFLD распрскивача. Депозиција на листовима корова у том случају износи 62,82 %, док је код једномлазних стандардних „Т“ распрскивача 27,2 %. У сузбијању пегавости листа шећерне репе правилан избор распрскивача је највише дошао до изражаја (2017.). Третман класичним „Т“ распрскивачима је обезбедио да од примењене дозе фунгицида (1 l/ha) свега 24,97 % доспе на лишће, док применом Агротоп TD ADF двомлазних распрскивача на листове доспева дупло више, односно 51,46 % при норми третирања од 200 l/ha. Преведено у литре исказано значи да на површини од 50 хектара, применом класичних распрскивача свега 12,5 литара доспе на лишће, а применом турбо – друп распрскивача та количина износи 26 литара. (Седлар, А., Вишацки, В., Бугарин, Р. (2016): Утицај типа распрскивача на депозицију фунгицида у заштити класа пшенице, Биљни лекар, вол. 44, бр. 5–6, стр. 582–591.)

#### **1.1.2.6. Утицај радног притиска на величину капљица и попречну дистрибуцију распрскивача**

Сврха коришћења прскалица је да обезбеди депозицију пестицида на браћену површину, како би имали ефикасну контролу корова, биљних болести, инсеката и других штеточина. Правилна примена средстава за заштиту биља (пестицида) је од кључне важности у успешној и модерној пољопривреди. Најважнији фактори ефикасне хемијске заштите биља су тачност дозирања и одржавање одређене норме третирања. Прецизнија дистрибуција значи: равномернија расподела капи, смањивање норми третирања, уз постизање оптималних брзина кретања прскалице, а тиме и већи учинак. Главни показатељ квалитета примене пестицида односно квалитета распрскивача представља број капи по јединици третиране површине и равномерност расподеле по њој. Највећи значај за праксу имају број, величина, путања и дOMET капи. Посебан проблем у обезбеђивању одговарајуће покривености може да се јави код култура које имају танко стабло и уску лисну масу (уљана репица,



пшеница), јер са њих крупне капи лако склизну, а ситне и не стигну због утицаја дрифта.

Распрскивачи се углавном израђују за дефинисан радни притисак, који може да обезбеди потребну дезинтеграцију капљица. Да би квалитет заштите био добар и век распрскивача дужи, притисак течности мора да се одржава у толерантним границама. Дезинтеграција раствора, која директно утиче на величину капљица, зависи од типа распрскивача, начина излажења течности из распрскивача, величини излазног отвора и притиска. Са повећањем притиска величина капљица се смањује.

Капацитет распрскивача представља количину раствора који се избаци у јединици времена. Збир капацитета свих распрскивача чини укупан капацитет прскалице, од чега зависи намена прскалице, њена брзина кретања и успешност заштите.

Попречна дистрибуција унутар целокупног посматраног подручја мора бити једнака, те се изражава помоћу коефицијента варијације који не сме бити већи од 10 %.

## **2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ**

### **2.1. Директна метода квантификације депозита трејсером**

Уједначена дистрибуција и количина пестицида депонованог на циљану површину одређују успех у заштити биља. Више студија (Chaim et al. 2002; Gil et al. 2005; Witton et al. 2018; Allagui et al. 2018; Bruno et al. 2018) су упоређивале ефикасност различитих техника за апликацију пестицида или одређивање најбољих експлоатационих параметара. Међутим, потребне су прецизне и ефикасне методологије за процену перформанси различитих техника за апликацију пестицида у погледу расподеле и количине пестицида који се депонује на циљану мету. Две основне методологије се користе за процену ефикасности апликације пестицида. Прва, квантификује депозицију без визуализације дистрибуције, користећи метале, трагаче (трејсере) и хранљиве материје (Biers et al., 1984; Sutton & Unrath, 1984; Saliari, 1988; Val Monterola et al., 1988), боје (Johnstone, 1977; Pergher et al., 1997; Saliari & Whitney, 1988; Haiden et al., 1990. Koch, 1993. Koch et al., 1996.) или активне састојке (Matuo, 1988. Smelt et al., 1993). Друга је заснована на визуализацији дистрибуције, без утврђивања количине депозита, користећи флуоресцентне пигменте под ултраљубичастим светлом (UV) (Staniland, 1959; Edwards et al., 1961; Pereira, 1967;

Sharp, 1974). Друга наведена метода, не узима у обзир варијације у површинском напрезању раствора који се, према Lefebvre (1993), сматра важном особином у величини капи и расподели на површини прскања. Флуоресцентни пигменти који се користе као трејсери нису растворљиви у води и захтевају додавање површинских активних материја које смањују површински напон раствора. Информације о ефикасности прскања треба да садрже податке о количини и расподели депозита на циљаној површини (Nordbi, 1989). Квантитативне анализе такође коришћене су за процену перформанси прскања, али овај метод одређује само количину депонованог производа, али не даје информације о дистрибуцији (Evans et al., 1994).

Почеци квантитативног одређивања дистрибуције распрскивача били су засновани на визуелној евалуацији флуоресцентних трејсера под UV лампом. Депозити на листовима биљке класификовани су од стране Palladini (1990) и Raetano (1996):

- степен 0 - нема депозита;
- степен 1 - површина која садржи трагове депозита;
- степен 2 - ниска депозиција на листу;
- степен 3 - блага депозиција на 1/3 листа;
- степен 4 - благо депоновање на листу;
- степен 5 - средњи депозит на пола листа;
- степен 6 - средња депозиција на листу;
- степен 7 - депозиција на 2/3 листа;
- степен 8 - висока депозиција на листу.

Уједначеност апликације пестицида оцењивана је индексом пенетрације прскања, који су дефинисали Palladini (1990) и Raetano (1996). Овај индекс мери однос између депозита распрскивача у унутрашњости и спољашности биљке у различитим положајима. Развој нове методе заснива се на директном мерењу депозита, тачније квантификацији количине депозита.

Због тога су методе које омогућавају истовремено одређивање расподеле и количине депозита боље ради оцене ефикасности третмана. Успостављање метода за квалитативну и квантитативну процену депозита приликом апликације пестицида помоћу трагачких супстанци (трејсера) укључивао је могућност прилагођавања површинског напона раствора како би се проценио ефекат различитих формулација пестицида на депозит (Palladino et al., 2005). Све супстанце за одређивање количине

депозита на циљаној површини припадају трејсерима, трагачима. Осим што се разликују у хемијском саставу, њихова битна карактеристика јесте различитост у начину детекције концентрације трејсера у раствору. Управо поменути аутор испробава различите формулације трејсера како би на прост, јефтин, брз и ефикасан начин, а опет довољно прецизан начин добио количину депозита пестицида на циљаној површини. Mendonça et al., (1999) и Costa, (1997) у својим радовима описују да су трејсер жуте боје прво постепено растварали у води, а затим додавали радној течности у одређеној концентрацији. Затим су након апликације пестицида сакупљали листове биљака и прали их у одређеној количини растварача. Флуоресценцију и абсорбанцу брилијантно плавог трејсера су одређивали уз помоћ спектрофлуорометра при таласним дужинама 630 nm. Paladini et al., (2005) су, између осталог, истраживали ниво деградације брилијантно плавог трејсера остављајући га на сунчевој светлости 2h, 4h и 8h. Добро познат недостатак трејсера јесте што је фото деградибилан и може дати погрешну слику о количини депозита. То је и доказано будући да се после 8h изложености сунцу код поменутог трејсера испољио одређени степен деградације до 20%. Када је коришћена мешавина жутог и плавог трејсера, утицај сунчевог зрачења није забележена. Мањи ниво деградације забележен је након 2h изложености директној сунчевој светлости. Треба нагласити да није дошло до усвајања трејсера од стране биљке. Serqueira et al. (2012) потврђује да је оцена квалитета апликације пестицида квантификацијом депозита алат за развој и побољшање технике примене пестицида и представља један од битних сегмената. Спроведени су различити лабораторијски тестови ради упоређивања метода за квантификацију депозита користећи различите трејсере (Brilliant Blue, бакарни и натријумови јони, Rhodamin B Tebukonazol) на различитим циљаним површинама. Приликом коришћења вештачких циљева као циљаних површина, били су ефикаснији у квантификацији депозита апликације, осим при коришћењу брилијантног плавог трејсера. Резултати су такође показали добру погодност за употребу бриљантне плаве боје, нарочито на природним циљаним површинама. Селекција и поузданост метода квантитативне анализе депозита апликације пестицида зависили су од циљне мете (природне или вештачке), трејсера и интеракције трејсер - површина. Свакако увек треба имати на уму да ће коришћење брилијантно плавог трејсера имати предност због изузетно лаке манипулације, јефтиног коришћења и ниских трошкова детекције.

Међутим, понашање вештачких циљева разликује се од понашања природних циљева. Као функција раста и развоја, природни циљеви кроз своје карактеристике могу бити варијабилни у односу на задржавање и пенетрацију млаза. Трајне супстанце, као што су минерални хелати (гвожђе, кобалт, бакар, манган, молибден и цинк), раде слично као и пестициди у сличним условима. Ови минерални хелати се користе као хортикултурно фолијарно ђубриво и стога њихова употреба у нормалним концентрацијама не оштећује усев (Nuyttens et al., 2004). Флуоресцентни пигменти у бојама за храну и пестициди су такође прилично практични за процену депозита пестицида. Iates и Akesson (1963) наводе да производ који се користи као трагачи морају да садрже особине као што су висока осетљивост на детекцију, способност да се брзо користе у квантитативној анализи, растворљивост када се дода мешавини пестицида, минималан физички ефекат на капљицу прскање и испаравање, различита својства која омогућују диференцијацију трагача од других супстанци. Осим тога, они морају бити стабилни, нетоксични и средњих трошкова за испитивање. Приликом избора трагача депозита Palladini et al. (2005) такође препоручује наведене карактеристике. Различите методе могу се користити за квантификовање трагача на циљним површинама. Palladini et al. (2005) су користили спектрофлуорометар да би детектовали трагач боје Brilliant Blue. Christovam et al. (2010) су користили атомску апсорпциону спектрофотометрију за квантификацију јона бакра, а Popp et al. (2010) су користили високо ефикасну течну хроматографију повезану са масеном спектрометријом, која омогућава одређивање и квантификацију хемијских једињења у растворима. Могу се користити и друге методе анализе. На пример, пламена фотометрија се може користити за мерење натријумових и калијумових јона (Bauer и Raetano, 2000), а може се користити и спектрофлуорометрија, која омогућава детекцију флуоресцентних супстанци као што је флуоресцентни трагач Rodamin B (Saliani и Whitnei, 1988). Иако се флуоресцентни трагачи или трејсери користе већ дуже од 50 година, забележен је мали број експеримената о утицају самих формулација пестицида (густина и вискозност) или спектра капљица. Стога је поменути аутор испитао ефекат трејсера на средњи запремински пречник (VMD), где трејсер има исти вискозитет, густину и формулацију као и пестицид на бази уља и воде. Додавање формулација трејсера на бази воде и уља није значајно променило VMD, вискозитет и густину. Резултати су показали да додавање трејсера на бази уља и воде значајно не мења особине формулација пестицида и спектар капљица и

највероватније не мења неконтролисано и ненамерно кретање капљица пестицида у околини (дрифт). Тестови изведени у пољским условима у којима су коришћени флуоресцентни тестери за мерење депозиције и дрифта пестицида, процену пенетрације и покривеност површине, наношење пестицида на различитим локацијама унутар запремине биљке и побољшање технике апликације пестицида су све напреднији. Предности флуоресцентних трејсера су у томе што се могу детектовати у малим количинама и безбедни су за употребу при квантификацији депозита и дрифта приликом процеса апликације пестицида одговарајућим техникама. Приликом избора трејсера потребно је размотрити фотодеградацију флуоресцената када су изложени сунчевом зрачењу. Постојало је значајно истраживање о фотодеградацији флуоресцентних трејсера и важно је разумети да се стопа деградације разликује између флуоресцентних супстанци. Још једна забринутост приликом одабира флуоресценције је његова осетљивост, с обзиром на то да стопа флуоресценције варира с типовима трејсера и растварачима. Флуоресцентна чврстоћа неких супстанци може бити различита у алкалним и киселим растворима. Међутим, доступно је мање информација о утицају рН раствора на услове при анализи флуоресцентних трејсера који се обично користе за процену ефикасности примене пестицида. Ово је важно зато што се током анализе флуоресцентна боја мора испирати са циљних површина раствором и морају се узети у обзир ефекти раствора на трејсер (Gombert et al. 2017; Zhu et al. 2005). Утицај рН раствора на флуоресцентни интензитет водорастворних трејсера испитиван је у покушају да се минимизирају аналитичке грешке приликом мерења депозита и дрифта пестицида. Пет различитих флуоресцентних трејсера растворљивих у води тестирани су под различитим условима рН раствора. Ових 5 трејсера су били: yellow 7, Eosin, Fluorescein, Piranin и Tinopal. За трејсере Piranin, Fluorescein и Tinopal растворљиве у води, на флуоресцентни интензитет утицали су услови рН раствора, смањујући се како је раствор постао киселији. Међутим, флуоресцентни интензитет жути 7 и Eosin остао је константан у односу на опсег тестираних рН вредности. Апсорпциони флуоресцентни коефицијент код свих трејсера има тенденцију да постане константан при рН нивоима већим од 8,43. За исте концентрације, флуоресцентни интензитет је значајно варирао са променом тестираног трејсера. Piranin, Fluorescein и Tinopal приказују већи флуоресцентни интензитет него жути 7 и Eosin у истим концентрацијама. Концентрација трејсера, међутим, није значајно утицала на брзину рекулперације

(регенерације) трејсера у условима разређеног рН раствора (Palladini et al. 2005; Christovam et al. 2010; Popp et al. 2010).

Са свим својим недостатцима, трејсери омогућавају јефтин и брз начин за одређивање депозита пестицида на циљану мету. Мерење депозита распрскивача представља квантификацију његових физичких карактеристика. Количина депозита у директној је корелацији са ефикасношћу заштите усева од корова, инсеката и штеточина. Само довољна количина депозита ће обезбедити заштиту животне средине и одрживост у пољопривредној производњи јер ће губици услед дрифта бити сведени на минимум.

## 2.2. Депозит пестицида измерен на усеву

Развој средстава за заштиту биља прате захтеви за побољшањем технике апликације пестицида (Anderson, 1948; Graham-Brice, 1977; Hall и Barri, 1995; Hellkvist, 1956; Matthevs, 1989). У најширем смислу, процес апликације пестицида покрива све од пестицида до биолошког ефекта пре него што се последњи молекул деградира (Ebert et al., 1999a; Ioung, 1986). Ако се ограничи апликација пестицида од момента третирања до биолошке ефикасности долази се до закључка да повећана доза нема за последицу већу ефикасност третмана. У литератури се наводе подаци да је повећана доза препарата која је лоше дистрибуирана мање ефикасна од редуковане дозе примене у случају униформне дистрибуције активне материје (Frick, 1970). Овај ефекат дистрибуције је препознат у неколико примена: хербициди (Hollі, 1952), фунгициди (Robinson и Garnet, 1984), инсектициди (Frick, 1970; Johnstone, 1973; Matthevs, 1973). Главни фокус који треба сагледати јесте утицај величине капљица, броја капљица, концентрације токсичности или норма примене.

Изведена су испитивања различите технике за апликацију пестицида приликом апликације хербицида глифосата коришћењем антидрифт распрскивача и ињекторских распрскивача попут модела Drift Guard, Turbo TeeJet, AI TeeJet, TurboDrop и класичног распрскивача са равним Т млазом. Нису утврђене значајне разлике у ретенцији млаза на *Amaranthus retroflexus* L или *Chenopodium album* L. Ефикасност је испитивана на зоби (*Avena sativa* L.), просо (*Panicum miliaceum* L.) и просо (*Setaria italica* (L.) P. Beauv.), али нису уврђене разлике између испитиваних распрскивача (Ramsdale и Messersmith, 2001). Апликација глифосата изведена је у *Xanthium strumarium* (L.) и *Brachiaria platiphilla* (Griseb.) коришћењем три типа

распрскивача (Delavan Raindrop Ultra RU, AI TeeJet и XR TeeJet) у две норме (50 и 100 l ha<sup>-1</sup>). Код оба корова, ињекторски AI распрскивач и антидрифт XR распрскивач су имали исту ефикасност која је била значајно већа од стандардног RU распрскивача. Највеће вредности VMD датих распрскивача измерене су за RU распрскивач а затим мање код AI и најмање код XR (Etheridge et al., 2001). У двогодишњем огледу за контролу пепелнице јабуке (*Podosphaera leucotricha*) и краставости јабуке (*Venturia inaequalis*) коришћени су различити фунгициди при чему је ефикасност повећана са смањењем величина капљица (опсег 90 - 140 μm) док је норма износила 50 –200 l ha<sup>-1</sup> (Cross и Bertie, 1995). Фунгициди су помешани са инсектицидима и оквашивачима у различитим комбинацијама, а третирање је извршено 12 пута током двогодишњег периода. Примењена норма је обрнуто пропорционална концентрацији пестицида што је веома битан моменат код наведеног огледа. Конвенционалним орошивачем изведена је апликација пестицида нормом од 613 l ha<sup>-1</sup> у односу на електростатички орошивач где је коришћена норма од 310 l ha<sup>-1</sup>. Електростатички орошивач је побољшао ефикасност авермектина и једног експерименталног акарицида, али није имао ефекта на три тестирана распрскивача (Tjosvold et al., 1996) против двоструких патуљастих гриња (*Tetranychus urticae*) на зеленим ружама. Резултати добијени приликом апликације пестицида у четири узгојне зоне Бразила ради контроле популације вируса нуклеополигедрозе гусенице пасуља (AgMNPV) су показали да ефикасност није била под утицајем промена типа распрскивача и то конус JD 10-1, конус JA 02, лепезасти антидрифт XR TeeJet 11002, двомлазни лепезасти TwinJet 11002 и одбојни двомлазни Turbo TeeJet TT 11003 (Silva и Moscardi, 2002).

Величина, број капљица и доза пестицида у лабораторијским, стакленичким и теренским огледима нису довеле до јасне корелације између распрскивача и ефикасности. Не постоји јасан образац који би омогућио да се утврди да смањењем величине капљица долази до повећане ефикасности (Ebert и dr., 1999a; Munthali и Scores, 1982; Volf and Dovner, 1998). Суштина је у факторима околне средине који формирају алтернативне закључке који су у супротности са наведеним истраживањима. Фактори околне средине изазивају дрифт, а тип распрскивача има функцију супротстављања (редуковања) негативним факторима спољашње средине. Дакле, потребно је разјаснити однос величина капљица и депозита. Депозит је уствари пестицид који је доспео на биљку (циљану површину) након чега су капљице које садрже пестицид утицале на штеточину, задржане или апсорбоване од стране циљане

мете. Тешко је директно утицати на депозит пестицида да би се створио модел дистрибуције пестицида типичан за распрскивач. Насупрот томе, капљицама се лако манипулише променом радног притиска или типа распрскивача или пак променом пестицида. Дакле, увек се ради о капљицама јер је то оно што се може променити иако је биолошки занимљивији депозит.

При било којој константној концентрацији пестицида, капљица садржи одређену количину пестицида. Капљица константног радијуса “ $r$ ” има специфичну запремину израчунату као  $\frac{4}{3} \pi r^3$ . Број ових капљица примењених на циљану површину резултираће одређеном количином пестицида по јединици површине. Генерално, доза је једнака суми свих димензија капљица ( $S$ ) за тачан број капљица ( $N$ ) које имају одређену запремину ( $V$ ), а чија је концентрација пестицида у свакој капи ( $C$ ):

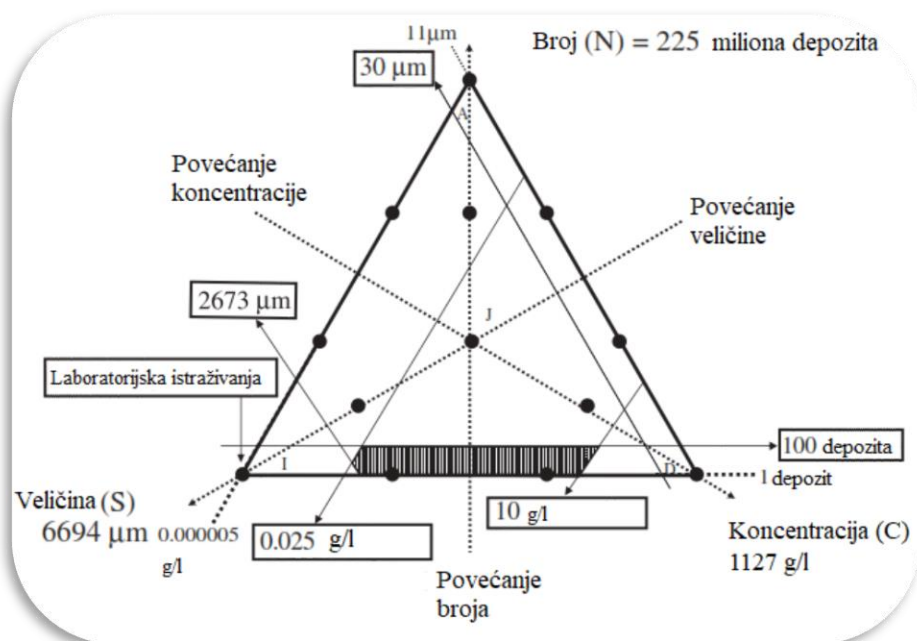
$$D = \sum_{s=0}^{\infty} \mu_m N_s V_s C_s \quad (1)$$

Сваки експеримент који мења величину капљица или концентрацију пестицида мора такође да промени неку другу варијаблу да задржи уравнотежену дозу. Ове варијабле су физички кодиране и захтевају експериментални дизајн који се бави кодираним варијаблама. Општи статистички приступ је модел смеше који је описао Cornell (1990). Корнелов модел претпоставља да су варијабле адитивне, а то се постиже узимањем логаритма обе стране наведене једначине. За рад са једначином за дозу може се претпоставити уједначена дистрибуција капљица и елиминисати сумарни знак. За моделирање биолошког ефекта наведена формула се може се преписати као:

$$y = \log(D) + \log(N) + \log(V) + \log(C) \quad (2)$$

Док наведена једначина изгледа као било који други однос погодан за факторијални експериментални дизајн, то ипак није случај. Иако је математички однос између варијабли линеаран, није елиминисан проблем да познавањем било које три независне варијабле у овом моделу омогућава израчунавање четврте варијабле. Ови фактори не могу бити ортогонални. У Cornellovom моделу мешавине,  $N$ ,  $V$  и  $C$  су варијабле смеше док је доза варијабла процеса. Принцип је сликовито приказао Ebert et al. (2006), (сл. 10).





Слика 10. Биолошки ефекти у функцији концентрације пестицида, величине и броја капљица (Timothy et al. 2006)

Садржина мешавине покрива већину могућих распона расподеле пестицида са леве стране наведене једначине. Затамњена површина је опсег тестиран за 2,4-D ефикасност на основу објављених опсега величине капљица, броја капљица и концентрације хербицида. Та површина процењује стварну пропорцију која је тестирана јер не узима у обзир разлике у испитаној дози.

У сваком случају, циљ је да се пестицид равномерно распореди (на свим просторним скалама) у испитном окружењу. Међутим, прскање усева има потенцијал да креира обрасце депозита било где унутар троугла приказаног на слици. Тако лабораторијски биотестови покушавају да процене целу површину која одговара анализама само у једној тачки. Стога, не би требало да буде изненађујуће када добри лабораторијски резултати не успевају да се преведу у добру ефикасност на пољу у реалним условима. Приликом упоредне анализе два типа распрскивача са две различите норме долази се до многих нелогичности. Да би се добила мања норма, мора се користити мањи радни притисак или чак други распрскивач мањег протока. То су две потпуно различите ствари и више не постоји фактор типа распрскивача већ и фактор норме и фактор притиска. Фактори норма и радни притисак иако су независно променљиви утичу на промену величине капљица. Оглед постаје хетероген јер се користи различит спектар капљица. Дакле, измерена биолошка ефикасност се доводи у питање јер су различити фактори утицали на ефикасност. Проблем се продубљује са количином депозита јер

ако се користе различити распрскивачи при мерењу депозита, величина капљица итекако игра значајну улогу. За разумевање физичких карактеристика распрскивача у овом случају није неопходно посебно знање из механике флуида јер се у овом почетном стадијуму примењују врло прости закони физике, а то је да ће већа кап бити тежа што имплицира да су њене физичке карактеристике потпуно другачије од ситне капљице. Овај проблем је врло је присутан у радовима различитих истраживача (Arnold et al., 1984a; Arnold et al., 1984b; Coates и Palumbo, 1997). Боља депозиција радне течности не значи аутоматски и повећану ефикасност што опет није разлог у количини депозита већ у физичким карактеристикама капљица које су доспеле на циљану површину (нпр. Holland et al., 1997; McKinlay, 1985). Ако је циљ истраживања да се процене различите технике апликације пестицида како би се омогућило пољопривредницима да одаберу најбољу тренутну методологију, онда су ова разматрања важна, (Velti et al., 1995), а факторски експериментални дизајн је адекватан (Holland et al., 1997; Reed и Smith, 2001).

Просторни дизајн је координатни систем на којем се може нацртати сваки могући третман. За факторске дизајне са једном варијаблом и променљивом просторни дизајн је раван док су две варијабле и променљива нацртане у коцки. Варијабле су ортогоналне или координатна раван која може бити ротирана да би били приказани ортогонално. Дизајн мешавине је различит, јер независне варијабле морају да се саберу у тотал:  $A + B + C = 100\%$  од укупног износа. Простор дизајна с две варијабле мешавине је линија од А до В, а одговор је површина изнад линије. Са три варијабле простор дизајна је троугао са променљивом нацртаном као контуре на троугластој равни. За разлику од факторског дизајна, дизајн мешавине је ограничен и немогуће је изаћи из тих граница. Варијабле мешавине нису ортогоналне и не могу се правити ортогонално. Дакле, ограничења просторног дизајна су непозната. Приказан пример на слици 10 је за пројектовање смеше са три варијабле. Минимални број капљица је једна. Теоретска минимална величина капљица је један молекул. Ова вредност се не користи јер се максимална вредност осталих варијабли израчунава помоћу минимума преосталих варијабли. Користећи теоретску минималну величину капљица долази се до резултата да је број капљица изузетно висок (реда величине  $10^{15}$  или више). Ebert et al. (2006) наводи да се произвољно одабере  $11\ \mu\text{m}$  као минимална величина капљица како би били покривени што већи начини примене пестицида. Али опсег капљица од 1 до  $2000\ \mu\text{m}$  забележен је за прскалице као реалан опсег (Dovner и Hall, 1994).

Одабрана је такође минимална концентрација пестицида и то је изабрана произвољно као  $0,000005 \text{ g l}^{-1}$ , што је испод минималне концентрације која се користи у било ком раду у прегледу литературе. Док је теоретска минимална концентрација недвосмислено близу нуле. Имајући у виду ове минималне вредности, максимуми су израчунати коришћењем фиксне укупне и минималне вредности друге две варијабле (Ebert et al., 1999a; Ebert et al., 1999b). Унутар овог оивиченог граничног простора, сива зона на слици 10 приказује део пројектног простора који је испитан у свим студијама о 2,4-D ефикасности на основу величине капљица и испитаних концентрација. Подручје тестирано за већину других пестицида је много мање од 2,4-D.

Већина навода литературе је истинита унутар граница троугла. Једна од тврдњи која се често сусреће је да количина пестицида коју задржавају листови биљке директно утиче на ефикасност што је полазна валидна претпоставка. Када је доза нула, нема ефекта. Када је ниво дозе изнад вредности нуле то представља почетак за израчунавање степена биолошке ефикасности. Међутим, када постоји довољна токсичност да би се постигао жељени биолошки ефекат уз 100 % ефикасност, дистрибуција пестицида одређује ефикасност. Велика концентрисана доза може изазвати некрозу листа (уништити, спалити део листа) и тиме учинити преосталу дозу недоступном. Експерименти где су коришћене високе норме са малом концентрацијом пестицида на циљаној површини указују на то да имају нижу ефикасност. У односу на мање норме, аутоматски се добијају веће дозе односно концентрација пестицида која се нашла на циљаној површини (Ebert и Derksen, 2004). Тешко је схватити како превести оптимални обим депозита у препоруку за пројектовање распрскивача. Потребно је развити модел који преводи количину депозита у својства прскалице: величину капљица, број капљица и брзину. Штавише, ако капљица падне на површину, она ће се проширити, а у случају водосензитивног папира, овај фактор ширења износи отприлике два пута (Ebert et al (2006). Тако ће депозит који створи капљица бити двоструко већи од пречника капљице. Међутим, запремина се повећава по кубу пречника. Количина пестицида ће се повећати по капи пропорционално томе колико је запремина капи већа. Стога ће концентрација пестицида ( $\text{g/cm}^{-1}$ ) бити већа у депозитима створеним из већих капљица. Експериментални пројекти за проучавање утицаја дистрибуције пестицида на ефикасност захтевају примену уједначених величина капљица. При томе се

подразумева да се морају користити исти распрскивачи по протоку при различитим притисцима, а не различити распрскивачи по протоку. То драстично мења ствар јер су капи код таквог распрскивача потпуно другачије дисперзије чију је основу дао Dohn (1998) што су касније наставили и потврдили Nuuyttens et al. (2007), Nuuyttens et al. (2009) и Minov et al. (2016). Потребна је процена укупне дозе и неке мере дисперзије те дозе преко третиране површине. Неки резултати указују да постоји међусобна зависност између дистрибуције депозита и ефикасности по овом принципу (Ebert и Derksen, 2004). Свакако да је примена пестицида сложени комплексан мултидисциплинарни процес. Дати приступ је потврдио још давно Hall (1985). Зато се у датим наводима литературе спомиње више варијабли почев од распрскивача као својствени тип физичких карактеристика, преко радног притиска и величине капљица. Пре било каквог биолошког мерења ефикасности мора бити тачно предвиђено на који начине ће сваки распрскивач реаговати при било каквој промени поменутих фактора. Разумевање биолошке ефикасности ће бити олакшано уколико се поменути параметри у потпуности разумеју. Морају се схватити физичке промене флуида који протиче кроз распрскивач константног протока под дејством одређеног насталог радног притиска. На тај начин ће се разумети касније како су ови третмани резултирали разликама у морталитету. Све варијабле које одређују количину примене (дозу) су комплексне: брзина кретања, број распрскивача по радном захвату, притисак, величина отвора распрскивача, вискозност и концентрација пестицида иако не изгледа као да су ове варијабле комплексне, може се променити брзина трактора без промене вискозности, или променити притисак без промене величине отвора распрскивача. Међутим, познато је да доза утиче на ефикасност (директно или индиректно), па је боље задржати сталну константну дозу (норму) и променити вискозност што резултује промену у брзини капљица и величини капљица. Да би се то компензовало, може се променити брзина трактора, или притисак или тип распрскивача - али ови фактори такође мењају величину капљица, број капљица и брзину. Могуће решење је приметити да брзина кретања утиче само на дезинтеграцију када брзина ствара ефекат додатне дезинтеграције радне течности од стране ваздуха, а то је само у случају када је брзина ваздуха довољно велика. Испод ове брзине, брзина кретања само мења број примењених капљица, али расподела величине тих капљица остаје непромењена. Дакле, чини се да промена брзине често има најмањи број кофундираних ефеката (Ebert et al. 2006).

Теоретски, смањењем радног притиска добиле би се крупније капљице које су мање дрифтабилне. Крупније капљице не би обезбедиле довољну покривеност циљане површине чиме би се смањила ефикасност пестицида. Мора се одабрати такав тип распрскивача који ће обезбедити мање дрифтабилне капљице, а да се број капљица не смањује не би ли се задржала добра покривеност и депозит на циљаној површини.

### 2.3. Ефикасност депозита распрскивача

Пенетрација пестицида у усев уско је повезана са ефикасношћу пестицида, посебно за контролу инсеката и гљивичних штеточина. Лоше уједначена апликација пестицида у листовима усева смањује ефикасност примене пестицида (Uk and Courshee, 1982; Wolf et al., 2000), што може да доведе до тога да пољопривредни произвођачи морају поново применити пестициде како би постигли адекватну контролу штеточина. Ефикасност хербицида након ницања је директно повезана са способношћу продирања (Knoche, 1994). Забринутост око наношења пестицида довела је до усвајања ињекторских и других типова распрскивача који настоје повећати величину капљица како би се тај ризик смањило (Ferguson et al., 2015). Величина капљица млаза је највећи фактор који утиче на депозицију пестицида на биљним културама (Hewitt, 1997) а капљице пречника мањих од 100  $\mu\text{m}$  имају највећу склоност ка дрифту (Grover et al., 1978; Vyass and Lake, 1977). Када је пречник капљице испод 200  $\mu\text{m}$ , депозиција је првенствено под утицајем атмосферских и турбулентних ефеката прскалице (Spillman, 1984), што често доводи до тога да се капљице ухвате у горњем делу биљке (Uk and Courshee, 1982). Пројекција објекта са већом масом под утицајем гравитације прави већи помак који би требао да се креће дубље (Spillman, 1984).

Велики број истраживања је испитивао покривеност и пенетрацију капљица са различитим типовима распрскивача (Knoche, 1994; Zhu et al., 2004; Derksen i dr., 2008; Hanna et al., 2009; Wolf и Daggupati, 2009). Резултати се генерално сврставају у две категорије: мање капљице продиру боље (Knoche, 1994; Wolf и Daggupati, 2009), или мање капљице не продиру боље од великих капљица (Zhu et al., 2004; Derksen et al., 2008; Hanna et al., 2009). Наведена истраживања су обављена пре него што су се развили ињекторски типови распрскивача (Knoche et al. 1994). Wolf и Daggupati (2009) су уочили побољшану пенетрацију у доњим деловима биљке коришћењем

распрскивача са финим и средњим капљицама. Распрскивачи испитивани у тој студији су класификовани као распрскивачи са финим, средњим и крупним капима. Hanna et al. (2009) упоређивали су fine, средње и грубе капљице распрскивача за прскање на три висине у биљној маси биљке, али за разлику од Wolf-a и Daggupati-ja (2009), нису приметили разлику у величини капљица и продирању или покривању листова. До истоветних резултата дошли су и Derksen и сар. (2008). Њихова истраживања показују да распрскивачи за фину дезинтеграцију радне течности имају мање депозите пестицида у поређењу са распрскивачима са крупнијим капљицама. Норма примене утиче на ефикасност одређених пестицида. У неким случајевима, мања норма може повећати покривеност и ефикасност (Fritz et al., 2005, 2007). У 56% студија смањењем количине примењене норме довело је до побољшања или нема ефекта на ефикасност хербицида, Knoche (1994). Ово је у сагласности са другим студијама (McMullan, 1995; Etheridge и др., 2001; Ramsdale и Messersmith, 2001), спроведеним након 1994. године (Wolf and Daggupati, 2009). Релативно мало студија је истраживало утицај типа распрскивача и величине капљица на брзину депозита млаза и продирање код житарица коришћењем распрскивача истог капацитета и радног притиска.

Ferguson et al. (2016) у спроведеним истраживања приликом испитивања депозита у јечму закључује да је величина капљица важан фактор који утиче на наношење пестицида и продирање у већини примена. Уочено је да се са оптималним избором распрскивача може изабрати распрскивач за квалитет прскања који смањује потенцијални дрефт и остварује максималну покривеност. Норма примене утицала је на покривеност, али је постојала мања корелација са ефектима смањења норме на густину броја капљица која зависи од распрскивача.

Пољопривредни произвођачи треба да размотре типове распрскивача који обезбеђују адекватну покривеност и довољна својства редукције струјања. У циљу повећања ефикасности и смањења дрефта млаза, дизајнирани су нови типови распрскивача са нагласком на побољшану контролу величине капљица. Тестови спроведени са распрскивачима који су са умирујућим коморама и ињекторским системом бележе најуспешнију апликацију (Wolf, 2004). Технологија ваздушне подршке или нека врста штита или покрова је такође опција која се користи за превазилажење струјања ваздуха и турбуленција које се стварају око распрскивача током прскања.

Основни тип распрскивача јесте распрскивач са равним млазом облика обрнутог слова Т. Други назив му је Т распрскивач или класични распрскивач, (сл. 11.) Поменути тип распрскивача одликују две битне карактеристике, а то су низак радни притисак и капљице малих димензија. Препоручени радни притисак за ове распрскиваче се креће од 1,5 bar до 3 bar. Препоручује се строго поштовање радног притиска јер у супротном долази до великог дрифта. Формирају се капи које су средње величине или ситне. То су капљице величине од 177 до 218  $\mu\text{m}$  при притиску до 1 bar или 1,5 bar. Већ при притиску до 3 bar, величина капљица је мања од 177  $\mu\text{m}$ . При радним притисцима већим од 3 bar, средњи запремински пречник се налази у опсегу од 136  $\mu\text{m}$  до 177  $\mu\text{m}$ . Код неких произвођача средњи запремински пречник овог типа распрскивача износи тек око 50  $\mu\text{m}$ . (De Cock et al. 2016).



Слика 11. Т – распрскивач произвођача Arag ASJ

Највећи проблем код ових распрскивача представља велики дрифт потенцијал. Резултат тога јесте проналажење побољшаног решења распрскивача са редукованим дрифтом. Такав распрскивач је истог облика и конструкције као и класичан распрскивач са равним млазом али је средњи запремински пречник код овог распрскивача нешто већи. У циљу редукације дрифт потенцијала, средњи запремински пречник код овог типа се креће од 136  $\mu\text{m}$  до 349  $\mu\text{m}$  и спада у групу ситних, средњих и крупних капљица (De Cock et al. 2016).

Потреба за већим брзинама кретања, већа обрадива површина и апликација пестицида у условима појачаног ветра, брзине преко 3 m/s, довела је до развоја ињекторских типова распрскивача. Њихова главна карактеристика јесу крупне капљице, а препорука произвођача је да радни притисак буде од 1,5 bar до чак 8 bar што до скоро није било случај ни са једним типом распрскивача. Ињекторски тип распрскивача за

разлику од Т распрскивача има другачији концепт дезинтеграције радне течности. Пре изласка из отвора распрскивача долази до мешања радне течности са спољним ваздухом чиме се формирају мехурићи ваздуха и радне течности, (сл. 12.) Формирани мехурићи се састоје од много ситних капљица али их облик чини тежим и већим те је редукација дрифта могућа за чак 90 %. Овакав тип распрскивача је направио револуцију у начину апликације пестицида и омогућио пољопривредним произвођачима да изводе апликацију пестицида када је влажност ваздуха мања од 40 %, интензитет ветра од 3 m/s до 7 m/s, а температура ваздуха до 30 °C. Разлог је крупноћа капљица за коју је потребно више времена деловања неповољних временских прилика како би се смањила ефикасност апликације пестицида. Средњи запремински пречник се креће од 218  $\mu\text{m}$  при притисцима од чак 8 bar. Међутим он рапидно расте при притисцима од 5 bar где је око 349  $\mu\text{m}$ . При притисцима до 3 bar, средњи запремински пречник достиже вредност од 622  $\mu\text{m}$  што спада у групу екстремно крупних капљица



Слика 12. Ињекторски тип распрскивача произвођача Arag ASJ типа CFA - T

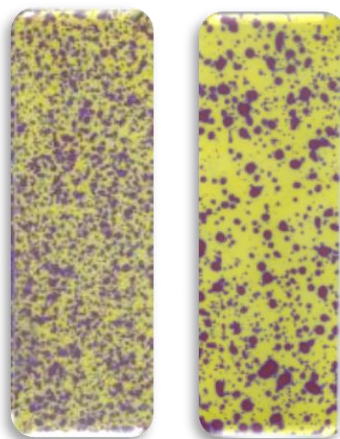
Распрскивачима Т типа и ињекторским распрскивачима, главни захтеви за ефикасну апликацију пестицида нису задовољени. Са једне стране може се остварити савршена покривеност циљане површине уз помоћ класичних Т распрскивача али то није могуће реализовати услед дрифта. Дрифт ће смањити количину препарата на циљаној површини, онемогућити добру покривеност и изазвати брзо испаравање радне течности. Са друге стране, коришћењем ињекторских распрскивача проблем са количином препарата на циљаној површини је решен али покривеност површине је мала. Дуплим повећањем радног притиска ће довести до драстичног повећања броја капљица и то до 8 пута а њихов средњи запремински пречник ће бити преполовљен.



Већи број капљица значи бољу покривеност циљане површине. Ови недостаци су отклоњени са новим побољшаним типовима распрскивача (De Cock et al. 2016).

### 2.3.1. Побољшани типови распрскивача

Њихова улога је да остваре све захтеве за ефикасну апликацију пестицида. Суштински њихова главна карактеристика је да имају велику редукцију дрифта што значи крупне капљице (веома, крупне, екстремно крупне). Међутим исти тај распрскивач мора имати довољно ситне капљице (средње и крупне) да би се остварила одлична покривеност не би ли ефикасност апликације остала на високом нивоу. Довољна покривеност не подразумева само ситне капљице већ укључује и довољну количину препарата дистрибуирану на циљану површину. Покривеност површине је битна тема из два разлога. Први разлог је што код вертикално постављеног млаза долази до дистрибуције радне течности на делове биљке који су ближи распрскивачу док то није случај са деловима који су даље од распрскивача. Иста количина течности у зависности од величина капљица може покрити до 8 пута већу површину због значајно већег броја капљица. Покривеност са истом нормом прскања, а различитим распрскивачем и средњим запреминским пречником приказана је на (сл. 13.)



Слика 13. Утицај величине капљице на покривеност са истом нормом третирања (Kvantifikacija distribucije depozita rasprskivača pri aplikaciji pesticida primenom sistema nested design i fluorescentnih tragača; Višacki, V; 2021)

Још једна карактеристика код апликације пестицида везује се за густину усева. Код густих усева продирање радне течности у ниже слојеве је отежано посебно када се ради о једномлазним распрскивачима. То је захтевало хитно побољшање што је и

урађено са повећањем броја млазева распрскивача. Уместо једног, распрскивачи могу имати два па чак и три млаза. Остaje исти, а укупна количина течности која се дезинтегрисала на једном отвору, сада то ради на два или три отвора. Сходно истом протоку, излазни отвори су мањи. Кроз мање излазне отворе излази упола или троструко мања количина течности те је средњи запремински пречник код ових распрскивача скоро двоструко мањи него код једномлазних распрскивача. Двомлазни и тромлазни распрскивачи у почетку нису донели револуцију јер ситније капи су само повећале дрифт потенцијал. При најнижем притиску од 1 bar, средњи запремински пречник не прелази 177  $\mu\text{m}$ , а већ при радном притиску од 3 bar, капљице имају пречник мањи од 136  $\mu\text{m}$ . Како би се умањио дрифт потенцијал, уведени су Т распрскивачи са двоструким млазем и редукованим дрифт потенцијалом (тзв. антидрфт). Захваљујући додатој комори за умирење течности, пре изласка кроз отвор распрскивача, дрифт потенцијал је смањен будући да су капљице величине 349  $\mu\text{m}$  до 622  $\mu\text{m}$ . Гледано на симетралу дебљине распрскивача, млазеви су постављени под углом од 15° у односу на вертикалу ка напред и назад. Друга њихова карактеристика је што константно задржавају величину капљица при повећању притиска од 4 бар до 8 бар што их разликује од осталих распрскивача.

Још једна варијација распрскивача са два млаза је ињекторски распрскивач са двоструким млазом, (сл. 14.) Млазеви су гледано на симетралу дебљине распрскивача постављени под углом од 15° или 30°. Карактерише их додатна комора за мешање са ваздухом која може бити вишеструко веће запремине него код једномлазних ињекторских распрскивача и стабилан спектар капи на притисцима већим од 3 bar (De Cock et al. 2016).



Слика 14. Ињекторски распрскивачи са два млаза произвођача Arag ASJ

### 3. ЗАДАТАК И ЦИЉ РАДА

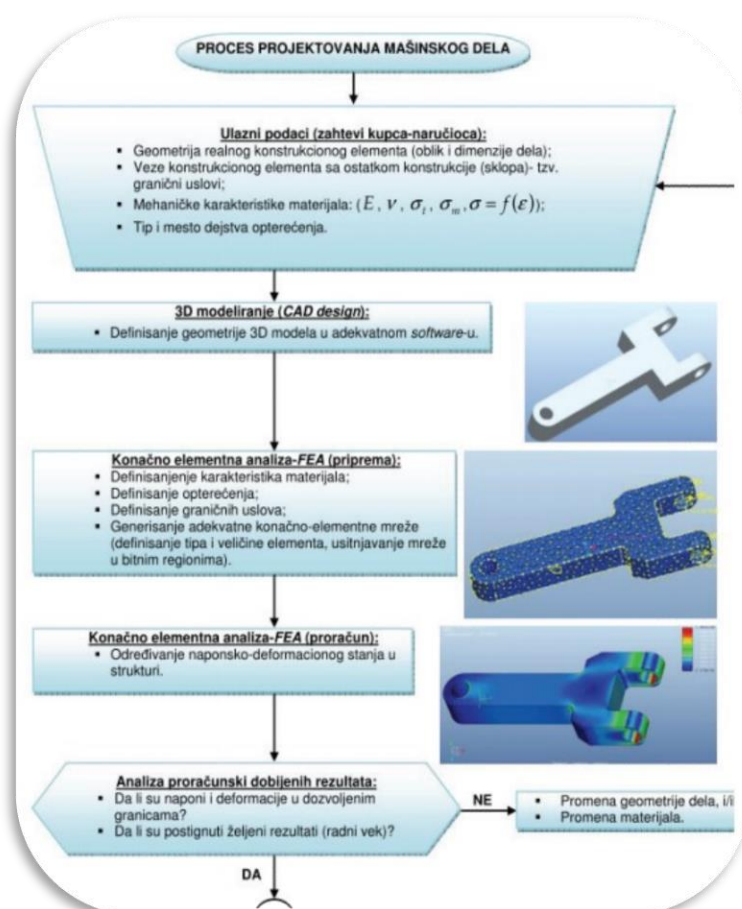
Због све веће неконтролисане употребе пестицида који имају негативан утицај на животну околинду и сва жива бића неопходно је што је рационалније могуће користити заштитна средства те смањити овај негативан утицај и загађење животне средине. Из тог разлога у лабораторији за контролу технике за апликацију пестицида у оквиру Департамана за пољопривредну технику је пројектована прскалица која ће се користити за испитивање утицаја радних параметара на распрскиваче, крајње елементе сваке машине за апликацију пестицида.

Радни параметри које је могуће дефинисати при раду ове прскалице у потпуности одговарају радним параметрима који су присутни код рада прскалице у пољу, а то су радни притисак, брзина кретања, норма третирања. Помоћу новопроектване лабораторијске прскалице могуће је симулирати у контролисаним условима све радне параметре и увидети њихов утицај било позитиван или негативан на завршне елементе односно распрскиваче. На основу резултата симулације добићемо увид у то који тип распрскивача је потребно користити у одређеним условима експлоатације машина за заштиту биља. Такође, на основу добијених резултата из лабораторијских тестирања ће се формирати препоруке корисницима који тип распрскивача је неопходно користити у одређеним културама, и временским условима како би негативан утицај на руковаоца и животну средину био елиминисан или сведен на минимум.

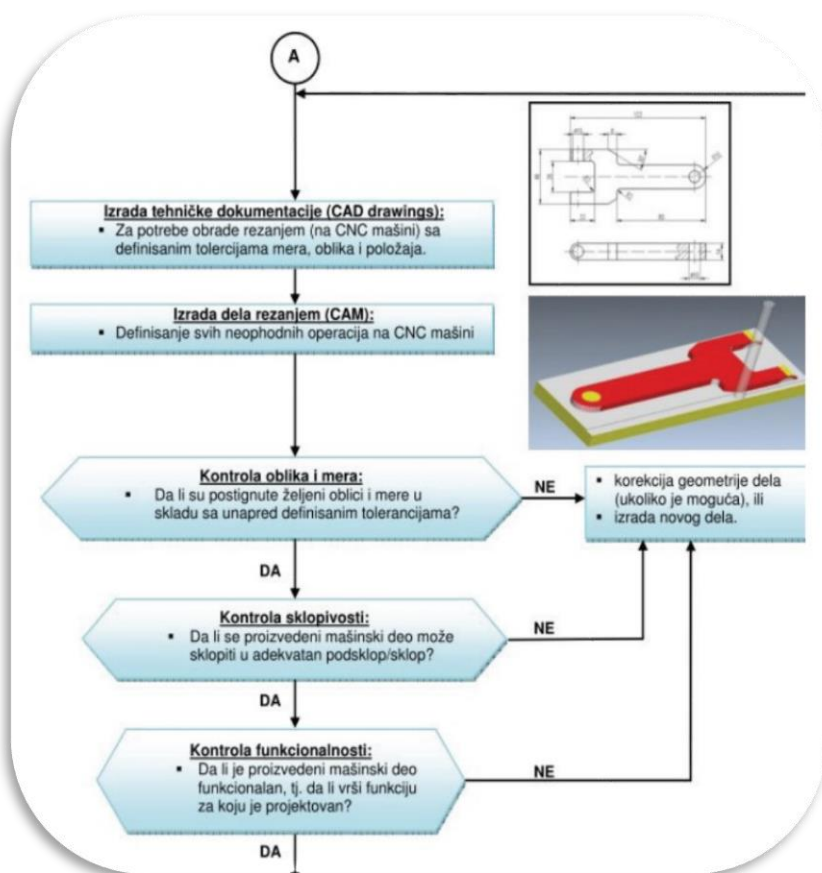
## 4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

У склопу лабораторије за контролу технике за апликацију пестицида (ЛТАР) која је део Департмана за пољопривредну технику, Пољопривредног факултета, Универзитета у Новом Саду је разрађено идејно решење лабораторијске прскалице за апликацију пестицида у затвореном простору. Након разраде идејног решења приступило се конструисању односно дизајнирању саме лабораторијске прскалице, којој је додељен назив „Lab SprayTech“.

Само конструисање, односно дизајнирање опреме је одрађено у *Autodesk Inventor* програмском пакету компаније *Autodesk* који је намењен првенствено за 3Д параметарско моделирање и дизајн појединачних делова, подсклопова и склопова, али поред тога у њему је могуће правити и 2Д цртеже (скице), комплетну техничку документацију, путање и програме за машинску обраду делова „САМ“ модул, различите анализе динамичког и статичког оптерећења и још много тога. На (сл. 15.) је приказан алгоритам који се користи у процесу пројектовања машинског дела.



Слика 15 а) Алгоритам у процесу пројектовања машинског дела

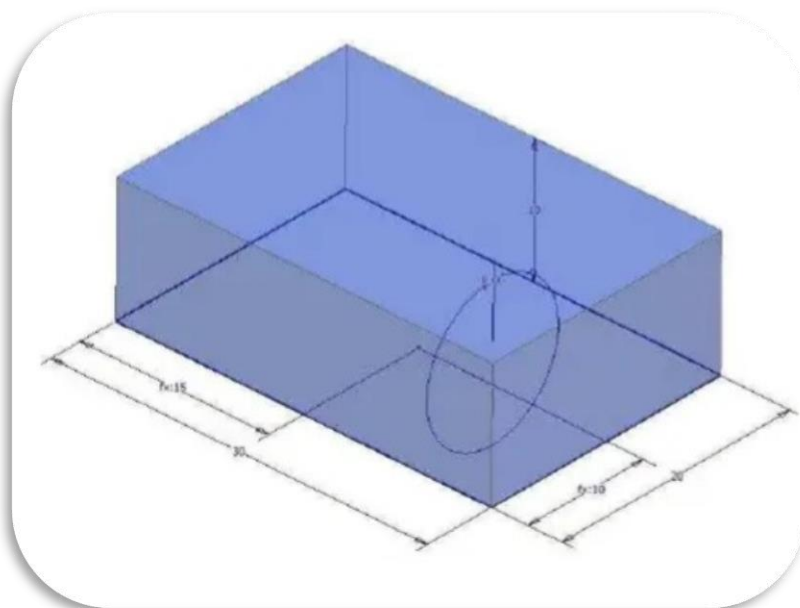


Слика 15 б) Алгоритам у процесу пројектовања машинског дела

#### 4.1.Радно окружење програма

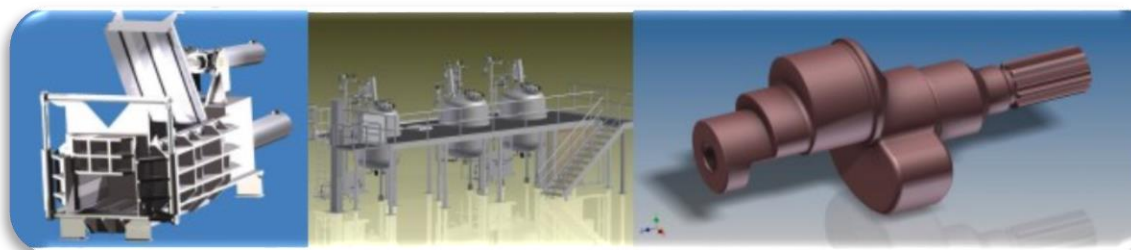
*Autodesk Inventor* је софтверски производ компаније *Autodesk* која је најпознатија по свом програму *AutoCAD*. *Inventor* је намењен пре свега потребама пројектовања у области машинства. За разлику од *AutoCAD*-а, *inventor* је програм за параметарско, запреминско (солид) моделирање машинских делова и склопова. Осим моделирања делова он омогућава и генерисање техничке документације, а новије верзије програма омогућавају и различита израчунавања и симулације. Параметарско моделирање омогућава да се геометријски модел може описати скупом геометријских и димензионих параметара. Параметри представљају променљиве величине и својим тренутним вредностима потпуно описују геометрију дела. Геометријски параметри су геометријска ограничења на моделу: паралелност, нормалност, итд., а дименциони параметри су димензије модела: дужине, пречници, радијуси, углови итд. На (сл. 16.)

приказана је призма која је параметарски описана димензионим параметрима дужина (30 mm), ширина (20 mm) и висина призме (10 mm).



Слика 16. Параметарски опис модела

На (сл. 17.) су приказани одређени примери примене Аутодеск Инвентор програмског пакета.

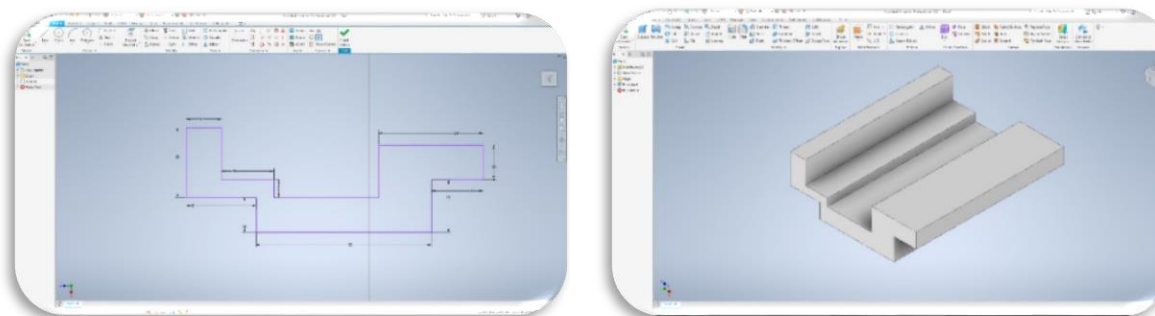


Слика 17. Примери примене конструисања помоћу CAD софтвера *Autodesk Inventor*

Код тродимензионалног конструисања будући производ и његови саставни делови креирају се, приказују и памте као просторни (запремински) објекти, што они у стварности и јесу. Дводимензионални приказ, има просторни карактер објекта коришћењем општих правила, као што су пројекције, пресеци итд. Тродимензионални, 3Д приказ има велику предност поготово код примене рачунара у процесу конструисања. Такав објекат поседује све информације потребне за израду, прорачун и анализу, симулацију и контролу. Реалан изглед модела пружа посебну погодност и за индустријски дизајн. Цртеж се добија на аутоматизован начин на основу добијеног 3Д модела. Сл. 18 под а) приказује графичку позадину *Autodesk*

*Inventor* софтвера где се види радни простор за стварање 2Д скице, односно профила.

Сл. 18 под б) приказује позадину за стварање 3Д модела.



а)

б)

Слика 18. Радно окружење програма за 2D 18 а) и 3D 18 б)

*Autodesk Inventor* користи шест основних радних модула (радних простора) и то:

- **Part Feature** модул – у којем се врши моделирање делова, а за разлику од AutoCAD-а и по угледу на *Mechanical desktop* проширен је и на склопове и постоји могућност ограничавања и дефинисања новог дела између делова у склопу,
- **Sheet Metal** модул – у оквиру овог модула могуће је дизајнирање делова од лима, и могућ је приказ развијене површине делова од лима,
- **Assembly** модул – у којем се врши склапање појединих делова и склопова,
- **Weldment** модул – који служи за моделирање заварених конструкција,
- **Presentation** модул – у којем се врши презентација начина склапања делова и путања по којима се то склапање изводи, али и могућност анимације презентације, односно визуализација рада и њено снимање у одговарајућем видео формату (\*.avi),
- **Drawing Manager** модул – у којем се врши техничка разрада цртежа делова и склопова, са свим потребним детаљима, укључујући и датотеке саставница по већини стандарда.

У програму је могуће користити неколико националних стандарда, као што су *ANSI*, *DIN*, *GOST* поред којих је дат још и *ISO* стандард.

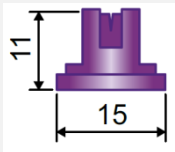
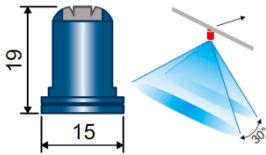
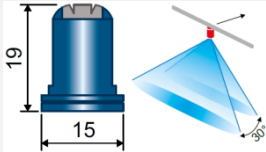
*Autodesk Inventor* омогућује једноставно склапање више делова у једну целину, односно у под склопове и склопове. Котирање је аутоматизовано и параметарско, што

значи променом димензија модела мења се и конструкцијска документација везана за измењени део.

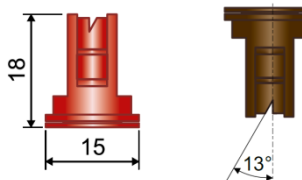
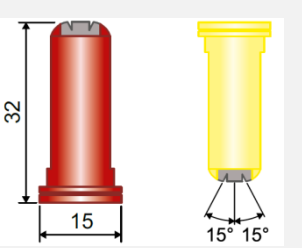
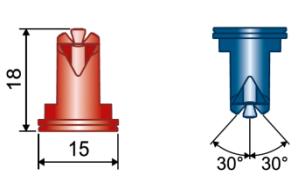
#### 4.2. Информације о коришћеним распрскивачима и методологији извођења лабораторијских огледа

За потребе анализе утицаја радних параметара прскања на рад распрскивача, коришћени су распрскивачи приказани у таб 1.

Таб. 1. Коришћени распрскивачи у огледу.

Р. б.	Назив Распрскивача	Опис	Слика
1.	Распрскивач са равним млазом, <i>Wide range</i> , раван млаз, 110°, 1,2 l/min	Распрскивач са равним млазом захватног угла од 110°. Промена притиска не доводи до велике промене у величини капљица. Тело испитиваног распрскивача је дуже од класичног распрскивача, радни притисак од 1 до 3 bar, капљице fine и средње величине, 136 μm - 177 μm, 177 μm - 218 μm.	
2.	Распрскивач са два равна млаза, <i>Twin fan</i> стандард, двоструки раван млаз 110°, 1,2 l/min	Распрскивач са два равна лезаста млаза захватног угла од 110°. Угао између млазева је 30°, а од вертикале 15°, тело дизне је дуже од класичног распрскивача како би млаз био уједначенији, радни притисак од 1,5 до 3 bar, капљице су крупне 218 μm - 349 μm.	
3.	Распрскивач са два равна млаза смањеног дрифта, <i>Twin fan low drift</i> , двоструки раван млаз, 110°, 1,2 l/min	Распрскивач са два равна лезаста млаза са смањеним дрифтом, редукијом дрифта, захватног угла од 110°. Угао између млазева је 30°, а од вертикале 15°, тело дизне је дуже од класичног распрскивача и поседује комору за умирење капи, радни притисак од 2 до 5 bar, величина капљица: веома	



4.	<p>Ињекторски распрскивач са равним млазом, <i>Compact fan air</i>, 110°, 1,2 l/min</p>	<p>крупне и екстремно крупне, 349 <math>\mu\text{m}</math> - 428 <math>\mu\text{m}</math>, 428 <math>\mu\text{m}</math> - 622 <math>\mu\text{m}</math>.</p> <p>Ињекторски распрскивач са једним лепезастим млазом захватног угла од 110°. Млаз није вертикалан већ заротиран за 13° у односу на попречни пресек (вертикалну раван). Тело краће од класичног ињекторског распрскивача, радни притисак од 3 bar до 8 bar, капљице: крупне и веома крупне, 218 <math>\mu\text{m}</math> - 349 <math>\mu\text{m}</math> и 349 <math>\mu\text{m}</math> - 428 <math>\mu\text{m}</math>.</p>	
5.	<p>Ињекторски распрскивач са два равна млаза 30°</p>	<p>Ињекторски распрскивач са два равна млаза захватног угла од 110°. Угао између млазева је 30° односно закошен у односу на вертикалу попречног пресека (вертикалну раван). Тело је више издужено у односу на остале распрскиваче. Радни притисак је од 4 bar до 8 bar, капљице: веома крупне и екстремно крупне, 349 <math>\mu\text{m}</math> - 428 <math>\mu\text{m}</math> и 428 <math>\mu\text{m}</math> - 622 <math>\mu\text{m}</math>.</p>	
6.	<p>Ињекторски распрскивач са два равна млаза 60°</p>	<p>Ињекторски распрскивач са два равна млаза захватног угла од 110°. Угао између млазева је 60° односно по 30° закошен у односу на вертикалу попречног пресека. Тело је више издужено у односу на остале распрскиваче. Радни притисак је од 4 bar до 8 bar, капљице: средње и крупне 177 <math>\mu\text{m}</math> - 218 <math>\mu\text{m}</math> и 218 <math>\mu\text{m}</math> - 349 <math>\mu\text{m}</math>.</p>	

7.

Ињекторски распрскивач са два млаза *Turbo Drop Hi Speed* 10° - 50°

Ињекторски распрскивач са два равна млаза захватног угла од 110°. Дизајниран за веће радне брзине. Млазеви су асиметрично закошени за 10° односно 50° у односу на вертикалну раван. Тело карактерише две засебне целине, у јединственом адаптеру се налази ињектор и зона за умирење, радни притисак од 4 bar до 8 bar, капљице: средње крупне и веома крупне, 218 μm - 349 μm и 349 μm - 428 μm.



8.

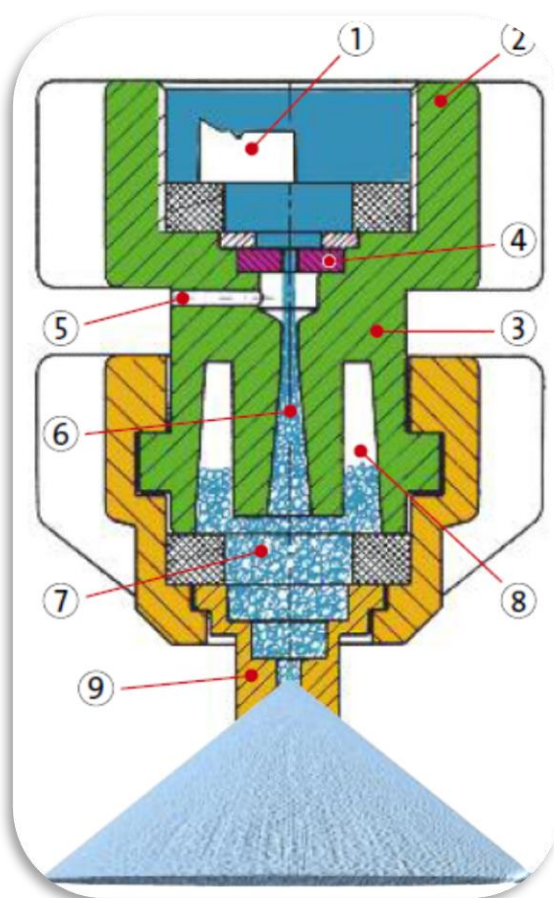
Ињекторски распрскивач са два додата распрскивача *Turbo Drop* 10° - 50°

Ињекторски распрскивач са два равна млаза захватног угла од 110°. Дизајниран за веће радне брзине. Млазеви су асиметрично закошени за 10° односно 50° у односу на вертикалну раван. Тело карактерише две засебне целине, у јединственом адаптеру се налази ињектор и зона за умирење, радни притисак од 2 bar до 4 bar, капљице: средње крупне и веома крупне, 218 μm - 349 μm и 349 μm - 428 μm.



У односу на наведене типове распрскивача, TurboDrop распрскивач је другачији по конструкцији и начину дезинтеграције млаза. TurboDrop распрскивач је састављен из два дела (сл. 19). Први је ињекторски део (3) који поседује стандардни прикључак за носач распрскивача (2). Овај прикључак је у складу са димензијама стандардних капа за прикопчавање на носаче распрскивача (1). Већина распрскивача данас користи овај стандардизовани систем прикопчавања. Дозирни отвор (4) ињектора, који може бити од пластике или полимера, у зависности од верзије, контролише проток течности. Усисава млаз у ињектор, повлачећи ваздух кроз отвор за усисавања (5). У комори за мешање (6) се ваздух и течност фино мешају. Турбуленције које се јављају у овом процесу су смањене у таложној, умирујућој зони (7). Пулсације распрскивача

ублажене су у прстенастој комори за ваздух (8). Углавном хомогена течна – ваздушна смеша дистрибуира се кроз излазни или дистрибуциони распрскивач (9), која може бити различитог облика попут слова – Т, шупљег отвора, одбојног типа, асиметричан или са више млазева. Капацитет се одређује радним притиском на калибрационом отвору (4) у ињектору. Распрскивач на излазу (9) не утиче на капацитет млазнице. Однос између отвора и распрскивача утиче на величину капљица (VMD) али не на капацитет. Формирани млаз је такав да средишњи део млаза чине ситније капљице, а спољашњи део млаза чине крупније капљице како би се редуковала могућа појава дрифта.



Слика 19. Попречни пресек TurboDrop распрскивача

За мерење утицаја, радног притиска, брзине кретања и осталих параметара прскања на рад распрскивача анализирани су стандарди приказани у (таб 2.)

Таб. 2. Стандарди анализирани приликом мерења униформности дистрибуције и депозита распрскивача.

р.б.	Стандард	Напомена
1.	ISO 10625:2018 <i>Equipment for crop protection — Sprayer nozzles — Colour coding for identification</i>	Коришћене стандардизоване компоненте, елементи и склопови.
2.	ISO/TS 11356:2011 <i>Crop protection equipment — Traceability — Spray parameter recording</i>	Начин праћења рада прскалице.
3.	ISO 16119-1:2013 <i>Agricultural and forestry machinery — Environmental requirements for sprayers — Part 1: General; Part 2: Horizontal boom sprayers</i>	Коришћен за мерење униформности дистрибуције.
4.	ISO 16122-1:2015 <i>Agricultural and forestry machinery — Inspection of sprayers in use — Part 1: General; Part 2: Horizontal boom sprayers</i>	Коришћен за мерење униформности дистрибуције.
5.	ISO 19732:2007 <i>Equipment for crop protection — Sprayer filters — Colour coding for identification</i>	Коришћене стандардизоване компоненте, елементи и склопови.
6.	ISO 22369-1:2006 <i>Crop protection equipment — Drift classification of spraying equipment — Part 1: Classes; Part 2: Classification of field crop sprayers by field measurements</i>	Делимично коришћен стандард;
7.	ISO 22866:2005 <i>Equipment for crop protection — Methods for field measurement of spray drift; Part 2: Measurement in a crop</i>	Делимично коришћен стандард;
8.	ISO 5682-1:2017 <i>Equipment for crop protection — Spraying equipment — Part 1: Test methods for sprayer nozzles; Part 2: Test methods to assess the horizontal transverse distribution for hydraulic sprayers; Part 3: Test method to assess the performance of volume/area adjustment systems</i>	Испитивање спроведено у складу са међународним стандардима и важећим стандардима на националном нивоу.
9.	Регулатива Европског парламента и Савета бр. 1107/2009/ЕС која се односи на стављање у промет средстава за заштиту биља и којом су укинута Директиве Европског савета бр. 91/414/ЕЕС и бр. 79/117/ЕЕС	
10.	Директива Европског парламента и Савета бр. 2009/128/ЕС за успостављање оквира ЕУ ради достизања одрживе примене пестицида.	
11.	Директива Европског парламента и Савета бр. 2009/127/ЕС којом је замењена Директива бр. 2006/42/ЕС која се односи на уређаје за примену пестицида.	
12.	Регулатива Европског парламента и Савета бр. 1185/2009/ЕС која се односи на статистику у области пестицида	

Депозит распрскивача квантификован је коришћењем трејсера (трагача) и одређен је приликом испитивања. Концентрација трејсера од 0,5 % коришћена је у свим испитивањима да би се елиминисала могућност додатне грешке приликом прорачуна депозита пестицида на одређену величину циљане мете. Тестирање је обухватило свих 5 распрскивача (WR, CFA, CFA - T, TFLD, TFS) који су били постављени на триплекс носачу. Радни притисак подешаван је у распону од 2 bar до 4 bar са кораком од 1 bar. При брзини кретања агрегата од 8 km/h и радним притисцима од 2 bar, 3 bar, и 4 bar постигнуте су норме третирања од 160 l/ha, 200 l/ha, и 250 l/ha. Након мерења абсорбанце у спектрофотометру, израчуната је концентрација трејсера на локацији узорковања. Узорковање је изведено у 5 понављања са 3 висине, доњи део, средина и горњи (вршни) део усева. У наредном тексту биће наведени резултати, с напоменом да су сва места узимања узорка у табелама наведени као средња вредност понављања за појединачне норме третирања. У наставку табеле дати су односи депозита распрскивача посматрано у поређењу са стандардним распрскивачем, ознаке WR. Приказане су апсолутне вредности и одступање од депозита распрскивача WR. Узета је највиша средња вредност депозита при датим експлоатационим параметрима рада. Разлог стављања овог распрскивача за поређење са другим је чињеница да се овај распрскивач користи најчешће у пракси. Пре више година, овај распрскивач је био једини тип распрскивача који се користио док се није појавио ињекторски распрскивач са једним млазом (Ђукић et al, 2004 a,b).

Такође, потребно је напоменути да вредности у табелама представљају процентуалну количину препарата која је доспела до циљане мете у односу на дату дозу и норму. Уколико је норма 160 l/ha онда је на циљану површину требало да доспе одређена количина у ppm у зависности од величине те циљане површине.

Третирање је изведено у оптималним условима за извођење апликације пестицида у пшеници.

Биљке пшенице су узгојене у просторијама лабораторије за контролу технике за апликацију пестицида (LТАР), коришћењем хидропоније и специјализованих лампи за ницање, раст и развој. (сл. 20).



Слика 20. Пшеница узгајана у лабораторији за контролу технике за апликацију пестицида (LTP)

## 5. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА СА ДИСКУСИЈОМ

### 5.1. Карактеристике лабораторијске прскалице „Lab SprayTech“

Као резултат рада, који подразумева фазе развоја од дефинисања идеје и техничко – технолошких карактеристика прскалице па до прављења исте, дошло се до израде лабораторијске прскалице која одговара потребама спровођења огледа у контролисаним условима.

Сама лабораторијска прскалица се састоји од следећих компоненти:

- Подвоз прскалице - статични део (алуминијумске мердевине – шине) укупне дужине 6.000 mm. (слика 22, поз. 1; 2)
- „L“ профил – усмеривачи - вођице покретног дела прскалице. (сл. 22, поз. 4)
- Конструкција прскалице – покретни део (израђена од правоугаоних цеви 40 x 20 x 1,8 mm). (сл. 23, поз. 3)
- Прскајућа гарнитура са триплекс носачима распрскивача (сл. 23, поз. 4)
- Електро мотор упарен са редуктором броја обртаја (трофазни, снаге 0,55 kW). (сл. 23, поз. 7)
- Ручно витло за вертикалну нивелацију прскајуће гарнитуре. (сл. 23, поз. 10)

- Зупчаник и зупчаста летва као припадајући део погонског склопа. (сл. 22, поз. 5)
- Жичана сајла пречника 4 mm потребна за вертикалну нивелацију прскајуће гарнитуре.
- Гранични прекидачи положаја у крајњим тачкама кретања прскалице (почетни и крајњи положај). (сл. 22, поз. 6)
- Фреквентни регулатор „Fuji Frenic – mini“

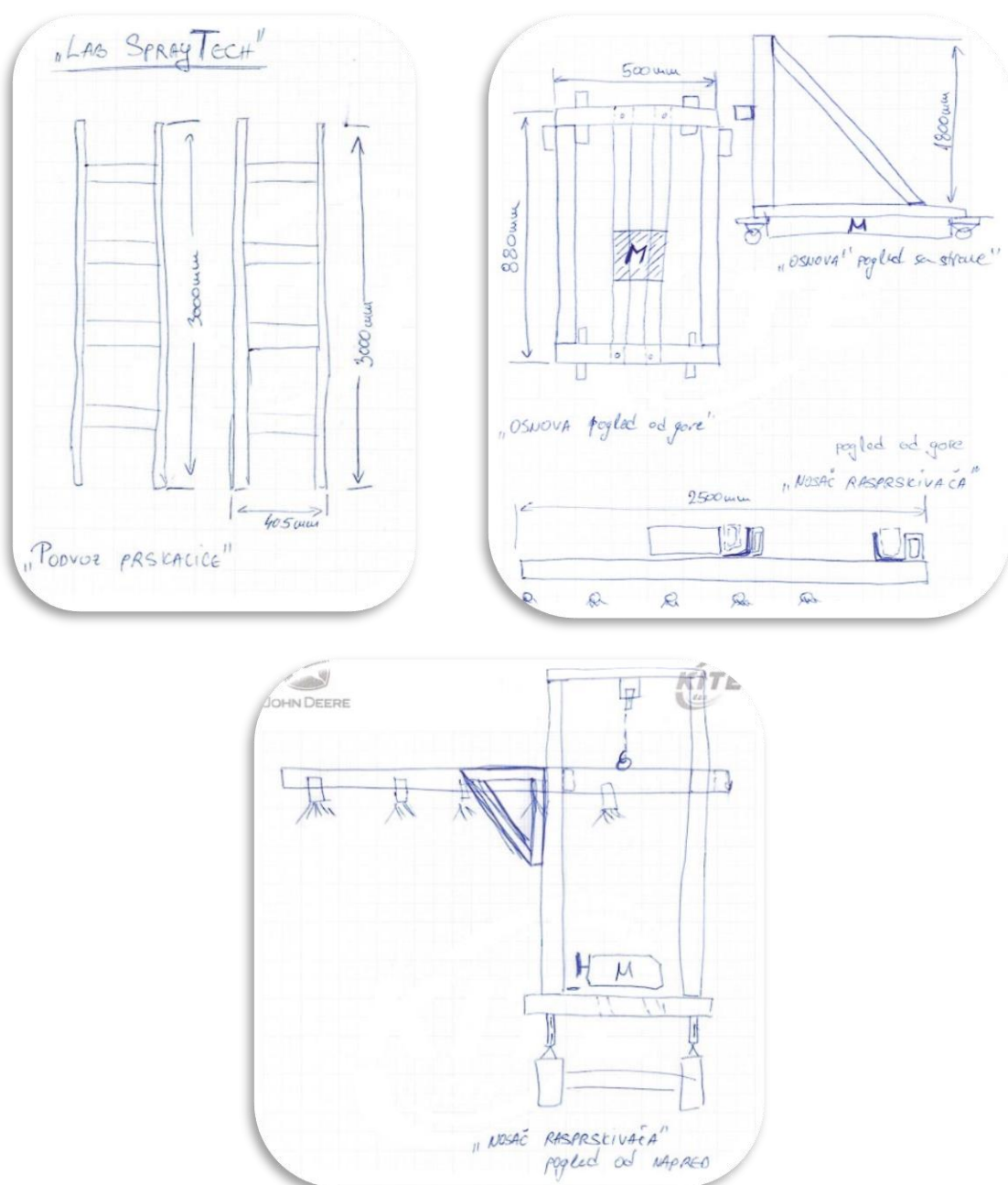
На (сл. 22.) су приказани сви елементи који чине подвоз – статични део „Lab SprayTech“ прскалице.

Позиције 1) и 2) су основа саме прскалице. Делови означени овим бројевима су два пара алуминијумских мердевина које су укупне дужине 6.000 mm у конкретном случају, а у складу са лабораторијом у којој ће се ова опрема експлоатисати. Могуће је дужину мењати и прилагођавати потребама простора у ком ће се опрема смештати и експлоатисати. Ширина мердевина износи 405 mm. Због материјала од ког су израђене, а то је алуминијум монтажа, демонтажа и манипулација самим подвозом па тако и додавање или одузимање укупне дужине путање је изузетно лака.

Са бројем 3 означени су адаптери који служе за брзо спајање два пара мердевина, односно за брзо додавање укупне дужине путање саме прскалица уколико за тим постоји потреба а опет све зависно од простора у ком ће се опрема користити и од захтева самог корисника опреме. Ови адаптери су израђени од веома издржљиве пластике и омогућавају веома брзо и једноставно спајање новог пара мердевина. Димезније ових адаптера су 23 x 58 x 100 mm.

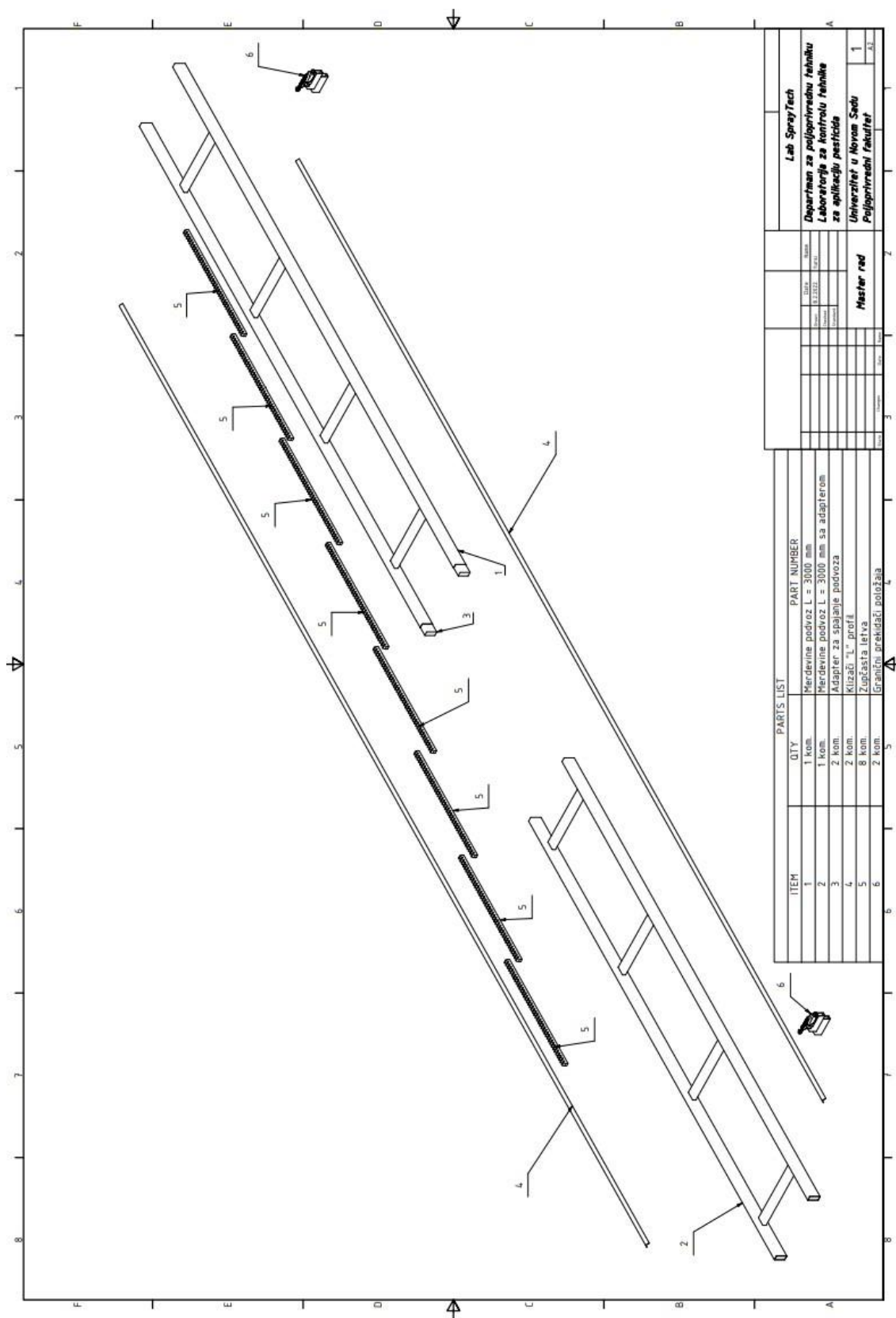
Бројем 4 су обележени вођице по којима се читава рамска конструкција прскалице заправо и креће и који одређују путању саме прскалице. За клизаче су узета два стандардна челична „L“ профила, димензија 20 x 20 x 6.000 mm у квалитету S 235 JRG 2, а према стандарду EN 10025. Ради лакше монтаже и демонтаже самог подвоза уколико се за тим укаже потреба „L“ профили су исечени на дужину од по 1.000 mm. Бројем 5 је означена пластична зупчаста летва која припада погонском склопу заједно са електро - мотором и зупчаником. Одабрана је пластична зупчаста летва италијанског произвођача Stagnoli која у себи садржи челично ојачање пуног пресека (фирикет) 6 x 10 mm, и по декларацији произвођача може да издржи до 400 kg оптерећења. Дужина саме зупчасте летве износи 1.000 mm. Бројем 6 су означени

крајњи односно гранични прекидачи положаја који су постављени на оба краја самог подвоза. Крајњи или гранични прекидачи представљају електро – механичке уређаје који се састоје од актуатора механички повезаним са групом контаката. Углавном се користе за управљање машинама као део управљачког система и то најчешће као безбедоносна блокада. Када објекат дође у контакт са актуатором, он заправо успоставља или прекида струјно коло. Назив, крајњи прекидач, потиче од њихове примарне употребе од настанка ових прекидача, а то је за одређивање граничне односно крајње позиције објекта који се креће.

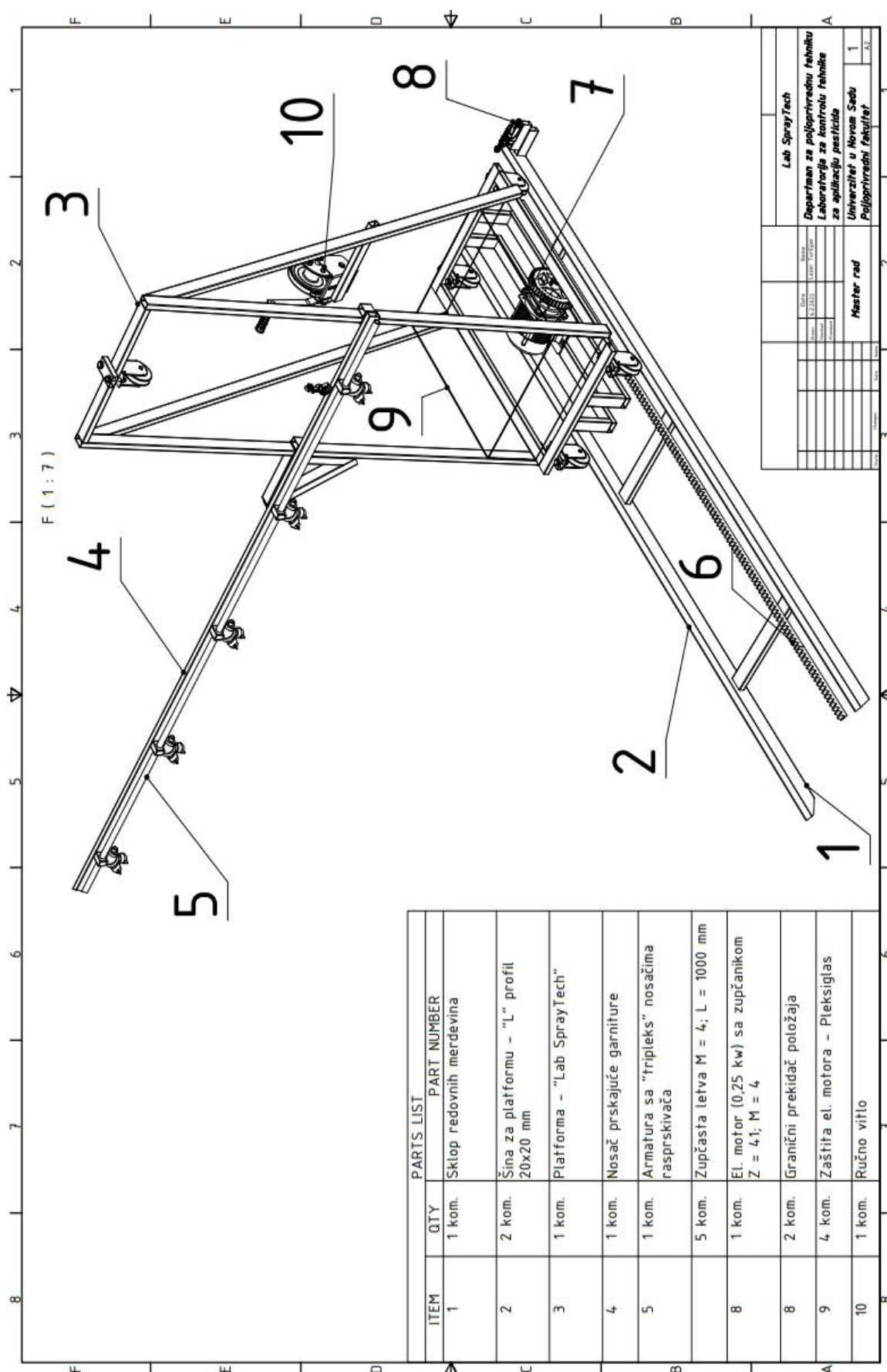


Слика 21. Скице коршћене при дизајнирању 3Д модела опреме





Слика 22. Саставни делови подвоза „Lab SprayTech“ прскалице



Слика 23. Склопни цртеж „Lab SprayTech“ прскалице

На (сл. 23.) се види склоп саме прскалице чија конструкција је у потпуности израђена од челичних правоугаоних цеви 40 x 20 x 1,8 mm са подвозом по коме ће се вршити праволинијско кретање приликом обављања третирања биљних култура које ће бити постављене поред самог подвоза прскалице. У зависности од врсте третиране културе и периода вегетације у коме ће се третирање вршити дизајном је предвиђена вертикална нивелација носача прскајуће garniture (4) заједно са арматуром са триплекс носачима распрскивача (5). Само подешавање неопходне висине третирања се обавља помоћу ручног витла на ком је намотана сајла (10) која је закачена преко обртног точкића за носач прскајуће garniture. Радну висину саме прскајуће garniture је могуће регулисати у дијапазону од 400 mm па све до 1850 mm што је максимална радна висина до које је могуће подесити прскајућу garniture. Размак између самих распрскивача је стандардних 500 mm распрскивач од распрскивача.

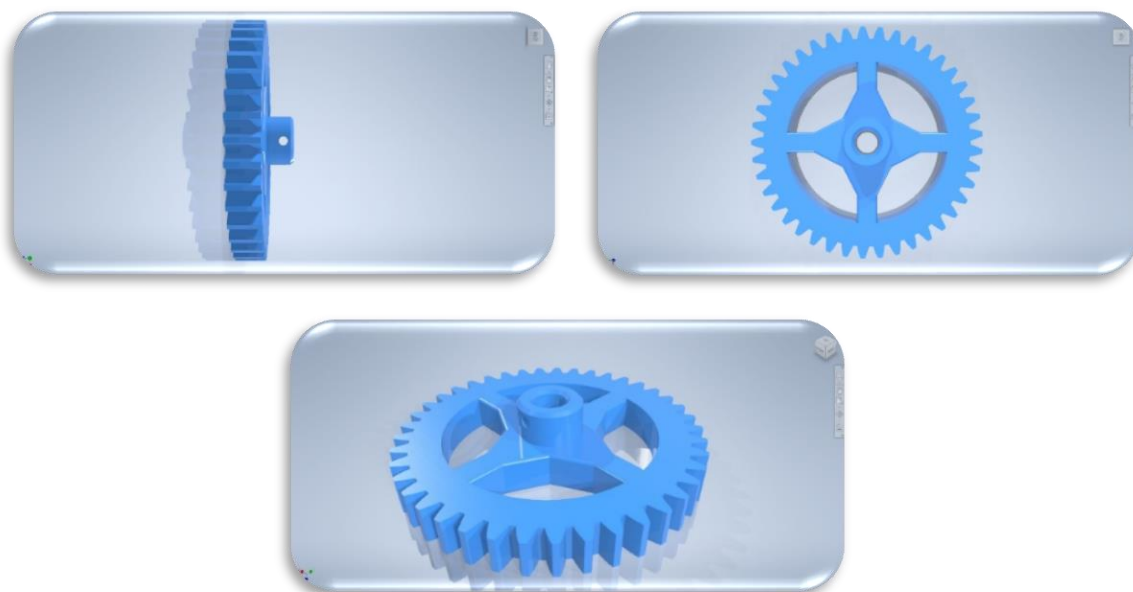
Само кретање прскалице је решено тако што су на сам подвоз фиксирани зупчате летве, док је на саму конструкцију покретног дела прскалице смештен посебно осмишљен носач трофазног електро мотора који је упарен са редуктором броја обртаја снаге 0,55 kW. На излазном вратилу електро мотора измерено је  $n_{cca} 270 \text{ o/min}$ . Како би прскалицу могли прилагодити свакој биљној култури коју је неопходно третирати, условима третирања и распрскивачима неопходно је било додатно уградити и фреквентни регулатор напона како би могли фино регулисати параметре од којих зависи кретање саме прскалице и прилагођавати их траженим условима неопходним за процес третирања.

На излазно вратило електро мотора постављен је цилиндрични зупчаник са правим зупцима, који је неопходно упарити са зупчастом летвом, (Модул  $M = 4$ ; број зубаца  $Z = 41$ , пречник зупчаника  $\varnothing = 170 \text{ mm}$ ). Из разлога што је зупчаник горе поменутих карактеристика било теже пронаћи, а временски рок за реализацију пројекта је био кратак потребан зупчаник је дизајниран у већ коришћеном софтверу *Inventor*. Зупчаник је дизајниран тако да у потпуности одговори на све захтеве којима ће бити изложен. Дизајн зупчаника је осмишљен тако да буду одштампана на 3Д штампачу два појединачна дела чијим спајањем се добија компактна целина, а то је сам зупчаник. За потребе израде зупчаника коришћен је 3Д штампач чешког произвођача „Prusa Research“. Сам штампач припада вишој средњој класи оваквих уређаја и пружа веома висок квалитет и прецизност саме штампе, као и широк спектар филамената које је могуће бирати приликом штампе одређених делова.

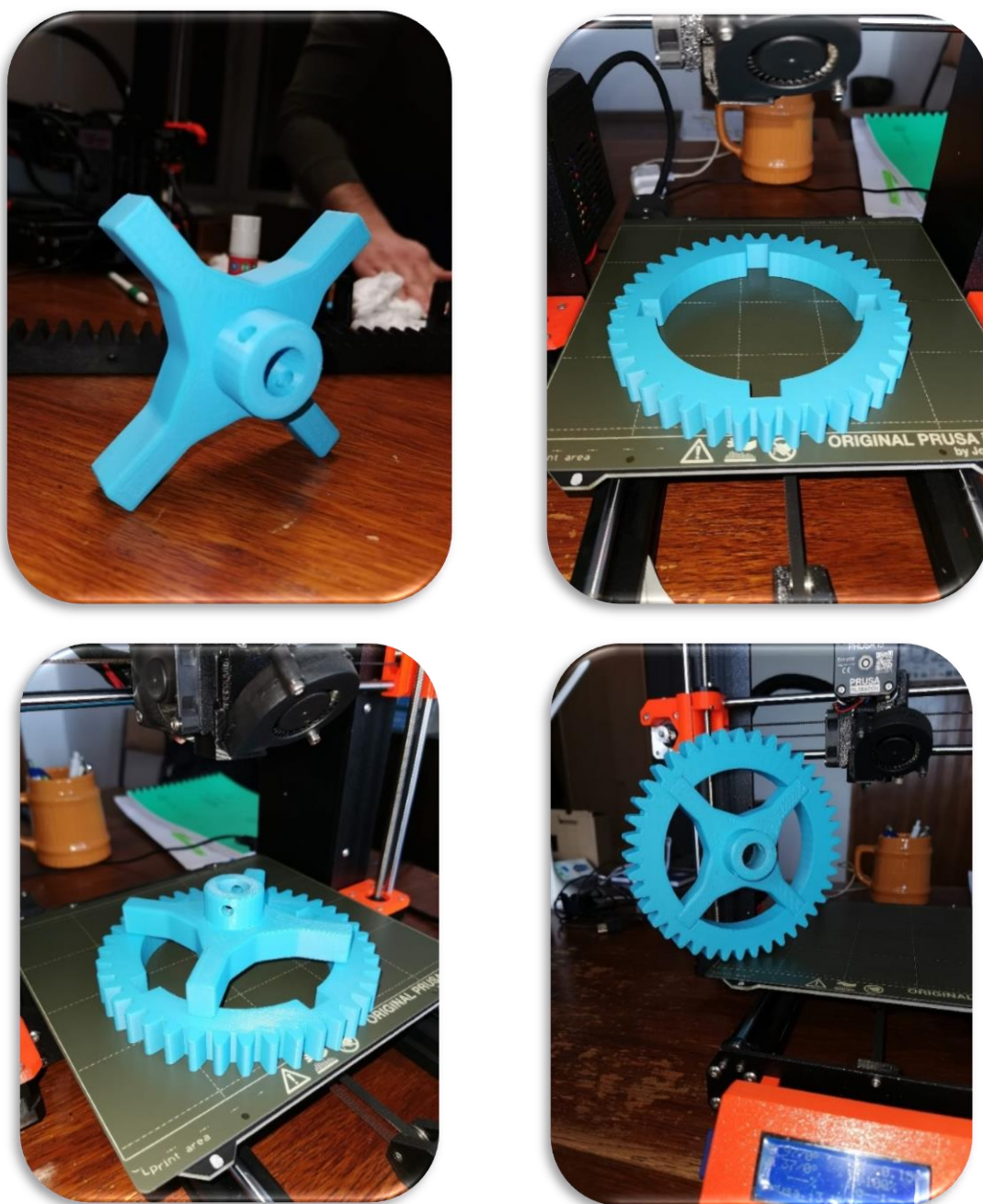
За потребе штампе овог зупчаника коришћен је PLA или поли (лактид) биоразградиви термопластични алфатски полиестер филамент који није претерано захтеван у погледу температуре екструдер главе и температуре саме подлоге на којој се штампа. Захтевана температура екструдер главе је 190 °C до 225 °C, док сама подлога на којој се штампа није потребно да буде загрејана, али нека препорука произвођача је да то ипак буде 60 °C. Сам зупчаник је припремљен за штампу у софтверу самог штампача и та припрема је подразумевала одабир нивоа испуне самог штампаног дела која је у пределу зубаца и обода зупчаника подешена на 100 % испуне, док је остатак зупчаника одрађен са 50 % испуне. (сл. 25.) Поред одабира испуне неопходно је било задати и прецизност саме штампе која је у конкретном случају износила 0,2 mm време штампе комплетног дела износило је око 10h ± 30 min.



Слика 24. Изглед коришћеног 3Д штампача (*Prusa i3 MK3S+*)



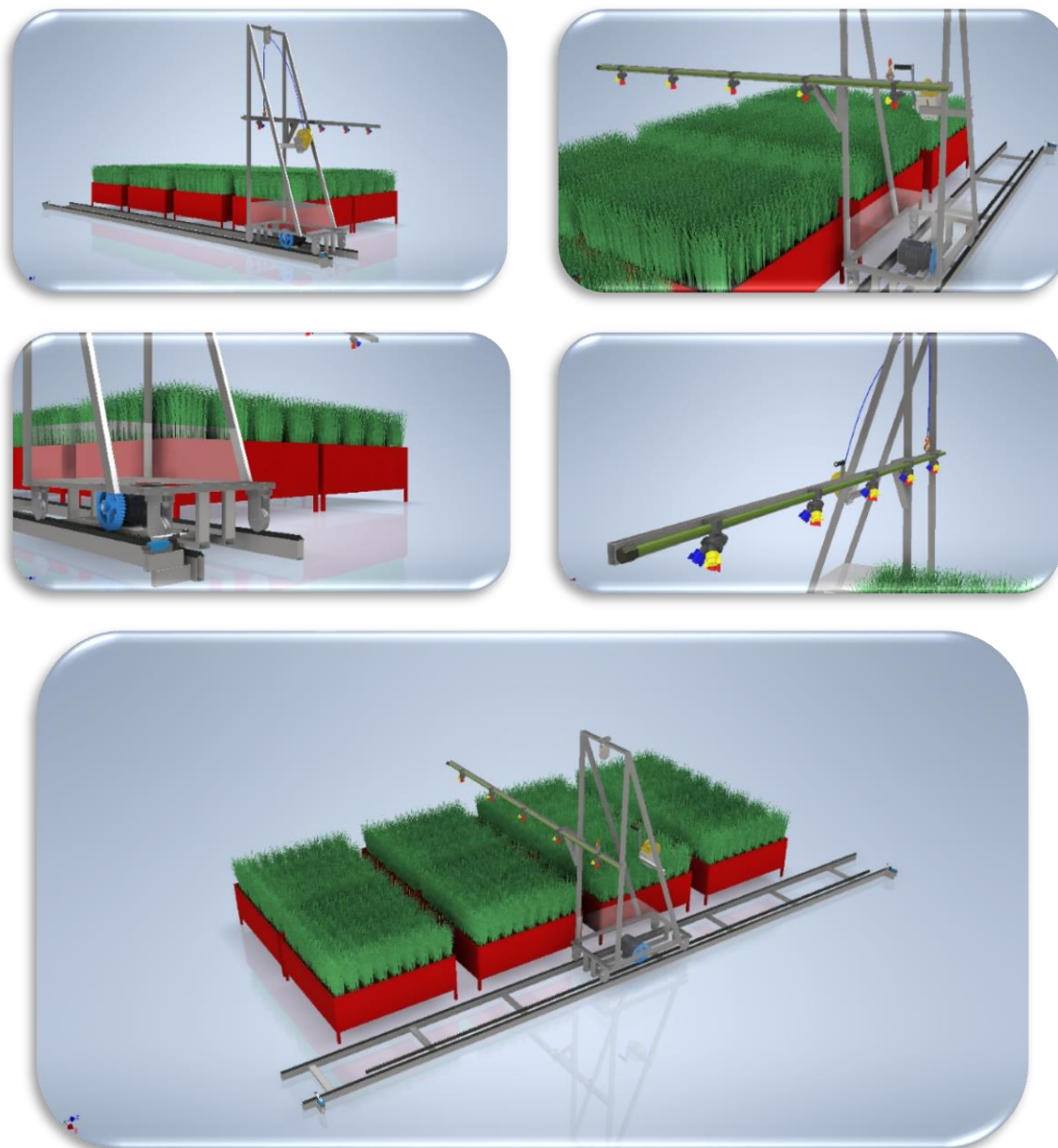
Слика 25. Зупчаник у радном окружењу софтвера за параметарско 3Д моделирање



Слика 26. Појединачно одштампани делови и зупчаник у целисти

Собзиром да је путања саме прскалице ограничена дужином подвоза, у конкретном случају је то 6.000 mm на неки начин је било потребно показати прскалици крајње (граничне) положаје у којима је неопходно да се електро мотор искључи и кретање тренутно буде прекинуто. То је решено на један веома једноставан начин, а то је уградња два гранична прекидача положаја који нам испуњавају задате захтеве у

погледу искључења електро - мотора и заустављања прскалице, док као могућност постоји и то да при доласку прскалице у крајњи положај, наиласком и реаговањем на прекидач положаја дође до промене смера обртања електро - мотора при чему се прскалица аутоматски враћа у почетни положај.



Слика 27. Изглед лабораторијске опреме у окружењу Autodesk Inventor софтвера

## 5.2. Утицај типа распрскивача и радних параметара прскања на висину депозита препарата у заштити пшенице

У пшеници је симулирана апликација фунгицида и инсектицида. Симулација је изведена тако што су се у резервоару поред трејсера, додавали оквашивачи и супероквашивачи како би се постигле идентичне физичке карактеристике течности као и приликом коришћења пестицида. Концентрација оквашивача износила је 1 % а супероквашивача 0,1 %. Резултати квантификације депозита распрскивача указују на количину препарата која је доспела на циљану површину.

У (таб. 3.) дате су просечне вредности депозита са три висине различитих типова распрскивача приликом апликације пестицида у пшеници. Утврђене су ниске вредности депозита код WR распрскивача при свим нормама апликације. Депозит се кретао у распону од 47,55 % до 71,03 % са нормом апликације пестицида од 160 l/ha до 250 l/ha. На основу датих вредности, може се тврдити да више од 30 - 50 % препарата не заврши на циљаној површини. Та количина представља губитак, који је још већи при раду на њиви. Сличан проблем је код стандардних двомлазних TFS распрскивача будући да је на нижим радним притисцима од 2 bar до 4 bar депозит био сличан са WR распрскивачем. Кретао се од 47,43 % до 65,84 %. Са повећањем радног притиска, бележи се пад депозита јер се формирају веома fine капљице које су склоне дрефту. Дрифт у лабораторјским условима је симулиран формирањем турбулентног кретања ваздуха из вентилатора постављених у лабораторији. Остварена брзина ваздушних струјања се кретала од 1 до 5 m/s, како би се што реалније симулирали услови који су присутни у већем делу Војводине, а који подразумевају у пролећном периоду управо повремене ударе ветра различитог интензитета. Да тип распрскивача има ефекат на депозит, уочава се код свих ињекторских распрскивача. Дефинисање задовољавајуће количине депозита је веома тешко, па ће се користити термин попут остварења високих губитака. Високи губици су такође релативан појам али је уско везан за ефикасност апликације што представља главни циљ (Ferguson et al. 2016). У односу на WR распрскивач, CFA - T распрскивач управо има благо смањен губитак при радном притиску од 2 bar. Депозит износи 53,06 % при притиску од 2 bar. Депозит драстично расте са повећањем притиска на 3 bar односно 4 bar и остварена је просечна вредност депозита од 72,05 % односно 80,27 %. Утицај радног притиска на овај тип ињекторског распрскивача забележен је и приликом мерења униформности

дистрибуције. Код распрскивача са два млаза бележи се виши ниво депозита. Губици су редуковани јер се код TFLD распрскивача депозит пење на 85,98 % при радном притиску од 3 bar. Док је депозит 97,22 % са повећањем радног притиска на 4 bar.

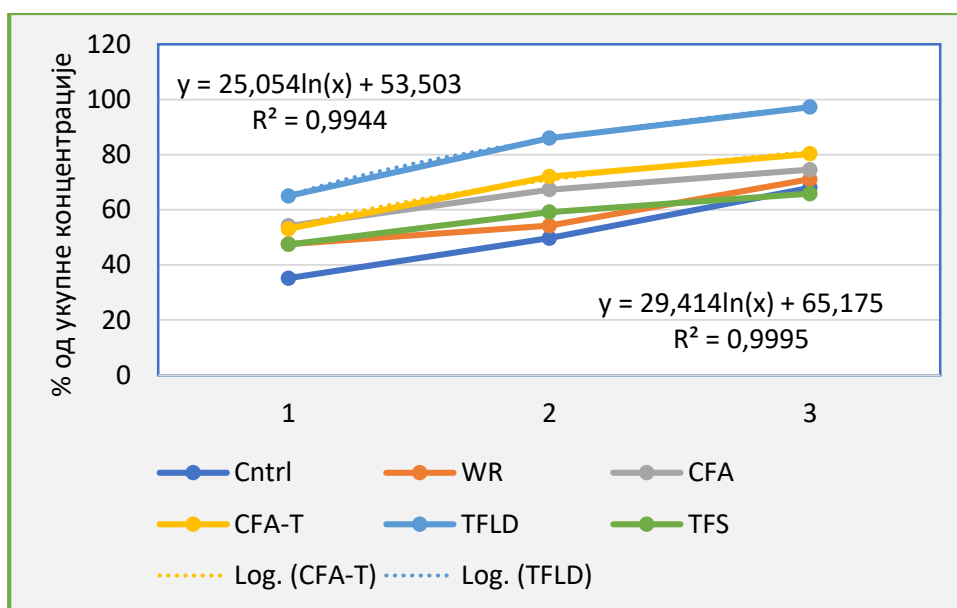


Слика 28. Различити типови распрскивача

Таб. 3. Квантификација депозита пестицида у пшеници у зависности од норме и типа распрскивача.

Норма, l/ha	Притисак, bar	CNTRL	WR	CFA	CFA - T	TFLD	TFS
160	2	35,15	47,57	54,14	53,06	65,01	47,43
200	3	49,68	54,20	67,30	72,05	85,98	59,13
250	4	67,96	71,03	74,56	80,27	97,22	65,84
<b>Средња вредност</b>		50,93	57,98	65,33	68,46	82,74	57,47

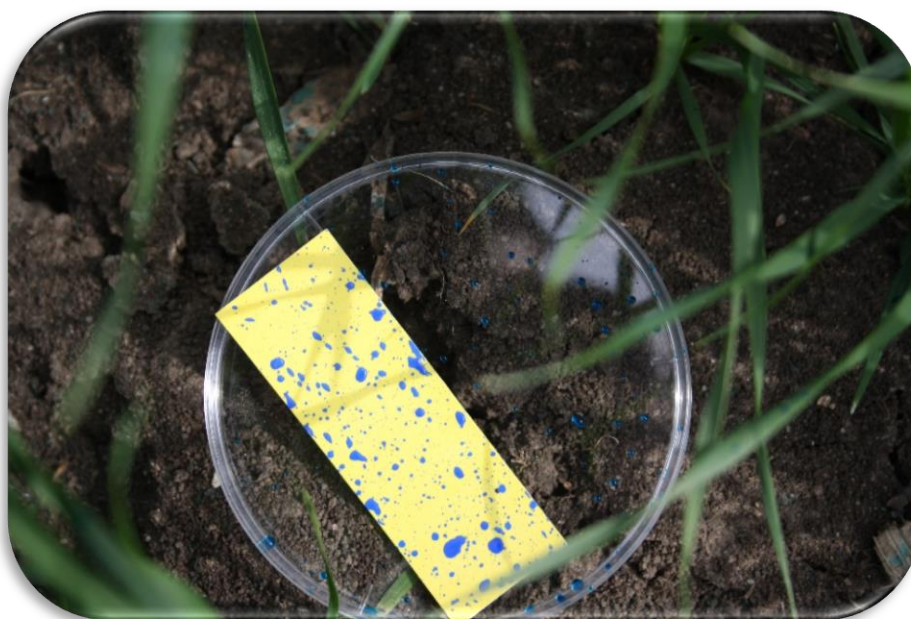
Слика 29. Квантификација депозита пестицида у пшеници у зависности од норме и типа распрскивача.





Код TFS распрскивача разлика у депозиту у односу на WR распрскивач није много драстична па се тако из дате табеле може увидети да при радном притиску од 2 bar износи 47,43 % , што приказује незнатно смањење депозита. Повећањем радног притиска на 3 bar долази до повећања депозита и то на 59,13 %, и даљим повећањем притиска на 4 bar долази до смањења депозита због дрифта на 65,84 %.

Са повећањем радног притиска ефекат ињектора повећава се, без обзира што ће у млазу бити више ситних капљица. Претпоставка је да је брзина капљица већа па је кинетичка енергија капљица већа. Остваривање бољег депозита ће довести до повећане ефикасности пестицида само уколико се одаберу одговарајући експлоатациони параметри рада (радни притисак и брзина агрегата) приликом заштите пшенице од штеточина, (сл. 26.) (Viecelli et al. 2019; Willian et al. 2019;). Негативни ефекти ће постојати уколико се не поштује време и начин апликације било ког пестицида (Wang et al. 2019; Xiao 2020;). Распрскивач CFA бележи веома висок просечан депозит од чак 74,56 %. Распрскивач CFA - Т бележи још виши депозит од 80,27 % док измерен депозит код распрскивача TFLD износи 97,22 % при истом радном притиску од 4 bar.



Слика 30. Контролно мерење депозита распрскивача у пшеници

## 6. ЗАКЉУЧАК

Ефикасна и економична апликација пестицида подразумева коришћење одговарајућих распрскивача. Ограничење коришћења распрскивача се огледа у експлоатационим параметрима попут радног притиска, брзине кретања и усева. Распрскивачи са једним млазом облика „Т“ или такозвани стандардни распрскивачи ће имати одговарајући депозит при радним притисцима од 2 bar до 3 bar. Радни притисак ињекторских распрскивача износи од 4 bar до 6 bar евентуално 8 bar што ће довести до повећања депозита пестицида, а тиме и веће ефикасности. Побољшани типови распрскивача попут ињекторских са два млаза постижу већи депозит пестицида у лабораторијским условима и то од 12,83 % до 62,45 %.

У огледима спроведеним у овом раду забележен је највиши депозит са распрскивачем редукованог дрифта у износу од 97,22 % при радном притиску од 4 bar, ињекторски тип распрскивача са једним млазом указује на то да са повећањем притиска долази до повећања депозита те је при притиску од 2 bar депозит износио 53,06 %, док је при притиску од 3 bar износио 72,05 %. Најнижи депозити забележени су код класичног „Т“ распрскивача у опсегу од 47,57 % до 71,03 %. Да није било ветра вероватно би највећу ефикасност имао „Т“ распрскивач са два млаза чији се депозит кретао у опсегу од 47,43 % до 65,84 %, из разлога што је формирао најситније капљице. Резултати важе за лабораторијске услове, док у реалним условима се очекују и до 20-30% лошије вредности депозита.

Повећан депозит представља основ за тврдњу да само одговарајући депозит пестицида на циљану мету спречава појаву толерантности или резистентности корова и проузроковача болести приликом заштите културних гајених усева. Покретно крило прскалице са независном контролом кретања и 3 метра радног захвата у лабораторијским условима може успешно да замени и симулира рад ратарске ношене прскалице. Брзина кретања може бити до 12 km/h, и ограничена је простором, док радни притисак од 8 bar задовољава све опсеге експлоатационих параметара као и код ратарске ношене прскалице. Подешавање висине крила лабораторијске прскалице омогућава мерење депозита на висинама од 0,3 па све до 1 метар висине.

Лабораторијски огледи са покретним крилом прскалице, одговарајућим распрскивачима и експлоатационим параметрима указују на важност испитивања

депозита пестицида. Иако оглед није реализован у условима на пољу, може се тврдити да класичне „Т“ распрскиваче није потребно испитивати у стварним експлоатационим условима јер они неће дати висок ниво депозита. Начела добре пољопривредне праксе су потврђена коришћењем ињекторских типова распрскивача и распрскивача редукованог дрифта са два млаза чиме се постиже одрживост пољопривредне производње. Високе границе депозита и редукован дрифт представљају основ одрживе пољопривредне производње јер неће изазвати тровање околине, човека, животиња и сузбиће потенцијалну толерантност и резистентност на пестициде.

## 7. ЛИТЕРАТУРА

1. Adams, A.J., Chapple, A.C., Hall, F.R. (1990). Droplet spectra for some agricultural fan nozzles with respect to drift and biological efficiency in: Bode, L.E., Hazen, J.L., Chasin, D.G. (Eds.), Pesticide Formulations and Application Systems, Vol. 10, pp. 156-169, ASTM STP 1078. American Society for Testing and Materials, Philadelphia,
2. Akesson, N. B., Gibbs, R. E. (1990). Pesticide drop size as a function of spray atomizers and liquid formulations In: Bode LE, Hazen J L, Chasin, D G. (Eds.), Pesticide Formulations and Application Systems, Vol. 10, ASTM STP 1078. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 170-183.
3. Akesson, N. B., Steinke, W. E., Yates, W. E. (1994). Spray atomization characteristics as a function of pesticide formulations and atomizer design. J. Environ. Sci. Health B29, 785-814.
4. Al Heidary, M, Douzals, JP, Sinfort, C, and Vallet, A. (2014). Influence of spray characteristics on potential spray drift of field crop sprayers: A literature review. Crop Protection, 63(0), 120-130.
5. Alaa Subr, Marek Milanowski, Stanisław Parafiniuk, Józef Sawa. (2017). Testing the uniformity of spray distribution under different application parameters. IX International Scientific Symposium "Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture", Lublin, Poland, 2017 <https://doi.org/10.24326/fmpmsa.2017.64>
6. Alford, J; Miller, P C H; Goulson, D; Holland, J M. (1998). Predicting susceptibility of non-target insect species to different insecticide application in winter wheat. Proc Brighton Conf – Pests and Diseases. pp 599 – 604.
7. Al-Gaadi, K.A., (2010). Effect of nozzle height and type on spray density and distribution for a ground field sprayer. J. Saudi Soc. for Agric. Sci., 9(1): 1-12
8. Allagui Asma, Bahrouni Hassouna, M'Sadak Youssef. (2018). Deposition of Pesticide to the Soil and Plant Retention During Crop Spraying: The Art State. Journal of Agricultural Science; Vol. 10, No. 12; 2018 ISSN 1916-9752 E-ISSN 1916-9760 <https://doi.org/10.5539/jas.v10n12p104>
9. Anders Nordgaard, Raymond Correll. (2018). Chapter 3 - Sampling Strategies, Editor(s): Britt Maestroni, Andrew Cannavan, Integrated Analytical Approaches for Pesticide Management, Academic Press, 2018, Pages 31-46, ISBN 9780128161555, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816155-5.00003-8>
10. Andr J, Kočárek M, Jursík M, Fendrychová V, Tichý L. (2017): Effect of adjuvants on the

- dissipation, efficacy and selectivity of three different pre-emergent sunflower herbicides. *Plant Soil Environ.*, 63: 409-415. <https://doi.org/10.17221/365/2017-PSE>
11. Appah S, Wang P, Ou M X, Gong C, Jia W D. (2019). Review of electrostatic system parameters, charged droplets characteristics and substrate impact behavior from pesticides spraying. *Int J Agric & Biol Eng*, 2019; 12(2): 1–9. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20191202.4673>
  12. Aruna Varanasi P V, Vara Prasad, Mithila Jugulam. (2016). Chapter Three - Impact of Climate Change Factors on Weeds and Herbicide Efficacy. Editor(s): Donald L. Sparks. *Advances in Agronomy*, Academic Press, Volume 135, 2016, Pages 107-146, ISSN 0065-2113, ISBN 9780128046937, <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.09.002>
  13. Aruna Varanasi, P.V. Vara Prasad, Mithila Jugulam. (2016). Chapter Three - Impact of Climate Change Factors on Weeds and Herbicide Efficacy, Editor(s): Donald L. Sparks, *Advances in Agronomy*, Academic Press, Volume 135, 2016, Pages 107-146, ISSN 0065-2113, ISBN 9780128046937, <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.09.002>
  14. ASTM. (2006). E641-01: Standard methods for testing hydraulic spray nozzles used in agriculture. West Conshohocken, PA: ASTM Int.
  15. Balsari, P, Airoidi, G, Tamagnone, M. (1994). Boom sprayer transverse distribution uniformity (as CV) and treatment effectiveness: first results'. *AgEng '94*. 29. 8. – 1. 9. 1994, Milano (I). 728–729
  16. Balsari, P., Grella, M., Marucco, P., Matta, F. and Miranda-Fuentes, A. (2019), Assessing the influence of air speed and liquid flow rate on the droplet size and homogeneity in pneumatic spraying. *Pest. Manag. Sci.*, 75: 366-379. <https://doi.org/10.1002/ps.5120>
  17. Bayat, A., Yarpuz-Bozdogan, N. Y. (2005). An air-assisted spinning disc nozzle and its performance on spray deposition and reduction of drift potential. *Crop Prot.* 24:651-960.
  18. Bedos, C. (2002). Mass transfer of pesticides into the atmosphere by volatilization from soils and plants: review. *Agronomie* 22, INRA, EDP sciences, pp21-23. <https://doi.org/10.1051/agro:2001003>
  19. Benjamin M. Bolker, Mollie E. Brooks, Connie J. Clark, Shane W. Geange, John R. Poulsen, M. Henry H. Stevens, Jada-Simone S. White (2009). Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology & Evolution*, Volume 24, Issue 3, 2009, Pages 127-135, ISSN 0169-5347, <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.10.008>
  20. Berger P., Maurer R., Celli G.B. (2018). Nested or Hierarchical Designs. In: *Experimental Design*. Springer, Cham. pp. 235-263. Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-64583-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-64583-4_7)

21. Bruno Brandoli Machado, Gabriel Spadon, Mauro S. Arruda, Wesley N. Goncalves, Andre C. P. L. F. Carvalho, and Jose F. Rodrigues-Jr. 2018. A smartphone application to measure the quality of pest control spraying machines via image analysis. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on Applied Computing (SAC '18). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 956–963. DOI: <https://doi.org/10.1145/3167132.3167237>
22. Bueno MR, Cunha JPAR da, Roman RAA (2013). Tamanho de gotas de pontas de pulverização em diferentes condições operacionais por meio da técnica de difração do raio laser. Engenharia Agrícola 34(5):976-985. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162013000500009>.
23. Bugarin, R., Đukić, N., & Sedlar, A. (2010a). Uticaj prskalica i orošivača na zagađenje zemljišta pesticidima. Biljni lekar, 38(2), 150-159.
24. Bugarin, R., Đukić, N., & Sedlar, A. (2010b). Uticaj tehnike za aplikaciju pesticida na zagađenje zemljišta. Savremena poljoprivredna tehnika, 36(2), 107-116.
25. Bugarin, R., Đukić, N., Sedlar, A., Turan, J. (2007). Kvalitet desikacije suncokreta primenom samohodnih prskalica. Savremena poljoprivredna tehnika, vol. 33, br. 3-4, str. 234-241
26. Bugarin, R., Sedlar, A., Milovac, Ž., Jakupović, J. (2012). Kvalitet tretiranja pri mehanizovanoj zaštiti uljane repice različitim rasprskivačima. Savremena poljoprivredna tehnika, vol. 38, br. 4, str. 357-366
27. Bugarin, R., Sedlar, A., Turan, J. (2013). Injektorski rasprskivači za smanjenje gubitaka usled drifta kod zaštite ratarskih kultura. Biljni lekar, vol. 41, br. 3, str. 370-376
28. Bugarin, R., Višacki, V., Sedlar, A., Sanja, L., Dragana, Š., Milošev, D., Šeremešić, S. (2015). Gubici usled drifta pri tretiranju suncokreta protiv biljnih bolesti u zavisnosti od tipa rasprskivača i norme tretiranja. Savremena poljoprivredna tehnika, vol. 41, br. 3, str. 141-148
29. Downer, R A; Ebert, T A; Thompson, R S; Hall, F R (1997): Herbicide spray distribution, quality and efficacy interactions; conflicts in requirements. Aspects of Applied Biology, 48. pp 79 – 89.
30. Drocas A et al. (2009a): Determination od distribution uniformitz for EEP-600 sprayer equipped with IDK 120-02 nozzle. USAMV Buchurest, Series A, vol. 52.
31. Durão, Cléber França, & Boller, Walter. (2017). Spray nozzles performance in fungicides applications for asian soybean rust control. Engenharia Agrícola, 37(4), 709-716. <https://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n4p709-716/2017>

32. Đukić N, Sedlar A, (2002): Hidropneumatska tehnika u zaštiti ratarskih i povrtarskih kultura. Savr. Polj. Teh. 28(3-4):88-96. NNDPT, Novi Sad, Srbija.
33. Đukić N, Sedlar A. 2004. Rasprskivači za efikasnu primenu herbicida; Biljni lekar, 32(2): 155-159. NNDPT, Novi Sad, Srbija.
34. Đukić, N. (2004). Razvoj mašina i uređaja za primenu herbicida. Acta herbologica, 13(2), 367-378. NNDPT, Novi Sad, Srbija.
35. Đukić, N., Malidža, G., Bugarin, R., Sedlar, A., Turan, J. (2007) Mehanizovana desikacija u proizvodnji uljanih kultura. Savremena poljoprivredna tehnika, vol. 33, br. 3-4, str. 250-262
36. Đukić, N., Sedlar, A., Bugarin, R., Sinđić, M. (2009) Redukovana primena insekticida kod zaštite uljane repice. Savremena poljoprivredna tehnika, vol. 35, br. 1-2, str. 134-142
37. Herbst A; Wolf P (2001). Spray deposit distribution from agricultural boom sprayers in dynamic conditions. ASAE Paper No. 01-1054, St Joseph, MI, 12 p
38. Herbst, A, Wolf, P (2001). Spray deposit distribution from agricultural boom sprayers in dynamic conditions. ASAE Meeting Paper 01 – 1054.
39. Herbst, A. (2010). Aspects of Applied Biology: Dynamic spray boom behaviour in practical conditions, Issue 99, Pages 15-20, ISSN 0265-1491
40. Herbst, A., & Wolf, P. (2001). Spray deposit distribution from agricultural boom sprayers in dynamic conditions. In 2001 ASAE Annual Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
41. Hermansky, C.G., Krause, G.F., (1995). Relevant physical property measurements for adjuvants. Fourth International Symposium on Adjuvants for Agrochemicals, Melbourne, Australia, 3-6 October 1995, pp. 20}26.
42. Hewitt, A.J., Bagley, W., (2000). Paper presented at ICLASS 2000. Atomization and Sprays, in press.
43. Hewitt, A.J., Hermansky, C.G., (1997). The effects of liquid properties on spray formation. Proceedings of the Chemical Show, New York, NY.
44. Hobson, P.A., Miller, P.C.H., Walklate, P.J., Tuck, C.R., Western, N.M., (1993). Spray drift from hydraulic spray nozzles: the use of a computer simulation model to examine factors influencing drift. J. Agric. Engng. Res. 54, 293-305.
45. Hoffmann, Laercio L., Roehrig, Rafael, Boller, Walter, & Forcelini, Carlos A.. (2019). Chemical control of asian soybean rust as a function of cultivar, row spacing and spray bar support systems. Engenharia Agrícola, 39(4), 504-511. Epub August 12, 2019.<https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39n4p504-511/2019>
46. Holland, J M; Jepson, P C; Jones, E C; Turner, C (1997). A comparison of spinning disc

- atomisers and flat fan pressure nozzles in terms of pesticide deposition and biological efficacy within cereal crops. *Crop Protection*, 16. pp 179 – 185.  
<https://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162005000500005>
47. Huiyu Zhao, Chen Xie, Fengmao Liu, Xiongkui He, Jing Zhang, Jianli Song. (2014). Effects of sprayers and nozzles on spray drift and terminal residues of imidacloprid on wheat, *Crop Protection*, Volume 60, 2014, Pages 78-82, ISSN 0261-2194.  
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.02.009>
  48. Ilse Delcour, Pieter Spanoghe, Mieke Uyttendaele. (2015). Literature review: Impact of climate change on pesticide use, *Food Research International*, Volume 68, 2015, Pages 7-15, ISSN 0963-9969, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.09.030>
  49. Longo, Domenico; Manetto, Giuseppe; Papa, Rita; Cerruto, Emanuele. (2020). Design and Construction of a Low-Cost Test Bench for Testing Agricultural Spray Nozzles. *Appl. Sci.* 10, no. 15: 5221. <https://doi.org/10.3390/app10155221>
  50. Luck, J. D., Pitla, S. K., Sama, M. P., & Shearer, S. A. (2015). Flow, spray pattern, and droplet spectra characteristics of an electronically actuated variable-orifice nozzle. *Transactions of the ASABE*, 58(2), 261-269.
  51. Luck, J. D., Schaardt, W. A., Sharda, A., & Forney, S. H. (2016). Development and evaluation of an automated spray patternator using digital liquid level sensors. *Appl. Eng. Agric.*, 32(1), 47-52. <https://doi.org/10.13031/aea.32.11381>
  52. Lund, I; Jensen, P K (2002): 'Application technology for band spraying: Correlation between liquid band distribution and biological efficacy.' *Aspects of Applied Biology*, 66. pp 107 – 114.
  53. MacCallum, R. (2009). Factor analysis. In Millsap, R. E., & Maydeu-Olivares, A. *The SAGE handbook of quantitative methods in psychology* (pp. 123-147). London: SAGE Publications Ltd doi: 10.4135/9780857020994
  54. Machado, Willian A., Silva, Sérgio M., Carvalho, Stephan M., & Cunha, João P. A. R. da. (2019). Effect of nozzles, application rates, and adjuvants on spray deposition in wheat crops. *Engenharia Agrícola*, 39(1), 83-88. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39n1p83-88/2019>
  55. Mahmood, R.K. (2003). Development of a test bench for performance evaluation of locally developed nozzles for a sprayer. M.Sc. (Hons) Thesis of Agricultural Engineering, Department of Farm Machinery & Power, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan.



56. Sedlar, A., Višacki, V., Uhlarik, A., Bugarin, R., Turan, J., Ondrej, P. (2017). Radni pritisak kao faktor uniformnosti distribucije rasprskivača posebne namene. *Savremena poljoprivredna tehnika*, vol. 43, br. 1, str. 27-34
57. Sharpe, S., Boyd, N., Dittmar, P., MacDonald, G., Darnell, R., & Ferrell, J. (2018). Spray Penetration into a Strawberry Canopy as Affected by Canopy Structure, Nozzle Type, and Application Volume. *Weed Technology*, 32(1), 80-84. <https://doi.org/doi:10.1017/wet.2017.86>
58. Sidahmed MM, Awadalla HH, Haidar MA (2004). Symmetrical multi-foil shields for reducing spray drift. *Biosyst. Eng.* 88(3):305-312.
59. Sinfort C; Lardoux Y; Miralles A; Enfält P; Alness K; Andersson S (1997). Comparison between measurements and modelisation of spray pattern from a riding boom sprayer. *Aspects of Applied Biology*, 48, 1-8
60. Sinfort C; Miralles A; Sevilla F; Manière M (1994). Study and development of a test method for spray boom suspensions. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 59, 245-252
61. Višacki, V. V., Sedlar, A. D., Gil, E., Bugarin, R. M., Turan, J. J., Janic, T. V., & Burg, P. (2016). Effects of sprayer boom height and operating pressure on the spray uniformity and distribution model development. *Applied Engineering in Agriculture* 32(3), 341-346.
62. Višacki, V., Sedlar, A., Bugarin, R., Turan, J. (2013) Efekat radnog pritiska na uniformnost distribucije rasprskivača. *Savremena poljoprivredna tehnika*, vol. 39, br. 2, str. 85-92
63. Višacki, V., Sedlar, A., Turan, J., Bugarin, R., & Burg, P. [2014]. Ujednačenost aplikacije pesticida pri najčešćim parametrima eksploatacije. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 40(3), 125-134.
64. Womac, A.R., R.A. Maynard II and I.W. Kirk. (1999). Measurement variations in reference sprays for nozzle classification. *Transactions of the ASAE* 42 (3): 609-616.
65. Xiao, J., Chen, L., Pan, F., Deng, Y., Ding, C., Liao, M., Su, X. and Cao, H. (2020), Application method affects pesticide efficiency and effectiveness in wheat fields. *Pest Manag Sci*, 76: 1256-1264. <https://doi.org/10.1002/ps.5635>
66. Y. Lardoux, C. Sinfort, P. Enfält, F. Sevilla. (2007a). Test method for boom suspension on spray distribution. Part I: Experimental study of pesticide application under a moving boom. *Biosystems Engineering*, Elsevier, 2007, 96 (1), p. 29 - p. 39. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.08.014> ; hal-00454405;
67. Y. Lardoux, C. Sinfort, P. Enfält, A. Miralles, F. Sevilla. (2007b). Test Method for Boom Suspension Influence on Spray Distribution, Part II: Validation and Use of a Spray Distribution Model. *Biosystems Engineering*, Volume 96, Issue 2, 2007, Pages 161-168,