



**Универзитет у Новом Саду  
Пољопривредни факултет  
Департман за ратарство и  
повртарство**



Кандидат

Ото Дорогхази

Ментор

Ивана Максимовић

**ТРАНСЛОКАЦИЈА НЕОПХОДНИХ  
ЕЛЕМЕНАТА ИЗ СЕМЕНА КУКУРУЗА  
КОНТАМИНИРАНОГ ОЛОВОМ И НИКЛОМ**

Мастер рад

Нови Сад, 2016.

---

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

---

др Ивана Максимовић - ментор

редовни професор за ужу научну област Физиологија и исхрана биљака

Пољопривредни факултет, Нови Сад

---

др Марина Путник-Делић - председник комисије

доцент за ужу научну област Физиологија и исхрана биљака

Пољопривредни факултет, Нови Сад

---

др Милан Боришев - члан комисије

доцент за ужу научну област Физиологија биљака

Природно математички факултет, Нови Сад

## Садржај

РЕЗИМЕ .....	5
ABSTRACT .....	6
1. УВОД.....	7
2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ.....	9
2.1. Утицај олова (Pb) и никла (Ni) на живе организме.....	9
2.2. Значај кукуруза.....	10
3. ЦИЉ РАДА .....	14
4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА.....	15
5. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА .....	17
5.1. Резултати претходних истраживања .....	17
5.2. Усвајање и транслокација Pb и Ni у поницима кукуруза.....	19
5.3. Транслокација минералних елемената током клијања кукуруза.....	21
5.4. Утицај Pb и Ni на транслокацију минералних елемената током клијања кукуруза.....	22
5.4.1. Утицај олова и никла на транслокацију фосфора из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза.....	22
5.4.2. Утицај олова и никла на транслокацију калијума из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза .....	24
5.4.3. Утицај олова и никла на транслокацију сумпора из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза.....	25
5.4.4. Утицај олова и никла на транслокацију магнезијума из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза .....	26
5.4.5. Утицај олова и никла на транслокацију калцијума из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза .....	28
5.4.6. Утицај олова и никла на транслокацију гвожђа из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза .....	29
5.4.7. Утицај олова и никла на транслокацију цинка из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза.....	30
5.4.8. Утицај олова и никла на транслокацију бакра из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза.....	31
5.4.9. Утицај олова и никла на транслокацију мангана из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза.....	32
5.4.10. Утицај олова на транслокацију молибдена из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза.....	34
5.4.11. Утицај никла на транслокацију бора из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза.....	35
5.4.12. Утицај никла на транслокацију алуминијума из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза.....	36

5.4.13. Утицај олова на транслокацију натријума из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза.....	37
6. ЗАКЉУЧАК.....	38
7. ЛИТЕРАТУРА.....	40
8. БИОГРАФИЈА.....	44

## РЕЗИМЕ

Накупљање олова и никла у природи постаје глобални проблем у очувању животне средине. Често су и пољопривредне површине контаминирани тешким металима и производња на таквим површинама може да буде ризична са аспекта здравствене безбедности хране. Најзначајнији извори загађења животне средине су матични супстрат, атмосферски депозити, саобраћајна средства, индустрија и њени производи, контаминирана минерална ђубрива и отпадни муљ (Bogdanović и сар., 1997).

Циљ овог рада је био да се утврди утицај различитих концентрација тешких метала Ni и Pb на транслокацију неопходних минералних елемената из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза као и на накупљање Ni и Pb у поницима кукуруза.

Оглед је изведен у лабораторијским условима са семеном хибрида кукуруза HC 7016. Семе је пре стављања на наклијавање бубрило у раствору PbCl<sub>2</sub> и NiSO<sub>4</sub>, који је садржао: 0 (контрола), 10<sup>-5</sup>, 10<sup>-4</sup>, 10<sup>-3</sup> или 10<sup>-2</sup> mol / dm<sup>3</sup> Pb или Ni. Садржај азота је одређен методом Кјелдахла, а остали елементи помоћу ICP (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry).

Утврђено је да је накупљање олова и никла у семену било значајно. Хемијска анализа је потврдила да веће концентрације олова и никла значајно утичу на транслокацију минералних елемената из семена у изданак и корен.

**Кључне речи:** загађивање, олово, никал, клијање, транслокација, минерални елементи.

## ABSTRACT

Accumulation of lead and nickel in the environment pretend to be a global environmental problem. Agricultural soil can be also polluted by heavy metals, therefore the quality of produced crops may be jeopardized. The main sources of the environmental pollution with Pb and Ni are the parental rock, atmospheric deposits, vehicles, industry and their products, contaminated mineral fertilizers and sewage sludge (Bogdanović и сар., 1997).

The aim of this study was to determine the effects of different concentrations of Ni and Pb on the translocation of essential mineral elements from the seed to the shoot and root of the seedling, during the germination of the young maize plant, as well as accumulation of Ni and Pb in the maize seedlings.

The study is generated in laboratorial environment with corn seeds (NS hybrid 7016). Before the seed germination the seeds were imbibed in  $\text{PbCl}_2$  and  $\text{NiSO}_4$  solutions of the following concentrations: 0 (control),  $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$  or  $10^{-2}$  mol/dm<sup>3</sup> Pb or Ni. The concentration of nitrogen in plant tissues was determinated by Kjeldahl method and of the other elements by ICP (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry).

The uptake of Pb and Ni during imbibitions of seeds was significant. The chemical analysis also showed that the Pb and Ni had significant effect on distribution of mineral elements during maize seed germination.

**Key words:** pollution, lead, nickel, germination, translocation, mineral elements

## 1. УВОД

Све већу пажњу јавности привлачи загађење земљишта тешким металима. Они су природно присутни у земљишту, и обично се налазе само у траговима или у тешко приступачним облицима, ипак човекова активност умногоме доприноси загађивању животне средине тешким металима.

Неки тешки метали су неопходни за живе организме, међутим у великим концентрацијама веома су штетни за биљке, за животиње и за људе. Са индустријском револуцијом убрзало се загађење биосфере тешким металима и они сад представљају главну опасност на животну средину (Gisbert и сар., 2003). Опасност је већа имајући у виду да тешки метали у природи не могу да се деградирају ни микробиолошким ни хемијским путем, и имају тенденцију акумулације у земљишту на више хиљада година или се транспортују воденим токовима и контаминирају површинске и подземне воде (US Environmental Protection Agency, 2000). Биљке и други живи организми релативно лако усвајају тешке метале и друге опасне материје из хранљиве средине. Тако посредством биљака и других живих организама опасне материје улазе у ланац исхране и доспевају у људски организам.

Утицај тешких метала на биљке зависи од концентрације у земљишту, од њихове приступачности, од особина земљишта као и од биљне врсте. Према ЕРА олово (Pb) је најчешћи загађивач земљишта на свету, али и све више се извештава и о токсичним концентрацијама никла (Ni) у земљишту широм света негде и до 26000 ppm (Alloway, 1995). Доспевањем Pb и Ni у биљни организам изазивају разне поремећаје у метаболизму, расту и развићу, минералној исхрани биљака. Најчешћи симптоми токсичних концентрација тешких метала су хлороза и некроза биљних делова, смањење раста корена и изданка, смањење суве масе биљака, инхибиција клијања, поремећаји у оплодњи итд. Тешки метали имају способност да се акумулирају у биљним ткивима и тако представљају конкуренцију неопходним елементима, могу да изазивају деградацију ензима и пигмената како и оштећења у структури ћелија што су неки од узрока симптома токсичности тешких метала.

Велик број људских активности непрекидно повећава ниво тешких метала који циркулишу у животnoj средини. Експлоатације руда, дораде метала, боје које садрже олово, сагоревање фосилних горива, емисија гасова, експлозивни, као и отпадне и

комуналне воде богате оловом, минерална и органска ђубрива су главни извори загађења природе оловом (Pb) и никлом (Ni) (Alloway, 1995).

Токсичан ефекат Pb и Ni на људско здравље до ког долази конзумирањем контаминиране хране је интензивно проучаван. Резултати тих истраживања показали су да Pb може изазвати разне болести као што су поремећаји у функцији јетре и бубрега (Rossi 2008). Никал је токсичан за респираторне органе и за имуни систем животиња, има негативан утицај на фертилност жена и на развој плода (Smialowicz и сар., 1984, Smialowicz и сар., 1988, Chashschin и сар., 1994). Истраживањима је утврђено да је неопходна дневна доза Ni за људе мања од 100  $\mu\text{g}/\text{dan}$  (Goyer, 1991).



## 2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

### 2.1. Утицај олова (Pb) и никла (Ni) на живе организме

Олово не припада неопходним тешким металима за биљке, међутим биљке га усвајају ако је присутно у земљишту. Већ мале концентрације Pb могу да изазивају метаболичке поремећаје у биљкама.

Биљке усвајају Pb из земљишног раствора преко корена. Највећи део усвојеног Pb се акумулира у корену у нерастворљивој форми (Wierzbicka et al., 2007). Акумулација Pb се повећава са повећањем садржаја Pb у животној средини, међутим транспорт олова из корена у изданак је лимитиран. Сувишак Pb може да изазива физиолошке и биохемијске поремећаје током клијања, развоја биљака, у водном режиму биљака и асимилацији нитрата од стране биљака (Sharma and Dubey, 2005; Seregin and Kozhevnikova, 2008; Lamhamdi и сар., 2011). Фотосинтеза је посебно осетљива на присуство Pb, при чему се смањује синтеза хлорофила, каротеноида, смањује се однос фотосинтезе и асимилација CO<sub>2</sub>. Садржај катјона: Ca, Fe, Zn се смањује у кореновој капи. У европској смрчи после апликације Pb смањио се раст, који је био повезан са смањењем садржаја Ca<sup>2+</sup> и Mn<sup>2+</sup>. Олово је антагонист при усвајању катијона K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> и Na<sup>+</sup> (Rout and Das, 2003).

Загађивање животне средине никлом (Ni) је документовано широм света. Према извештајима на неким земљиштима концентрација Ni може достигне и 26000 ppm и 0,2 mg/l и загађеној води (Alloway, 1995; Astrom и сар., 1996; Zwolsman и сар., 2007).

Никал је неопходни микроелеменат за биљке, ипак концентрација Ni у већини биљних врста је ниска (0,05-10 mg/kg SM) (Neiminen и сар., 2007). Утврђено је да у недостатку Ni долази до инхибиције клијања семена соје, лупине, пасуља, грашка, пшенице и пиринча због накупљања уреида (Das и сар., 1978, Welch и сар., 1981). Међутим повећањем загађења агробиоценозе Ni, симптоми сувишка Ni се чешће јављају него недостатак. Токсичне концентрације Ni инхибирају митозу (Madhava Rao и сар., 2000), смањују раст биљака (Molas, 2002), смањују принос и квалитет приноса (Gajewska и сар., 2006). Екстремне концентрације Ni претворили су неке пољопривредне површине у непогодне за производњу њивских биљака, поврћа и воћа

(Duarte и сар., 2007). Многа истраживања су потврдила да Ni може бити токсичан за биљке, међутим сазнања о механизмама токсичности су и даље непотпуна.

## 2.2. Значај кукуруза

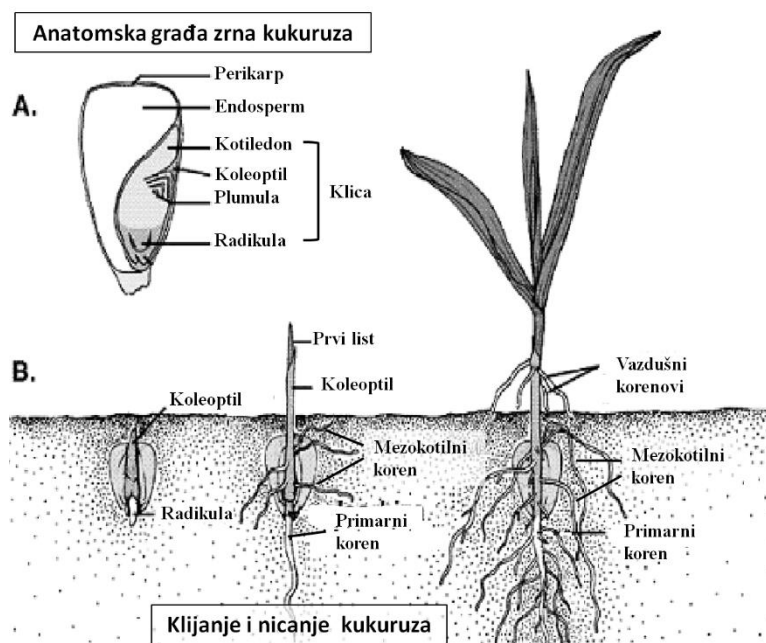
Кукуруз (*Zea mays* L.) припада фамилији *Poaceae* (*Gramineae*), подфамилији *Panicoideae* (просоликих жита), групи *Maydeae*.

Привредни значај кукуруза произлази из особина саме биљке, разноврсности употребе и обима производње. Кукуруз је биљка са највећим потенцијалом за принос (у условима са наводњавањем преко 20 t/ha).

Семе представља најважнији део или производ кукуруза. Хемијски састав семена (60-80% скроба, 8-12% сирових протеина, 4,5% уља, 1,2-1,3% пепела, 2-2,6% целулозе) омогућава велику разноликост његове примене.

Семе се користи за репродукцију биљке. На семену кукуруза разликујемо три дела: омотач, ендосперм и клицу (слика 1. А). У процесу клијања семе прво мора да усвоји 40% влаге од апсолутно сувог зрна, тад семе бубри. После бубрења почиње процес клијања. Прво расте коренак (радикула) и бочни коренови (мезокотилни) а убрзо и клицино стабаоце (плумула) и пупољчић. У овој фази биљка се зове клијанац и претежно троши хранива из ендосперма. Потом развија се секундарно корење и биљка постепено прелази на аутортофни начин исхране (слика 1. Б).

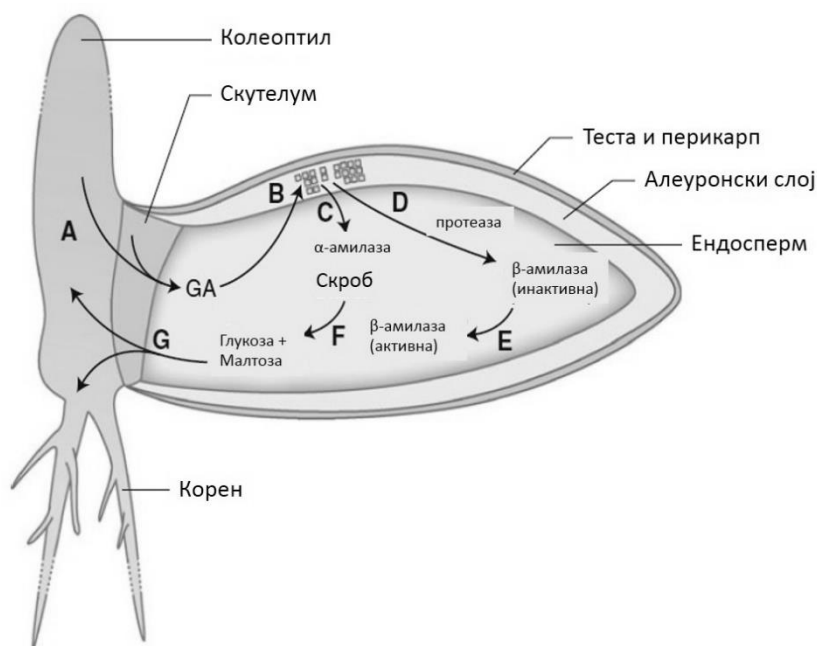
Слика. 1. А. Анатомска грађа зрна кукуруза, В. Процес клијања и ницања код кукуруза.



### 2.3. Процес бубрења и клијања

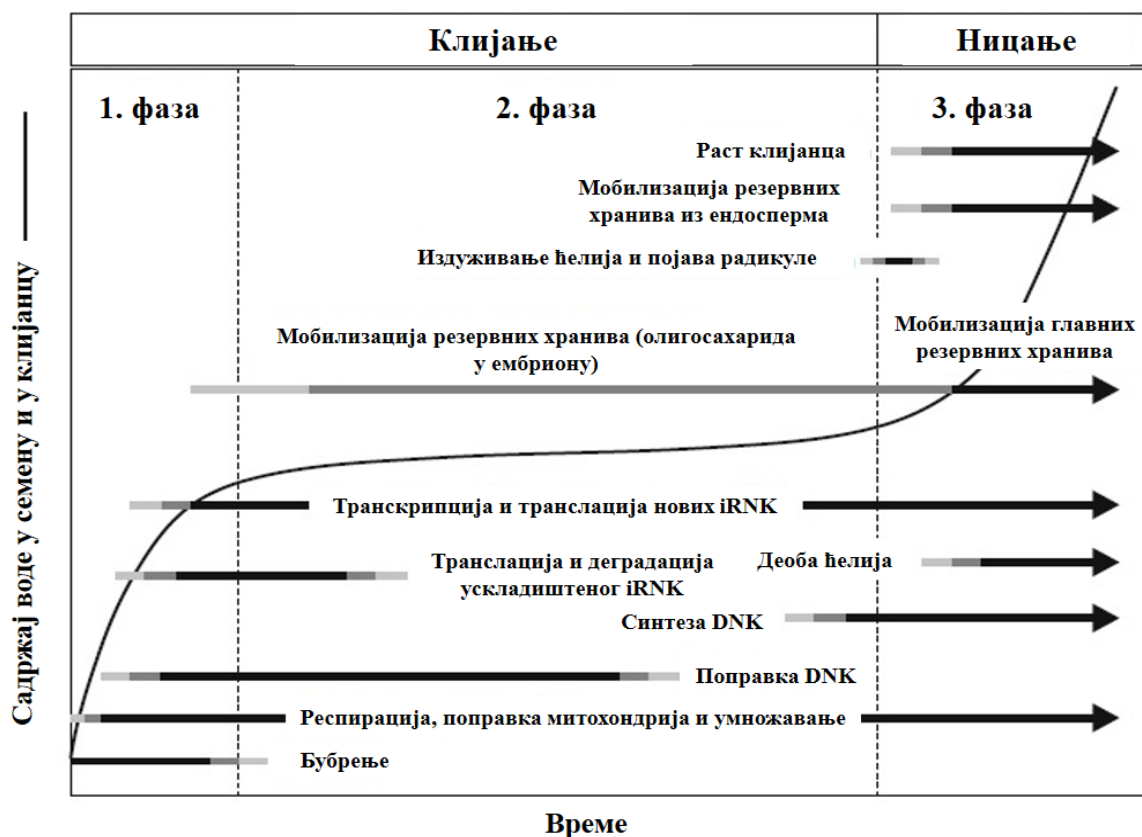
Клијање семена је иницијални процес током живота биљке. Процес покренут и регулисан ензиматским реакцијама који активирају катаболичке и анаболичке процесе у резервном ткиву семена и ембриону. Клијање је инхибирано већ са променом у једном од процеса који су укључени у процес клијања. Сматра се да тешки метали имају утицај на метаболизам минералних материја током клијања, и тако настале промене у резервним материјама су један од главних узрока инхибиције клијања биљака у контаминираним срединама (Amzallag и сар., 1995; Bradford, 1995). Утицај тешких метала током процеса клијања и механизми одбране нису довољно истражени (слика 2). Према нашим сазнањима само неколико радова је објављено о механизмима фитотоксичности олова и никла током процеса клијања код њивских биљака. Посебно није довољно познато у којој мери Pb из спољашње средине може да продре кроз семењачу и да постепено утиче на процес клијања (Wierzbicka и сар., 1998).

Слика 2. Процес мобилизације резервних хранива током клијања.



Да семе проклија (слика 3) мора да усвоји одређену количину воде (бубрење тј. прва фаза клијања) да би се активирали метаболички процеси. Усвајање воде на почетку линеарно расте а затим, зависно од типа семена, заустави се на 40-60% усвојене воде у односу на масу сувог семена, што је и потврђено нашим ранијим испитивањима (Doroghazi, 2007). Током овог процеса, унутар семена активни су анаболички и катаболички процеси при чему се разграђује резервна материја, ослобађају се биљни асимилативи, минералне материје и синтетишу се нови молекули који су неопходни за даљи развој поника. На крају ове фазе на семену се примећује коренак, и поново почиње активно усвајање воде од стране клијанца уз активне процесе синтезе и разградње (Bewley и сар., 2013).

Слика 3. Динамика усвајања воде семена биљака током бубрења и значајне промене у семену током клијања и ницања (Nonogaki и сар., 2010).



### **3. ЦИЉ РАДА**

Пошто су наши претходни експерименти показали да Ni и Pb утичу на дужину и масу изданака, примарног корена и корена мезокотила кукуруза (Doroghazi и сар., 2010, Kastori и сар., 2012), циљ овог рада је био да се испита да ли третмани семена овим елементима доводе и до промена у дистрибуцији минералних материја у поницима.

## 4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

### *Третирање семена оловом и никлом*

Олгед је изведен са семеном хибрида кукуруза НС 7016. Обогаћивање семена са Pb и Ni обављено је потапањем семена у раствор PbCl<sub>2</sub>, а Ni потапањем у раствор NiSO<sub>4</sub> на 22<sup>0</sup>С у току 24 сата. После 24 сата семе је садржало 37% воде, што истовремено омогућава максимално усвајање Pb и Ni у ткива семена.

### *Наклијавање семена*

У огледу је испитивано дејство пет третмана: 0 (контрла, дејонизована вода), 10<sup>-5</sup>, 10<sup>-4</sup>, 10<sup>-3</sup>, 10<sup>-2</sup> mol Pb/dm<sup>3</sup> или mol Ni/dm<sup>3</sup>. Семе је након потапања у раствор различитих концентрација Pb и Ni кратко испрано дејонизованом водом да би се одстранили Pb и Ni са површине семена, које семе није усвојило. Семе је затим посејано у песак и стављено у термостат за наклијавање на 25<sup>0</sup>С на седам дана, затим се приступило хемијској анализи семена.

### *Хемијска анализа*

Биљни материјал је пре сушења испран дејонизованом водом да би се спрао песак. Сушење је обављено до константе масе, након чега је одређена маса надземног дела и корена. Затим је биљни материјал самлевен и корешћен је за анализе. Биљни материјал је припремљен за анализе помоћу cсHNO<sub>3</sub> + cсH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. садржај макро- и микро елемената је одређен помоћу ICP (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry), изузев азота чији удео утврђен методом Кјелдахл-а.

### *Статистичка обрада*

Резултати испитивања статистички су обрађени израчунавањем најмање значајне разлике између аритметичких средина (Џобановић, 2003).

Акумулација Pb или Ni у изданку биљака

$$\text{Акумулација Pb или Ni у изданку} = \frac{\text{концентрација Pb или Ni у изданку (mg/kg)}}{\text{концентрација Pb или Ni у корену (mg/kg)}}$$

Одређивање транслокације појединих елемената у изданак или корен

$$\text{Транслокација elementa (\%)} = \frac{A_k \text{ или } B_k \left( \frac{mg}{100g}, \frac{mg}{kg} \right)}{A_k + B_k \left( \frac{mg}{100g}, \frac{mg}{kg} \right)} * 100$$

$A_k$  – концентрација елемента у изданку (mg/100g, mg/kg)  
код контролних биљака испитиваног елемента;

$B_k$  – концентрација елемента у корену (mg/100g, mg/kg)  
код контролних биљака испитиваног елемента;

Промена транслокације елемента (%) под дејством Pb или Ni

$$\text{Промена транслокације елемента (\%)} = \frac{A_t \text{ или } B_t \left( \frac{mg}{100g}, \frac{mg}{kg} \right)}{A_k + B_k \left( \frac{mg}{100g}, \frac{mg}{kg} \right)} * 100$$

$A_t$  – концентрација испитиваног елемента у изданку  
(mg/100g, mg/kg) при различитим дејством Pb или Ni;

$B_t$  – концентрација испитиваног елемента у корену  
(mg/100g, mg/kg) при различитим дејством Pb или Ni;



## 5. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

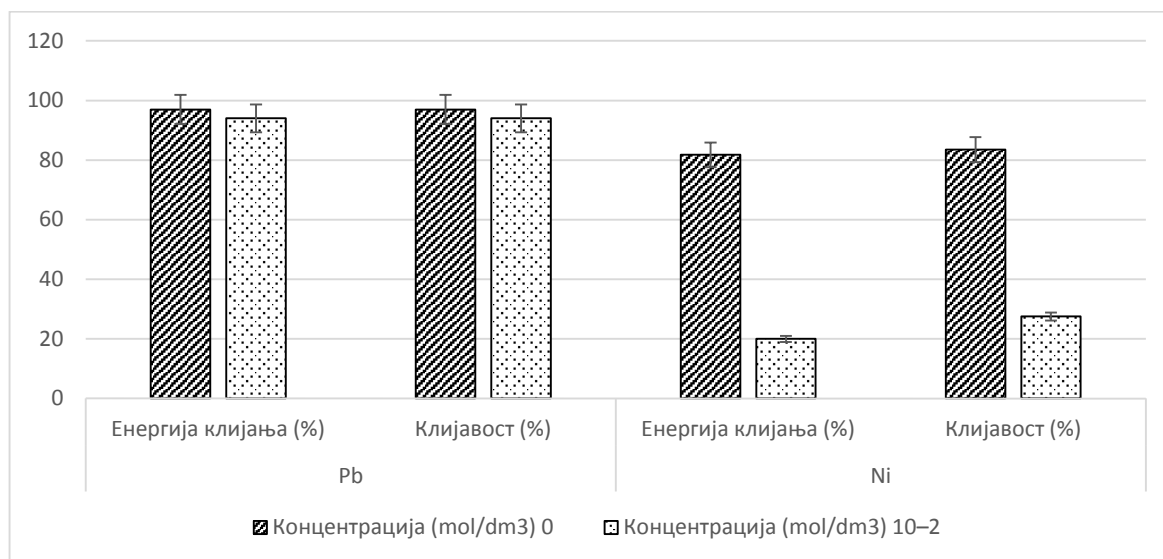
### 5.1. Резултати претходних истраживања

Научници су утврдили да високе концентрације Pb и Ni у биљном ткиву имају негативан утицај на процес клијања и на развој младих биљака различитих биљних врста (Ghasemi и сар., 2013; Ahmad и сар., 2011; Ashraf и сар., 2011; Singh и сар., 2011). Утврђен је и стимулативни утицај малих концентрација Ni на клијање многих биљака (Mishra и Kar, 1974; Rout и сар., 2000).

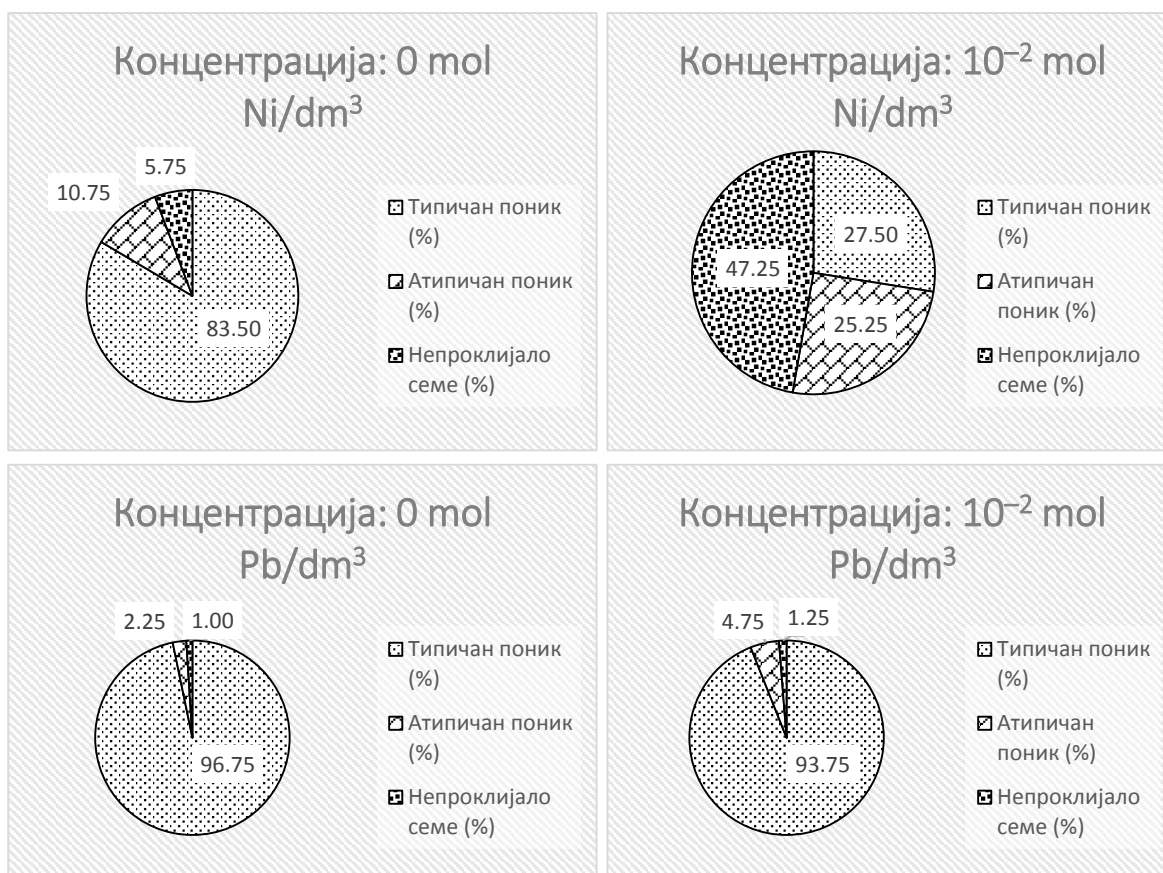
Наша ранија истраживања са токсичним концентрацијама Pb и Ni су делимично потврдила ове резултате. Висок садржај никла у биљном ткиву значајно је смањио клијавост и енергију клијања кукуруза, као и број типичних поника (слика 4 и 5). Број непроклијалих семена и атипичних биљака је порастао под утицајем  $10^{-2}$  mol Ni/dm<sup>3</sup>. Енергија клијања се статистички значајно смањила при истом третману (графикон 3). Третмани оловом и никлом у концентрацији  $10^{-2}$  mol/dm<sup>3</sup> проузроковали су смањење дужине и масе примарног корена младих биљака кукуруза (табеле 1 и 2). Међутим третмани Ni нису утицали на дужину корена мезокотила поника кукуруза.

Утврђено је да су младе биљке биле релативно отпорне према већим концентрацијама Pb у хранљивој средини, док само веће концентрације Ni ( $10^{-2}$  mol/dm<sup>3</sup>) су били фитотоксични за клијанце кукуруза. Да би се боље разумео механизам толерантности кукуруза према токсичним ефекту Pb и Ni, као и потенцијал биљака кукуруза за фиторемедиацију загађених станишта, потребна су даља истраживања њиховог накупљања у биљним ткивима, утицаја на минералну исхрану и ензиматску активност током клијања младих биљака кукуруза.

Слика 4. Утицај Pb и Ni на клијавост и енергију клијања семена кукуруза (Doroghazi, 2010).



Слика 5. Утицај Pb и Ni на број типичних, атипичних биљака и број непроклијалих семена кукуруза (Doroghazi, 2010).



Табела 1. Утицај Pb и Ni на дужину изданка, примарног корена и корена мезокотила (Doroghazi, 2010).

Параметри	Елеменат	Концентрација (mol/dm <sup>3</sup> )	
		0	10 <sup>-2</sup>
Дужина изданка (cm)	Pb	10,13	9,85
	Ni	6,89	6,19
Дужина примарног корена (cm)	Pb	12,11	11,20**
	Ni	11,84	10,42*
Дужина корена мезокотила (cm)	Pb	9,20	8,61**
	Ni	8,97	8,46

\*\* Праг значајности од 99%

\* Праг значајности од 95%

Табела 2. Утицај Pb и Ni на суву масу изданака и корена поника кукуруза (Doroghazi, 2010).

Параметри	Елеменат	Концентрација (mol/dm <sup>3</sup> )	
		0	10 <sup>-2</sup>
Сува маса изданка (mg)	Pb	28,30	28,70
	Ni	24,00	23,96
Сува маса корена (mg)	Pb	36,50	29,90*
	Ni	31,70	26,63

## 5.2. Усвајање и транслокација Pb и Ni у поницима кукуруза

Хемијском анализом је утврђено да семе који је бубрило 24 сата у раствору различитих концентрација Pb и Ni интензивно их је усвајало. Са повећавањем концентрације Pb и Ni у раствору повећавало се и њихово усвајање и транслокација у друге биљне органе (графикон 4).

Усвајање Pb стране биљака је активан процес и веома је успорен. Међутим биљке могу накопљати велике количине Pb у корену, али његова транслокација у надземне органе је ограничена (Lane и Martin, 1977). Експериментима је утврђено да се Pb веже за ћелијски зид, на местима јонске размене и таложи се, и тако је спречено његова ретенција унутар ћелије и његова приступачност за транспорт у надземне органе биљака (Jarvis и Leung, 2002). Олово у корену претежно се транспортује у апопласту ткива коре до ендодермиса, где Каспаријев појас чини препреку даљем транспорту (Jones и сар., 1973; Verma и Dubey, 2003).

Испитивањем утицаја различитих концентрација Pb у раствору у коме је семе бубрило, утврђено је да је транслокација Pb из семена током клијања била већа у корен

него у изданак. Са повећањем концентрације Pb у раствору однос садржаја Pb у корену и изданку се смањује (табела 3). Што се може објаснити токсичним деловањем Pb, пошто Pb при већим концентрацијама оштећује структуру ћелијског зида и ћелијских мембрана и тако они изгубе селективну функцију (Seregin и сар., 2004).

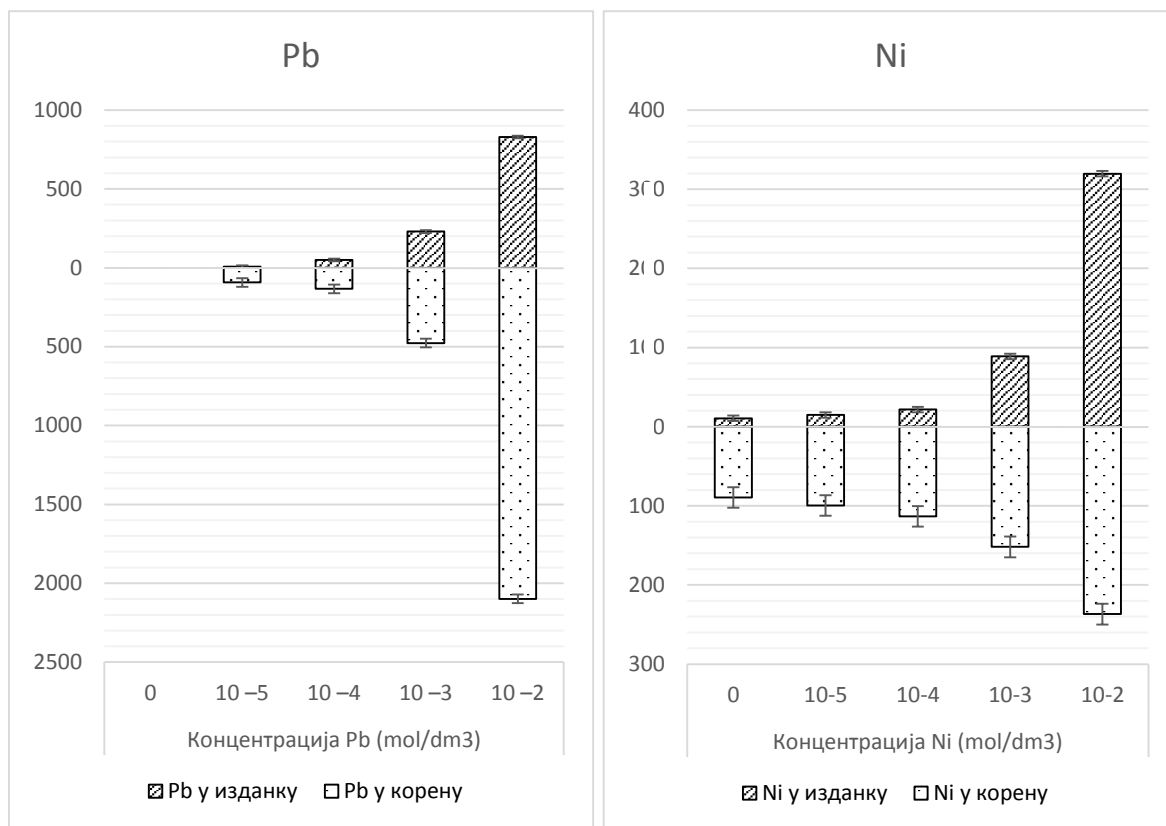
Биљке Ni усвајају пасивно дифузијом и активно (Seregin и Kozhevnikova, 2006). Однос између активног и пасивног усвајања Ni зависи од концентрације и форми Ni у земљишту, од pH земљишта, као и од биљне врсте (Vogel-Mikus и сар., 2005; Dan и сар., 2002).

У нашим испитивањима транслокација Ni при концентрацијама (0,  $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$ ) била је већа у корен него у изданак. Раније је утврђено од стране научника да више од 50% усвојеног Ni из хранљиве средине остаје у ткивима корена (Cataldo и сар., 1978), при чему око 80% Ni се налази у проводним снопићима а око 20% у кори корена, што је резултат велике мобилности Ni у ксилему и флоему биљака (Marschner, 1995; Page i Feller, 2005; Riesen i Feller, 2005). Наша испитивања су такође потврдила велику мобилност Ni у ксилему биљака, при чему са растом концентрације Ni у раствору расте и његова транслокација у изданак у односу на корен у поређењу са контролним биљкама кукуруза (Слика 6. Б.).

Табела 3. Однос акумулације Pb и Ni (mg/kg) у изданку и акумулације Pb и Ni у корену (mg/100 g) код младих биљака кукуруза при различитим концентрација Pb и Ni у раствору у коме је семе кукуруза бубрило.

Елемент	Концентрација раствора Pb или Ni ( $\text{mol/dm}^3$ ) у ком је семе бубрило ( $\text{mol/dm}^3$ )				
	0	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$
Ni	0,12	0,15	0,19	0,58	1,35
Pb	0,00	0,08	0,37	0,48	0,40

Слика 6. Транслокација олова и никла током клијања семена кукуруза у изданак и у корен (у процентима од контроле).

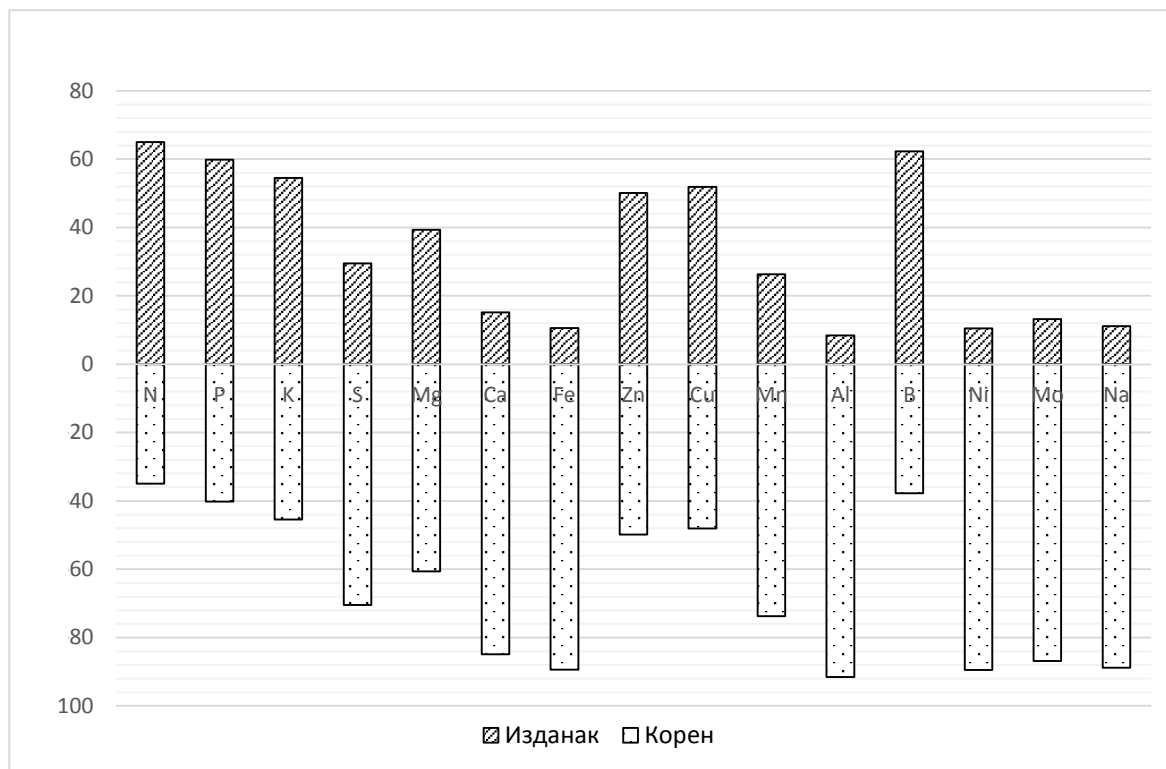


### 5.3. Транслокација минералних елемената током клијања кукуруза

Након хемијске анализе утврђено је да транслокација макроелемената: N, P, K и микроелемената: Zn, Cu, B је интензивнија у изданак него у корен. Насупрот томе транслокација S, Mg, Ca, Fe, Mn, Al, Ni, Mo, Na је много интензивнија у корен него у изданак током почетних фаза раста и развоја младих биљака кукуруза. Различита транслокација је повезана са физиолошким улогама поједних елемената.

У стручној литератури се наводи да повећане концентрације Ni и Pb у биљним ткивима изазива поремећаје у минералној исхрани биљака, и сматра се да је то један од узрока токсичности Pb и Ni (Chen и сар., 2009; Sharma и Dubey, 2005). Научно је доказано да Pb спречава улазак катјона ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ) и анјона ( $NO_3^-$ ) у корен.

Слика 7. Транслокација минералних елемената из семена у изданак и корен током клијања контролних биљака кукуруза (у процентима).



#### 5.4. Утицај Pb и Ni на транслокацију минералних елемената током клијања кукуруза

##### 5.4.1. Утицај олова и никла на транслокацију фосфора из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза

Хемијском анализом је утврђено да са повећањем концентрације Pb и Ni у раствору за наклијавање садржај P је смањен изузев при концентрацији Pb од  $10^{-2}$  mol/dm<sup>3</sup> где се уочава повећање садржаја P и у изданку и у корену поника кукуруза. Знатно интензивније се смањује код повећаних концентрација Ni него Pb (слика 8). Мање концентрације Ni смањиле су садржај P у изданку ( $10^{-5}$ ) и у корену ( $10^{-4}$ ), а веће концентрације ( $10^{-2}$  mol Ni/dm<sup>3</sup>) су потпуно инхибирале транслокацију P из семена у корен (табела 3).

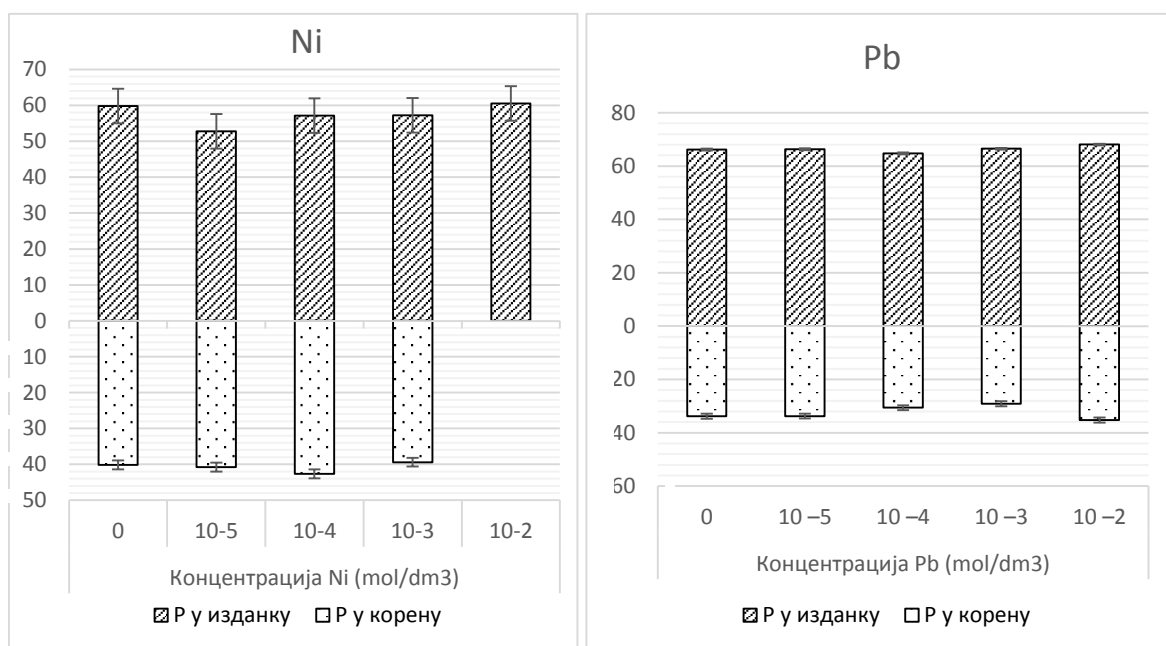
Значај P током клијања је огроман, виталну улогу има у трансдукцији енергије (пошто саставни део је АТФ), процесима метаболичке регулације, и улази у састав многих ензима као и у састав нуклеинских киселина. Висок садржај тешких метала у

хранљивој средини негативно утиче на метаболизам фосфата (Shah i Dubey, 1997; Parida i Das, 2004). Maheshwari и Dubey (2011) су утврдили да су веће концентрације Ni у хранљивом раствору смањиле садржај фосфата у корену и у изданку клијанца код пиринча, као и активност ензима киселе фосфатазе, што је резултирало смањењем раста клијанца. Олово изазива инхибицију киселе и алкалне фосфатазе Pb (Jana and Chourdhari, 1982; Lee и сар., 1976).

Табела 3. Утицај Pb и Ni на концентрацију P (mg/100g) у изданку и корену поника кукуруза.

Третман	Орган	Концентрација раствора Pb или Ni (mol/dm <sup>3</sup> ) у ком је семе бубрило					LSD 5%	LSD 1%
		0	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>		
Ni	изданак	672,25	592,75**	642,00	643,00	680,00	38,05	54,13
	корен	451,31	458,47	479,50**	442,56	0,00**	9,78	13,90
Pb	изданак	617,00	617,95	603,57**	619,62*	634,19**	2,22	3,16
	корен	314,93	314,35	284,97**	271,09**	328,35**	6,07	8,63

Слика 8. Ефекат различитих концентрација Ni и Pb на транслокацију P у изданак и у корен поника кукуруза (у процентима).



#### 5.4.2. Утицај олова и никла на транслокацију калијума из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза

Калијум је неопходни макро елемент за биљке и има изузетан значај током клијања. Његова транслокација током почетног раста биљака је већа у изданак. Међутим Pb и Ni значајно утичу на његову редистрибуцију у поницима (табела 4). Мање концентрације Pb и Ni ( $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$  mol/dm<sup>3</sup>) су смањиле транслокацију K у изданак, а високе концентрације Pb и Ni  $10^{-2}$  mol/dm<sup>3</sup> су повећале његову транслокацију у изданак, док при истим концентрацијама Pb и Ni садржај K у корену није се значајно променио. Концентрације Ni од  $10^{-4}$  mol/dm<sup>3</sup> повећала је садржај K у корену, док су исте концентрације Pb у хранљивом раствору смањиле садржај K у корену. Walker и сар. (1997) су у експериментима утицаја Pb на усвајање катјона код клијанаца краставца и кукуруза, утврдили су да је присуство Pb смањило усвајање не само катјона K<sup>+</sup>, него и Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>.

Калијум има неопходну улогу у елонгацији ћелија. У иницијалним фазама развоја корена, ћелијска деоба је релативно спор процес, зато издуживање корена зависи од елонгације ћелија у корену. У недостатку K у корену смањује се издуживање ћелија и тако се смањује и његова дужина. Пошто веће концентрације Pb смањују садржај K у корену, то је један од узрока смањивања раста корена при високим концентрацијама Pb у хранљивој средини. Међутим наша истраживања нису потврдила ову хипотезу. Концентрације Pb од  $10^{-4}$  и  $10^{-3}$  mol/dm<sup>3</sup> значајно су смањиле садржај K у корену, међутим дужина корена није се значајно променила (Doroghazi, 2010). Концентрације  $10^{-2}$  mol Pb/dm<sup>3</sup> у раствору значајно су смањиле дужину корена, међутим садржај K није се значајно разликовао од контроле. Закључљак је да сама промена садржаја K при концентрацијама Pb у хранљивом раствору:  $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-2}$  mol/dm<sup>3</sup> није довољна за промену дужине изданака или корена код младих биљака кукуруза.

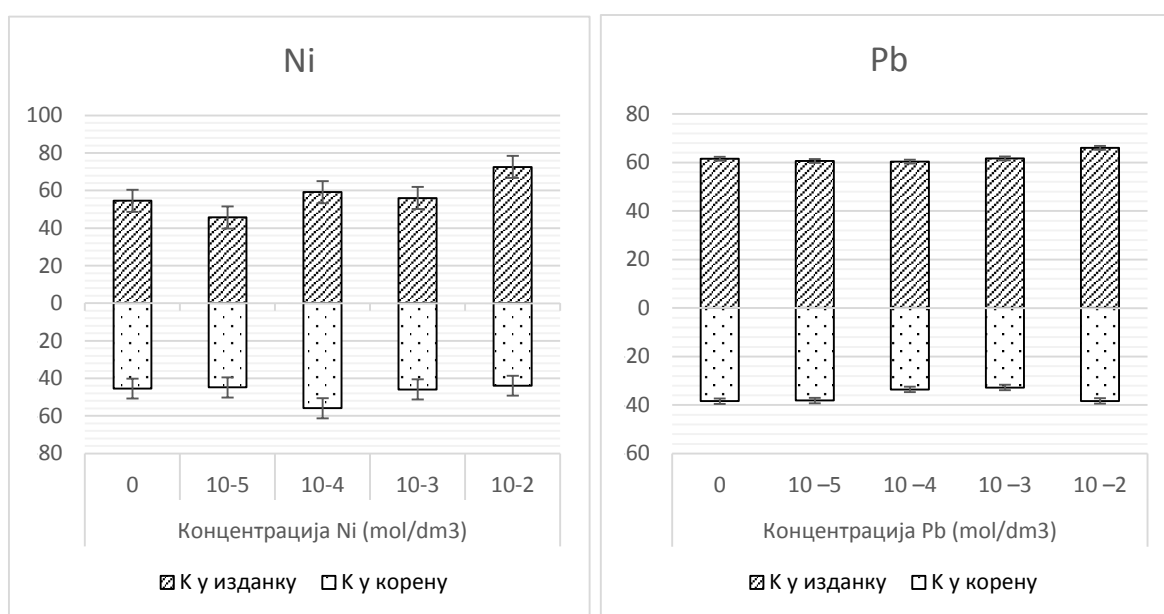
Када се упореде процентуалне промене транслокације K у изданак и у корен у односу на контролне биљке, може се закључити да Ni има много интензивнији ефекат на редистрибуцију K у односу на Pb (слика 9).



Табела 4. Утицај Pb и Ni на концентрацију K (mg/100g) у изданку и корену поника кукуруза.

Третман	Орган	Концентрација раствора Pb или Ni (mol/dm <sup>3</sup> ) у ком је семе бубрило					LSD 5%	LSD 1%
		0	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>		
Ni	изданак	1062,50	890,30**	1152,00*	1091,39	1414,00**	80,27	114,17
	корен	885,27	873,08	1089,38**	894,70	855,34	73,37	104,35
Pb	изданак	1323,75	1302,50**	1296,50**	1325,25	1419,75**	12,30	17,49
	корен	825,50	819,00	721,00**	704,75**	823,75	16,88	24,01

Слика 9. Ефекат различитих концентрација Ni и Pb на транслокацију K у изданак и у корен поника кукуруза (у процентима)



#### 5.4.3. Утицај олова и никла на транслокацију сумпора из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза

У испитивањима транслокације S из семена утврђено је статистички значајно смањење транслокације S (табела 5). Већ при малим концентрацијама Pb у раствору уочава се смањење садржаја S у корену и у изданку поника. Даље повећање концентрација Pb у раствору не утиче на даље смањење садржаја S у изданцима, док се у корену уочава прво повећање транслокације S, затим нагло смањивање садржаја S са повећањем концентрације Pb у раствору.

Никал као и Pb већ при малом садржају у раствору смањује садржај S у изданку. Док највеће концентрације повећају транспорт S у изданак. Утврђено је да је

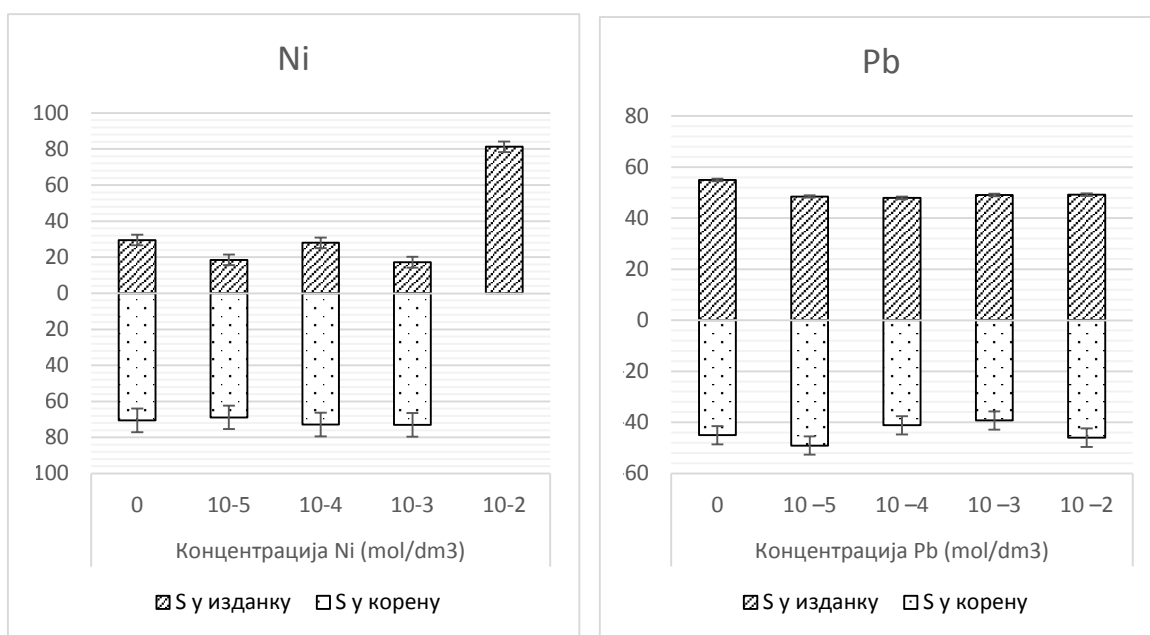
корен релативно отпоран на негативан ефекат никла све до токсичних концентрација ( $10^{-2} \text{ mol Ni/dm}^3$ ) при чему се уочава потпуно заустављање транслокације S у корен.

Никал у поређењу са Pb изазива знатно интензивније промене у дистрибуцији S у поницима (слика 10).

Табела 5. Утицај Pb и Ni на концентрацију S (mg/100g) у изданку и корену поница кукуруза.

Третман	Орган	Концентрација раствора Pb или Ni ( $\text{mol/dm}^3$ ) у ком је семе бубрило					LSD 5%	LSD 1%
		0	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$		
Ni	изданак	472,25	296,00**	447,50	275,50**	1300,50**	33,34	47,42
	корен	1128,27	1102,34	1165,63	1168,25	0,00**	73,38	104,38
Pb	изданак	263,39	232,50**	229,90**	235,24**	235,81**	1,66	2,36
	корен	215,97	235,34**	197,38**	188,33**	220,59	12,14	17,27

Слика 10. Ефекат различитих концентрација Ni и Pb на транслокацију S у изданак и у корен поница кукуруза (у процентима).



#### 5.4.4. Утицај олова и никла на транслокацију магнезијума из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза

Мале концентрације Ni и Pb смањују садржај Mg у корену, док значајно смањење садржаја Mg у изданку уочава се при концентрацији  $10^{-5} \text{ mol Ni/dm}^3$  и  $10^{-4} \text{ mol Pb/dm}^3$  (табела 6). Сувишак Ni смањује усвајање и транслокацију Mg проузрукујући ретардацију клијања, смањење раста и приноса биљака (Nedhi и сар.,

1990; Madhava Rao i Sresty, 2000). Инхибиторни ефекат Ni на раст може бити ублажен додавањем Mg у хранљиви раствор (Genrich и сар., 1998).

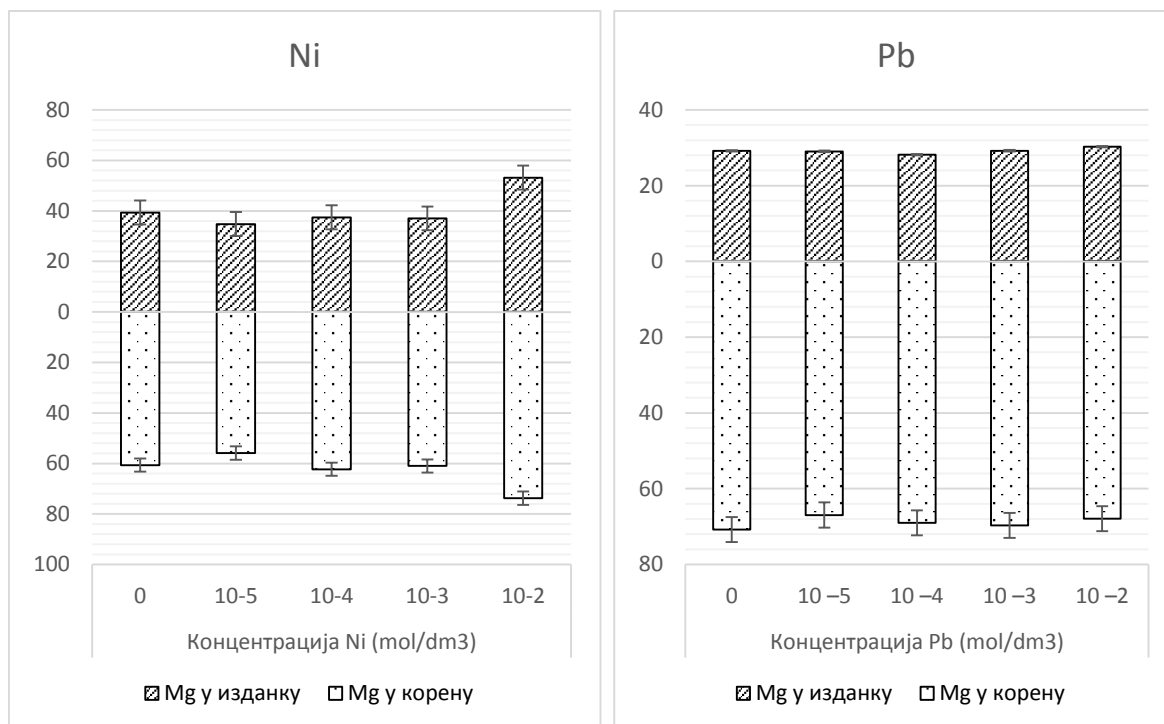
Велике концентрације Ni при третману од  $10^{-2}$  Ni/dm<sup>3</sup> интензивира редистрибуцију Mg из семена у изданак и у корен, док третман са оловом од  $10^{-2}$  Pb/dm<sup>3</sup> повећава садржај Mg у издануку, а смањује његову редистрибуцију у корен.

Утрвђено је много већи утицај на промене у метаболизму Mg изазваном токсичним третманима Ni него Pb у поређењу са контролним биљкама (слика 11).

Табела 6. Утицај Pb и Ni на концентрацију Mg (mg/100g) у изданку и корену поника кукуруза.

Третман	Орган	Концентрација раствора Pb или Ni (mol/dm <sup>3</sup> ) у ком је семе бубрило					LSD 5%	LSD 1%
		0	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>		
Ni	изданак	159,10	140,62*	151,35	149,78	214,90**	13,51	19,21
	корен	245,23	225,91**	251,97	246,62	298,16**	7,46	10,61
Pb	изданак	114,62	114,05	110,69**	114,74	118,97**	0,48	0,69
	корен	277,3	262,72**	270,89	273,56	266,42*	9,12	12,97

Слика 11. Ефекат различитих концентрација Ni и Pb на транслокацију Mg у изданак и у корен поника кукуруза (у процентима).



#### 5.4.5. Утицај олова и никла на транслокацију калцијума из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза

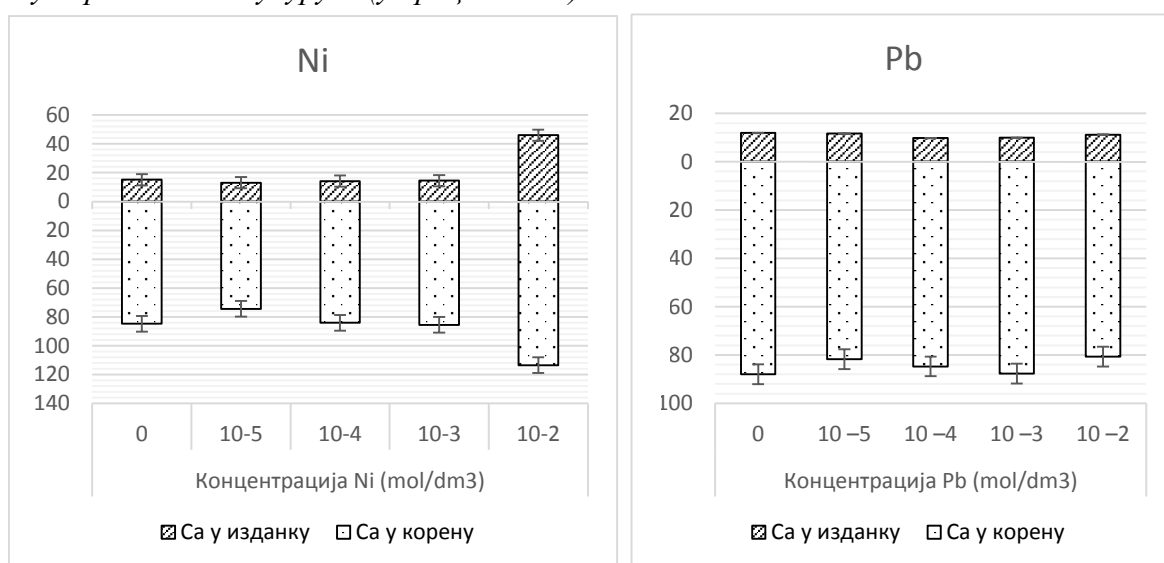
После хемијске анализе утврђено је да већ мале концентрације Pb у раствору изазивају значајне промене и транслокацији Ca из семена како у корен тако и у изданак (табела 7). Утврђено је смањење садржаја Ca у изданак при концентрацијама од  $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-2}$  mol Pb/dm<sup>3</sup>, као и смањење садржаја у корену при концентрацијама од  $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-2}$  mol Pb/dm<sup>3</sup>.

Третмани са Ni при малим концентрацијама ( $10^{-5}$  mol/dm<sup>3</sup>) изазвали су смањење транспорта Ca у корен, а третмани од  $10^{-2}$  mol Ni/dm<sup>3</sup> изазивају нагло повећање транслокације Ca у изданак и у корен, што у поређењу са Pb је изостало (слика 12).

Табела 7. Утицај Pb и Ni на концентрацију Ca (mg/100g) у изданку и корену поника кукуруза.

Третман	Орган	Концентрација раствора Pb или Ni (mol/dm <sup>3</sup> ) у ком је семе бубрило					LSD 5%	LSD 1%
		0	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$		
Ni	изданак	176,50	152,16	165,16	169,10	536,22**	31,79	45,21
	корен	987,95	866,91**	980,29	996,10	1322,24**	45,02	64,03
Pb	изданак	141,83	137,86**	116,27**	118,46**	132,77**	0,25	0,35
	корен	1041,98	967,61**	1003,19*	1037,95	955,39**	34,03	48,40

Слика 12. Ефекат различитих концентрација Ni и Pb на транслокацију Ca у изданак и у корен поника кукуруза (у процентима).



#### 5.4.6. Утицај олова и никла на транслокацију гвожђа из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза

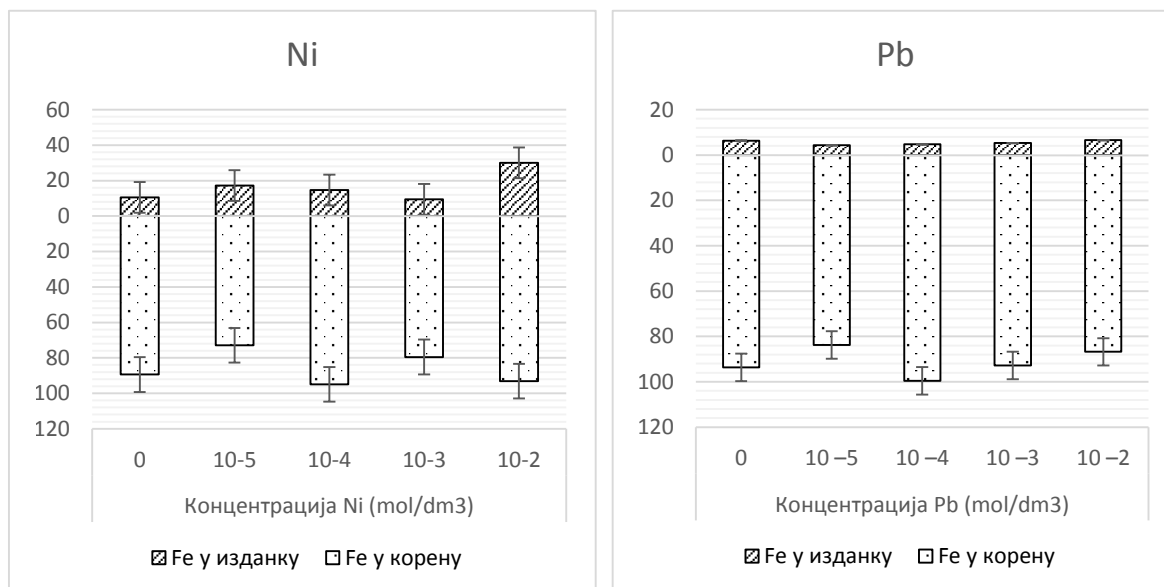
Третман тешким металима (табела 8 и слика 13) значајно је пореметио транслокацију Fe из семена у изданак. Никал при малим ( $10^{-5}$  mol/dm<sup>3</sup>) и при већим ( $10^{-2}$  mol/dm<sup>3</sup>) концентрацијама значајно подстиче транспорт Fe у изданак, али истовремено се уочава смањење транслокације Fe у корен из семена при концентрацијама Ni од  $10^{-5}$  и  $10^{-3}$  mol Ni/dm<sup>3</sup>.

Утицај Pb на садржај Fe у поницима се уочава већ при малим концентрацијама у раствору. Концентрације Pb од  $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$   $10^{-2}$  mol/dm<sup>3</sup> су смањиле транслокацију Fe у изданка поника, међутим Pb при концентрацијама од  $10^{-2}$  mol Pb/dm<sup>3</sup> повећало се премештање Fe из семена у изданак. Третмани оловом ( $10^{-5}$ ,  $10^{-2}$  mol/dm<sup>3</sup>) смањили су садржај Fe у корену, а уочено је да при третману од  $10^{-4}$  mol Pb/dm<sup>3</sup> дошло је до благог повећања концентрације Fe у корену младих биљака кукуруза.

Табела 8. Утицај Pb и Ni на концентрацију Fe (mg/kg) у изданку и корену поника кукуруза.

Третман	Орган	Концентрација раствора Pb или Ni (mol/dm <sup>3</sup> ) у ком је семе бубрило					LSD 5%	LSD 1%
		0	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$		
Ni	изданак	293,30	478,52*	406,77	260,30	829,75**	168,82	240,13
	корен	2473,01	2015,79**	2626,98	2199,53**	2576,73	190,35	270,75
Pb	изданак	164,10	112,30**	121,60**	136,15**	169,30**	0,67	0,95
	корен	2401,30	2148,15**	2553,25*	2379,65	2226,25**	108,93	154,94

Слика 13. Ефекат различитих концентрација Ni и Pb на транслокацију Fe у изданак и у корен поника кукуруза (у процентима).



#### 5.4.7. Утицај олова и никла на транслокацију цинка из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза

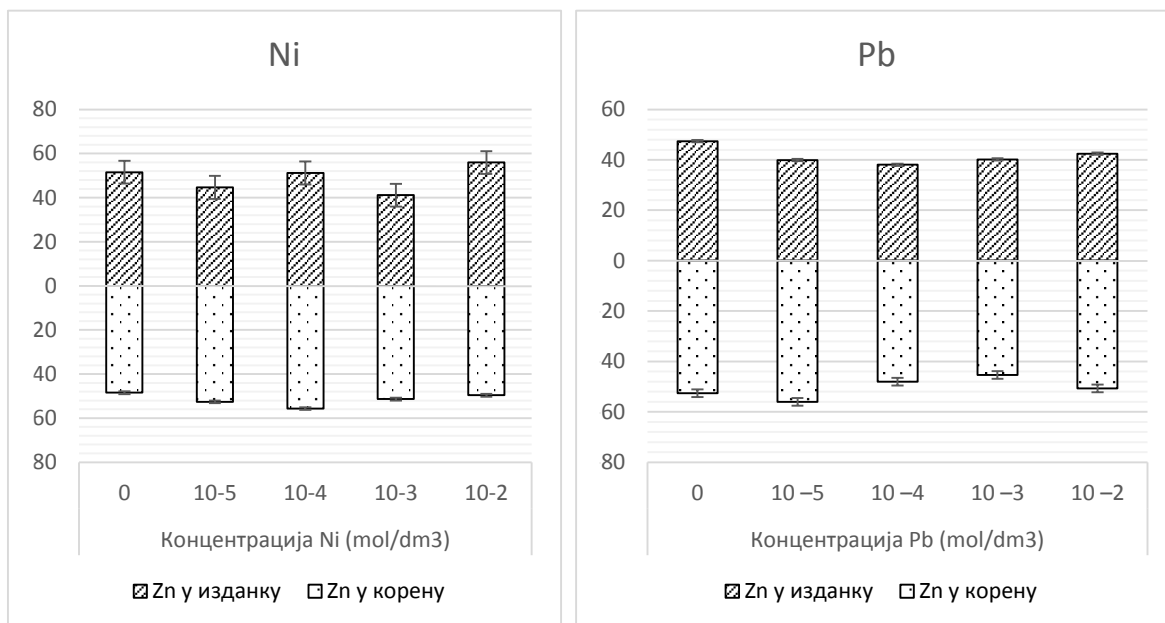
Утврђено је да Pb у значајној мери смањује транслокацију Zn како у изданак тако и у корен (табела 9 и слика 14) при свим третманима ( $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-2}$  mol/dm<sup>3</sup>). Најзначајније смањење се уочава при концентрацијама Pb у раствору од  $10^{-4}$  mol/dm<sup>3</sup>. Док раствор олова од  $10^{-5}$  mol/dm<sup>3</sup> извао повећање садржаја Zn у корену у односу на контролу.

Утицај Ni на транслокацију Zn је променљив. Концентрације од  $10^{-5}$  и  $10^{-3}$  mol Ni/dm<sup>3</sup> смањиле су транслокацију Zn у изданак, а концентрација од  $10^{-2}$  mol Ni/dm<sup>3</sup> је повећала садржај Zn у изданку поника. Никал је повећао и концентрацију Zn у корену у свим третманима. Највеће повећање се уочава код биљака које су наклијаване после третмана са Ni при концентрацији у раствору од  $10^{-4}$  mol Ni/dm<sup>3</sup>.

Табела 9. Утицај Pb и Ni на концентрацију Zn (mg/kg) у изданку и корену поника кукуруза.

Третман	Орган	Концентрација раствора Pb или Ni (mol/dm <sup>3</sup> ) у ком је семе бубрило					LSD 5%	LSD 1%
		0	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>		
Ni	изданак	72,70	63,00**	72,22	58,07**	78,95*	5,27	7,50
	корен	68,39	74,28**	78,57**	72,47**	70,03**	0,62	0,88
Pb	изданак	47,51	39,97**	38,16**	40,27**	42,57**	0,31	0,44
	корен	52,71	56,19**	48,18**	45,49**	50,81**	1,07	1,53

Слика 14. Ефекат различитих концентрација Ni и Pb на транслокацију Zn у изданак и у корен поника кукуруза (у процентима).



#### 5.4.8. Утицај олова и никла на транслокацију бакра из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза

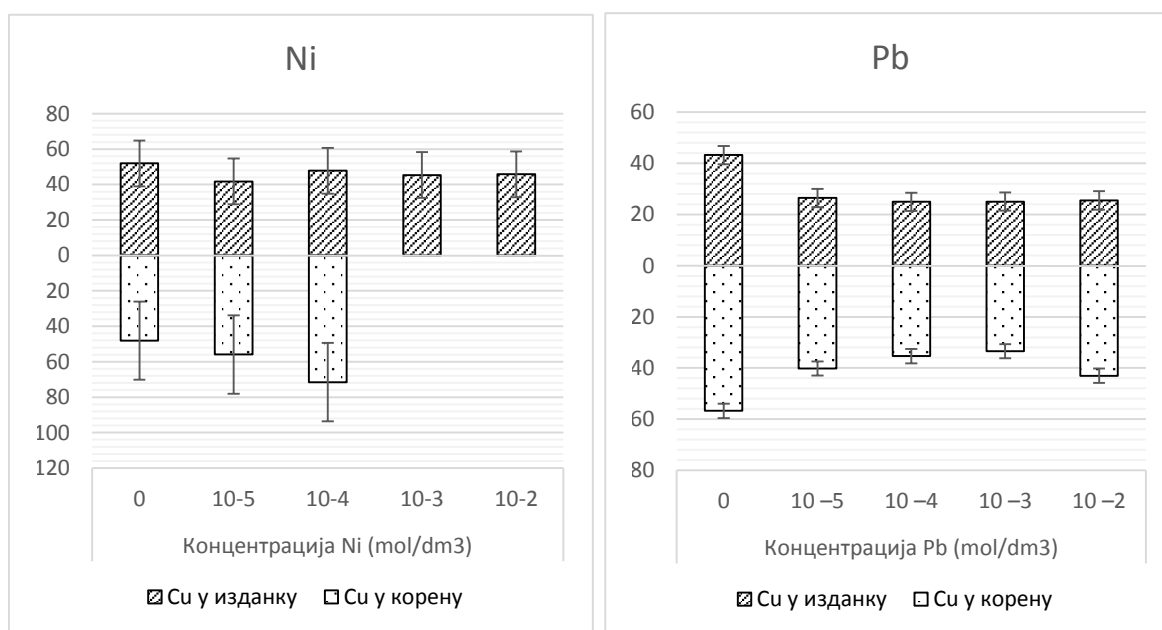
Инхибиција транслокације Cu може бити један од знакова фитотоксичности Pb и Ni (табела 10 и слика 15), пошто је утврђено да је Cu врло је сензитиван према третманима Pb и Ni. Никал при малим концентрацијама смањује транслокацију Cu из семена у изданак, међутим даље повећање концентрације Ni у раствору није изазвало статистички значајну промену у садржају Cu у изданцима поника кукуруза. Међутим концентрације Ni од 10<sup>-4</sup> mol/dm<sup>3</sup> повећале су садржај Cu у корену а даља повећања концентрације Ni у раствору у коме је семе кукуруза бубрило потпуно прекидају транслокацију Cu у корен.

После хемијске анализе биљног материјала утврђено је да су сви третмани оловом смањили транслокацију  $Cu$  из семена у изданак и у корен младих биљака кукуруза.

Табела 10. Утицај  $Pb$  и  $Ni$  на концентрацију  $Cu$  ( $mg/kg$ ) у изданку и корену поника кукуруза.

Третман	Орган	Концентрација раствора $Pb$ или $Ni$ ( $mol/dm^3$ ) у ком је семе бубрило					LSD 5%	LSD 1%
		0	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$		
$Ni$	изданак	5,01	4,03*	4,61	4,38	4,42	0,88	1,25
	корен	4,64	5,40	6,90**	0,00**	0,00**	1,50	2,13
$Pb$	изданак	5,73	3,51**	3,31**	3,32**	3,38**	0,33	0,48
	корен	7,52	5,33**	4,69**	4,43**	5,70**	0,26	0,37

Слика 15. Ефекат различитих концентрација  $Ni$  и  $Pb$  на транслокацију  $Cu$  у изданак и у корен поника кукуруза (у процентима).



#### 5.4.9. Утицај олова и никла на транслокацију мангана из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза

Даљим испитивањима је утврђено да олово и никал негативно утичу на транслокацију  $Mn$  из семена у изданак и у корен код младих биљака кукуруза (табела 11 и слика 16). Код биљака чије семе је бубрило у раствору  $Ni$  од  $10^{-5}$  и  $10^{-3}$  mol/dm<sup>3</sup> уочава се статистички значајно смањење транслокације  $Mn$  у корен, док је код семена



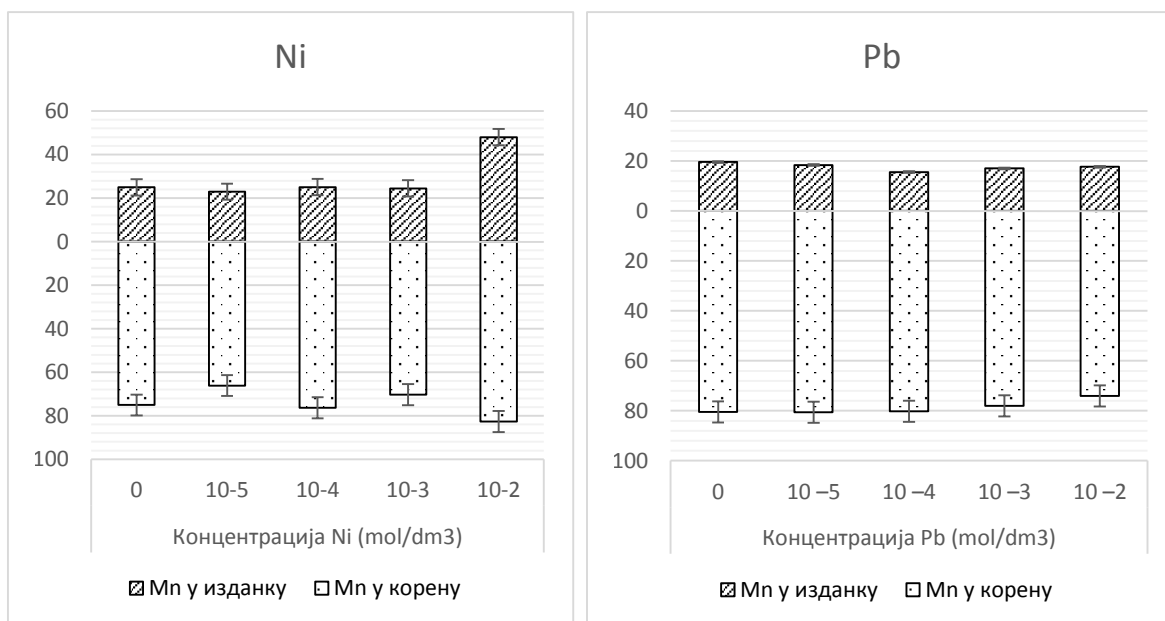
које је бубрило у раствору од  $10^{-2}$  mol Ni/dm<sup>3</sup> утврђено да је транслокација Mn у изданак и у корен је знатно већа него код контроле.

Утврђено је да сви третмани Pb значајно смањују транспорт Mn у изданак. Највеће смањење се примећује код биљака чије семе је бубрило у раствору Pb од  $10^{-4}$  mol Pb/dm<sup>3</sup>. Значајно смањење транслокације Mn у корен запажа се тек при високим концентрацијама Pb у раствору ( $10^{-2}$  mol Pb/dm<sup>3</sup>).

Табела 11. Утицај Pb и Ni на концентрацију Mn (mg/kg) у изданку и корену поника кукуруза.

Третман	Орган	Концентрација раствора Pb или Ni (mol/dm <sup>3</sup> ) у ком је семе бубрило					LSD 5%	LSD 1%
		0	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$		
Ni	изданак	23,72	21,82	23,83	23,28	45,67**	2,55	3,62
	корен	71,39	62,89**	72,59	66,84*	78,60**	3,30	4,69
Pb	изданак	14,10	13,23**	11,20**	12,26**	12,73**	0,17	0,25
	корен	57,92	58,00	57,75	56,21	53,33**	2,14	3,05

Слика 16. Ефекат различитих концентрација Ni и Pb на транслокацију Mn у изданак и у корен поника кукуруза (у процентима).



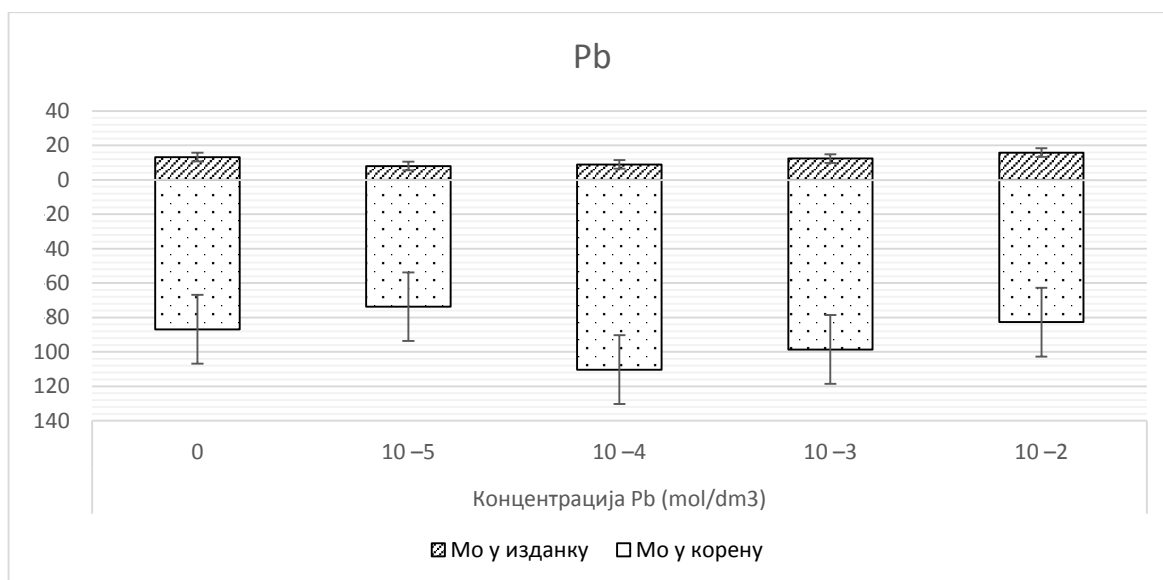
#### 5.4.10. Утицај олова на транслокацију молибдена из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза

Утврђено је да утицај Pb на транслокацију Мо у поник је различит (табела 12 и слика 17). Концентрације раствора од  $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$  mol Pb/dm<sup>3</sup> значајно су смањиле транслокацију Мо у изданак док концентрације од  $10^{-2}$  mol Pb/dm<sup>3</sup> су повећале садржај Мо у изданку поника кукуруза. Значајно повећање садржаја Мо у корену уочава се само код биљака чије је семе бубрило у раствору од  $10^{-4}$  mol Pb/dm<sup>3</sup>.

Табела 12. Утицај Pb на концентрацију Мо (mg/kg) у изданку и корену поника кукуруза.

Третман	Орган	Концентрација раствора Pb или Ni (mol/dm <sup>3</sup> ) у ком је семе бубрило					LSD 5%	LSD 1%
		0	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$		
Pb	изданак	0,19	0,12**	0,13**	0,18**	0,23**	0,03	0,04
	корен	1,26	1,07	1,60**	1,43	1,20	0,20	0,29

Слика 17. Ефекат различитих концентрација Pb на транслокацију Мо у изданак и у корен поника кукуруза (у процентима).



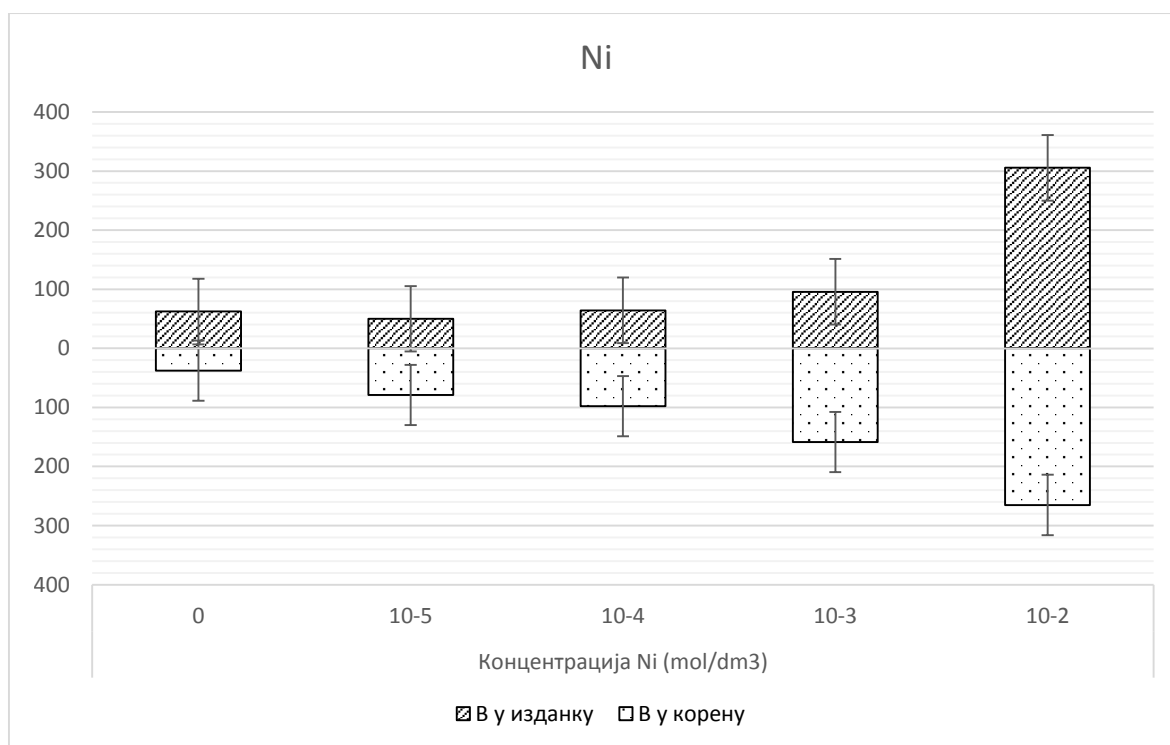
#### 5.4.11. Утицај никла на транслокацију бора из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза

Утицај Ni на транслокацију В је било значајан (табела 13 и слика 18). Статистички сигнификантно повећање транслокације В у изданак уочава се само при третману од  $10^{-2}$  mol Ni/dm<sup>3</sup>. Међутим повећан садржај В у корену уочен код свих третмана са Ni.

Табела 13. Утицај Ni на концентрацију В (mg/kg) у изданку и корену поника кукуруза.

Третман	Орган	Концентрација раствора Pb или Ni (mol/dm <sup>3</sup> ) у ком је семе бубрило					LSD 5%	LSD 1%
		0	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>		
Ni	изданак	10,53	8,44	10,85	16,16	51,66**	6,59	9,38
	корен	6,38	13,38*	16,55**	26,83**	44,83**	6,07	8,63

Слика 18. Ефекат различитих концентрација Ni на транслокацију В у изданак и у корен поника кукуруза (у процентима).



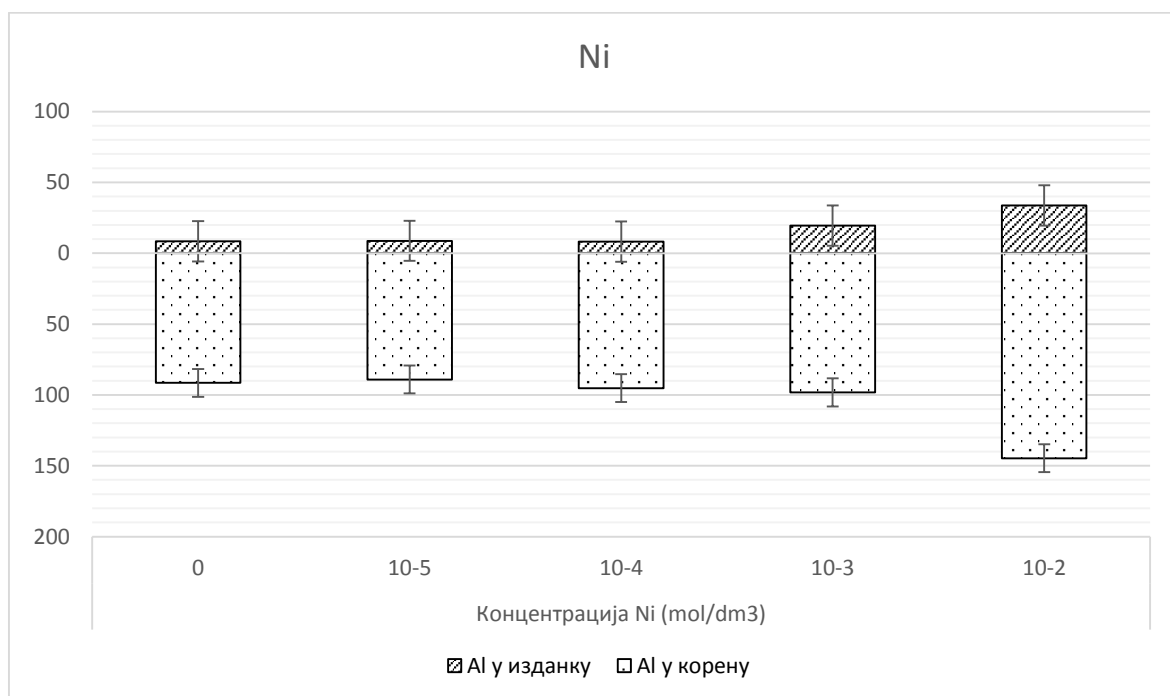
#### 5.4.12. Утицај никла на транслокацију алуминијума из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза

Веће концентрације Ni у раствору у коме је семе кукуруза бубрило утицало је на повећање транслокације Al у изданак ( $10^{-3}$ ,  $10^{-2}$  mol Ni/dm<sup>3</sup>) и у корен ( $10^{-2}$  mol Ni/dm<sup>3</sup>).

Табела 14. Утицај Ni на концентрацију Al (mg/kg) у изданку и корену поника кукуруза.

Третман	Орган	Концентрација раствора Pb или Ni (mol/dm <sup>3</sup> ) у ком је семе бубрило					LSD 5%	LSD 1%
		0	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>		
Ni	изданак	91,88	94,88	89,43	211,75*	367,20**	108,44	154,24
	корен	994,90	968,42	1034,39	1067,64	1572,54**	75,35	107,17

Слика 19. Ефекат различитих концентрација Ni на транслокацију Al у изданак и у корен поника кукуруза (у процентима).



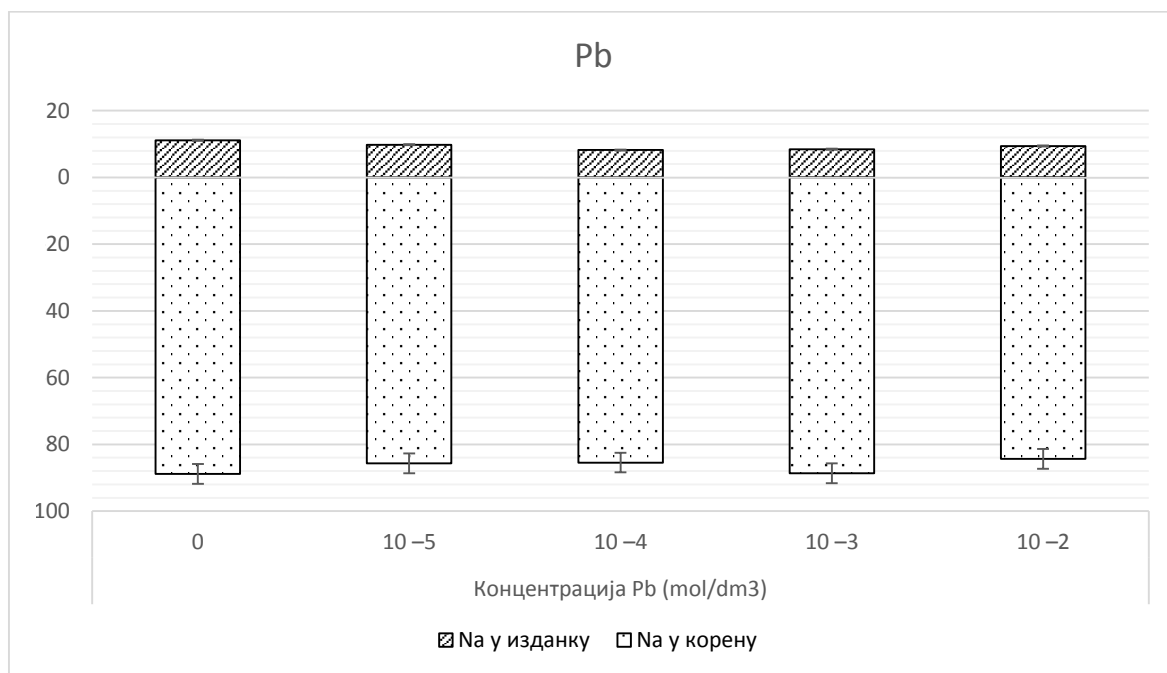
### 5.4.13. Утицај олова на транслокацију натријума из семена у изданак и у корен током клијања кукуруза

Утврђено је хемијском анализом да олово статистички значајно смањује транслокацију Na из семена у изданак ( $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-2}$  mol Pb/dm<sup>3</sup>) и у корен ( $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-2}$ ).

Табела 15. Утицај Pb на концентрацију Na (mg/kg) у изданку и корену поника кукуруза.

Третман	Орган	Концентрација раствора Pb или Ni (mol/dm <sup>3</sup> ) у ком је семе бубрило					LSD 5%	LSD 1%
		0	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>		
Pb	изданак	633,70	556,59**	466,65**	480,02**	533,98**	5,53	7,87
	корен	5047,01	4867,10**	4854,97**	5037,03	4790,73**	117,85	167,62

Слика 20. Ефекат различитих концентрација Pb на транслокацију Na у изданак и у корен поника кукуруза (у процентима).



## 6. ЗАКЉУЧАК

Испитивано је дејство различитог степена контаминације семена кукуруза оловом (Pb) и никлом (Ni) на транслокацију минералних елемената током клијања и изведени су следећи закључци:

- Утрвђено је да је семе кукуруза интензивно усвајало Pb и Ni из раствора у којима је бубрило.
- Код контроле (биљке чије је семе бубрило у води, без присуства Pb и Ni), транслокација N, P, K, Zn, Cu, B је интензивнија у изданак него у корен, док транслокација S, Mg, Ca, Fe, Mn, Al, Ni, Mo, Na много је интензивнија у корен него у изданак током почетних фаза раста и развоја поника кукуруза.
- Утицај Pb и Ni на транслокацију неопходних елемената је значајан.
- Третман оловом значајно је смањио транслокацију P, K, S, Mg, Ca, Fe, Zn, Cu, Mn, Na из семена у изданак и у корен. Транслокација Mo је била смањена у изданак, а повећана у корен при концентрацији Pb од  $10^{-4}$  mol/dm<sup>3</sup>.
- Концентрација олова од  $10^{-5}$  mol/dm<sup>3</sup> стимулативно је деловала на транслокацију Zn и S у корен,  $10^{-4}$  mol/dm<sup>3</sup> на Fe у корен, а  $10^{-2}$  mol/dm<sup>3</sup> на K, Fe и Mo у изданак клијанаца кукуруза.
- Ниже концентрације Ni ( $10^{-5}$  mol/dm<sup>3</sup>) су смањиле транслокацију Mg и Mn у изданак и у корен. Транслокација P, K, S, Zn је била смањена само у изданак, а Ca и Fe у корен. Насупрот томе транслокација Zn у корен је била интензивирана.
- Веће концентрације Ni ( $10^{-4}$  mol/dm<sup>3</sup>) су подстицале транслокацију K у изданак и корен, а Zn у корен. Насупрот томе концентрација Ni од  $10^{-2}$  mol/dm<sup>3</sup> је повећала садржај K, Mg, Fe, Mn, Al у изданку, док S, Mg, Ca, Zn, Al, B у корену.
- Утрвђено је и потпуно ихинбирање транслокације P, S, у корен при концентрацији  $10^{-2}$  mol Ni/dm<sup>3</sup> у раствору у коме је зрно кукуруза бубрило, док су концентрације  $10^{-3}$  и  $10^{-2}$  mol/dm<sup>3</sup> прекинуле транслокацију Zn у корен поника кукуруза.

- Упоређујући утицај различитих концентарција Ni и Pb, долази се до закључка да веће концентрације Ni делују токсичније на младе биљке кукуруза него Pb.
- Даља истраживања утицаја Pb и Ni на физиолошке проказатеље током клијања кукуруза треба усмерити на проучавање промене активности ензима под утицајем ових тешких метала.

## 7. ЛИТЕРАТУРА

- Ahmad MS, Asharaf M (2011): Essential role and hazardous effects of nickel in plants. *Rev Environ. Contam. Toxicol.*, 214, 125-167.
- Alloway BJ (1995): Heavy metals in soil (Ed: Alloway BJ), 2<sup>nd</sup> ed., Blackie Academic and Professional, London, 25-34.
- Amzallag GN, Lerner HR (1995): Physiological adaptation of plants to environmental stresses, in: Pessaraki M. (Ed.), *Handbook of Plant and Crop Physiology*, Marcel Dekker, New York, 557-625.
- Ashraf MY, Sadiq R, Hussain M, Asharaf M, Ahmad MS (2011): Toxic effect of nickel (Ni) on growth and metabolism in germinating seeds of sunflower (*Helianthus annuus L.*). *Biol Trace Elem Res*, 143, 1695-1703.
- Astrom M, Bjorklund A (1996): Hydrogeochemistry of a stream draining sulfide bearing postglacial sediments in Finland. *Water Air Soil Poll.*, 89, 233-246.
- Bewley JD, Bradford KJ, Hilhorst HWK, Nonogaki H (2013): *Seeds physiology of development, germination and dormancy*, 3<sup>rd</sup> edition. Springer New York, Heidelberg, Dordrecht, London.
- Bogdanović D, Ubavić M, Hadžić V (1997): Teški metali u zemljištu 97-152. U: Kastori R., (Ured) *Teški metali u životnoj sredini. Naučni institute za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad*
- Bradford KJ (1995): Water relations in seed germination, in: Kigel J, Galili G (Eds.), *Seed development and germination*. Marcel Dekker, New York, 351-395.
- Cataldo DA, Garland TR, Wildung RE (1978): Nickel in plants: I. uptake kinetics using intact soybean seedlings. *Plant Physiol.*, 62, 563-565.
- Chachschin VP, Artunina PA, Norseth T (1994): Congenital defects, abortion and other health effect in nickel refinery workers. *Science Tot. Environ.*, 148 (2-3), 287-291.
- Chen C, Huang D, Liu J (2009): Functions and toxicity of nickel in plants: Recent advantages and future prospects. *Clean*, 39 (4-5), 304-313.
- Dan TV, Krishnaraj S, Saxena PK (2002): Cadmium and nickel uptake and accumulation in scented *Geranium (Pelargonium sp. 'Frensham')*. *Water Air Soil Poll.*, 137, 355-364.
- Das, P.K., Kar, M., Mirsha, D. (1978). Nickel Nutrition of Plants: Effect of Nickel on Some Oxidase Activities during Rice (*Oryza sativa L.*) Seed Germination, *Z. Pflanzenphysiol*, 90, 225-233.
- Doroghazi O (2010): Uticaj olova i nikla na biološku vrednost semena kukuruza. *Diplomski rad, Poljoprivredni Fakultet, Univerzitet Novi Sad.*
- Doroghazi TO, Kastori RR, Maksimović VI (2010): Nickel translocation from seed during germination and plant growth of young maize plants. *Proc. Nat. Sci, Matica Srpska Novi Sad*, 119, 17-25.



- Doroghazi, O (2007): Uticaj kontaminacije semena kukuruza olovom na njegovu biološku vrednost. Zbornik radova sa 31. Smotre naučnih radova studenata poljoprivrede sa međunarodnim učešćem 35-40, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
- Duarte B, Delgado M, Cacador I (2007): The role of citric acid in cadmium and nickel uptake and translocation in *Halimione portilacoides*. *Chemosphere*, 69, 836-840.
- Gajewska E, Sklodowska M, Slaba M, Mazur J (2006): Effect of nickel on antioxidative enzyme activities, proline and chlorophyll contents in wheat shoots., *Biol. Plant.*, 50, 653-659.
- Genrich I, Burd GI, Dixon BG, Glick BR (1998): A plant growth-promoting bacterium that decreases nickel toxicity in seedlings. *Appl. Environ. Microbiol.*, 64, 3663-3668.
- Ghasemi F, Heidari R, Jameii R, Purakbar L (2013): Response of growth and antioxidative enzymes to various concentrations of nickel in *Zea mays* leaves and roots. *Rom. J. Biol – Plant Biol.*, 58, 37-49.
- Gisbert C, Ros R, De Haro A, Walker DJ, Pilar Bernal M, et al (2003): A plant genetically modified the accumulates Pb especially promising for phytoremediation. *Biochem. Bioph. Res. Com.*, 303, 440-445.
- Goyer R (1991): Toxic effects of metals, In: *Casarett and Doull's Toxicology*, 4<sup>th</sup> editin, edited by amdur MO, Doull JD, Klaassen CD (Pergamon Press) New York, 623-680.
- Jana S, Chourdhari MA (1982): Senescence in submerged aquatic angiosperms: effect of heavy metals. *New Phytol.*, 90, 477-484.
- Jarvis MD, Leund DWM (2002): Chelated lead transport in *Pinus radiata*: an ultrastructural study. *Environ. Exp. Bot.*, 48, 21-32.
- Jones LHP, Clement CR, Hopper MJ (1973) Lead uptake from solution by perennial ryegrass and its transport from roots to shoots. *Plant Soil*, 38, 403-414.
- Kastori RR, Maksimović VI, Doroghazi TO, Putnik-Delić IM (2012): Effect of lead contamination of maize seed on its biological properties. *Proc. Nat. Sci, Matica Srpska Novi Sad*, 123, 75-82.
- Lamhamdi M, Bakrim A, Aarab A, Lafont R, Sayah F (2011): Effect of lead phytotoxicity on wheat (*Triticum aestivum L.*) seed germination and seedling growth. *C. R. Biol.*, 334, 118-126.
- Lane SD, Martin ES (1977): A histochemical investigation of lead uptake in *Raphanus sativus*. *New Phytol.* 79, 281-286.
- Lee KC, Cunningham BA, Poulsen GM, Liang JM, Moore RB (1976): Effects of cadmium on respiration rate and activities of several enzymes in soybean seedlings. *Physiol. Plant.*, 34, 4-6.
- Madhava Rao KV, Sresty TV (2000): Antioxidative parameters in the seedlings of pigeon pea (*Cajanus cajan (L.) Millspaugh*) in response to Zn and Ni stresses. *Plant Sci.*, 157, 113-128.
- Madhava Rao KV, Sresty TV: Antioxidative parameters in the seedlings of pigeonpea (*Cajanus cajan (L.) Millspaugh*) in response to Zn and Ni stresses. *Plant Sci.*, 157, 113-128.
- Maheshawari R, Dubey RS (2007): Nickel toxicity inhibits ribonuclease and protease activities in rice seedlings: protective effects of proline. *Plant Growth Regul.*, 51, 231-243.

- Marschner H (1995): Mineral nutrition of higher plants, 2nd ed., Academic Press, London, pp 889.
- Mishra D, Kar M (1974): Nickel in plant growth and metabolism. *Bot Rev.*, 40, 395-452.
- Molas J (2002): Changes of chloroplast ultrastructure and total chlorophyll concentration in cabbage leaves caused by excess of inorganic Ni (II) complexes. *Environ. Exp. Bot.*, 47, 115-126.
- Nedhi A, Singh LJ, Singh SI (1990): Effect of cadmium and nickel on germination, early seedling growth and photosynthesis of wheat and pigeon pea, *Int. J. Trop. Agr.* 8, 141-147.
- Neiminen TM, Ukonmaanaho L, Raush N, Shotyk W (2007): Biogeochemistry of nickel and its release into the environment. *Met. Ions Life Sci.*, 2, 1-30.
- Nonogaki H, Bassel GW, Bewley (2010): Germination – Still a mystery. *Plant Sci.*, 179, 574-581.
- Page H, Feller U (2005): Selective transport of zinc, manganese, nickel, cobalt and cadmium in the root system and transfer to the leaves in young wheat plants. *Ann. Bot.*, 96, 425-434.
- Parida AK, Das AB (2004): Effects of NaCl stress on nitrogen and phosphorous metabolism in a true mangrove *Bruguiera parviflora* grown under hydroponic culture. *J. Plant Physiol.*, 161, 921-928.
- Riesen O, Feller U (2005): Redistribution of nickel, cobalt, manganese, zinc and cadmium via the phloem in young and in maturing wheat. *J. Plant. Nutr.*, 28, 421-430.
- Rossi E (2008): Low level environmental lead exposure – a continuing challenge. *Clin. Biochem. Rev.*, 29, 63-70.
- Rout GR, Das P (2003): Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism. *Agron. Sustain. Dev.*, 23, 3-11.
- Rout GR, Samantaray S, Das P (2000). Effects of chromium and nickel on germination and growth in tolerant and non-tolerant populations of *Echinochloa colona* (L.) Link. *Chemosphere*, 40, 855-859.
- Seregin AV, Kozhevnikova AD (2006): Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants, *Russ. J. Plant Physiol.*, 53, 257-277.
- Seregin IV, Kozhevnikova AD (2008): Roles of root and shoot tissues in transport and accumulation of cadmium, lead, nickel, and strontium. *Russ. J. Plant Physiol.*, 55, 1-22.
- Seregin IV, Shpingun LK, Ivaniov VB (2004): Distribution and toxic effects of cadmium and lead on maize roots. *Russ. J. Plant Physiol.*, 51, 525-533.
- Shah K, Dubey RS (1997): Cadmium alters phosphate level and suppresses activity of phosphorolytic enzymes in germinating rice seeds. *J. Agron. Crop Sci.*, 179, 35-45.
- Sharma P, Dubey RS (2005): Lead toxicity in plants. *Braz. J. Plant Physiol.*, 17, 35-52.
- Singh HP, Kaur G, Batish DR, Kohli RK (2011): Lead (Pb)-inhibited radicle emergence in *Brassica campestris* involves alterations in starch-metabolizing enzymes. *Biol. Trace. Elem. Res.*, 144, 1295-1301.
- Smialowicz RJ, Rogers RR, Riddle MM, Scott GA (1984): Immunologic effect of nickel: I. Suppression of cellular and humoral immunity. *Environ. Res.*, 33, 413-427.

- Smialowicz RJ, Rogers RR, Rowe DG (1988): The effects of nickel on immune function in the rat. *Toxicology.*, 44, 271-281.
- US Environmental Protection Agency (EAT) (2000): Introduction of toxic metals, EPA/600/R-99/107, National Risk Management Research Laboratory. Office of Research and Development, Cincinnati, OH, 45268 (Electronic document).
- Verma S, Dubey RS (2003): Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Sci.* 164, 645-655.
- Vigel-Mikus K, Drobne D, Regvar M (2005): Zn, Cd and Pb accumulation and arbuscular mycorrhizal colonization of pennycress *Thlaspi praecox Wulf. (Brassicaceae)* from the vicinity of lead mine and smelter in Slovenia, *Environ. Pollut.*, 133, 233-242.
- Walker WM, Miller JE, Hassett JJ (1977): Effect of lead and cadmium upon the calcium, magnesium, potassium and phosphorus concentration in young corn plans. *Soil Sci.*, 124, 145-151.
- Watanabe MA (1997): Phytoremediation on the brink of commercialization. *Environ. Sci. Technol.*, 31, 182-186.
- Welsh, R.M. (1992). The Biological Significance of Nickel, *J. Plant Nutr.*, 1981, 3, 345–356.
- Wierzbicka M, Obidzinska J (1998): The effect of lead on seed imbibition and germination in different plant species. *Plant Sci.*, 137, 155-171.
- Wierzbicka MH, Przedpeska E, Ruyik R, Ouerdane L, Poeć-Pawlak K, Jarosz M, Szpunar J, Szakiel A (2007): Comparison of the toxicity and distribution of cadmium and lead in plant cells. *Protoplasma*, 231, 99-111.
- Zwolsman JJG, van Vokhoven AJ (2007): Impact of summer droughts on water quality of the Rhine River-a preview of climate change. *Water Sci. Technol.*, 56, 45-55.

## 8. БИОГРАФИЈА

Дорогхази Ото је рођен 22.08.1985. у Врбасу.

Основну школу је завршио у Кули 2000.

Затим је са одличном успехом похађао Средњу пољопривредну школу у Бачкој Тополи у периоду од 2000 до 2004.

2004. године уписао се на Пољопривредни факултет у Новом Саду на смер Ратарство и повртарство. Студије је завршио 2010. године са просечном оценом 9,15. Затим се уписује на мастер студијски програм Земљиште и исхрана биљака.

2011. године почиње да ради као приправник у ратарској производњи у компанији Криваја д.о.о., Криваја. Три године касније постаје руководилац ратарске производње исте компаније.

2014. проводи 7 месеци на стручном усавршавању у САД у оквиру програма САЕР.

2015. године је запослен као наставник биологије у ОШ „Петефи бригада“, Кула. Затим се враћа на усавршавање на фарму Dave Linstad Farm (Северна Дакота, САД).