

**Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Institut Ruđer Bošković u Zagrebu
Sveučilište u Dubrovniku
Sveučilišni poslijediplomski interdisciplinarni doktorski studij
„Molekularne bioznanosti“**

Andrijana Eded, dipl.ing.

**SORTNA SPECIFIČNOST AKUMULACIJE KADMIJA, CINKA I
ŽELJEZA U ZRNU OZIME PŠENICE
(*Triticum aestivum* L.)**

Doktorski rad

Osijek, 2011.

**Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Institut Ruđer Bošković u Zagrebu
Sveučilište u Dubrovniku
Sveučilišni poslijediplomski interdisciplinarni doktorski studij
„Molekularne bioznanosti“**

Andrijana Eded, dipl.ing.

**SORTNA SPECIFIČNOST AKUMULACIJE KADMIJA, CINKA I
ŽELJEZA U ZRNU OZIME PŠENICE
(*Triticum aestivum* L.)**

**Doktorski rad predložen
Sveučilišnom Vijeću za poslijediplomske interdisciplinarne
doktorske studije
zbog stjecanja akademskog stupnja
doktora molekularnih bioznanosti – modul bioinformatika**

Osijek, 2011.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA I HIPOTEZA	3
2.1. Ciljevi istraživanja	3
2.2. Hipoteza	3
3. PREGLED LITERATURE	4
3.1. Kadmij, cink i željezo u tlu te njihov značaj za biljke, životinje i ljude	4
3.2. Usvajanje, translokacija, distribucija i akumulacija kadmija, cinka i željeza	7
3.3. Biofortifikacija pšenice	10
4. MATERIJAL I METODE	14
4.1. Vegetacijski pokus	14
4.1.1. Odabir genotipova ozime pšenice za sjetvu	14
4.1.2. Izbor tla i priprema tla za sjetvu u posude	16
4.1.3. Priprema otopine CdCl ₂ i kontaminacija tla	18
4.1.4. Priprema otopine uree i tripleksa	19
4.1.5. Sjetva ozime pšenice	19
4.1.6. Priprema otopine za prihranu pšenice	19
4.1.7. Eksperimentalni dizajn	19
4.1.8. Uzorkovanje	20
4.2. Određivanje komponenti prinosa i kvantitativnih svojstava pšenice	21
4.3. Laboratorijska analiza biljnog materijala	21
4.3.1. Određivanje koncentracije kadmija, cinka i željeza	22
4.4. Statistička obrada podataka	22
4.5. Klimatske prilike	23
4.5.1. Klimadijagram po Walteru za 2007., 2008. i 2009. godinu za područje Osijeka	24
5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA	27
5.1. Agronomska svojstva ozime pšenice	27
5.1.1. Agronomska svojstva ozime pšenice u vegetacijskoj sezoni 2007./2008.	27
5.1.2. Agronomska svojstva ozime pšenice u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.	35
5.1.3. Usporedba agronomskih svojstva ozime pšenice između prve (2007./2008.) i druge (2008./2009.) godine pokusa	39
5.1.4. Korelacije agronomskih svojstava ozime pšenice	40
5.2. Koncentracija i iznošenje kadmija, cinka i željeza masom suhe tvari	42
5.2.1. Koncentracija i iznošenje kadmija, cinka i željeza u vegetacijskoj sezoni 2007./2008.	42
5.2.1.1. Koncentracija i iznošenje kadmija	42
5.2.1.2. Koncentracija i iznošenje cinka	47
5.2.1.3. Koncentracija i iznošenje željeza	52
5.2.2. Koncentracija i iznošenje kadmija, cinka i željeza u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.	56
5.2.2.1. Koncentracija i iznošenje kadmija	56
5.2.2.2. Koncentracija i iznošenje cinka	68
5.2.2.3. Koncentracija i iznošenje željeza	80
5.2.3. Usporedba koncentracija i iznošenja kadmija, cinka i željeza između prve (2007./2008.) i druge (2008./2009.) godine pokusa	90

5.3.	Korelacije koncentracija i iznošenja kadmija, cinka i željeza	93
5.3.1.	Korelacije koncentracija kadmija, cinka i željeza u vegetacijskoj sezoni 2007./2008.	93
5.3.2.	Korelacije koncentracija kadmija, cinka i željeza u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.	98
6.	RASPRAVA	101
6.1.	Izbor sorata za sjetvu u drugoj godini pokusa	101
6.2.	Agronomska svojstva ozime pšenice	103
6.3.	Usvajanje kadmija, cinka i željeza u ozime pšenice	106
6.4.	Translokacija kadmija, cinka i željeza u ozime pšenice	109
6.5.	Distribucija kadmija, cinka i željeza u ozime pšenice	111
6.6.	Akumulacija kadmija, cinka i željeza u ozime pšenice	115
6.7.	Pogodnost ispitivanih genotipova ozime pšenice za prehranu ljudi	119
6.8.	Pogodnost ispitivanih genotipova ozime pšenice za hranidbu životinja	120
6.9.	Značaj rezultata za oplemenjivanje pšenice	121
7.	ZAKLJUČAK	123
8.	LITERATURA	128
9.	SAŽETAK	138
10.	ABSTRACT	139
11.	PRILOG	140
12.	ŽIVOTOPIS	143

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, sveučilišni poslijediplomski
interdisciplinarni doktorski studij *Molekularne bioznanosti*

Doktorski rad

SORTNA SPECIFIČNOST AKUMULACIJE KADMIJA, CINKA I ŽELJEZA U ZRNU OZIME PŠENICE (*Triticum aestivum* L.)

ANDRIJANA EĐED

Trg Svetog Trojstva 3

U radu je proučavana specifičnost usvajanja, translokacije, distribucije i akumulacije kadmija, cinka i željeza u različitim genotipova ozime pšenice. Ciljevi istraživanja su bili: (1) ispitati postoji li genetska specifičnost genotipova ozime pšenice u pogledu akumulacije kadmija, cinka i željeza u zrno pšenice te mogu li se identificirati sorte niske akumulacije kadmija uz visoku akumulaciju cinka i/ili željeza, (2) istražiti postojanje genetske različitosti genotipova ozime pšenice u pogledu translokacije kadmija, cinka i željeza iz vegetativnih dijelova u zrno te (3) utvrditi utjecaj kontaminiranosti tla kadmijem na distribuciju i akumulaciju kadmija, cinka i željeza u organe pšenice. Pokus je postavljen u posude u vegetacijskim sezonama 2007./2008. i 2008./2009. U prvoj godini pokus je bio postavljen po planu potpuno slučajnog sustava s 52 sorte ozime pšenice i dvije razine kontaminacije tla kadmijem (0 i 20 mg kg⁻¹) u četiri ponavljanja. U drugoj godini pokus je postavljen po planu potpuno slučajnog blok sustava s 10 sorata pšenice i tri razine kontaminacije tla kadmijem (0, 2 i 5 mg kg⁻¹) u četiri ponavljanja. Koncentracija kadmija, cinka i željeza određena je u fazi cvatnje u korijenu, stabljici, listovima, listu zastavičaru i klasu te u punoj zriobi u slami, listovima, pljevicama i zrnu. Utvrđena je sortna specifičnost s obzirom na akumulaciju kadmija, cinka i željeza na kontaminiranom i nekontaminiranom tlu.

Ključne riječi: kadmij/cink/željezo/pšenica/akumulacija/sortna specifičnost

(143 stranica, 3 slike, 80 tablice, 19 grafikona, 119 literaturnih navoda, jezik izvornika hrvatski)

Rad je pohranjen u Gradskoj i sveučilišnoj knjižnici Osijek, Europske avenije 24

Mentori: prof.dr.sc. Zdenko Lončarić
prof.dr.sc. Dražen Horvat

Ocjenjivači: prof.dr.sc. Tihana Teklić
prof.dr.sc. Zdenko (Zed) Rengel
prof.dr.sc. Sonja Marić

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University in Osijek, University Postgraduate Interdisciplinary
Doctoral Study *Molecular Biosciences*

Doctoral Thesis

Genotype specificity of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in cadmium, zinc and iron accumulation in grain

ANDRIJANA EDED

Trg Svetog Trojstva 3

This study examined the specificity of uptake, translocation, distribution and accumulation of Cd, Zn and Fe in different genotypes of winter wheat. The objectives were: (1) to characterise specificity among winter wheat genotypes in terms of accumulation of Cd, Zn and Fe in various organs and identify genotypes combining low accumulation of cadmium with high accumulation of Zn and/or Fe, (2) to determine genetic specificity of winter wheat genotypes in terms of translocation of Cd, Zn and Fe from the vegetative parts to the grain, and (3) elucidate an effect of soil cadmium contamination on the distribution and accumulation of Cd, Zn and Fe in various organs of wheat. The experiments were set up in pots in the 2007/2008 and 2008/2009 growing seasons. In the first year, experiment was set up according to a completely randomized design with 55 winter wheat varieties and two levels of soil Cd contamination (0 and 20 mg kg⁻¹) with four replicates. In the second year the experiment was set up according to a completely randomized block design with 10 wheat varieties and three levels of soil Cd contamination (0, 2 and 5 mg kg⁻¹) with four replicates. The concentration of Cd, Zn and Fe was determined in roots, stem, leaves, flag leaf and spike at the flowering stage and in straw, leaves, glumes and grain at full maturity. Winter wheat genotype specificity in accumulation of Cd, Zn and Fe in grain when grown on uncontaminated and contaminated soil was determined.

Key words: cadmium/zinc/iron/wheat/accumulation/genotype specificity

(143 pages, 3 figures, 80 tables, 19 graphs, 119 references, original in Croatian)

Thesis deposited in City and University library, Osijek, Europske avenije 24

Supervisors: prof.dr.sc. Zdenko Lončarić
prof.dr.sc. Dražen Horvat

Reviewers: prof.dr.sc. Tihana Teklić
prof.dr.sc. Zdenko (Zed) Rengel
prof.dr.sc. Sonja Marić

Doktorski rad je izrađen u sklopu znanstvenog projekta Ministarstva znanosti obrazovanja i športa Republike Hrvatske “Utjecaj kondicioniranja tla na hraniva i teške metale u sustavu tlo-biljka” (079-0790462-0450) kojega je voditelj prof.dr.sc. Zdenko Lončarić.

1. UVOD

Pšenica je osnovna namirnica u prehrani više od polovine svjetskog stanovništva. Zbog toga je važno da zrno pšenice sadrži dovoljne količine mikrohraniva kao što su cink (Zn) i željezo (Fe) te što niže količine elemenata štetnih za zdravlje ljudi, kao što je kadmij (Cd).

Procjenjuje se da oko 2 milijuna ljudi u svijetu ima zdravstvenih problema zbog nedovoljne ishrane mikrohranivima. Najučestalija bolest izazvana nedostatkom Fe u prehrani je anemija, koja kod djece može dovesti do usporenog rasta te zaostajanja u mentalnom razvoju. Nedostatak Zn također uzrokuje usporeni rast djece te povećava učestalost smrtnosti djece od zaraznih bolesti i mnoštvo komplikacija kod trudnica (Bouis, 2003.). Vezano uz problem niskih koncentracija mikrohraniva u zrnu žitarica često se spominje pojam biofortifikacija, koji se odnosi na povećanje koncentracije poželjnih elemenata u jestivim dijelovima biljke. Ciljana koncentracija Zn i Fe u zrnu pšenice, koju se želi postići biofortifikacijom je 40-60 mg kg⁻¹ (Gao i sur., 2011.).

S druge strane, za nepušače i ljude koji zbog tipa posla koji rade nisu izloženi Cd, osnovni izvor Cd je hrana. Cd je prisutan u gotovo svojoj hrani, a količina u kojoj je zastupljen ovisi o vrsti hrane i razini kontaminacije okoliša kadmijem (Järup i Åkesson, 2009.). Procjenjuje se da približno 80% Cd unešenog u organizam hranom potječe od žitarica, povrća i krumpira (Olsson i sur., 2002.). Svjetska zdravstvena organizacija preporučuje da unos Cd ne bi trebao prelaziti granice od 0,4 do 0,5 mg tjedno, odnosno od 0,057 do 0,071 mg po danu (WHO, 1972.). Cd je izrazito toksičan i kancerogen, taloži se u organizmu te kod ljudi uzrokuje bolesti bubrega, kostiju i štitnjače. Zbog kemijske sličnosti s Zn, Cd ga može zamijeniti u organizmu te time promijeniti katalitičku aktivnost i kemijski sastav nekih enzima (Chatterjee i Dube, 2006.).

Akumulacija Cd, Zn i Fe u zrno pšenice kompleksno je svojstvo koje ovisi o brojnim vanjskim čimbenicima, mehanizmima unutar biljke i njihovoj interakciji. Tradicionalno oplemenjivanje bilja usmjereno je na postizanje visokih prinosa zrna pšenice, što je dovelo do "razrjeđenja" zrna, odnosno snižavanja koncentracija mikroelemenata u zrnu i smanjenja varijabilnosti genotipova pšenice s obzirom na akumulaciju Zn i Fe u zrno. Cakmak i sur. (2000.) i Chatzav i sur. (2010.) su utvrdili snižavanje varijabilnosti akumulacije navedenih metala u zrnu modernih kultivara u odnosu na divlje i nekultivirane pšenice, koje bi se mogle iskoristiti kao izvor genetske varijabilnosti u oplemenjivanju na pojačanu akumulaciju Zn i Fe u zrno. Literaturni navodi o interakciji Cd, Zn i Fe prilikom usvajanja i akumulacije u zrno su

kontradiktorni. Pearson i sur. (1995.) navode da je uzorak akumulacije Cd i Zn u zrno vrlo sličan. Tvrde da se oba metala prvo translociraju u floem klasa i tek nakon toga ulaze u zrno. Chen i sur. (2007b.) su utvrdili značajnu korelaciju između akumulacije Zn i Fe u zrno ječma, dok je korelacija između akumulacije Cd i Zn te Cd i Fe u zrno bila vrlo slaba i nije bila statistički značajna.

Usvajanje Cd ponajviše ovisi o njegovoj koncentraciji i dostupnosti iz tla, pH vrijednosti tla (Sharma i Dubey, 2006. prema Ahumada i Schalscha, 1993.), količini organske tvari (Sharma i Dubey, 2006. prema Krosshavn i sur., 1993.), redoks potencijalu, temperaturi i koncentraciji ostalih elemenata u tlu (McLaughlin i sur. 1999.). Cd se prirodno javlja u tlu u niskim koncentracijama, ali na poljoprivrednim tlima, najčešće zbog primjene fosfornih mineralnih gnojiva koja sadrže Cd, može doći do porasta njegove koncentracije. Prema međunarodnoj normi, maksimalna dozvoljena koncentracija Cd u zrnu pšenice je $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$. Hrvatske sorte pšenice do sada nisu testirane na koncentraciju i sadržaj Cd u zrnu te se ne zna jesu li te količine u skladu s međunarodnom normom.

Za snižavanje koncentracije Cd u jestivim dijelovima biljaka, preporučuju se tri mjere: (i) snižavanje emisije Cd u okoliš, (ii) snižavanje pristupačnosti Cd iz tla biljkama agrotehničkim mjerama i (iii) selekcija kultivara s niskom akumulacijom Cd.

Osnovni mehanizmi koji reguliraju akumulaciju Cd, Zn i Fe u jestive dijelove biljaka nisu u potpunosti poznati. Stoga je identifikacija genetskog materijala sa svojstvom visoke akumulacije Zn i Fe uz nisku akumulaciju Cd u zrno značajan korak i osnova za utvrđivanje mehanizama usvajanja, translokacije i akumulacije navedenih elemenata. Izbor kultivara s povoljnim odnosom Cd, Zn i Fe u zrnu poslužit će kao polazna točka u oplemenjivanju s ciljem povećanja akumulacije Zn i Fe u zrno pšenice.

2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA I HIPOTEZA

2.1. Ciljevi istraživanja

Zbog nedovoljne istraženosti akumulacije Cd, Zn i Fe u zrno sorata pšenice u Republici Hrvatskoj, distribucije tih elemenata u pojedinim organima pšenice te njihove interakcije prilikom usvajanja i akumulacije, cilj ovog istraživanja je:

1. ispitati postoji li genetska specifičnost genotipova ozime pšenice u pogledu akumulacije Cd, Zn i Fe u zrno pšenice te mogu li se izdvojiti sorte niske akumulacije Cd uz visoku akumulaciju Zn i/ili Fe,
2. istražiti postojanje genetske različitosti genotipova ozime pšenice u pogledu translokacije Cd, Zn i Fe iz vegetativnih dijelova u zrno,
3. utvrditi utjecaj kontaminiranosti tla Cd na distribuciju i akumulaciju Zn, Fe i Cd u organima pšenice.

2.2. Hipoteza

Radne hipoteze ovog istraživanja su:

1. distribucija Zn, Fe i Cd u organima ozime pšenice i akumulacija u zrnu su sortno specifična svojstva,
2. Zn, Fe i Cd značajno se razlikuju prema distribuciji u organima pšenice i akumulaciji u zrnu.

3. PREGLED LITERATURE

3.1. Kadmij, cink i željezo u tlu te njihov značaj za biljke, životinje i ljude

Tlo je osnovni izvor minerala za biljke. Cd, Zn i Fe se prirodno nalaze u tlu, a ljudskim aktivnostima njihov sadržaj u tlu može porasti do razine koja je toksična za biljke i faunu tla (Cataldo i Wildung, 1978.).

Fe je četvrti element po zastupljenosti u zemljinoj kori gdje se najčešće pojavljuje u obliku silikata, Fe-oksida i Fe-hidroksida te u ovim oblicima nije pristupačno biljkama. Procjenjuje se da tlo sadrži 1-5% Fe, koje se u tlu nalazi u Fe^{2+} i Fe^{3+} obliku. Prosječna vrijednost raspoloživog Fe_{EDTA} iz tla do dubine od 30 cm u kontinentalnom dijelu Hrvatske iznosi 80,6 mg kg^{-1} (Lončarić i sur., 2010.) Pristupačnost Fe iz tla ponajviše ovisi o pH reakciji tla, prozračnosti tla, sadržaju organske tvari te biljnoj vrsti, odnosno njenoj prilagodljivosti na različitu pristupačnost Fe iz tla.

Zn je esencijalni mikroelement koji u višim koncentracijama može biti toksičan. Na osnovu istraživanja provedenog u osamnaest zemalja Svijeta utvrđeno je da se koncentracija ukupnog Zn u tlu kreće u rasponu od 10 do 300 mg kg^{-1} , a da je prosječna vrijednost oko 70 mg kg^{-1} (Barak i Helmke, 1993., prema Swaine, 1955.). No procjenjuje se da pristupačnog Zn u tlima ima prosječno oko 5-25 mg kg^{-1} , iako je raspon u kojem se kreću te koncentracije puno širi. Globalnim istraživanjem, u kojemu je ispitano 190 uzoraka tla iz 25 zemalja, utvrđeno je da je 49% ispitanih uzoraka imalo nisku koncentraciju Zn (Guerinot i Eide, 1999.). Na tlima Zagrebačke županije sadržaj ukupnog Zn u tlu kretao se u rasponu 15,15-276,75 mg kg^{-1} . Pretpostavlja se da se lokacija na kojoj je izmjeren najviši sadržaj Zn u tlu, koristila kao odlagalište otpada, jer je na istoj lokaciji utvrđen i visok sadržaj Pb, Cd i Cu (Romić i Romić, 1998.). Lončarić i sur. (2010.) su analizirali 60 uzoraka tla i utvrdili su prosječnu vrijednost sadržaja ukupnog Zn_{AR} u uzorcima tla iz kontinentalnog dijela Hrvatske od 70 mg kg^{-1} te do samo 2,4 mg kg^{-1} raspoloživog Zn_{EDTA} . Čimbenici koji najviše utječu na pristupačnost Zn biljkama su: ukupan sadržaj Zn, pH tla, sadržaj organske tvari, gline i kalcijevog-karbonata, mikrobiološka aktivnost u rizosferi, vlažnost tla, koncentracija ostalih elemenata, osobito fosfora te klimatske prilike.

Cd je neesencijalan, toksičan element koji se prirodno nalazi u tlima u niskoj koncentraciji. Sharma i Dubey (2006.) (prema Thornton, 1992.) navode da je prirodan sadržaj Cd u tlima manji od 1 mg kg^{-1} , a Xu i Yang (1995.) tvrde da se prirodan sadržaj Cd u tlima kreće u

rasponu od 0,01 do 2,0 mg kg⁻¹. Romić i Romić (1998.) su proveli istraživanje na području Zagrebačke županije u kojemu su analizirali sadržaj Pb, Cd, Zn i Cu u 280 uzoraka površinskog sloja tla na poljoprivrednom zemljištu različite namjene. Utvrdili su prosječan sadržaj Cd od 0,43 mg kg⁻¹, a najviši sadržaj Cd od 3,85 mg kg⁻¹ zabilježen je u blizini Velike Gorice, što je značajno više od maksimalno dopuštene granice na svim tipovima tala. Opće je mišljenje da prirodni sadržaj Cd u tlu nije toliki da bi štetno utjecao na biljke, životinje i ljude, a porast koncentracije Cd u tlu uzrokovan je prvenstveno ljudskim djelovanjem. Povećane koncentracije Cd u tlu mogu biti posljedica prerade Zn i Cu, izgaranja fosilnih goriva, primjene otpadnih voda u poljoprivredi i drugih ljudskih aktivnosti. Važan izvor kontaminacije poljoprivrednih tala Cd je primjena mineralnih gnojiva, osobito fosfornih, koja sadrže Cd (Muramoto i Aoyama, 1990.). Fosforna gnojiva mogu sadržavati 5-50 mg kg⁻¹ Cd u obliku Cd(H₂PO₄) i CdHPO₄ (Zhang i sur., 2006.) te kao takva predstavljaju potencijalnu opasnost, jer njihovom primjenom dolazi do značajnog porasta koncentracije Cd u tlu. Wu i sur. (2002.) navode da pristupačnost Cd u tlu ovisi o svojstvima tla, kao što su koncentracija Cd i oblik u kojem se nalazi u tlu, pH tla, sadržaj organske tvari i gline, kationski izmjenjivački kapacitet tla, topivi Cl, S i Na. S obzirom da usvajanje Cd ovisi o koncentraciji Cd u tlu, Adams i sur. (2004.) tvrde da se koncentracija Cd u zrnu pšenice može prilično točno predvidjeti na osnovu podataka o ukupnom Cd u tlu i pH tla.

Oko 2/3 svjetske populacije ima zdravstvenih tegoba zbog nedovoljne ishranjenosti mikrohranivima. Godine 2008. na Konsenzusu u Kopenhagenu (Copenhagen consensus 2008.) (<http://www.copenhagenconsensus.com/Default.aspx?ID=953>) naglašen je globalni problem neishranjenosti ljudi mikrohranivima (među kojima je najkritičniji nedostatak Fe, Zn i vitamina A).

Fe je esencijalan element za biljke, životinje i ljude, ali ako se akumulira u visokim koncentracijama može imati toksičan učinak. Fe je slabo pokretan u biljkama te se prvi simptomi nedostatka javljaju na mlađim listovima. Nedostatak Fe kod biljaka manifestira se klorozom i nekrozom. Kloroza je posljedica poremećaja u sintezi proteina i lipida zbog kojih dolazi do poremećaja u sintezi kloroplasta što negativno utječe na fotosintezu i disanje. Osim toga Fe ima važnu ulogu u aktivaciji brojnih enzima uključenih u transfer energije, zatim u redukciji i fiksaciji dušika te stvaranju lignina. Nedostatak Fe kod ljudi čest je problem koji se javlja zbog nedovoljne količine Fe u organizmu do kojeg dolazi zbog velikog gubitka krvi, neodgovarajuće prehrane ili nesposobnosti apsorcije Fe iz hrane. Procjenjuje se da oko 60%

svjetske populacije pati zbog nedostatka Fe, a jedan od glavnih uzroka tog problema, osobito u siromašnim dijelovima Svijeta, je nedovoljan unos Fe hranom.

Zn je također esencijalan mikroelement, koji akumuliran u višim količinama može biti toksičan. Zn ima vrlo značajnu ulogu u rastu i razvoju biljaka obzirom da kontrolira sintezu indolactone kiseline, ima značajnu aktivnost u mnogim enzimatskim reakcijama, neophodan je u sintezi klorofila i ugljikohidrata, a njegov nedostatak rezultira sniženjem prinosa i kvalitete zrna. Osim za rast i razvoj biljaka, Zn je neophodan i u prehrani ljudi. Izvor Zn su cjelovite namirnice, orašasto voće, kamenice, govedina i svinjetina. Dnevna preporučena doza je 15 mg. U organizmu čovjeka Zn se nalazi u tragovima, ali je prisutan u gotovo svim stanicama organizma te zbog toga ima veliku važnost. Zn je u interakciji s više od 100 enzima, sudjeluje u metabolizmu proteina, ugljikohidrata, masti, nukleinskih kiselina i jačanju imunološkog sustava. Važno je spomenuti da utječe na razvoj T-limfocita koji suzbijaju infekcije (http://www.iza.com/zinc_health.html). Nedostatak Zn manifestira se brojnim zdravstvenim problemima, a ako se ne liječi može završiti smrću.

Cd je neesencijalan element, koji već u niskim koncentracijama djeluje toksično na biljke, životinje i ljude. Athar i Ahmad (2001.) su istraživali toksičnost teških metala na bakterije roda *Azotobacter* te utjecaj na rast i usvajanje metala kod pšenice. Utvrdili su da je Cd u svim primijenjenim razinama kontaminacije bio najtoksičniji metal za fiksatore dušika kao što je *Azotobacter chroococcum* kao i za pšenicu te je uzrokovao najizraženiju redukciju u suhoj masi izdanaka, korijena i prinosu pšenice u odnosu na ostale ispitivane metale (Pb, Zn, Ni, Cu i Cr). Kod biljaka Cd inhibira rast i razvoj, sintezu klorofila, karotenoida i ATP-a te smanjuje fotosintetsku aktivnost. Cd je vrlo pokretan u sustavu tlo-biljka te zbog toga lako ulazi u prehrambeni lanac čovjeka te može izazvati niz zdravstvenih problema kod ljudi (Sharma i Dubey, 2006., prema Nogawa i sur., 1987.). Cd negativno djeluje na aktivnost enzima u ljudskom organizmu, tako što kod nekih enzime zamjenjuje Zn te time utječe na katalitičku aktivnost enzima. Povećano zanimanje Svjetske znanstvene zajednice za Cd i njegovu toksičnost počelo je šezdesetih godina prošloga stoljeća kada je u Japanu potvrđeno da trovanje Cd izaziva itai-itai bolest. Prva trovanja, uzrokovana korištenjem zagađene vode iz rudnika za navodnjavanje riže i za piće, zabilježena su četrdesetih godina prošloga stoljeća. Na početku se sumnjalo da se radi o trovanju Pb i tek je 1968. godine službeno objavljeno da je itai-itai bolest posljedica trovanja Cd. Ovu bolest karakteriziraju bolovi u kostima, zglobovima i kralježnici, oštećenje bubrega, anemija i kašljanje, a kod jačeg trovanja može

doći do smrti. Kod ljudi koji ne rade u rudnicima i nisu zbog posla izloženi povišenim koncentracijama Cd, osnovni izvor Cd je hrana (Wangstrand i sur., 2007.). Järup i Åkesson (2009.) su istraživali utjecaj Cd na zdravlje ljudi. Oni navode da su osnovni izvori Cd u prehrani ljudi otpadni proizvodi mesne industrije, kao što su jetra i bubrezi, osobito starijih životinja, zatim sjeme uljarica i pojedine divlje gljive. Također ističu da hrana biljnog porijekla u pravilu sadrži veće koncentracije Cd u odnosu na meso, jaja, mlijeko i mliječne proizvode te se procjenjuje da oko 80% Cd u prehrani ljudi potječe od žitarica, povrća i krumpira. Jedan od važnih izvora Cd je dim cigareta. Procjenjuje se da jedna cigareta prosječno sadrži 1-2 µg Cd te da je oko 10% tog Cd inhalirano od čega se 50% apsorbira u plućima.

3.2. Usvajanje, translokacija, distribucija i akumulacija Cd, Zn i Fe

Usvajanje, translokacija, distribucija i akumulacija Cd, Zn i Fe predmet su mnogobrojnih istraživanja (Grewal i Graham, 1997.; Grotz i Guerinot, 2006.; Chandra i sur., 2009.). Usvajanje Fe iz tla u biljaka iz porodice *Poaceae* odvija se pomoću fitosiderofora, tvari male molekularne težine, koje korijen izlučuje u tlo i na koje se veže Fe^{3+} te se u obliku tog kompleksa usvaja u biljku (Grotz i Guerinot, 2002.; Jacoby i Moran, 2001.). Wíren i sur. (1996.) su utvrdili da se Zn osim u obliku Zn^{2+} usvaja u korijen kukuruza i u obliku kelata, kao Zn-fitosiderofora. Chen i sur. (2008.) su utvrdili da kod zelene salate Cd^{2+} iz otopine tla može proći membranu stanica korijena kationskim kanalima koje koriste dvovalentni kationi kao što su Ca^{2+} i Zn^{2+} . Biljke mogu usvajati Cd i aktivnim i pasivnim transportom ovisno o njegovoj pristupačnosti iz tla (Arduini i sur., 1996.; Zhang i sur., 2006., prema Cataldo i sur., 1983.), a Zheng i sur. (2010.) navode da korijenove dlačice imaju značajnu ulogu u usvajanju Cd.

Biljne vrste i različiti genotipovi iste vrste značajno se razlikuju u usvajanju i akumulaciji Cd, Zn i Fe (Li i sur., 1997.; Fytianos i sur., 2001.; Lombnaes i Singh, 2003.; Vasconcelos i sur., 2003.; Greger i Löfstedt, 2004.).

He i sur. (2006.) su proveli istraživanje na riži (*Oryza sativa* L.) i utvrdili su da se genotipovi riže razlikuju u usvajanju Cd što je najvjerojatnije posljedica razlike između genotipova u sposobnosti usvajanja Cd korijenom, a Liu i sur. (2007.) su utvrdili veće razlike između kultivara riže u koncentraciji Cd u zrnu riže, nego u koncentraciji Cd u korijenu, stabljici i listovima. Translokacija Cd, Zn i Fe unutar biljke nije u potpunosti razjašnjena. Webb i

Loneragan (1990.) navode da u pšenice nije moguć transport Zn floemom, no Pearson i Rengel (1995.) su utvrdili da je moguća akumulacija Zn u zrno putem floema, a pretpostavlja se da se Cd akumulira u zrno na sličan način. Hasslet i sur. (2001.) su dokazali da se Zn translocira floemom iz listova u korijen. Hart i sur. (2006.) navode da su razlike između biljnih vrsta u koncentraciji Cd u zrno jednim dijelom posljedica različite sposobnosti biljaka da kontroliraju kretanje Cd iz ksilema u floem i iz floema u zrno. Različiti genotipovi ozime pšenice (*T. aestivum* L.) različito akumuliraju Cd, Zn i Fe u zrno (Rengel i Graham, 1995.; Kalayaci i sur., 1999.). Razlike u akumulaciji Cd u zrno vjerojatnije su rezultat razlike u translokaciji Cd iz korijena u izdanak i razlika u koncentraciji Cd u izdanku, listu zastavičaru i ovojnici sjemena, nego posljedica različitog usvajanja Cd u korijen (Greger i Löfstedt, 2004.).

Durum pšenica akumulira u zrno više Cd nego krušne pšenice (Chan i Hale, 2004.). Herren i sur. (1997.) navode da durum pšenica ima veći kapacitet translokacije Cd floemom u zrno u odnosu na ozimu pšenicu te da zbog toga akumulira više Cd u zrno. Oni su utvrdili da je tijekom razvoja zrna za akumulaciju Cd u zrno važna mobilnost Cd floemom i transfer Cd iz floema u ksilem u vršnom internodiju. Slične rezultate dobili su Hart i sur. (1998.) koji ukazuju na to da pojačana akumulacija Cd kod durum pšenice nije u korelaciji s translokacijom Cd iz korijena u izdanak, već bi mogla biti povezana s transportom Cd floemom do zrna. Rezultati Stolt i sur. (2003.) ukazuju na to da su razlike u koncentraciji Cd u zrno genotipova krušnih i durum pšenica rezultat sorte specifičnosti s obzirom na usvajanje Cd korijenom i transport Cd iz korijena u izdanak. Godine 2004. priznata je prva komercijalna sorta durum pšenice „Springfield“ za koju je karakteristična niska akumulacija Cd u zrno, a Clarke i sur. (2005.) navode da je u Kanadi zastupljena u proizvodnji sa 25% u odnosu na ostale durum pšenice.

Interakcija Cd, Zn i Fe te njihov odnos s ostalim elementima prilikom usvajanja i translokacije dobro su istraženi, no rezultati su kontradiktorni (Zhu i sur., 2001.; Shao i sur., 2008.; Liu i sur., 2009.; Chakroun i sur., 2010.).

Zhang i sur. (2002.) su istraživali utjecaj Cd na prinos i distribuciju Cd u različitim biljnim organima te na akumulaciju Mo, Mn, Zn, Cu, Fe, Mg, Ca i K kod pet sorata pšenice koje se razlikuju u otpornosti na Cd. Utvrdili su da postoje vrlo velike razlike u koncentraciji Cd u različitim biljnim organima te da utjecaj Cd na akumulaciju drugih elemenata varira ovisno o elementu, organu biljke i genotipu.

Liu i sur. (2003.) su proveli pokus sa 20 genotipova riže uzgajane na tlu kontaminiranom Cd, analizirali su akumulaciju Cd, Fe, Zn, Mn, Cu i Mg u korijenu i listovima. Njihovi rezultati pokazuju da su usvajanje i akumulacija Cd u značajnoj korelaciji s Fe, Zn i Cu, što upućuje na postojanje interakcije između tih elemenata prilikom usvajanja i translokacije. Za razliku od njih Köleli i sur. (2004.) su utvrdili kompetitivan odnos između Cd i Zn. Oni su istraživali utjecaj povišenih razina Zn i Cd na rast biljke i pojavu simptoma nedostatka Zn i toksičnosti Cd. Utvrdili su da je toksičnost Cd puno izraženija u uvjetima nedostatka Zn. Autori tvrde da su Zn i Cd u kompetitivnom odnosu te da Zn na taj način štiti biljku od toksičnog utjecaja Cd. Također su utvrdili da je koncentracija Fe bila viša kod biljaka koje su bile deficitarne u Zn, neovisno o primijenjenoj razini Cd. To ukazuje na kompeticiju između Zn i Fe prilikom usvajanja u korijen i translokacije u izdanak te moguće postojanje zajedničkog transportnog sustava za Zn i Fe.

Reduciranje transporta Cd u zrno može se postići dodavanjem saharoze u hranjivu otopinu te povećanjem relativne vlažnosti na 90% i dodatkom Zn u fazi punjenja zrna što ima povoljan utjecaj na smanjenje akumulacije Cd u zrno ječma (Chen i sur., 2007a.). Slične rezultate iznijeli su Grant i sur. (1998.) koji su utvrdili da je dodavanjem Zn u hranjivu otopinu snižen transport Cd u zrno te pretpostavljaju da Zn može inhibirati akumulaciju i transport Cd ksilemom.

Sortnu specifičnost i utjecaj okoliša na koncentraciju toksičnih metala (Cd, As, Cr, Ni i Pb) te korelaciju između koncentracije toksičnih metala i mikroelemenata (Fe i Zn) u zrnu riže istraživali su Cheng i sur. (2006.). Pokus je proveden tijekom dvije godine na šest lokacija koje su se razlikovale po sadržaju toksičnih metala u tlu. U pokusu je korišteno devet genotipova Japonica riže koji su se (na osnovu rezultata prethodno provedenih istraživanja) razlikovali po koncentraciji toksičnih metala u zrnu. Najveće razlike u koncentraciji toksičnih metala u zrnu riže između ispitivanih genotipova utvrđene su za Cd (koncentracija Cd se kretala u rasponu od 0,025 do 0,185 mg kg⁻¹) dok je za ostale toksične elemente raspon koncentracija bio puno manji. Autori nisu utvrdili povezanost između koncentracije Cd i Zn u zrnu riže te taj rezultat pripisuju uvjetima u kojima je proveden pokus, odnosno navode da je interakcija između metala u tlu (poljski uvjeti) puno kompleksnija nego u hranjivoj otopini.

Wu i sur. (2007.) su ispitivali razlike u akumulaciji Cd u zrno četiri genotipa ječma (*Hordeum sativum*) različito tolerantnih na toksičnost Cd. Također su istraživali povezanost koncentracije Cd u zrnu s koncentracijom Cd u korijenu i izdanku tijekom ontogeneze te

odnos s drugim elementima. Oni su utvrdili da biljke koje su bile izložene kontaminaciji od 1 μM Cd imaju značajno nižu masu zrna i broj klasića po klasu u odnosu na kontrolu, a povećanjem kontaminacije na 5 μM Cd to sniženje je još izraženije te su utvrđene i značajne razlike između genotipova. Utvrdili su i da se genotipovi ječma značajno razlikuju s obzirom na koncentraciju Cd u korijenu, izdanku i odnosu koncentracija korijen/izdanak. Također su utvrdili i statistički značajnu negativnu korelaciju između koncentracije Cd i Zn u zrnu. S obzirom na dobivene rezultate autori zaključuju da je potrebno provesti daljnja istraživanja kako bi razjasnili interakciju Zn na toksičnost Cd kod biljaka.

Chen i sur. (2007b.) su analizirali varijacije u koncentraciji Cd 600 sorti ječma koje su bile uzgajane u poljskim uvjetima, s ciljem izbora 20 genotipova koji imaju nisku akumulaciju Cd u zrno. Ispitali su i interakciju Cd s Zn, Cu i Fe. Utvrdili su značajne razlike u koncentraciji mikroelemenata u zrnu ispitivanih sorti, no značajna korelacija za akumulaciju elemenata u zrno utvrđena je jedino između Cd i Mn te Fe i Zn, dok je između Cd i Zn, i Cd i Fe utvrđena vrlo slaba pozitivna veza koja nije statistički značajna.

3.3. Biofortifikacija pšenice

Nedostatak mikroelemenata u svakodnevnoj prehrani ljudi jedan je od najvećih svjetskih problema. Procjenjuje se da oko 30% populacije pati zbog nedostatka Zn, a 60% zbog nedostatka Fe. Iz tog razloga važno je biofortifikacijom povećati koncentraciju ovih elemenata u zrnu žitarica. Razlikuju se agronomska biofortifikacija koja se oslanja na primjenu mineralnih gnojiva i genetska biofortifikacija kojom se želi izlučiti genotipove s visokom akumulacijom Zn i Fe u zrno. Povećanjem koncentracije Zn i Fe u zrnu ne želi se povećati koncentracija Cd u zrnu, tako da je pri izboru genotipova za oplemenjivanje u cilju biofortifikacije Zn i Fe važno izabrati genotipove koji uz visoku akumulaciju Zn i Fe imaju nisku akumulaciju Cd u zrno. Brojni autori su proučavali varijabilnost genotipova s obzirom na akumulaciju Cd, Zn i Fe u zrno te izvore genetske varijabilnosti za ta svojstva (Liu i sur., 2005.; Robin i sur., 2006.).

Zhao i sur. (2009.) su analizirali kolekciju od 175 genotipova krušne pšenice različitoga porijekla i utvrdili su da postoji negativna veza između koncentracije Zn i prinosa zrna. Utvrđen je i negativan trend između koncentracije Zn u zrnu i datuma priznavanja sorte što upućuje na to da je oplemenjivanje pšenice u cilju povećanja prinosa rezultiralo snižavanjem koncentracije Zn u zrnu. Slične rezultate su dobili i Fan i sur. (2008.). Oni navode da su koncentracije Zn, Fe, Cu i Mg u zrnu pšenice bile stabilne u razdoblju od 1845. godine do

sredine 1960-ih. No od tog razdoblja (koje se podudara s uvođenjem polu patuljastih visokoprinosnih sorata), do danas koncentracije tih elemenata u zrnu pšenice su značajno snižene. Tijekom tog istog razdoblja koncentracije navedenih metala u tlu su ostale na istoj razini ili su povećane.

Cakmak i sur. (2000.) su analizirali variranje koncentracija Zn i Fe u zrnu autohtonih diploidnih i divljih tetraploidnih pšenica. Autori su utvrdili da je raspon variranja koncentracija Zn i Fe u zrnu kultiviranih tetraploidnih i heksaploidnih pšenica izuzetno nizak u odnosu na raspon variranja kod divljih diploidnih i tetraploidnih pšenica. Na osnovu toga zaključuju da divlje tetraploidne pšenice mogu poslužiti kao osnovni izvor genetske varijabilnosti u oplemenjivanju na povećanje sadržaja Zn i Fe u zrnu.

Chatzav i sur. (2010.) su proveli istraživanje na 154 genotipa emmer pšenice (*T. turgidum ssp. dicoccoides*). Utvrdili su veliku genetsku raznolikost s obzirom na prilagodbu na različite biotičke i abiotičke stresove i zaključili su da emmer pšenica pruža veliki potencijal za oplemenjivanje pšenice na povećanje koncentracije Zn i Fe u zrnu.

Kubo i sur. (2008.) su analizirali 237 sorata pšenice koje se uzgajaju u različitim geografskim područjima Japana. Utvrdili su postojanje statistički značajnih razlika u koncentraciji Cd u zrnu pšenice između sorata uzgajanih u Hokkaidu i južnom Japanu. Oni tvrde da se utvrđene razlike u koncentraciji Cd u zrnu pšenice ne mogu pripisati vanjskim čimbenicima već da su rezultat upotrebe različitoga oplemenjivačkog materijala u kreiranju sorata prilagođenih uvjetima određenog uzgojnog područja te da je prema tome akumulacija Cd u zrno nasljedno svojstvo.

Gao i sur. (2011.) su istraživali utjecaj interakcije genotipa i primijenjene razine prihrane KCl-om na prinos i koncentraciju Cd i Zn u zrnu 15 genotipova pšenice uzgajane u poljskim uvjetima. Pokus je proveden tijekom dvije godine na šest lokacija na kojima tlo nije bilo industrijski kontaminirano Cd te kao takvo može poslužiti kao primjer tala koja se uobičajeno koriste u proizvodnji pšenice. Utvrdili su da koncentracija Cd u zrnu niti jedne od ispitivanih sorata pšenice ne prelazi maksimalno dozvoljenu koncentraciju od $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$. Koncentracija Zn u zrnu većine ispitivanih sorata, neovisno o godini istraživanja i tipu tla, niža je od predložene ciljne koncentracije od minimalno 40 mg kg^{-1} koju se želi postići biofortifikacijom. Također su utvrdili značajan utjecaj genotip x okolina na akumulaciju Zn u zrno dok za akumulaciju Cd ova interakcija nije bila značajna. Na osnovu toga zaključuju da

je akumulacija Cd u zrno stabilnije svojstvo te je pod manjim utjecajem okoline nego akumulacija Zn u zrno. Između koncentracija Cd i Zn u zrnu nisu utvrdili značajnu korelaciju te ukazuju na potencijalnu mogućnost oplemenjivanja u cilju povećanja koncentracije Zn u zrnu bez velikog utjecaja na koncentraciju Cd u zrnu. U pogledu varijabilnosti koncentracije Cd i Zn u zrnu, Shi i sur. (2009.) su utvrdili puno veću varijabilnost koncentracije Cd (51,30%) (110 genotipova) u odnosu na varijabilnost koncentracije Zn (24,66%) u zrnu riže.

Između količine usvojenog Fe i otpuštanja fitosiderofora utvrđena je pozitivna korelacija (Marchner, 1995.) te je zbog toga jedna od mogućih metoda povećanja usvajanja Fe, povećati izlučivanja fitosiderofora. Osim toga, Grotz i Guerinot (2002.) navode da je moguće povećati količinu usvojenog Fe prekomjernom ekspresijom feritin gena, no postoji opasnost da bi se na taj način aktivirali transportni sustavi kojima se usvajaju i drugi elementi, kao što je Cd, koji su toksični za biljke, životinje i ljude (Wiren i sur., 1996.). Za razliku od njih Grant i sur. (2008.) navode da bi oplemenjivanje žitarica u cilju povećanja koncentracije esencijalnih elemenata kao što su Fe i Zn moglo reducirati koncentraciju Cd te ujedno povećati hranjivu vrijednost zrna. Eide i sur. (1996.) su utvrdili da su IRT1 membranski proteini relativno specijalizirani za usvajanje Fe u Fe^{2+} obliku, ali osim Fe mogu poslužiti i za transport Cd, Co, Mn i Zn. Vasconcelos i sur. (2003.) su utvrdili da se u zrno transgene riže, u koju je introducirani feritin gen iz soje, akumulira više Fe i Zn u odnosu na kontrolu. U usvajanju Zn kod žitarica značajnu ulogu imaju ZIP proteini (Rengel i Graham, 1995.; Guerinot i Eide, 1999.; Ramesh i sur., 2003.). Dosadašnja istraživanja pokazuju da transporteri Fe i Zn mogu sudjelovati i u usvajanju i transportu različitih dvovalentnih kationa, ali da je svaki transporter specifično kontroliran jednim određenim metalom (Grotz i Guerinot, 2006.).

Uzevši u obzir negativne posljedice nedostatka Zn i Fe te suviška Cd u namirnicama koje se koriste u svakodnevnoj prehrani važno je pronaći najbolji način za postizanje željenog odnosa tih minerala u jestivim dijelovima biljaka, odnosno zrnu žitarica, koje su osnovna hrana za trećinu svjetske populacije. U Republici Hrvatskoj do sada nije provedeno istraživanje kojim bi se utvrdilo koliko Cd, Zn i Fe domaće sorte pšenice akumuliraju u zrno. Nedostatak mikrohraniva u svakodnevnoj prehrani ljudi može se prevenirati raznovrsnom prehranom, mineralnim dodacima prehrani te povećanjem koncentracije minerala u jestivim dijelovima biljaka (biofortifikacija). Kao trenutno najbolji pristup rješavanju ovog problema navodi se kombinacija biofortifikacije i primjene mineralnih gnojiva. Ovim pristupom povećala bi se koncentracija minerala u jestivim dijelovima, ali bi se povećao i urod na tlima siromašnim

mineralima. Uz navedeno, bifortifikacijom se u jestivim dijelovima biljke pokušava povećati koncentracija tvari koje olakšavaju apsorpciju minerala (askorbinska kiselina, β -karoten te određene organske i aminokiseline) u probavnom traktu čovjeka. Također bi sadržaj tvari koje inhibiraju apsorpciju minerala, kao što su oksalati, polifenoli i fitinska kiselina, trebalo reducirati u jestivim dijelovima biljaka (White i Broadley, 2009.).

4. MATERIJAL I METODE RADA

4.1. Vegetacijski pokus

Vegetacijski pokus u posudama proveden je tijekom dvije godine (2007./2008. i 2008./2009.) na lokalitetu u Bilju (45° 36' 57" N, 18° 44' 36" E). U prvoj godini vegetacijskog pokusa 52 sorte ozime pšenice (*Triticum aestivum* L.) su posijane u plastične posude u kojima su uzgajane do pune zriobe. Za sjetvu u drugoj godini pokusa izabrano je 10 sorata pšenice, koje su posijane i uzgojene na isti način. U prvoj godini pokusa primijenjena su dva (0 i 20 mg Cd kg⁻¹), a u drugoj godini tri (0, 2 i 5 mg Cd kg⁻¹) tretmana kontaminacije tla Cd.

4.1.1. Odabir genotipova ozime pšenice za sjetvu

Za sjetvu u prvoj godini pokusa izabrane su 52 sorte (tablica 1) ozime pšenice. Od izabranih sorata ozime pšenice 34 sorte su hrvatske, a preostalih 18 sorata je introducirano u Hrvatsku iz europskih zemalja (Italija, Rusija, Mađarska, Austrija, Njemačka i Francuska). Osnovni kriterij za odabir hrvatskih sorata za sjetvu u prvoj godini pokusa bila je zastupljenost sorte u proizvodnji na području Republike Hrvatske. Uz te sorte, izabrane su i sorte koje su poslužile kao roditelji u križanjima pri stvaranju nekih od danas najzastupljenijih sorata u proizvodnji u Republici Hrvatskoj. Introducirane sorte su izabrane za pokus kako bi se mogla napraviti usporedba hrvatskih i dijela stranih sorata s obzirom na ispitivana svojstva.

Tablica 1. Popis sorata ozime pšenice izabranih za sjetvu u prvoj godini pokusa (2007./2008.)

	Naziv sorte	Zemlja porijekla
1.	Adriana	Hrvatska
2.	Aida	Hrvatska
3.	Alka	Hrvatska
4.	Ana	Hrvatska
5.	Barbara	Hrvatska
6.	BC Elvira	Hrvatska
7.	BC Patria	Hrvatska
8.	Demetra	Hrvatska
9.	Divana	Hrvatska
10.	Golubica	Hrvatska
11.	Janica	Hrvatska
12.	Katarina	Hrvatska
13.	Lela	Hrvatska
14.	Lucija	Hrvatska
15.	Njivka	Hrvatska
16.	Osječka 20	Hrvatska
17.	Osječka Crvenka	Hrvatska

18.	Osk 108/04 (Felix)	Hrvatska
19.	Osk 241/04 (Zlata)	Hrvatska
20.	Osk 63/05 (Ilirija)	Hrvatska
21.	Osk 64/05 (Mihaela)	Hrvatska
22.	Osk 67/05 (Ružica)	Hrvatska
23.	Osk 89/05 (Andelka)	Hrvatska
24.	Panonija	Hrvatska
25.	Pipi	Hrvatska
26.	Renata	Hrvatska
27.	Sana	Hrvatska
28.	Seka	Hrvatska
29.	Slavonija	Hrvatska
30.	Srpanjka	Hrvatska
31.	Super Žitarka	Hrvatska
32.	U1	Hrvatska
33.	Zlatna Dolina	Hrvatska
34.	Žitarka	Hrvatska
35.	Libellula	Italija
36.	Bezostaja	Rusija
37.	Bastide	Francuska
38.	Renan	Francuska
39.	Soissons	Francuska
40.	Antonius	Austrija
41.	Edison	Austrija
42.	Eurofit	Austrija
43.	Eurojet	Austrija
44.	Ludwig	Austrija
45.	SW Maxi	Austrija
46.	Valerius	Austrija
47.	Dekan	Njemačka
48.	GK Kalasz	Mađarska
49.	MV Emesse	Mađarska
50.	MV Magdalena	Mađarska
51.	MV Magvas	Mađarska
52.	MV Mambo	Mađarska

Na osnovu rezultata prve godine pokusa, za sjetvu u drugoj godini pokusa izabrano je 10 sorata (tablica 2) ozime pšenice. Izabrane sorte najbolje opisuju raspon varijacija koncentracija Cd, Zn i Fe u listu zastavičaru i zrnu, a na osnovu rezultata hijerarhijske klaster analize, svrstane u različite skupine.

Tablica 2. Popis sorata ozime pšenice izabranih za sjetvu u drugoj godini pokusa (2008./2009.)

	Naziv sorte	Zemlja porijekla
1.	Bezostaja	Rusija
2.	Divana	Hrvatska
3.	Katarina	Hrvatska
4.	Osječka 20	Hrvatska
5.	Pipi	Hrvatska
6.	Sana	Hrvatska
7.	Slavonija	Hrvatska
8.	Srpanjka	Hrvatska
9.	Super Žitarka	Hrvatska
10.	U1	Hrvatska

4.1.2. Izbor tla i priprema tla za sjetvu u posude

Za sjetvu u prvoj godini pokusa izabrano je tlo oraničnog sloja lokaliteta Brestovac (45° 19' 47" N, 17° 35' 44" E) u Baranji u okviru proizvodnih površina Belje d.d., a u drugoj godini korišteno je tlo lokaliteta Rakitovica (45° 42' 58" N, 18° 11' 30" E) kod Donjeg Miholjca. Tlo je transportirano u plastičnim vrećama (slika 1), prosijano kroz sito otvora 5 mm i homogenizirano, a nakon toga napravljene su analize osnovnih i dopunskih kemijskih svojstava tla. U pripremi pokusa prve i druge vegetacije provedene su sljedeće analize osnovnih kemijskih svojstava tla: izmjenjiva (pH_{KCl}) i trenutna (pH_{H_2O}) kiselost tla (ISO 10390, ISO 1994.), sadržaj humusa (ISO 14235, ISO 1998.), koncentracija lakopristupačnog fosfora i kalija ekstrahiranih amonij-laktat (AL) metodom po Egner, Riehm i Domingu (Egner i sur., 1960.) te hidrolitička kiselost Na-acetat ekstrakcijom metodom po Kappenu (Vukadinović i Bertić, 1988.).

Dopunski su u oba tla analizirane ukupne količine Zn, Fe i Cd u tlu ekstrakcijom tla zlatotopkom (ISO 11466, ISO 1995.) te količine pristupačne frakcije Fe i Zn ekstrakcijom s EDTA otopinom (0,01 M etilen-diamintetraoctena kiselina (EDTA) + 1N $(NH_4)_2CO_3$, uz pH 8,6) prema Trierweiler and Lindsay (1969.).



Slika 1. Pripreme za postavljanje pokusa

Prema rezultatima analize (tablica 3), tlo korišteno u prvoj vegetaciji pokusa je ekstremne izmjenjive (pH_{KCl}) i umjerene trenutne ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) kiselosti, humozno, dobro opskrbljeno fosforom i bogato opskrbljeno kalijem.

Tlo s lokaliteta Rakitovica korišteno u drugoj vegetaciji pokusa je jake izmjenjive (pH_{KCl}) i slabe trenutne ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) kiselosti, osrednje humozno, siromašno opskrbljeno fosforom i siromašno opskrbljeno kalijem.

Koncentracije zlatotopkom ekstrahiranih Zn i Cd (Zn_{AR} i Cd_{AR}) su niže od maksimalno dopuštenih količina (MDK) onečišćujućih tvari u poljoprivrednim tlima ($< 1,0 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ i $< 150 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ tla) prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (MPRRR RH, 2010.). Prema istom Pravilniku tlo s lokaliteta Brestovac je u rangu povećane onečišćenosti Cd (38% MDK) i velike onečišćenosti Zn (56 % MDK), dok je tlo s lokaliteta Rakitovica čisto, neopterećeno Cd (12,5% MDK) te u rangu povećane onečišćenosti Zn (36%

MDK). Koncentracije raspoloživih mikroelemenata, Fe i Zn, ekstrahiranih EDTA metodom (Fe_{EDTA} i Zn_{EDTA}) su značajno niže, te iznose 90,9 i 107,3 mg Fe kg^{-1} tla i 8,2 i 3,5 mg Zn kg^{-1} tla za tla lokaliteta Brestovac i Rakitovica (tablica 3). Oba su tla u rangju visoke raspoloživosti Zn ekstrahiranog EDTA metodom.

Tablica 3. Osnovna i dopunska kemijska svojstva tla s lokaliteta Brestovac i Rakitovica

	Kemijsko svojstvo tla	Brestovac 2007./2008.	Rakitovica 2008./2009.
1.	pH _{H₂O}	5,00	6,20
2.	pH _{KCl}	3,83	4,77
3.	Hy (cmol kg^{-1})	5,99	3,85
4.	Humus (%)	2,71	2,18
5.	AL-P ₂ O ₅ (mg 100g ⁻¹)	16,2	9,4
6.	AL-K ₂ O (mg 100g ⁻¹)	33,6	12,43
<hr/>			
7.	ukupni Fe _{AR} (g kg^{-1})	40,1	25,1
8.	ukupni Zn _{AR} (mg kg^{-1})	84,5	54,1
9.	ukupni Cd _{AR} (mg kg^{-1})	0,384	0,125
<hr/>			
10.	raspoloživi Fe _{EDTA} (mg kg^{-1})	90,9	107,3
11.	raspoloživi Zn _{EDTA} (mg kg^{-1})	8,2	3,5
12.	raspoloživi Cd _{EDTA} (mg kg^{-1})	0,188	0,076

4.1.3. Priprema otopine CdCl₂ i kontaminacija tla

U prvoj godini pokusa primijenjena su dva tretmana kontaminacije tla Cd. Kontrolni tretman (0 mg Cd kg^{-1} tla) primijenjen je na polovinu posuda. Tlo u preostalim posudama kontaminirano je s 20 mg Cd kg^{-1} tla. Pripremljeno je 15 L otopine za kontaminaciju tla, tako što je otopljeno 3,582 g CdCl₂ /L deionizirane vode.

Osim kontrolnog tretmana (0 mg Cd kg^{-1} tla) u drugoj godini pokusa, primijenjene su još dvije razine kontaminacije tla Cd. Za kontaminaciju tla s 2 mg Cd kg^{-1} pripremljeno je 5 L otopine, tako što je otopljeno 0,3582 g CdCl₂ /L deionizirane vode. Kontaminacija tla s 5 mg Cd kg^{-1} napravljena je s otopinom u kojoj je otopljeno 0,8955 g CdCl₂ /L deionizirane vode.

Kontaminacija tla Cd napravljena je jednako za sve tretmane u obje godine pokusa. Odvagano je 11 kg tla i istreseno u korito u kojemu je tlo raspoređeno u sloju od nekoliko centimetara. Menzurom je odmjereno 110 mL otopine (10 mL kg^{-1} tla) i presipano u špric bocu za rasprskavanje. Otopina je ravnomjerno raspršena po cijeloj površini tla uz miješanje tla. Tretirano tlo je nakon toga prenešeno u posudu.

4.1.4. Priprema otopine uree i tripleksa

Mineralna gnojidba primijenjena je u sve posude u obje godine pokusa jednako. Otopina uree pripremljena je tako da je 4,657 g uree otopljeno u 1 L destilirane vode. Ova otopina dodana je u količini od 10 mL kg⁻¹ tla, odnosno 110 mL po posudi. Dodana količina uree po posudi odgovara količini od 75 kg N ha⁻¹. Otopina tripleksa također je dodana u količini od 10 mL kg⁻¹ tla, a pripremljena je tako da je otopljeno 9,514 g tripleksa/L destilirane vode (95,14 mg tripleksa kg⁻¹ tla). Dodana količina tripleksa po posudi odgovara tretmanu od 150 kg P₂O₅ ha⁻¹. Analizom tripleksa utvrđene su određene koncentracije mikroelemenata Fe (1986 mg kg⁻¹) i Zn (3172 mg kg⁻¹) te toksičnog elementa Cd (12,1 mg kg⁻¹). Dakle, gnojidbom tripleksom u tlo je pored fosfora dodano i 0,3 mg Zn kg⁻¹ te 1,15 µg Cd kg⁻¹ tla.

4.1.5. Sjetva ozime pšenice

Sjetva pokusa provedena je u skladu s agrotehničkim rokovima sjetve pšenice. U obje godine pokusa, sjetva je obavljena u plastične posude dubine 25 cm, promjera dna 22,5 cm i promjera gornjeg ruba 27,5 cm. U sjetvi je korištena sjetvena shema sa 41 otvorom, odnosno u svaku posudu je posijano 41 zrno te je takvim načinom sjetve postignut sklop od 650 biljaka/m². Sjetva je obavljena na dubinu od 2 cm. Tijekom nicanja pšenice i do faze tri lista posude su bile smještene u platenik s regulacijom temperature na 10°C. U fazi tri lista posude su premještene na lokalitet u Bilju, gdje je pokus proveden do kraja. U drugoj godini (2008./2009.) sjetva je obavljena u posude na lokalitetu u Bilju. Posude s pšenicom su tijekom obje vegetacije bile smještene na otvorenom, u prostoru mrežom zaštićenom od ptica.

4.1.6. Priprema otopine za prihranu pšenice

Pšenica je prihranjena dva puta tijekom vegetacije. Otopina KAN-a za prihranu pripremljena je sa 3,971 g KAN-a/L destilirane vode. Prva prihrana provedena je 13.03. u prvoj godini pokusa, a 28.03. u drugoj godini pokusa. Druga prihrana provedena je 18.04. u prvoj, a 30.04. u drugoj godini pokusa. Svakom prihranom KAN-om dodano je 39,71 mg KAN-a kg⁻¹ tla što odgovara tretmanu od 37,5 kg N ha⁻¹. Ukupno gnojidbom i prihranom dodana je količina od 150 kg N ha⁻¹ i 150 kg P₂O₅ ha⁻¹.

4.1.7. Eksperimentalni dizajn

U prvoj godini pokus je bio postavljen po planu potpuno slučajnog sustava sa 52 sorte pšenice i dva tretmana Cd u četiri ponavljanja. Tijekom vegetacije posude su premještane kako bi se

umanjio eventualni utjecaj vanjskih čimbenika. U drugoj godini pokusa 10 sorata pšenice i tri tretmana Cd, postavljena su po planu potpuno slučajnog blok sustava u četiri ponavljanja. Randomizacija pokusa napravljena je pomoću odgovarajuće aplikacije (www.randomizer.com).

4.1.8. Uzorkovanje

U svakoj godini pokusa provedena su po dva uzorkovanja biljne tvari tijekom vegetacije, prvo u fenofazi cvatnje, a drugo u punoj zriobi. Uzorkovanjem u fenofazi cvatnje, u prvoj godini pokusa, iz svake posude je prikupljeno po 10 listova zastavičara. Drugo uzorkovanje provedeno je između 23. lipnja i 01. srpnja 2008. godine kada su biljke bile u punoj zriobi (slika 2). Iz svake posude uzorkovano je 10 biljaka, koje su poslužile za mjerenje komponenti prinosa, a uzorci zrna pripremljeni su za laboratorijsku analizu. U drugoj godini pokusa, u fenofazi cvatnje, uzorkovano je po 10 biljaka iz svake posude. Prikupljene biljke su rastavljene na korijen, stabljiku, list zastavičar, ostale listove i klas. U drugom uzorkovanju, koje je provedeno, između 27. i 30. lipnja, 2009. godine, kada su biljke pšenice dostigle punu zrelost, prikupljeni su uzorci slame, listova, pljevica i zrna s 10 biljaka iz svake posude. Prikupljeni uzorci sušeni su 72 sata na 70°C, usitnjeni u mlinu za biljni materijal i u takvom stanju čuvani u hladnjaku do analize.



Slika 2. Prva godina pokusa neposredno prije uzorkovanja

4.2. Određivanje komponenti prinosa i kvantitativnih svojstava pšenice

Komponente prinosa i kvantitativna svojstva pšenice izmjerene su na uzorku od 10 biljaka iz svake posude. U prvoj godini pokusa ukupno je napravljeno 35 200 (52 sorte pšenice x 2 tretmana x 4 ponavljanja x 10 biljaka u uzorku x 8 pokazatelja), a u drugoj godini pokusa 9 600 (10 sorata x 3 tretmana x 4 ponavljanja x 10 biljaka u uzorku x 8 pokazatelja) pojedinačnih mjerenja. Izmjerene su sljedeće komponente prinosa i kvantitativna svojstva:

- visina biljke (cm)
- duljina klasa (cm)
- masa biljke (g)
- masa klasa (g)
- broj fertilnih klasića u klasu
- broj sterilnih klasića u klasu
- broj zrna u klasu
- masa zrna po klasu (g)

4.3. Laboratorijska analiza biljnog materijala

4.3.1. Određivanje koncentracije Cd, Zn i Fe

Uzorci biljnog materijala razoreni su mokrim postupkom, odnosno mješavinom dušične kiseline (HNO_3) i vodikovog peroksida (H_2O_2) mikrovalnom tehnikom (Kingston i Jassie, 1986.). U kivete za razaranje odvagano je 1 g suhe tvari biljnog uzorka i preliveno s 9 mL 65% (v/v) HNO_3 i 2 mL 30% (v/v) H_2O_2 . Uzorci su razoreni u mikrovalnoj pećnici (CEM Mars 5, slika 3). Nakon razaranja, ohlađena otopina uzorka profiltrirana je kroz dvostruki filter papir u odmjernu tikvicu volumena 50 mL i nadopunjena deioniziranom vodom do mjerne oznake na tikvici. Koncentracija Cd, Zn i Fe u otopini biljnih uzoraka utvrđena je direktnim mjerenjem pomoću ICP-OES (inducirana spregnuta plazma-optička emisijska spektrometrija, Perkin Elmer 2100 DW) i izražena kao $\mu\text{g mL}^{-1}$. Rezultati analiza su preračunati u koncentraciju Fe, Zn i Cd izraženu u mg kg^{-1} suhe tvari biljnog materijala (zrna, lista, klasa, slame ili korijena).



Slika 3. CEM Mars5 mikrovalna pećnica

4.4. Statistička obrada podataka

Statistička obrada agronomskih podataka i podataka o koncentraciji i sadržaju Fe, Zn i Cd u uzorcima prikupljenim u prvoj i drugoj godini pokusa napravljena je pomoću računalnih programa SAS i Microsoft Excel.

Za obje godine pokusa izračunata je aritmetička sredina, standardna devijacija i koeficijent varijacije za sva kvantitativna agronomska svojstva, koncentraciju i sadržaj Fe, Zn i Cd u analiziranim organima pšenice. Testirane su distribucije svih ispitivanih varijabli, uklonjeni su nepodobni članovi uzorka (outlieri), a varijable koje značajno odstupaju od normalne distribucije su transformirane (logaritamska transformacija). Faktorijalnom analizom varijance ispitana je interakcija tretmana te učinak osnovnih faktora, za svaku godinu pokusa posebno. Utvrđene statistički značajne razlike između tretmana dokazane su Tukeyevim HSD testom na razini vjerojatnosti od 0,05 i 0,01.

Jednostrukom i višestrukom korelacijskom analizom ispitana je međuovisnost elemenata (Cd, Zn i Fe) za svaki biljni organ.

Na osnovu hijerarhijske klaster analize (Hierarchical Cluster Analysis), sorte ispitivane u prvoj godini pokusa svrstane su u grupe iz kojih je izabrano 10 sorata koje najbolje opisuju raspon varijacija koncentracija ispitivanih elemenata u listu zastavičaru i zrnu pšenice.

Udaljenost između pojedinih grupa izračunata je na osnovu kvadratne euklidske udaljenosti (Squared Euclid Distance), a dendrogram je napravljen na osnovu prosječne povezanosti unutar grupa (Average Linkage Within Group).

4.5. Klimatske prilike

Klimatski Osijek (45° 33' 36" N, 18° 40' 33" E) pripada području na kojem prevladava umjereno topla vlažna klima s toplim ljetom. Prema Köppenovoj klasifikaciji klime (Penzar i Penzar, 2000.) ovaj tip klime označava se oznakom Cfb i karakterizira ga izraženost svih godišnjih doba. Podaci o srednjim mjesečnim temperaturama i oborinama za 2007., 2008., 2009. godinu i desetogodišnji prosjek (2000. – 2010.) za mjernu postaju Osijek dobiveni su iz Državnog hidrometeorološkog zavoda.

Prema desetogodišnjem prosjeku (2000. – 2010.), prosječna godišnja temperatura na području Osijeka iznosi 11,7°C. Najtopliji mjesec u godini je srpanj, s prosječnom temperaturom od 22,4°C, dok je siječanj, s prosječnom temperaturom od 0,1°C, najhladniji mjesec. Oborine su ravnomjerno raspodijeljene tijekom godine, a srednja vrijednost sume oborina na području Osijeka iznosi 703,3 mm. Prema višegodišnjem prosjeku, najviše oborina padne u lipnju (91,3 mm), a najmanje u veljači (36,7 mm).

Tablica 4. Prosječne mjesečne temperature zraka (°C) i sume oborina (mm) za 2007., 2008., 2009. godinu i višegodišnji prosjek (2000. – 2010.)

Godina	2000. - 2010.		2007.		2008.		2009.	
	Temperatura	Oborine	Temperatura	Oborine	Temperatura	Oborine	Temperatura	Oborine
Siječanj	0,1	44,6	5,8	25,3	1,5	33,1	-1,2	60,3
Veljača	2,4	36,8	6,1	46,5	4,9	4,7	2,3	28,6
Ožujak	6,9	44,8	8,5	76,0	7,5	82,4	6,8	26,5
Travanj	12,5	54,1	13,3	2,9	12,5	48,8	14,6	18,7
Svibanj	17,7	65,2	18,3	56,1	18,1	66,9	18,3	39,4
Lipanj	20,7	91,3	22,3	33,3	21,5	76,3	19,2	62,8
Srpanj	22,4	57,1	23,8	27,4	21,9	67,6	23,2	13,8
Kolovoz	21,7	79,9	22,2	45,0	21,8	46,2	22,9	60,6
Rujan	16,2	68,0	14,5	65,2	15,7	86,3	19,1	10,0
Listopad	11,9	52,9	10,3	92,5	13,0	29,8	11,5	55,3
Studeni	7,0	58,1	4,0	102,7	7,5	47,9	8,2	67,8
Prosinac	1,4	50,6	0,1	48,0	3,8	40,8	3,1	100,8

Prosječna godišnja temperatura zraka u 2007. godini bila je za 0,7°C viša od višegodišnjeg prosjeka (tablica 4). Najtopliji mjesec bio je srpanj sa zabilježenih 23,8°C, ali su i lipanj i kolovoz imali visoke prosječne temperature (22,3 i 22,2°C). Prema višegodišnjem prosjeku najhladniji mjesec siječanj, u 2007. godini bio je za 5,7°C iznad prosjeka. Ukupna količina oborina u 2007. godini iznosila 620,9 mm, što je za 82,4 mm ispod prosjeka. Najkišovitiji mjesec bio je studeni s čak 102,7 mm oborina, dok je u travnju palo samo 2,9 mm oborina.

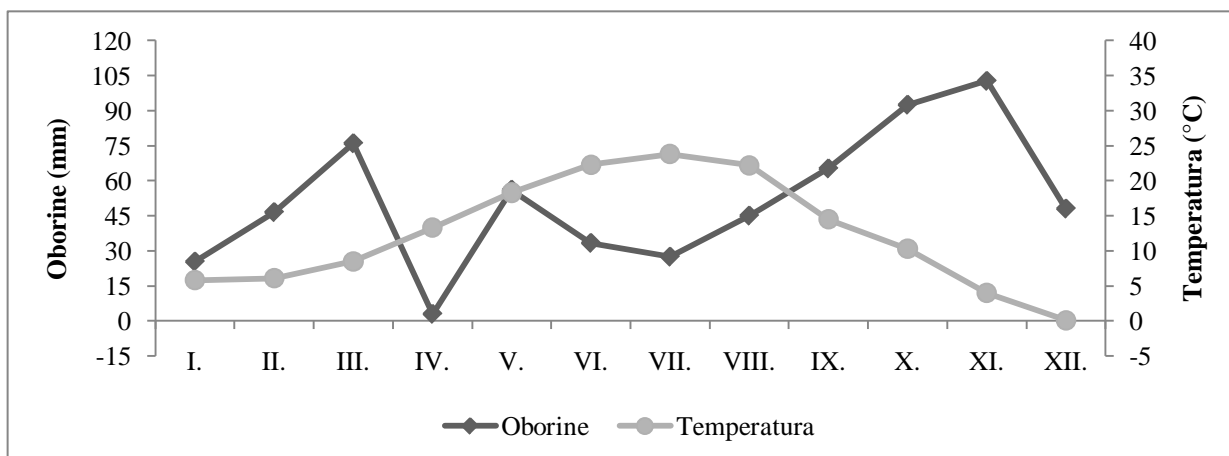
U odnosu na višegodišnji prosjek, 2008. godina je imala 72,5 mm manje oborina. Najmanje oborina bilo je u veljači (4,7 mm). Najkišovitiji mjeseci bili su ožujak i rujna sa 82,4 odnosno 86,3 mm oborina. Prosječna godišnja temperatura iznosila je 12,5 °C i bila je za 0,8 °C iznad višegodišnjeg prosjeka. Najhladniji mjesec u 2008. godini bio je siječanj s prosječnom temperaturom zraka od 1,5°C, a najtopliji mjeseci bili su lipanj, srpanj i kolovoz što je u skladu s višegodišnjim prosjekom.

U 2009. godini najtopliji mjesec bio je srpanj (23,2°C) s 0,8°C iznad višegodišnjeg prosjeka. Prosječna godišnja temperatura zraka također je bila iznad višegodišnjeg prosjeka (12,3°C), a najhladniji mjesec bio je siječanj, s temperaturom zraka za 1,1°C nižom od višegodišnjeg prosjeka. Količina oborina u 2009. godini odstupala je od višegodišnjeg prosjeka te je izmjereno samo 544,6 mm, što je 158,7 mm ispod prosjeka. Najmanje oborina palo je u srpnju (13,8 mm), ali su i veljača, ožujak, travanj, svibanj i lipanj imali manje oborina od prosjeka. U prosincu je palo čak 100,8 mm oborina, što je za 50% više od prosjeka.

4.5.1. Klimadijagram po Walteru za 2007., 2008. i 2009. godinu za područje Osijeka

Temperaturno – oborinski režimi za 2007., 2008. i 2009. godinu prikazani su grafički (grafikon 1, grafikon 2 i grafikon 3).

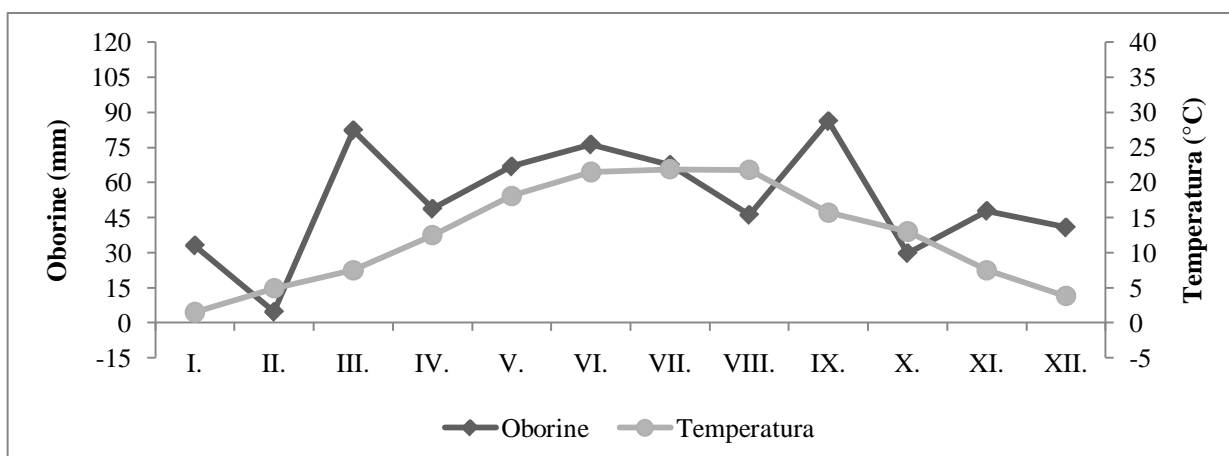
Iako su 2007. i 2008. godina imale nižu ukupnu sumu oborina u odnosu na višegodišnji prosjek, tijekom vegetacije pšenice u prvoj godini pokusa (od rujna 2007. do srpnja 2008. godine) bilo je više oborina nego u višegodišnjem prosjeku za isto razdoblje.



Grafikon 1. Walterov klimadijagram za područje Osijeka (2007. godina)

Na temelju hoda oborina moguće je procijeniti da je od travnja do rujna 2007. godine bilo sušno razdoblje. U vrijeme sjetve pšenice (listopad, studeni) zabilježene su veće količine oborina, a značajan manjak oborina zabilježen je u veljači 2008. godine (grafikon 2). Manjak oborina nije zabilježen u nastavku vegetacijske sezone 2007./2008. Tijekom vegetacije pšenice u prvoj godini pokusa (od rujna 2007. do srpnja 2008. godine), prosječne temperature zraka nisu značajno odstupale od višegodišnjeg prosjeka.

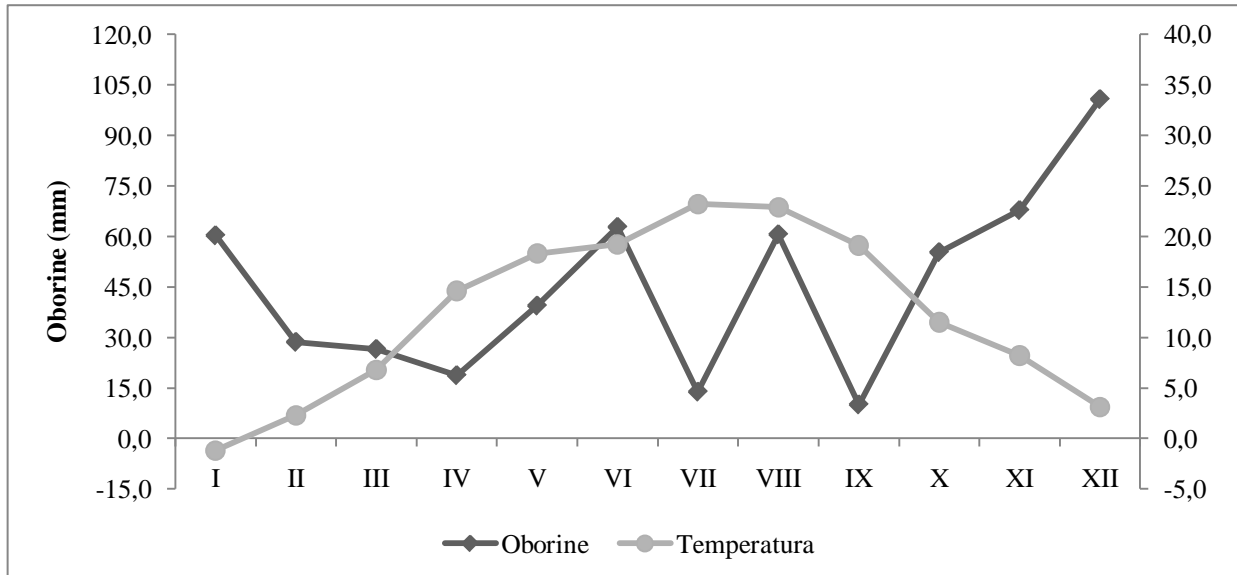
Druga godina pokusa (2008./2009.) počela je sušnim razdobljem u listopadu 2008. godine. Drugo, duže sušno razdoblje zabilježeno je tijekom ožujka, travnja, svibnja i lipnja 2009. godine. U to vrijeme pšenica prolazi fenofaze vlatanja, klasanja i cvatnje te se nalazi u kritičnom razdoblju obzirom na potrebe za vodom.



Grafikon 2. Walterov klimadijagram za područje Osijeka (2008. godina)

Općenito, 2009. godina bila je izuzetno sušna, a tijekom vegetacije pšenice (od rujna 2008. do srpnja 2009. godine) palo je samo 453,9 mm oborina, što je 168,55 mm manje nego u

višegodišnjem prosjeku za iste mjesec. Da bi se umanjio negativan utjecaj nedostatka vode tijekom vegetacije, pokus je redovito zalijevan. Prosječne mjesečne temperature tijekom vegetacijske sezone 2008./2009. nisu značajno odstupale od višegodišnjeg prosjeka.



Grafikon 3. Walterov klimadijagram za područje Osijeka (2009. godina)

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

5.1. Agronomska svojstva ozime pšenice

Utjecaj kontaminacije tla Cd na agronomska svojstva ozime pšenice ispitan je analizom visine biljke, duljine klasa, mase biljke, mase klasa, broja fertilnih i sterilnih klasića, broja zrna po klasu, mase zrna po klasu i mase 1000 zrna.

5.1.1. Agronomska svojstva ozime pšenice u vegetacijskoj sezoni 2007./2008.

Dvosmjernom analizom varijance ispitan je učinak kontaminacija tla Cd, sorte i njihove interakcije na agronomska svojstva ozime pšenice (tablica 5).

Tablica 5. Analiza varijance agronomskih svojstava u vegetacijskoj sezoni 2007./2008.

Agronomsko svojstvo	Izvor variranja	Stupnjevi slobode	P	Partial Eta Squared
Visina biljke (cm)	Sorta	51	< 0,0001	0,83
	Cd tretman	1	n.s.	0,01
	Sorta*Cd tretman	51	< 0,0001	0,33
Duljina klasa (cm)	Sorta	51	< 0,0001	0,70
	Cd tretman	1	0,0001	0,17
	Sorta*Cd tretman	51	< 0,0015	0,22
Masa biljke (g)	Sorta	51	< 0,0001	0,48
	Cd tretman	1	< 0,0001	0,34
	Sorta*Cd tretman	51	< 0,0001	0,46
Masa klasa (g)	Sorta	51	< 0,0001	0,35
	Cd tretman	1	< 0,0001	0,28
	Sorta*Cd tretman	51	< 0,0001	0,43
Broj fertilnih klasića po klasu	Sorta	51	< 0,0001	0,43
	Cd tretman	1	< 0,0001	0,22
	Sorta*Cd tretman	51	< 0,0001	0,34
Broj sterilnih klasića po klasu	Sorta	51	< 0,0001	0,38
	Cd tretman	1	0,0104	0,02
	Sorta*Cd tretman	51	< 0,0001	0,29
Broj zrna po klasu	Sorta	51	< 0,0001	0,60
	Cd tretman	1	< 0,0001	0,30
	Sorta*Cd tretman	51	< 0,0001	0,53
Masa zrna po klasu (g)	Sorta	51	< 0,0001	0,57
	Cd tretman	1	< 0,0001	0,33
	Sorta*Cd tretman	51	< 0,0001	0,55
Masa 1000 zrna (g)	Sorta	51	< 0,0001	0,65
	Cd tretman	1	< 0,0001	0,08
	Sorta*Cd tretman	51	< 0,0001	0,28

Utvrđena je značajna interakcija sorte i tretmana Cd za sva analizirana agronomska svojstva pšenice (tablica 5). Analizom glavnih faktora utvrđeno je da je kontaminacija tla Cd značajno utjecala na snižavanje vrijednosti duljine klasa, mase biljke, mase klasa, broja fertilnih klasića i broja zrna po klasu, mase zrna po klasu i mase 1000 zrna, dok je broj sterilnih klasića po klasu povišen uslijed kontaminacije tla Cd (tablica 6).

Tablica 6. Opisna statistika i rezultati HSD testa utjecaja kontaminacije tla Cd na agronomska svojstva pšenice u žetvi u vegetacijskoj sezoni 2007./2008.

Svojstvo	mg Cd kg ⁻¹ tla	Aritmetička sredina	Standardna devijacija	Koeficijent varijacije (%)	Tukeyev HSD
Visina biljke (cm)	0	57,47	8,25	14,34	n.s.
	20	56,90	7,83	13,75	
Duljina klasa (cm)	0	7,35	1,19	16,24	0,19**
	20	6,78	1,3	19,29	
Masa biljke (g)	0	2,99	0,84	29,25	0,14**
	20	2,23	0,8	36,78	
Masa klasa (g)	0	1,82	0,6	33,03	0,11**
	20	1,35	0,54	39,66	
Broj fertilnih klasića po klasu	0	14,62	2,37	16,22	0,47**
	20	12,88	2,49	19,34	
Broj sterilnih klasića po klasu	0	3,08	1,83	59,36	0,28*
	20	3,44	1,74	50,62	
Broj zrna po klasu (g)	0	33,33	11,02	33,06	1,54**
	20	26,24	9,42	35,90	
Masa zrna po klasu (g)	0	1,39	0,47	34,18	0,07**
	20	1,05	0,41	38,95	
Masa 1000 zrna (g)	0	42,02	5,77	13,80	0,93**
	20	40,17	5,23	13,02	

**=statistički značajno na razini P<0,01; *=statistički značajno na razini P<0,05; n.s.=nije statistički značajno

Prosječna visina biljke (cm) bila je manja u tretmanu s 20 mg Cd kg⁻¹ tla u odnosu na visinu biljke na nekontaminiranom tlu, no ta razlika nije bila dovoljno velika da bi bila statistički značajna (tablica 6). Najmanje varijabilno agronomsko svojstvo u ispitivanom uzorku bila je masa 1000 zrna (g), dok je najveća varijabilnost zabilježena za broj sterilnih klasića po klasu.

Aritmetičke sredine agronomskih svojstava ispitivanih sorata pšenice uspoređene su Tukeyevim testom na razini značajnosti od 95%. Utvrđeno je postojanje statistički značajnih

razlika između sorata pšenice za sva ispitivana agronomska svojstva u tretmanu s 0 mg Cd kg⁻¹ tla (tablica 7) i u tretmanu s 20 mg Cd kg⁻¹ tla (tablica 8). Utvrđene razlike između sorata za sva agronomska svojstva upućuju na postojanje velike različitosti ispitivanih sorata. S obzirom na odstupanje aritmetičke sredine pojedine sorte od aritmetičke sredine svih sorata za ispitivano agronomsko svojstvo izdvojene su sorte pšenice kod kojih te vrijednosti odstupaju za jednu standardnu devijaciju od aritmetičke sredine svojstva u oba smjera ($\bar{x} \pm \sigma$). U tretmanu s 0 mg Cd kg⁻¹ tla sorte Antonius, Ilirija, Ludwig, MV Magvas, Patria i Ružica su izdvojene kao sorte koje su u minimalno četiri od ukupno devet ispitivanih agronomskih svojstava, imale aritmetičku sredinu svojstva višu od $\bar{x} + \sigma$. Navedene sorte mogu se okarakterizirati kao iznadprosječne u pogledu ispitivanih agronomskih svojstava, a na osnovu hijerarhijske klaster analize svrstane su u istu skupinu (grafikon 4). Udaljenost između sorata izračunata je na osnovu kvadratne euklidske udaljenosti, a dendogram je napravljen na osnovu prosječne povezanosti unutar grupa (average linkage within group). Kao ispodprosječne u pogledu ispitivanih agronomskih svojstava mogu se izdvojiti sorte Adriana, Divana, Golubica, Njivka, Osječka Crvenka, Super Žitarka i Zlatna Dolina. Kod ovih sorata je aritmetička sredina minimalno četiri agronomska svojstva niža od ukupne aritmetičke sredine agronomskog svojstva umanjene za jednu standardnu devijaciju ($\bar{x} - \sigma$) u tretmanu s 0 mg Cd kg⁻¹ tla, a hijerarhijskom klaster analizom ove sorte su svrstane u istu skupinu. U zasebnu skupinu uvrštene su sorte BC Elvira, Edison, Felix, Lucija, MV Magdalena, Osječka 20, Pipi i Valerius kod kojih niti za jedno agronomsko svojstvo nije utvrđeno odstupanje veće od $\bar{x} \pm \sigma$.

Tablica 7. Opisna statistika i rezultati Tukeyevog HSD testa različitosti agronomskih svojstava ispitivanih sorata pšenice u vegetacijskoj sezoni 2007./2008. na nekontaminiranom tlu.

Sorta	Visina biljke (cm)	Duljina klasa (cm)	Masa biljke (g)	Masa klasa (g)	Broj fertilnih klasića/klasu	Broj sterilnih klasića/klasu	Broj zrna po klasu (g)	Masa zrna po klasu (g)	Masa 1000 zrna (g)
Adriana	50,15	7,65	2,00	1,27	13,25	5,05	23,92	0,95	39,70
Aida	55,15	7,75	2,66	1,60	15,47	4,27	41,73	1,12	28,17
Alka	51,10	8,00	3,18	2,11	14,55	2,80	19,95	0,97	48,43
Ana	47,80	6,35	2,92	1,96	15,65	3,75	39,30	1,56	39,09
Andelka	52,80	7,05	3,31	2,26	17,30	2,15	43,90	1,73	39,45
Antonius	71,55	9,60	4,09	2,50	16,70	1,55	43,13	1,95	45,10
Barbara	58,00	6,25	3,35	1,99	15,07	3,60	30,93	1,44	46,63
Bastide	52,45	6,90	2,36	2,02	13,00	4,25	47,60	1,84	36,37
BC Elvira	54,40	6,60	2,68	1,66	14,00	2,85	33,00	1,45	38,72
Bezostaja	69,35	8,20	2,69	1,63	14,25	3,10	30,15	1,24	42,52
Dekan	59,90	8,85	2,89	1,76	15,50	3,30	36,10	1,44	39,79
Demetra	52,20	6,35	2,46	1,57	13,70	4,10	33,27	1,37	41,18
Divana	61,15	6,70	2,02	1,22	11,05	3,95	20,90	0,92	44,29
Edison	62,80	6,80	2,53	1,47	13,45	3,45	29,50	1,13	38,32
Eurofit	67,00	8,80	3,03	1,70	15,10	2,75	32,15	1,26	39,16
Eurojet	71,15	9,05	3,25	1,91	15,75	2,50	34,53	1,44	41,78
Felix	55,00	7,30	2,51	1,69	15,70	1,85	33,60	1,42	42,25
GK Kalasz	57,95	7,30	3,51	2,23	16,95	0,90	43,73	1,77	40,51
Golubica	55,30	7,80	1,77	0,80	10,20	7,45	12,80	0,55	44,12
Ilirija	75,45	8,20	5,21	3,21	15,00	0,90	46,55	2,39	51,50
Janica	59,10	7,55	3,31	2,10	17,00	2,65	42,65	1,67	38,74
Katarina	49,25	7,50	2,13	1,36	13,25	2,90	23,60	0,60	26,55
Lela	53,70	7,35	3,02	2,03	16,10	1,30	37,35	1,55	41,78
Libellula	65,90	6,45	3,42	2,18	15,65	1,95	39,90	1,76	44,21
Lucija	52,80	6,60	2,95	2,00	15,70	2,10	39,80	1,57	39,48
Ludwig	69,25	8,95	3,62	2,22	17,05	3,30	38,95	1,75	44,27
Mihaela	48,85	5,90	2,74	1,85	14,75	3,60	31,65	1,43	44,98
MV Emesse	63,40	7,70	2,95	1,71	14,80	3,85	25,13	1,29	51,50
MV Magdalena	58,70	8,05	3,54	2,21	15,40	1,85	36,50	1,58	43,26
MV Magvas	61,10	7,80	4,25	2,86	16,15	1,65	47,15	2,16	45,48
MV Mambo	62,55	8,40	2,52	1,54	13,60	2,15	26,13	1,18	44,82
Njivka	51,15	5,65	1,77	0,92	9,45	5,80	12,25	0,62	51,34
Osječka 20	51,65	6,75	2,44	1,52	14,80	3,45	30,45	1,20	39,58
Osječka Crvenka	49,94	6,30	1,94	1,14	11,90	4,60	20,20	0,80	39,90
Panonija	52,55	7,10	3,13	2,10	15,80	4,10	44,40	1,68	37,25
Patria	65,50	8,80	4,16	2,63	16,15	2,25	41,10	2,06	50,21
Pipi	53,65	7,10	3,06	2,00	15,00	2,50	33,07	1,46	44,34
Renan	58,20	8,15	2,73	1,72	13,50	2,70	26,00	1,30	49,66
Renata	50,65	6,50	3,32	2,23	16,20	1,15	39,60	1,64	42,03
Ružica	59,30	8,15	4,13	2,64	17,15	2,15	48,85	2,02	41,43
Sana	53,95	7,00	2,87	1,70	11,35	6,75	35,10	1,64	46,77
Seka	49,65	6,80	2,58	1,70	15,05	3,25	31,20	1,22	40,04
Slavonija	52,35	5,75	2,28	1,44	14,05	3,35	26,25	1,14	43,76
Soissons	57,35	7,45	3,24	2,15	13,75	1,80	23,60	0,87	36,84
Srpanjka	47,05	6,60	2,39	1,68	16,05	2,10	38,20	1,45	37,79
Super Žitarka	51,95	5,90	2,31	1,26	13,10	5,20	19,50	0,92	47,12
SW Maxi	61,15	8,25	2,61	1,51	14,15	2,20	38,67	1,41	36,46
U1	80,50	9,70	2,44	1,25	12,85	3,65	24,20	0,97	40,29
Valerius	63,40	7,05	2,49	1,54	14,25	1,85	32,80	1,34	40,13
Zlata	50,05	7,25	2,78	1,91	17,45	1,65	44,50	1,61	36,35
Zlatna Dolina	50,35	6,55	2,05	1,19	13,30	4,95	22,00	0,88	40,00
Žitarka	53,40	5,85	2,68	1,58	13,80	2,90	26,70	1,11	41,50
Aritmetička sredina	57,47	7,35	2,99	1,82	14,62	3,08	33,33	1,39	41,82
Tukeyev HSD _{0,05}	12,08	2,21	1,69	1,23	5,26	3,97	18,67	0,82	11,98

■ Vrijednosti koje su za jednu standardnu devijaciju više od aritmetičke sredine.

■ Vrijednosti koje su za jednu standardnu devijaciju niže od aritmetičke sredine.

C A S E	0	5	10	15	20	25
Label	Num	+-----+-----+-----+-----+-----+				
Osječka 20	33 ¹	□				
Seka	42	□□				
BC Elvira	9	□□				
Demetra	12	□□□				
Mihaela	27	□□□□□				
Slavonija	43	□*□□□				
Žitarka	52	□□				
Srpanjka	45	□□□□□□□				
Barbara	7	□□□□□□□□				
Edison	14	□□□□□*□□□□□□				
Valerius	49	□□□□□□				
Soissons	44	□□□□□□□□□□□□				
Aida	2	□□□□□□□□□□□□□□□□				
Katarina	22	□□□□□□□□□□□□□□□□				
Andelka	5	□□□				
Janica	21	□□□□□				
GK Kalasz	18	□□□□				
Zlata	50	□□□□□□				
Lela	23	□□□□				
Lucija	25	□□□□□□				
Renata	39	□□□□				
Felix	17	□□□*□□				
Pipi	37	□□□□				
MV Magdalena	29	□□□□□□□				
Libelula	24	□□□□□□□□□				
Ana	4	□□□□□*□□□□				
Panonija	35	□□□□□□				
Bastide	8	□□□□□□□□□				
Sana	41	□□□□□□□□□□□□□□□□				
MV Mambo	31	□□□□□*□□				
Renan	38	□□□□□□				
MV Emesse	28	□□□□□□□□				
Alka	3	□□□□□□□□□□				
Eurofit	15	□□□*□□				
Eurojet	16	□□□□				
Dekan	11	□□□□□□□				
Bezostaja	10	□□□□□□				
SW Maxi	47	□□□□□□□				
U1	48	□□□□□□□□□□□□□□□□				
Osječka Crvenka	34	□*□□				
Zlatna Dolina	51	□□				
Adriana	1	□□□□				
Super Žitarka	46	□□□□□□□□				
Divana	13	□□□□□□□□				
Golubica	19	□□□□□□□□□□□□□□				
Njivka	32	□□□□□□□□□□□□□□□□				
MV Magvas	30	□□□*□□□□□□□□				
Ružica	40	□□□□				
Antonius	6	□□□□□□*□□				
Patria	36	□□□□□□□				
Ludwig	26	□□□□□□□□				
Ilirija	20	□□□□□□□□□□□□□□□□				

¹ Brojevi u grafikonu predstavljaju redni broj sorte pšenice po abecednom redu.

Grafikon 4. Hijerarhijski klaster dijagram na osnovu agronomskih svojstava na nekontaminiranom tlu.

Na tlu kontaminiranom Cd utvrđene su statistički značajne razlike između sorata pšenice za sva agronomska svojstva (tablica 8). Različito sorata u pogledu agronomskih svojstava izražena je i u tretmanu s 20 mg Cd kg⁻¹ tla. Ispitivane sorte pšenice se mogu podijeliti u šest skupina s obzirom na rezultate hijerarhijske klaster analize. Na osnovu odstupanja prosječne vrijednosti sorte od aritmetičke sredine agronomskog svojstva, izdvojena je skupinu sorata pšenice koje imaju aritmetičku sredinu četiri ili više agronomskih svojstava iznad $\bar{x} + \sigma$.

U tu skupinu uvršteno je deset sorata: Antonius, Edison, Eurofit, Eurojet, Golubica, Ludwig, MV Magdalena, MV Magvas, MV Mambo i SW Maxi. U skupinu sorata koje imaju aritmetičku sredinu minimalno četiri agronomska svojstva nižu od $\bar{x} - \sigma$ uvršteno je deset sorata: Bastide, Divana, Janica, Katarina, Libellula, Ružica, Sana, Seka, Soissons i Super Žitarka. Slično grupiranje utvrđeno je i hijerarhijskom klaster analizom (grafikon 5). Sedam od deset navedenih sorata uvršteno je u istu skupinu no njima je u dendogramu pridružena i sorta Lucija, kod koje je utvrđeno odstupanje od aritmetičke sredine za jednu standardnu devijaciju samo kod mase 1000 zrna (g). U dendogramu su Divana, Sana i Super Žitarka izdvojene u skupinu sa Alkom, Ilirijom, Renanom i Renatom. U istom tretmanu za osam sorata (Alka, Ana, Anđelka, Bezostaja, GK Kalasz, Lela, Panonija i Zlatna Dolina) utvrđena aritmetička sredina niti jednog agronomskog svojstva nije odstupala više od $\bar{x} \pm \sigma$.

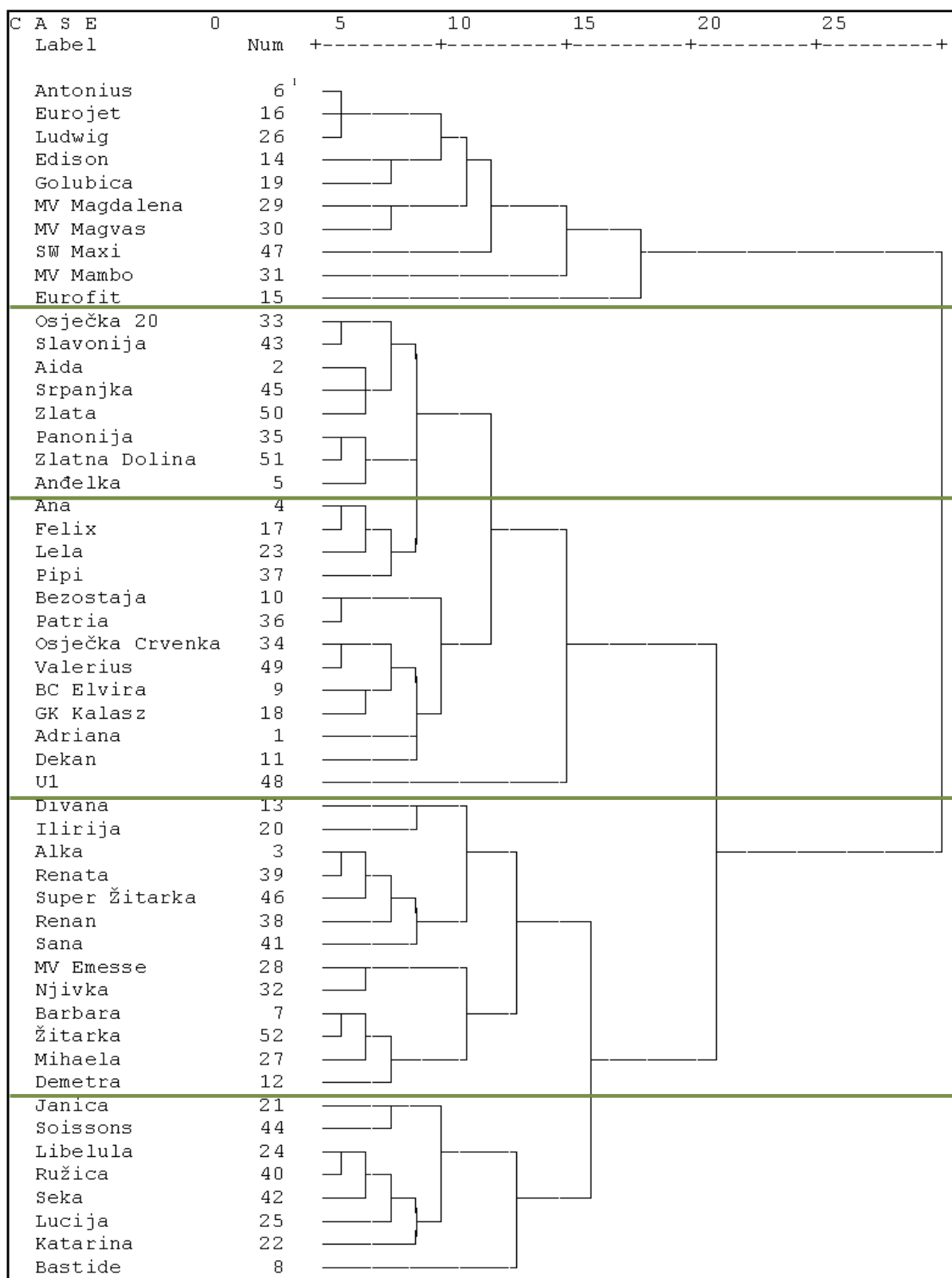
Ispitivane sorte pšenice su po istom principu podijeljene u skupine na nekontaminiranom i na kontaminiranom tlu, no pri različitim razinama kontaminacije tla Cd nisu iste sorte uvrštene u iste skupine. Taj podatak ukazuje da je utjecaj kontaminacije tla različito djelovao na pojedine sorte. Na nekontaminiranom tlu sorta Ružica je bila uvrštena u skupinu iznadprosječnih sorata po agronomskim svojstvima dok je na kontaminiranom tlu bila u skupini sorata koje su imale ispodprosječne vrijednosti agronomskih svojstava, što ukazuje na izrazito negativan učinak kontaminacije tla Cd na agronomska svojstva kod ove sorte. Sorte MV Magvas, Antonius i Ludwig su u oba tretmana Cd imali iznadprosječne vrijednosti agronomskih svojstava, što može upućivati na prilagodljivost ovih sorata na kontaminaciju tla Cd.

Tablica 8. Opisna statistika i rezultati Tukeyevog HSD testa različitosti agronomskih svojstava ispitivanih sorata pšenice u vegetacijskoj sezoni 2007./2008. na kontaminiranom tlu.

Sorta	Visina biljke (cm)	Duljina klasa (cm)	Masa biljke (g)	Masa klasa (g)	Broj fertilnih klasića/klasu	Broj sterilnih klasića/klasu	Broj zrna po klasu	Masa zrna po klasu (g)	Masa 1000 zrna (g)
Adriana	57,75	7,45	2,58	1,68	13,90	3,40	22,89	0,79	34,50
Aida	51,65	6,95	2,21	1,41	13,20	2,50	34,80	1,28	36,24
Alka	53,50	6,05	1,63	1,05	11,70	4,15	19,50	0,83	42,84
Ana	51,15	5,75	2,14	1,38	12,75	3,60	28,15	1,07	37,52
Andelka	51,15	6,10	2,27	1,55	14,05	3,30	30,00	1,26	42,08
Antonius	69,80	9,10	2,79	1,61	14,30	2,10	38,93	1,62	41,49
Barbara	57,15	5,60	2,11	1,24	12,65	3,80	20,40	0,91	44,28
Bastide	52,05	5,25	1,36	0,74	9,70	7,25	15,00	0,54	35,90
BC Elvira	55,70	6,50	1,96	1,21	14,05	2,55	27,20	0,96	35,36
Bezostaja	63,90	7,70	2,28	1,25	13,40	3,50	26,13	1,09	41,75
Dekan	59,90	8,05	1,82	1,61	14,90	2,20	27,27	0,94	34,76
Demetra	52,00	5,40	2,08	1,30	12,90	4,75	27,87	1,17	41,28
Divana	63,15	6,40	1,42	0,90	10,45	3,40	17,45	0,74	42,04
Edison	65,20	7,60	3,29	2,00	14,80	2,00	31,93	1,24	38,59
Eurofit	71,45	9,50	4,44	2,48	18,00	1,73	45,65	1,88	41,17
Eurojet	66,95	8,85	2,65	1,64	14,25	2,30	36,30	1,62	44,16
Felix	49,15	6,60	2,20	1,53	12,00	3,50	25,80	0,98	37,86
GK Kalasz	57,05	6,55	1,91	1,16	13,00	3,30	23,60	0,93	39,24
Golubica	58,75	7,55	2,95	1,83	14,70	2,50	37,35	1,42	38,16
Ilirija	64,20	5,70	1,94	1,02	10,15	4,60	16,40	0,76	45,95
Janica	54,70	5,75	1,24	0,70	10,50	2,85	13,85	0,49	34,81
Katarina	48,90	6,70	1,36	0,92	12,75	5,10	23,80	0,79	33,28
Lela	52,35	6,50	1,97	1,28	12,65	4,15	34,40	1,23	35,88
Libellula	53,80	5,75	1,44	0,83	9,90	4,45	17,95	0,64	35,70
Lucija	52,15	5,75	1,61	1,04	12,00	3,85	22,20	0,77	34,11
Ludwig	71,55	8,55	2,82	1,76	14,80	2,10	34,80	1,52	43,62
Mihaela	48,60	5,40	1,89	1,24	13,05	3,75	22,25	0,90	40,68
MV Emesse	57,10	6,65	2,28	1,36	11,93	4,87	19,93	1,04	51,68
MV Magdalena	56,50	8,05	3,45	2,13	16,35	2,00	37,65	1,72	45,64
MV Magvas	62,25	7,30	3,20	2,11	15,15	2,80	36,80	1,59	43,16
MV Mambo	64,70	8,40	2,81	1,81	13,50	3,10	35,62	1,96	54,92
Njivka	55,95	5,80	2,20	1,29	11,87	3,67	19,60	0,98	50,20
Osječka 20	57,70	6,50	2,55	1,53	13,45	1,90	30,85	1,18	38,31
Osječka Crvenka	63,60	6,65	2,21	1,37	15,25	2,90	27,20	1,06	38,53
Panonija	53,80	6,45	2,29	1,53	14,45	3,75	29,65	1,15	38,34
Patria	61,85	7,95	2,15	1,27	12,55	3,30	21,70	0,97	44,45
Pipi	47,50	6,50	2,56	1,67	11,95	3,75	34,35	1,28	37,26
Renan	51,90	6,90	1,61	0,92	10,20	4,55	16,95	0,70	41,40
Renata	50,40	5,35	1,65	1,05	11,80	4,80	19,00	0,83	43,61
Ružica	53,55	5,70	1,33	0,74	11,15	4,20	15,85	0,53	38,46
Sana	50,05	6,65	1,61	0,92	9,20	6,25	16,90	0,77	44,99
Seka	45,30	5,70	1,53	0,97	11,20	3,90	17,30	0,65	37,45
Slavonija	53,85	6,05	2,22	1,44	14,55	1,85	29,07	1,13	38,91
Soissons	55,20	5,90	1,59	0,94	10,40	2,00	20,20	0,72	35,32
Srpanjka	48,15	6,70	1,96	1,37	13,80	1,90	30,20	1,07	35,63
Super Žitarka	51,00	5,15	1,46	0,89	10,40	4,90	14,95	0,67	45,01
SW Maxi	61,85	9,25	3,57	2,06	15,05	2,10	44,30	1,61	36,39
U1	78,50	8,90	1,69	0,96	9,87	4,33	16,53	0,72	43,17
Valerius	65,15	6,85	2,22	1,36	13,55	3,20	27,73	1,04	37,36
Zlata	45,60	6,80	2,32	1,63	14,50	2,85	33,80	1,27	37,79
Zlatna Dolina	58,05	6,70	2,54	1,59	14,35	3,70	26,53	0,99	37,03
Žitarka	55,65	5,35	1,82	1,12	12,65	3,85	19,55	0,80	40,83
Aritmetička sredina	56,90	6,78	2,23	1,35	12,88	3,44	26,24	1,05	40,17
Tukeyev HSD _{0,05}	11,70	2,12	1,59	1,2	5,47	4,36	16,25	0,71	8,97

■ Vrijednosti koje su za jednu standardnu devijaciju više od aritmetičke sredine.

■ Vrijednosti koje su za jednu standardnu devijaciju niže od aritmetičke sredine.



¹ Brojevi u grafikonu predstavljaju redni broj sorte pšenice po abecednom redu.

Grafikon 5. Hijerarhijski klaster dijagram na osnovu agronomskih svojstava na kontaminiranom tlu.

5.1.2. Agronomska svojstva ozime pšenice u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

Dvosmjernom analizom varijance ispitan je učinak kontaminacija tla Cd, sorte i njihove interakcije na agronomska svojstva ozime pšenice. Značajna interakcija sorte i kontaminacije tla Cd nije utvrđena niti za jedno ispitivano agronomsko svojstvo pšenice (tablica 9). Za visinu biljke (cm), duljinu klasa (cm) i broj sterilnih klasića po klasu utvrđen je značajan učinak sorte (tablica 9).

Tablica 9. Analiza varijance agronomskih svojstava u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

Agronomsko svojstvo	Izvor variranja	Stupnjevi slobode	P	Partial Eta squared
Visina biljke (cm)	Sorta	9	0,0057	0,95
	Cd tretman	2	0,403	0,13
	Sorta*Cd tretman	18	0,769	0,41
Duljina klasa (cm)	Sorta	9	0,0203	0,54
	Cd tretman	2	0,290	0,03
	Sorta*Cd tretman	18	0,207	0,29
Masa biljke (g)	Sorta	9	0,239	0,16
	Cd tretman	2	0,074	0,02
	Sorta*Cd tretman	18	0,916	0,19
Masa klasa (g)	Sorta	9	0,302	0,13
	Cd tretman	2	0,145	0,01
	Sorta*Cd tretman	18	0,939	0,20
Broj fertilnih klasića po klasu	Sorta	9	0,494	0,11
	Cd tretman	2	0,911	0,00
	Sorta*Cd tretman	18	0,365	0,26
Broj sterilnih klasića po klasu	Sorta	9	0,009	0,73
	Cd tretman	2	0,076	0,12
	Sorta*Cd tretman	18	0,247	0,32
Broj zrna po klasu	Sorta	9	0,431	0,18
	Cd tretman	2	0,785	0,01
	Sorta*Cd tretman	18	0,646	0,21
Masa zrna po klasu (g)	Sorta	9	0,427	0,11
	Cd tretman	2	0,683	0,00
	Sorta*Cd tretman	18	0,425	0,20
Masa 1000 zrna (g)	Sorta	9	0,324	0,37
	Cd tretman	2	0,523	0,05
	Sorta*Cd tretman	18	0,957	0,16

U drugoj godini pokusa utvrđene su statistički značajne razlike između primijenjenih tretmana Cd za mase biljke (g) i mase klasa (g) (tablica 10). Najviše vrijednosti oba svojstva zabilježene su na nekontaminiranom tlu, a najniže u tretmanu s 5 mg Cd kg⁻¹ tla. Za visinu

biljke (cm), duljinu klasa (cm) i masu 1000 zrna (g) zabilježen je opadajući trend povećanjem kontaminacije tla, ali statistički značajne razlike nisu utvrđene.

Tablica 10. Opisna statistika i rezultati Tukeyevog HSD testa utjecaja kontaminacije tla Cd na agronomska svojstva pšenice u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

Svojstvo	mg Cd kg ⁻¹ tla	Srednja vrijednost	Standardna devijacija	Koeficijent varijacije (%)	Tukeyev HSD
Visina biljke (cm)	0	48,24	11,68	24,20	n.s.
	2	47,68	11,53	24,17	
	5	46,21	9,15	19,80	
Duljina klasa (cm)	0	5,08	1,14	22,38	n.s.
	2	5,02	1,00	19,91	
	5	4,83	0,80	16,48	
Masa biljke (g)	0	1,32	0,39	29,26	0,16*
	2	1,12	0,22	19,44	
	5	1,02	0,25	24,48	
Masa klasa (g)	0	0,82	0,23	28,35	0,10*
	2	0,68	0,14	20,28	
	5	0,66	0,21	31,41	
Broj fertilnih klasića	0	9,58	1,40	14,66	n.s.
	2	9,68	1,39	14,38	
	5	9,56	1,46	15,23	
Broj sterilnih klasića	0	2,53	1,18	46,80	n.s.
	2	2,68	1,35	50,45	
	5	2,18	0,91	41,87	
Broj zrna po klasu (g)	0	15,42	4,77	30,92	n.s.
	2	15,93	5,08	30,73	
	5	16,22	4,98	30,43	
Masa zrna po klasu (g)	0	0,53	0,17	32,92	n.s.
	2	0,56	0,20	35,96	
	5	0,53	0,19	35,81	
Masa 1000 zrna (g)	0	34,09	3,45	10,13	n.s.
	2	33,57	5,20	15,49	
	5	32,14	4,94	15,39	

**=statistički značajno na razini P<0,01; *=statistički značajno na razini P<0,05; n.s.=nije statistički značajno

Najvarijabilnije svojstvo bio je broj sterilnih klasića po klasu s koeficijentom varijacije (CV) od 50,45 % u tretmanu s 2 mg Cd kg⁻¹ tla. Najmanje varijabilno svojstvo bila je masa 1000 zrna.

U tretmanu s 0 mg Cd kg⁻¹ tla, utvrđene su statistički značajne razlike između sorata u visini biljke (cm), duljini klasa (cm), masi klasa (g), broju sterilnih klasića po klasu i masi 1000 zrna (g) (tablica 11).

Tablica 11. Opisna statistika i rezultati Tukeyevog HSD testa različitosti agronomskih svojstava ispitivanih sorata pšenice u vegetacijskoj sezoni 2008./2009. na nekontaminiranom tlu.

Sorta	Visina biljke (cm)	Duljina klasa (cm)	Masa biljke (g)	Masa klasa (g)	Broj fertilnih klasića/klasu	Broj sterilnih klasića/klasu	Broj zrna po klasu	Masa zrna po klasu (g)	Masa 1000 zrna (g)
Bezostaja	54,22	5,24	1,41	0,80	10,04	2,48	15,61	0,52	33,28
Divana	57,19	4,67	1,29	0,81	9,84	0,77	15,69	0,57	36,37
Katarina	41,25	5,35	1,68	1,11	8,98	2,18	15,21	0,49	31,89
Osječka 20	43,14	5,24	0,91	0,54	10,39	3,34	18,58	0,59	30,40
Pipi	42,25	4,90	1,14	0,71	9,96	0,85	17,73	0,64	35,87
Sana	47,58	5,00	1,37	0,92	10,19	2,97	18,55	0,62	33,88
Slavonija	38,98	4,19	1,28	0,75	8,18	3,44	9,58	0,30	31,03
Srpanjka	37,04	4,04	1,25	0,88	8,95	1,60	14,75	0,49	34,07
Super Žitarka	43,84	4,42	1,19	0,76	9,71	3,80	14,18	0,51	35,79
U1	76,95	7,72	1,70	0,86	9,58	3,83	14,31	0,55	38,30
Aritmetička sredina	48,24	5,08	1,32	0,82	9,58	2,53	15,42	0,53	34,09
Tukeyev HSD _{0,05}	6,05	1,52	n.s.	n.s.	n.s.	1,15	n.s.	n.s.	6,75

■ Vrijednosti koje su za jednu standardnu devijaciju više od aritmetičke sredine.

■ Vrijednosti koje su za jednu standardnu devijaciju niže od aritmetičke sredine.

U ovom tretmanu sorta U1 je imala najveću visinu biljke (cm), duljinu klasa (cm), masu biljke (g) i masu 1000 zrna te u odnosu na ostale sorte može biti izdvojena, jer je imala prosječne vrijednosti četiri agronomska svojstva viša od $\bar{x} + \sigma$. Broj sterilnih klasića po klasu kod sorte U1 također je bio iznad $\bar{x} + \sigma$, kao i kod Super Žitarke, za razliku od sorti Divana i Pipi kod kojih je broj sterilnih klasića po klasu bio niži od $\bar{x} - \sigma$. Sorta Katarina također može biti izdvojena jer je imala masu biljke (g) i masu klasa (g) višu od $\bar{x} + \sigma$ i sorta Sana kod koje su broj zrna po klasu i masa zrna po klasu bili iznad $\bar{x} + \sigma$. Niske vrijednosti četiri agronomska svojstva (niže od $\bar{x} - \sigma$) zabilježene su kod sorte Slavonija, dok su kod Osječke 20 prosječne vrijednosti mase biljke (g), mase klasa (g) i mase 1000 zrna (g) bile ispod $\bar{x} - \sigma$, a broj fertilnih klasića i broj zrna po klasu iznad $\bar{x} + \sigma$. Niska masa klasa i masa 1000 zrna uz visok broj zrna po klasu kod Osječke 20 ukazuju na sitna zrna kod ove sorte.

U tretmanu s 2 mg Cd kg⁻¹ tla statistički značajne razlike između sorata utvrđene su za visinu biljke (cm), duljinu klasa (cm), broj sterilnih klasića po klasu, i masu 1000 zrna (g) (tablica 12). Kao iznadprosječne, s prosječnom vrijednosti četiri agronomska svojstva iznad $\bar{x} + \sigma$, mogu se izdvojiti sorte Katarina i U1. Osim iznadprosječnih vrijednosti visine biljke, duljine klasa, mase biljke i mase 1000 zrna, sorta U1 je imala i iznadprosječan broj sterilnih klasića

što je nepoželjno svojstvo koje je rezultiralo ispodprosječnim brojem fertilnih klasića i broja zrna po klasu kod ove sorte. Najnižu masu biljke, masu klasa, masu zrna po klasu i masu 1000 zrna u odnosu na ostale sorte imala je Osječka 20.

Tablica 12. Opisna statistika i rezultati Tukeyevog i HSD testa različitosti agronomskih svojstava sorti pšenice u vegetacijskoj sezoni 2008./2009. na tlu sa 2 mg Cd kg⁻¹

Sorta	Visina biljke (cm)	Duljina klasa (cm)	Masa biljke (g)	Masa klasa (g)	Broj fertilnih klasića/klasu	Broj sterilnih klasića/klasu	Broj zrna po klasu	Masa zrna po klasu (g)	Masa 1000 zrna (g)
Bezostaja	56,92	6,07	1,13	0,69	11,18	2,29	19,54	0,67	33,53
Divana	55,89	5,38	1,08	0,61	10,53	1,80	16,48	0,61	35,84
Katarina	40,21	5,86	1,07	0,68	10,62	2,06	24,47	0,79	32,16
Osječka 20	43,91	4,67	0,82	0,48	9,02	3,58	13,08	0,35	26,69
Pipi	40,28	4,39	1,07	0,67	9,28	0,69	18,09	0,58	31,64
Sana	47,98	4,94	1,29	0,80	9,13	3,50	17,81	0,55	30,60
Slavonija	40,91	4,73	1,17	0,70	10,27	2,75	15,43	0,51	32,75
Srpanjka	34,35	3,96	1,04	0,72	9,17	1,73	13,72	0,52	38,48
Super Žitarka	42,27	4,29	1,17	0,75	9,13	3,62	14,13	0,52	36,81
U1	74,11	5,96	1,33	0,72	8,52	4,81	12,46	0,46	37,25
Aritmetička sredina	47,68	5,02	1,12	0,68	9,68	2,68	16,52	0,56	33,57
Tukeyev HSD _{0,05}	7,18	1,90	n.s	n.s	n.s	1,92	n.s.	n.s	10,71

Vrijednosti koje su za jednu standardnu devijaciju više od aritmetičke sredine.

Vrijednosti koje su za jednu standardnu devijaciju niže od aritmetičke sredine.

U tretmanu s 5 mg Cd kg⁻¹ tla utvrđene su statistički značajne razlike između sorata za sva agronomska svojstva osim za broj fertilnih klasića po klasu, broj zrna i masu zrna po klasu (tablica 13). S obzirom na odstupanje prosječne vrijednosti sorte od aritmetičke sredine svojstva, sorta Osječka 20 se izdvojila kao ispod prosječna u ovom tretmanu, jer je za čak sedam agronomskih svojstava imala prosječne vrijednosti niže od $\bar{x} - \sigma$. Iako u nižim tretmanima (0 i 2 mg Cd kg⁻¹ tla) nije imala vrijednosti niti jednog agronomskog svojstva niže od $\bar{x} - \sigma$, sorta Divana je u tretmanu s 5 mg Cd kg⁻¹ tla imala broj zrna i masu zrna po klasu niže od $\bar{x} - \sigma$.

Tablica 13. Opisna statistika i rezultati Tukeyevog HSD testa različitosti agronomskih svojstava sorti pšenice u vegetacijskoj sezoni 2008./2009. na tlu sa 5 mg Cd kg⁻¹

Sorta	Visina biljke (cm)	Duljina klasa (cm)	Masa biljke (g)	Masa klasa (g)	Broj fertilnih klasića/klasu	Broj sterilnih klasića/klasu	Broj zrna po klasu	Masa zrna po klasu (g)	Masa 1000 zrna (g)
Bezostaja	56,31	5,67	1,05	0,80	10,83	2,68	17,53	0,57	31,96
Divana	52,73	4,77	0,95	0,64	8,52	1,26	12,92	0,43	32,56
Katarina	37,01	5,10	1,20	0,82	9,20	2,13	18,49	0,60	32,04
Osječka 20	39,62	3,95	0,69	0,43	7,99	1,95	13,68	0,36	25,91
Pipi	39,86	4,79	0,97	0,63	10,02	1,07	19,98	0,51	26,93
Sana	48,17	5,14	1,33	0,82	9,38	2,38	16,04	0,57	33,52
Slavonija	42,43	4,64	0,75	0,43	10,29	2,51	16,73	0,54	32,50
Srpanjka	37,75	4,51	1,04	0,69	10,70	1,52	19,74	0,67	33,56
Super Žitarka	42,75	4,11	1,01	0,64	8,82	3,63	12,83	0,44	34,29
U1	65,45	5,63	1,18	0,70	9,84	2,66	15,83	0,62	38,09
Aritmetička sredina	46,21	4,83	1,02	0,66	9,56	2,18	16,38	0,53	32,14
HSD _{0,05}	4,95	1,58	0,44	0,43	n.s.	1,47	n.s.	n.s.	9,97

■ Vrijednosti koje su za jednu standardnu devijaciju više od aritmetičke sredine.

■ Vrijednosti koje su za jednu standardnu devijaciju niže od aritmetičke sredine.

5.1.3. Usporedba agronomskih svojstva ozime pšenice između prve (2007./2008.) i druge (2008./2009.) godine pokusa

Jednosmjernom analizom varijance utvrđene su statistički značajne razlike svih agronomskih svojstava između prve (2007./2008.) i druge (2008./2009.) godine pokusa na nekontaminiranom tlu za deset sorata koje su sijane u drugoj godini pokusa. HSD testom je utvrđeno da su vrijednosti svih ispitivanih agronomskih svojstava u drugoj godini pokusa bile statistički značajno niže u odnosu na prvu godinu pokusa (tablica 12.).

Tablica 12. Analiza varijance i rezultati HSD testa različitosti agronomskih svojstava izabranih sorti pšenice u vegetacijskim sezonama 2007./2008. i 2008./2009. na nekontaminiranom tlu.

Godina	Visina biljke (cm)	Duljina klasa (cm)	Masa biljke (g)	Masa klasa (g)	Broj fertilnih klasića	Broj sterilnih klasića	Broj zrna po klasu	Masa zrna po klasu (g)	Masa 1000 zrna (g)
2007. / 2008.	57,08	7,12	2,47	1,50	13,57	3,70	28,14	1,15	41,30
2008. / 2009.	48,24	5,08	1,32	0,82	9,58	2,53	15,42	0,53	34,09
Tukeyev HSD	5,00**	0,52**	0,25**	0,17**	0,84**	0,68**	2,80**	0,12**	2,37**

**=statistički značajno na razini P<0,01; *=statistički značajno na razini P<0,05; n.s.=nije statistički značajno

5.1.4. Korelacije agronomskih svojstava ozime pšenice

Korelacijskom analizom agronomskih svojstava ozime pšenice u prvoj godini (2007./ 2008.) pokusa utvrđena je statistički značajna jaka veza pozitivnog smjera između duljine klasa i visine biljke ($r = 0,65^{**}$), zatim između duljine klasa i broja fertilnih klasića po klasu ($r = 0,52^{**}$), duljine klasa i mase biljke ($r = 0,59^{**}$), duljine klasa i mase klasa ($r = 0,55^{**}$), duljine klasa i broja zrna u klasu ($r = 0,51^{**}$), duljine klasa i mase zrna po klasu ($r = 0,52^{**}$), mase zrna po klasu i broja fertilnih klasića po klasu ($r = 0,71^{**}$) i mase biljke i broja zrna po klasu ($r = 0,74^{**}$). Statistički značajna jaka veza negativnog smjera utvrđena je između broja sterilnih klasića po klasu u odnosu na broj fertilnih klasića ($r = -0,63^{**}$), masu biljke ($r = -0,53^{**}$), masu klasa ($r = -0,58^{**}$) i broja zrna u klasu ($r = -0,52^{**}$) (tablica 14).

Vrlo jaka veza pozitivnog smjera utvrđena je između broja fertilnih klasića po klasu u odnosu na masu biljke ($r = 0,75^{**}$), masu klasa ($r = 0,78^{**}$), i broj zrna po klasu ($r = 0,75^{**}$), zatim između mase biljke i mase zrna po klasu ($r = 0,79^{**}$), mase klasa i broja zrna po klasu ($r = 0,77^{**}$) i mase klasa i mase zrna po klasu ($r = 0,81^{**}$). Izuzetno jaka, statistički značajna veza pozitivnog smjera utvrđena je između mase biljke i mase klasa ($r = 0,96^{**}$) i između mase zrna po klasu i broja zrna po klasu ($r = 0,92^{**}$) (tablica 14).

Tablica 14. Korelacijski koeficijenti (Pearson) agronomskih svojstava u vegetacijskoj sezoni 2007./2008. (n= 416)

	Visina biljke (cm)	Duljina klasa (cm)	Broj fertilnih klasića/klasu	Broj sterilnih klasića/klasu	Masa biljke (g)	Masa klasa (g)	Broj zrna po klasu	Masa zrna po klasu (g)	Masa 1000 zrna (g)
Visina biljke (cm)	1								
Duljina klasa (cm)	0,65**	1							
Broj fertilnih klasića/klasu	0,28**	0,52**	1						
Broj sterilnih klasića/klasu	-0,29**	-0,42**	-0,63**	1					
Masa biljke (g)	0,46**	0,59**	0,75**	-0,53**	1				
Masa klasa (g)	0,35**	0,55**	0,78**	-0,58**	0,96**	1			
Broj zrna po klasu	0,26**	0,51**	0,75**	-0,52**	0,74**	0,77**	1		
Masa zrna po klasu (g)	0,36**	0,52**	0,71**	-0,49**	0,79**	0,81**	0,92**	1	
Masa 1000 zrna (g)	0,26**	0,11*	0,01	0,02	0,24**	0,18**	-0,04	0,32**	1

**=korelacija je značajna na razini od 99%; *=korelacija je značajna na razini od 95%.

Korelacijskom analizom kvantitativnih svojstava i komponenti prinosa ozime pšenice u drugoj godini (2008./2009.) pokusa utvrđena je jaka i statistički značajna veza između visine biljke i duljine klasa ($r = 0,65^{**}$). Statistički značajna, vrlo jaka veza pozitivnog smjera

utvrđena je između broja zrna po klasu i broja fertilnih klasića ($r = 0,81^{**}$), mase zrna po klasu i broja fertilnih klasića po klasu ($r = 0,81^{**}$), mase klasa i mase biljke ($r = 0,88^{**}$) i mase zrna po klasu i broja zrna po klasu ($r = 0,86^{**}$). Slaba, statistički značajna veza, negativnog smjera utvrđena je između broj zrna po klasu i broja sterilnih klasića po klasu ($r = -0,35^{**}$) i između mase zrna po klasu i broja sterilnih klasića po klasu ($r = -0,31^{**}$) (tablica 15)

Tablica 15. Korelacijski koeficijenti (Pearson) agronomskih svojstava u vegetacijskoj sezoni 2008./2009. (n = 120)

	Visina biljke (cm)	Duljina klasa (cm)	Broj fertilnih klasića/klasu	Broj sterilnih klasića/klasu	Masa biljke (g)	Masa klasa (g)	Broj zrna po klasu	Masa zrna po klasu (g)	Masa 1000 zrna (g)
Visina biljke (cm)	1								
Duljina klasa (cm)	0,65**	1							
Broj fertilnih klasića/klasu	0,09	0,41**	1						
Broj sterilnih klasića/klasu	0,31	0,18*	-0,29**	1					
Masa biljke (g)	0,28	0,33**	0,21*	0,08	1				
Masa klasa (g)	0,08	0,21*	0,26**	-0,04	0,88**	1			
Broj zrna po klasu	-0,02	0,35**	0,81**	-0,35**	0,17	0,27**	1		
Masa zrna po klasu (g)	0,08	0,38**	0,81**	-0,31**	0,28**	0,37**	0,86**	1	
Masa 1000 zrna (g)	0,29	0,16	0,30**	-0,04	0,42**	0,41**	0,12	0,50**	1

**=korelacija je značajna na razini od 99%; *=korelacija je značajna na razini od 95%.

5.2. Koncentracija i iznošenje kadmija, cinka i željeza masom suhe tvari

5.2.1. Koncentracija i iznošenje kadmija, cinka i željeza masom suhe tvari u vegetacijskoj sezoni 2007./2008.

5.2.1.1. Koncentracija i iznošenje kadmija

U prvoj godini pokusa utvrđen je značajan učinak interakcija sorte i kontaminacije tla Cd na koncentraciju Cd u zrnu (mg kg^{-1}) i iznošenje Cd masom zrna ($\mu\text{g}/10$ vlati) (tablica 16).

Tablica 16. Analiza varijance koncentracije i iznošenja Cd masom zrna u vegetacijskoj sezoni 2007./2008.

Koncentracija Cd (mg kg^{-1})				
	Izvor variranja	Stupnjevi slobode	P	Partial Eta squared
Zrno	Sorta	51	<0,0001	0,72
	Cd tretman	1	<0,0001	0,92
	Sorta*Cd tretman	51	<0,0001	0,71
Iznošenje Cd ($\mu\text{g}/10$ vlati)				
	Izvor variranja	Stupnjevi slobode	P	Partial Eta squared
Zrno	Sorta	51	<0,0001	0,38
	Cd tretman	1	<0,0001	0,82
	Sorta*Cd tretman	51	<0,0001	0,38

Statistički značajne razlike u koncentraciji Cd u zrnu pšenice između tretmana Cd dokazane su Tukeyevim HSD testom (tablica 17). U tretmanu s 20 mg Cd kg^{-1} tla, prosječna koncentracija Cd u zrnu bila je 68 puta viša od prosječne koncentracije Cd u zrnu na nekontaminiranom tlu. Kontaminacija tla Cd značajno je utjecala i na iznošenje Cd masom zrna (tablica 17) te je na kontaminiranom tlu zabilježeno iznošenje od $33,35 \mu\text{g}/10$ vlati.

Tablica 17. Utjecaj kontaminacije tla Cd na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje Cd masom suhe tvari lista zastavičara i zrna ($\mu\text{g}/10$ vlati)

Svojstvo	mg Cd kg^{-1} tla	Aritmetička sredina	Standardna devijacija	Koeficijent varijacije (%)	Tukeyev HSD
Koncentracija Cd u listu zastavičaru (mg kg^{-1})	0 ¹ 20	3,66	2,49	68,02	
Koncentracija Cd u zrnu (mg kg^{-1})	0 20	0,05 3,40	0,02 1,29	50,77 38,10	0,112**
Iznošenje Cd masom zastavičara ($\mu\text{g}/10$ vlati)	0 20	0,93	0,69	74,43	
Iznošenje Cd masom zrna ($\mu\text{g}/10$ vlati)	0 20	0,69 33,35	0,28 15,04	40,92 45,12	1,916**

¹ Koncentracija Cd u listu zastavičaru pšenice uzgajane na nekontaminiranom tlu bila je ispod praga detekcije.

**=statistički značajno na razini $P < 0,01$; *=statistički značajno na razini $P < 0,05$; n.s.=nije statistički značajno

Prosječna koncentracija Cd u listu zastavičaru na kontaminiranom tlu iznosi $3,66 \text{ mg kg}^{-1}$ i približna je prosječnoj koncentraciji Cd u zrnu no iznošenje Cd masom zastavičara je značajno niže. Ta razlika je nastala zbog mase lista zastavičara koja je značajno niža u odnosu na masu zrna.

Raspon koncentracija Cd u zrnu na nekontaminiranom tlu kretao se od 0,010 (Lela) do 0,114 mg kg^{-1} (Zlatna Dolina). Statistički značajne razlike u koncentraciji Cd u zrnu ispitivanih sorata pšenice (tablica 18) na nekontaminiranom tlu dokazane su Tukeyevim HSD testom. Iako je koncentracija Cd u zrnu svih ispitivanih sorata pšenice bila niža od maksimalno dozvoljene koncentracije Cd u zrnu, dvije sorte (Zlatna Dolina i Sana) su imale koncentraciju višu od $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$, a ukupno šest sorata (Zlatna Dolina, Sana, Osječka Crvenka, Super Žitarka, Njivka i Renan) imalo je koncentraciju Cd višu od $\bar{x} + \sigma$. Za osam sorata (Osječka 20, SV Maxi, MV Mambo, MV Magvas, Bezostaja, Eurojet, Felix i Golubica) je utvrđena koncentracija Cd u zrnu nižu od $\bar{x} - \sigma$.

Ispitivane sorte su se međusobno statistički značajno razlikovale po iznošenju Cd masom zrna na nekontaminiranom tlu (tablica 18). Najniže iznošenje Cd masom zrna utvrđeno je kod sorte Lela koja je imala i najnižu koncentraciju Cd u zrnu. Osim Lele, još sedam sorata (Seka, SW Maxi, Alka, GK Kalasz, Golubica, Katarina i Soissons) je imalo iznošenje Cd masom zrna niže od $\bar{x} - \sigma$. Masom zrna najviše Cd iznosile su sorte Panonija, Renan, Zlata i Demetra kod kojih je zabilježeno iznošenje Cd više od $1 \mu\text{g}/10$ vlati na nekontaminiranom tlu. Osim

navedenih sorata, i sorte Ana, MV Magdalena, Patria, Srpanjka i Zlatna Dolina su imale iznošenje Cd masom zrna više od $\bar{x} + \sigma$.

Na kontaminiranom tlu, koncentracija Cd u zrnu pšenice kretala se u rasponu od 0,071 (Osječka 20) do 6,15 mg kg⁻¹ (Sana). Između ispitivanih sorata pšenice utvrđene su statistički značajne razlike u koncentraciji Cd u zrnu (tablica 18). Osam sorata (Sana, Katarina, Panonija, Demetra, Zlatna Dolina, Adriana, Libellula i BC Elvira) je imalo koncentraciju Cd u zrnu višu od $\bar{x} + \sigma$, kod osam sorata (Osječka 20, SW Maxi, MV Mambo, MV Magvas, Bezostaja, Eurojet, Felix i Golubica) je utvrđena koncentracija Cd u zrnu niža od $\bar{x} - \sigma$. Najviše iznošenje Cd masom zrna na kontaminiranom tlu imale su sorte Zlatna Dolina i Panonija, a osim njih iznošenje više od $\bar{x} + \sigma$ imale su sorte Anđelka, Demetra, Eurofit, Adriana, Antonius, Sana i Zlata. Iznošenje Cd masom zrna niže od $\bar{x} - \sigma$ utvrđeno je kod šest sorata (Bezostaja, Felix, Janica, Osječka 20, Ružica i SW Maxi).

Ispitivane sorte pšenice statistički značajno su se razlikovale po koncentraciji Cd u listu zastavičaru (tablica 18). Razlike između sorata dokazane su Tukey's HSD testom. Najviša koncentracija Cd u zastavičaru zabilježena je kod sorte Katarine (11,43 mg kg⁻¹), a najniža kod sorte Bezostaja (0,70 mg kg⁻¹). Devet sorata (Katarina, Bastide, GK Kalasz, Panonija, Alka, Seka, Renan, Osječka Crvenka i Zlatna Dolina) je imalo koncentraciju Cd u zastavičaru višu od $\bar{x} + \sigma$, a kod šest sorata (Antonius, Valerius, MV Magvas, Eurojet, SW Maxi i Bezostaja) koncentracija Cd u zastavičaru bila je niža od $\bar{x} - \sigma$. Ispitivane sorte značajno su se razlikovale i po iznošenju Cd masom lista zastavičara (tablica 18). Najviše iznošenje imala je sorta Bastide (2,357 µg/10 vlati), a slijedi je Osječka 20 s iznošenjem Cd masom lista zastavičara od 2,209 µg/10 vlati. Ukupno devet sorata je imalo niže Cd masom zastavičara više od $\bar{x} + \sigma$, među njima se ističu Katarina, Panonija, Sana i Zlatna Dolina koje su imale u tri od četiri ispitivana svojstva prosječnu vrijednost višu od $\bar{x} + \sigma$ te su na osnovu tih svojstva u hijerarhijskom klaster dijagramu svrstane u istu skupinu (grafikon 6). Za razliku od prethodno navedenih sorata, Bezostaja, Eurojet, MV Mambo i SW Maxi su imale prosječnu vrijednost minimalno tri od četiri ispitivana svojstva nižu od $\bar{x} - \sigma$. Na osnovu tog rezultata ove sorte se mogu izdvojiti kao sorte koje akumuliraju i iznose niske količine Cd, a u dendogramu su uvrštene u istu skupinu (grafikon 6).

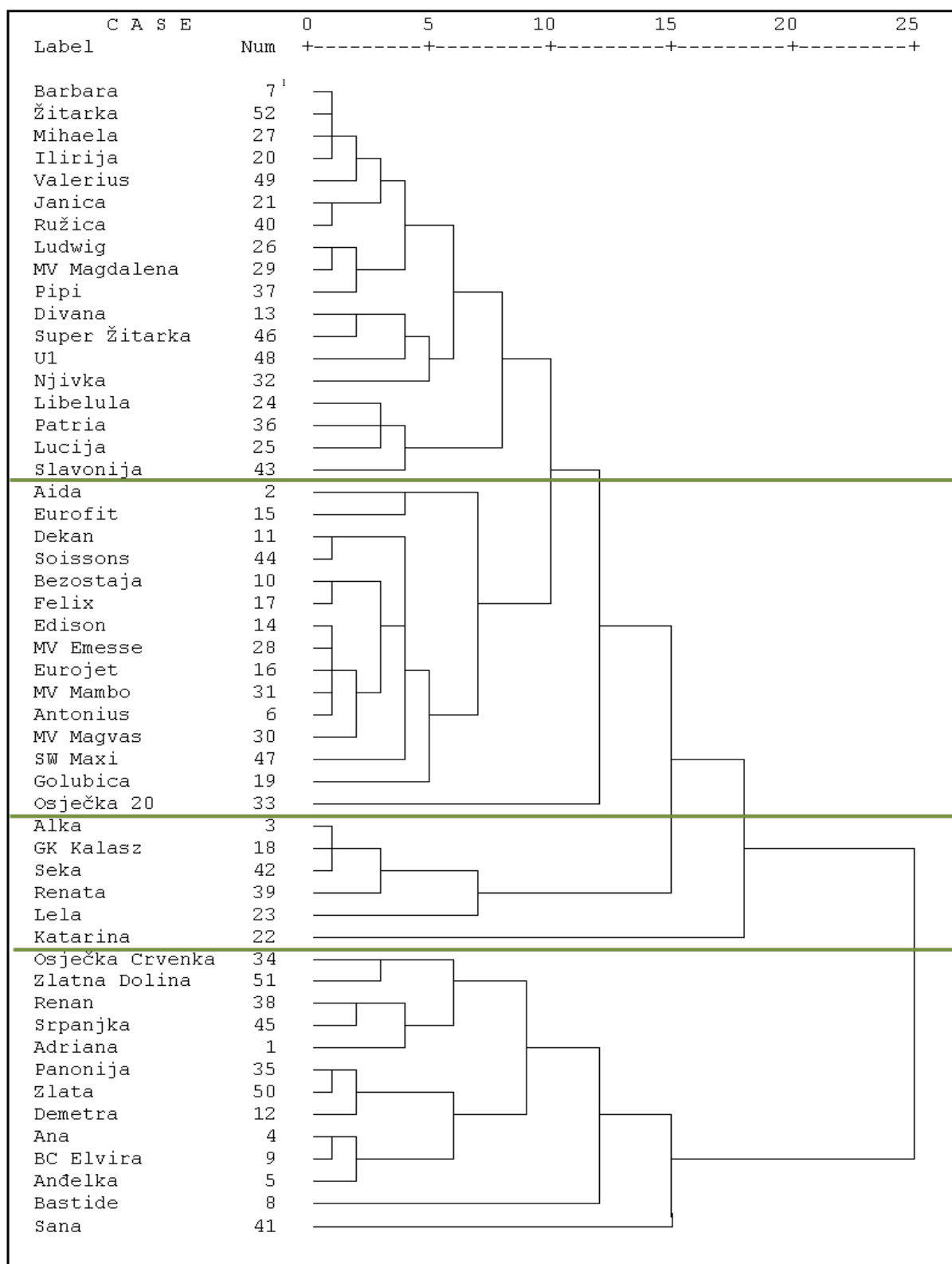
Tablica 18. Opisna statistika i rezultati Tukeyevog HSD testa različitosti sorata s obzirom na koncentraciju i iznošenje Cd masom zrna i lista zastavičara u vegetacijskoj sezoni 2007./2008. na kontaminiranom i nekontaminiranom tlu.

Sorta	Kontaminirano tlo		Nekontaminirano tlo				
	Koncentracija Cd (mg kg ⁻¹)	Iznošenje Cd (µg/10 vlati)	Koncentracija Cd (mg kg ⁻¹)		Iznošenje Cd (µg/10 vlati)		
	Zrno	Zrno	Zastavičar	Zrno	Zastavičar	Zrno	
	0 mg Cd kg ⁻¹ tla		20 mg Cd kg ⁻¹ tla				
Adriana	0,073	0,696	5,33	0,79	4,682	1,459	45,75
Aida	0,042	0,558	3,54	0,65	3,918	0,594	44,31
Alka	0,024	0,389	6,08	0,85	3,806	1,316	31,51
Ana	0,055	0,955	3,66	0,67	4,398	1,330	48,40
Andelka	0,042	0,722	4,14	0,71	4,462	1,182	56,99
Antonius	0,037	0,692	1,21	0,34	2,383	0,271	30,91
Barbara	0,042	0,529	1,99	0,48	3,230	0,552	29,14
Bastide	0,055	0,588	8,70	0,91	4,278	2,357	22,01
BC Elvira	0,059	0,834	4,45	0,73	4,665	1,064	44,85
Bezostaja	0,056	0,681	0,70	0,19	1,817	0,293	19,64
Dekan	0,034	0,495	2,35	0,53	2,436	0,453	28,24
Demetra	0,075	1,025	4,60	0,75	4,997	1,100	52,69
Divana	0,079	0,651	1,68	0,43	3,222	0,533	23,59
Edison	0,052	0,600	1,63	0,42	2,614	0,365	38,12
Eurofit	0,039	0,479	1,45	0,39	2,614	0,320	51,42
Eurojet	0,048	0,657	1,10	0,32	1,972	0,325	29,80
Felix	0,051	0,676	2,28	0,51	2,097	0,407	19,91
GK Kalasz	0,023	0,406	6,79	0,89	3,396	1,518	31,56
Golubica	0,080	0,436	2,46	0,54	2,151	0,735	30,60
Ilirija	0,035	0,844	2,09	0,48	3,596	0,655	28,00
Janica	0,053	0,841	2,78	0,58	2,874	0,612	14,30
Katarina	0,054	0,438	11,43	1,06	6,107	1,944	42,04
Lela	0,010	0,147	2,69	0,56	3,049	0,715	28,38
Libellula	0,045	0,755	5,55	0,81	4,671	1,352	29,65
Lucija	0,044	0,705	5,45	0,80	3,230	1,080	23,80
Ludwig	0,049	0,778	1,99	0,47	2,328	0,592	31,73
Mihaela	0,055	0,754	2,75	0,57	3,151	0,547	28,76
MV Emesse	0,044	0,628	1,56	0,41	2,455	0,399	22,92
MV Magdalena	0,063	0,941	1,82	0,45	2,461	0,581	42,42
MV Magvas	0,024	0,526	1,70	0,43	1,755	0,377	27,12
MV Mambo	0,043	0,646	1,14	0,33	1,579	0,350	23,99
Njivka	0,082	0,517	2,92	0,59	3,953	0,738	34,04
Osječka 20	0,053	0,623	5,49	0,81	0,071	2,209	0,85
Osječka Crvenka	0,098	0,773	5,94	0,84	3,927	1,793	40,52
Panonija	0,076	1,273	6,72	0,89	5,112	1,413	58,07
Patria	0,045	0,923	5,01	0,78	3,396	1,430	32,83
Pipi	0,049	0,755	2,53	0,55	3,172	0,670	35,48
Renan	0,081	1,173	5,98	0,84	4,277	1,302	29,19
Renata	0,028	0,462	5,08	0,78	4,278	0,872	35,27
Ružica	0,041	0,830	2,25	0,51	3,151	0,484	16,58
Sana	0,107	0,871	4,60	0,74	6,154	1,628	48,78
Seka	0,024	0,255	6,07	0,85	4,503	1,686	28,67
Slavonija	0,054	0,637	3,91	0,67	2,936	1,622	38,72
Soissons	0,039	0,454	3,07	0,60	3,007	0,630	21,96
Srpanjka	0,078	0,985	5,63	0,82	3,673	1,452	39,25
Super Žitarka	0,088	0,814	2,66	0,56	3,790	0,803	25,77
SW Maxi	0,026	0,343	0,93	0,28	1,091	0,299	17,55
U1	0,072	0,691	1,17	0,34	4,314	0,152	34,56
Valerius	0,060	0,828	1,46	0,39	3,293	0,330	38,56
Zlata	0,071	1,137	5,88	0,83	4,377	1,394	49,50
Zlatna Dolina	0,114	0,997	5,41	0,80	4,742	1,613	58,13
Žitarka	0,054	0,597	2,70	0,57	3,375	0,687	27,37
Aritmetička sredina	0,05	0,69	3,66		3,40	0,93	33,35
Tukeyev HSD	n.s.	0,74**	0,43**		1,74**	2,49*	35,26**

**=statistički značajno na razini P<0,01; *=statistički značajno na razini P<0,05; n.s.=nije statistički značajno

■ Vrijednosti koje su za jednu standardnu devijaciju više od aritmetičke sredine.

■ Vrijednosti koje su za jednu standardnu devijaciju niže od aritmetičke sredine.



¹ Brojevi u grafikonu predstavljaju redni broj sorte pšenice po abecednom redu.

Grafikon 6. Hijerarhijski klaster dijagram na osnovu koncentracije Cd u listu zastavičaru i zrnu i iznošenja Cd masom zrna i lista zastavičara na kontaminiranom i nekontaminiranom tlu u vegetacijskoj sezoni 2007./2008.

5.2.1.2. Koncentracija i iznošenje cinka

Dvosmjernom analizom varijance utvrđen je značajan učinak interakcije sorte i kontaminacije tla Cd na koncentraciju Zn u zrnu (mg kg^{-1}) i iznošenje Zn masom zrna ($\mu\text{g}/10$ vlati) (tablica 19).

Tablica 19. Analiza varijance koncentracije i iznošenja Zn masom zrna u vegetacijskoj sezoni 2007./2008.

Koncentracija Zn (mg kg^{-1})				
	Izvor variranja	Stupnjevi slobode	P	Partial Eta squared
List zastavičar	Sorta	51	n.s.	0,32
	Cd tretman	1	n.s.	0,02
	Sorta*Cd tretman	51	n.s.	0,38
Zrno	Sorta	51	<0,0001	0,40
	Cd tretman	1	n.s.	0,00
	Sorta*Cd tretman	51	0,002	0,19
Iznošenje Zn ($\mu\text{g}/10$ vlati)				
	Izvor variranja	Stupnjevi slobode	P	Partial Eta squared
List zastavičar	Sorta	51	n.s.	0,47
	Cd tretman	1	<0,0001	0,18
	Sorta*Cd tretman	51	n.s.	0,38
Zrno	Sorta	51	<0,0001	0,32
	Cd tretman	1	<0,0001	0,16
	Sorta*Cd tretman	51	<0,0001	0,34

Kontaminacija tla Cd nije značajno utjecala na promjenu koncentracije Zn u zrnu i listu zastavičaru (tablica 20). Vrijednosti koncentracije Zn u listu zastavičaru značajno su odstupale od normalne distribucije te je analiza varijance provedena na dekadski logaritmiranim podacima. Iznošenje Zn masom lista zastavičara i zrna bilo je statistički značajno više na nekontaminiranom u odnosu na kontaminirano tlo. Razlika u iznošenju Zn između tretmana Cd utvrđene je Tukeyevim HSD. S obzirom da nisu utvrđene statistički značajne razlike u koncentraciji Zn između tretmana, a u iznošenju su postojale statistički značajne razlike, može se pretpostaviti da je pod utjecajem tretmana od 20 mg Cd kg^{-1} tla došlo do snižavanja mase lista zastavičara i zrna pšenice.

Tablica 20. Utjecaj kontaminacije tla Cd na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje Zn masom suhe tvari lista zastavičara i zrna ($\mu\text{g}/10$ vlati).

Svojstvo	mg Cd kg^{-1} tla	Aritmetička sredina	Standardna devijacija	Koeficijent varijacije (%)	Tukeyev HSD
Koncentracija Zn u listu zastavičaru (mg kg^{-1})	0	9,43 (0,91) ¹	5,26	55,83	n.s.
	20	9,90 (0,92)	5,70	57,53	
Koncentracija Zn u zrnu (mg kg^{-1})	0	34,35	7,66	22,32	n.s.
	20	34,06	6,73	19,77	
Iznošenje Zn masom zastavičara ($\mu\text{g}/10$ vlati)	0	3,68	2,31	62,81	0,71**
	20	2,49	1,58	63,50	
Iznošenje Zn masom zrna ($\mu\text{g}/10$ vlati)	0	495,14	266,85	45,81	39,68**
	20	361,89	176,54	48,78	

¹ Analiza varijance koncentracije Zn u listu zastavičaru rađena je dekadski logaritmiranim podacima.

**=statistički značajno na razini $P < 0,01$; *=statistički značajno na razini $P < 0,05$; n.s.=nije statistički značajno

Ispitivane sorte pšenice značajno su se razlikovale u koncentraciji Zn u listu zastavičaru i zrnu pri oba tretmana Cd, a razlike su dokazane Tukeyevim HSD testom (tablica 21).

Na nekontaminiranom tlu, koncentracije Zn u listu zastavičaru ispitivanih sorata pšenice kretale su se od 3,12 (Demetra) do 21,19 mg kg^{-1} (Zlatna Dolina). Na kontaminiranom tlu raspon koncentracija Zn u listu zastavičaru bio je sličan i kretao se od 1,86 (Janica) do 22,11 mg kg^{-1} (Edison). Četiri sorte (Adriana, Bastide, Mihaela i Valerius) su imale prosječnu koncentraciju Zn u listu zastavičaru na oba tretmana Cd višu od $\bar{x} + \sigma$. Dok su sorte Eurofit i Antonius imale koncentraciju Zn u listu zastavičaru na nekontaminiranom tlu nižu od $\bar{x} - \sigma$, a na kontaminiranom tlu višu od $\bar{x} + \sigma$, što ukazuje da koncentracija Zn u listu zastavičaru različitih sorata može ovisiti o kontaminaciji tla Cd.

Koncentracija Zn u zrnu ispitivanih sorata pšenice kretala se u rasponu od 24,60 (Eurofit) do 47,10 mg kg^{-1} (MV Magdalena) na nekontaminiranom i od 24,90 (Patria) do 54,20 mg kg^{-1} (Ana) na tlu kontaminiranom Cd (tablica 21). Za četiri sorte (Golubica, Ilirija, Libellula i MV Magdalena) je utvrđena koncentracije Zn u zrnu viša od $\bar{x} + \sigma$ na oba tretmana Cd, što upućuje na to da akumulacija Zn u zrno ovih sorata nije bila pod utjecajem kontaminacija tla Cd. Koncentracija Zn u zrnu niža od $\bar{x} - \sigma$ u oba tretmana Cd utvrđena je kod sorte Bastide, a niti jedna sorta nije imala prosječnu koncentraciju Zn u zrnu nižu od $\bar{x} - \sigma$ na nekontaminiranom tlu, a višu od $\bar{x} + \sigma$ na kontaminiranom tlu.

Ispitivane sorte međusobno su se statistički značajno razlikovale u iznošenju Zn masom zrna na oba tretmana Cd i masom lista zastavičara na nekontaminiranom tlu. Na tlu

kontaminiranom Cd nisu utvrđene statistički značajne razlike u iznošenju Zn masom lista zastavičara između ispitivanih sorata pšenice (tablica 21). Za tri sorte (Adriana, Bastide i Ludwig) je utvrđeno iznošenje Zn masom lista zastavičara više od $\bar{x} + \sigma$ na oba tretmana Cd, a na osnovu hijerarhijske klaster analize ove sorte su uvrštene u istu grupu, u kojoj se uz njih nalaze i Dekan, Mihaela, SW Maxi i Valerius (grafikon 7).

Iznošenje Zn masom zrna više od $\bar{x} + \sigma$ u oba tretmana Cd utvrđeno je samo za sortu MV Magdalena, a iznošenje niže od $\bar{x} - \sigma$ u oba tretmana imale su sorte Bastide i Super Žitarka. Rezultati grupiranja ispitivanih sorata s obzirom na koncentraciju Zn u listu zastavičaru i zrnu te iznošenje Zn masom lista zastavičara i zrna na oba tretmana Cd prikazani su hijerarhijskim klaster dijagramom (grafikon 7).

Tablica 21. Opisna statistika i rezultati Tukeyevog HSD testa različitosti sorata s obzirom na koncentraciju i iznošenje Zn masom zrna i lista zastavičara u vegetacijskoj sezoni 2007./2008. na kontaminiranom i nekontaminiranom tlu.

Sorta	Konc. Zn (mg kg ⁻¹)				Iznošenje Zn (µg/10 vlati)					
	Zastavičar		Zrno		Zastavičar		Zrno			
	0 mg Cd kg ⁻¹ tla									
Sorta	Konc. Zn (mg kg ⁻¹)				Iznošenje Zn (µg/10 vlati)					
	Zastavičar		Zrno		Zastavičar		Zrno			
	20 mg Cd kg ⁻¹ tla									
Adriana	15,33	1,19	29,9	6,74	282,70	18,09	1,26	36,6	5,44	396,60
Aida	10,84	1,03	28,8	4,70	407,40	5,96	0,77	32,3	1,25	365,80
Alka	5,29	0,72	26,2	1,76	482,20	3,14	0,50	33,1	0,68	276,20
Ana	7,31	0,86	37,1	4,31	649,50	7,04	0,85	54,2	2,79	572,00
Andelka	11,47	1,06	35,1	4,41	598,90	2,84	0,45	34,6	0,82	448,40
Antonius	4,31	0,63	39,4	3,52	878,40	16,07	1,21	29,7	4,07	405,90
Barbara	5,76	0,76	37,8	1,98	498,90	3,97	0,60	33,6	1,07	306,70
Bastide	15,38	1,19	27,9	6,79	324,20	16,03	1,20	28,4	4,52	154,40
BC Elvira	12,13	1,08	36,9	4,54	522,80	12,46	1,10	27,9	2,98	267,50
Bezostaja	11,44	1,06	46,1	5,23	589,00	7,38	0,87	44,0	1,65	440,50
Dekan	12,45	1,10	27,3	4,20	395,40	14,59	1,16	25,5	2,78	334,00
Demetra	3,12	0,49	30,8	1,16	424,60	9,86	0,99	35,1	2,52	377,10
Divana	5,77	0,76	34,4	1,79	288,90	13,80	1,14	32,4	4,37	237,60
Edison	7,95	0,90	36,5	2,79	422,70	22,11	1,34	33,5	5,26	514,70
Eurofit	4,71	0,67	24,6	2,11	302,10	21,23	1,33	31,5	2,54	589,90
Eurojet	9,48	0,98	32,1	3,22	472,80	9,15	0,96	32,9	2,86	544,30
Felix	3,39	0,53	30,2	0,70	442,60	12,39	1,09	32,8	2,28	336,20
GK Kalasz	10,85	1,04	41,4	4,51	732,90	9,85	0,99	29,8	2,08	285,20
Golubica	6,19	0,79	39,2	3,12	215,60	6,40	0,81	43,4	1,83	607,60
Ilirija	8,42	0,93	40,2	4,54	968,50	8,56	0,93	41,8	2,36	321,90
Janica	12,07	1,08	32,1	3,63	566,00	1,86	0,27	30,1	0,67	144,90
Katarina	15,93	1,20	32,9	7,66	339,70	6,02	0,78	36,2	0,98	252,90
Lela	11,55	1,06	33,0	3,76	510,90	5,85	0,77	31,4	1,57	322,30
Libellula	12,12	1,08	41,9	4,98	738,80	12,28	1,09	43,2	3,03	279,30
Lucija	8,76	0,94	32,6	2,00	517,50	3,25	0,51	28,9	0,69	222,70
Ludwig	18,93	1,28	33,9	9,68	645,80	12,66	1,10	33,0	4,14	512,10
Mihaela	18,15	1,26	31,1	5,42	474,10	16,87	1,23	28,6	3,41	262,70
MV Emesse	6,11	0,79	31,6	1,16	448,20	13,01	1,11	35,7	3,33	326,20
MV Magdalena	8,00	0,90	47,1	2,75	736,10	10,56	1,02	39,8	3,22	679,60
MV Magvas	8,74	0,94	31,4	3,37	683,80	3,73	0,57	29,7	0,82	464,60
MV Mambo	7,12	0,85	30,1	1,87	441,90	4,39	0,64	25,0	1,40	404,50
Njivka	3,73	0,57	31,8	2,45	193,60	12,65	1,10	37,4	3,26	312,20
Osječka 20	9,35	0,97	28,1	3,79	335,40	8,50	0,93	34,3	2,72	408,70
Osječka Crvenka	3,37	0,53	39,6	0,89	305,70	11,60	1,06	31,7	2,20	343,30
Panonija	5,91	0,77	31,3	3,02	540,90	9,94	1,00	33,0	1,98	389,30
Patria	11,50	1,06	37,2	4,68	772,20	6,40	0,81	24,9	2,08	240,40
Pipi	4,46	0,65	37,2	1,20	575,80	10,73	1,03	34,2	2,31	483,70
Renan	5,72	0,76	35,4	2,96	528,50	11,08	1,04	31,3	2,42	218,70
Renata	10,92	1,04	41,8	4,63	687,50	6,98	0,84	37,5	1,10	312,60
Ružica	9,95	1,00	38,6	4,75	785,80	10,24	1,01	31,0	2,19	163,00
Sana	8,76	0,94	37,9	4,05	356,40	9,57	0,98	35,9	3,25	277,60
Seka	7,13	0,85	32,1	3,30	405,20	7,12	0,85	35,1	1,90	222,10
Slavonija	6,39	0,81	37,4	2,69	443,60	7,73	0,89	43,2	3,03	573,30
Soissons	10,67	1,03	33,6	3,52	636,80	8,61	0,93	28,3	1,69	213,20
Srpanjka	6,65	0,82	29,2	2,03	406,70	5,91	0,77	31,5	1,42	339,20
Super Žitarka	9,33	0,97	33,9	3,21	309,30	14,99	1,18	31,3	4,00	209,30
SW Maxi	18,68	1,27	29,5	5,86	397,00	11,43	1,06	34,0	3,46	538,00
U1	12,80	1,11	33,8	2,30	322,80	13,70	1,14	36,6	0,83	291,80
Valerius	16,46	1,22	34,9	6,17	496,00	15,12	1,18	33,7	3,41	409,10
Zlata	8,99	0,95	34,0	2,75	548,70	7,08	0,85	33,8	1,57	393,70
Zlatna Dolina	21,19	1,33	33,8	6,50	296,80	7,37	0,87	44,9	2,24	554,10
Žitarka	7,46	0,87	36,1	2,50	399,60	6,90	0,84	33,5	1,91	270,80
Aritmetička sredina	9,59		34,35	3,68	495,14	9,90		34,06	2,43	361,89
Tukeyev HSD	0,92**		20,07**	8,65*	555,29**	0,51*		13,10**	n.s.	432,8**

**=statistički značajno na razini P<0,01; *=statistički značajno na razini P<0,05; n.s.=nije statistički značajno

■ Vrijednosti koje su za jednu standardnu devijaciju više od aritmetičke sredine.

■ Vrijednosti koje su za jednu standardnu devijaciju niže od aritmetičke sredine.

¹ Brojevi u grafikonu predstavljaju redni broj sorte pšenice po abecednom redu

Grafikon 7. Hijerarhijski klaster dijagram na osnovu koncentracije Zn u listu zastavičaru i zrnju i iznošenje Zn masom zrna i lista zastavičara na kontaminiranom i nekontaminiranom tlu u vegetacijskoj sezoni 2007./2008.

5.2.1.3. Koncentracija i iznošenje željeza

Dvosmjernom analizom varijance utvrđen je značajan učinak interakcije sorte i kontaminacije tla Cd na koncentraciju Fe u listu zastavičaru i zrnu (mg kg^{-1}) te na iznošenje Fe masom zrna ($\mu\text{g}/10$ vlati) (tablica 22).

Tablica 22. Analiza varijance koncentracije i iznošenja Fe masom zrna u vegetacijskoj sezoni 2007./2008.

Koncentracija Fe (mg kg^{-1})				
	Izvor variranja	Stupnjevi slobode	P	Partial Eta squared
List zastavičar	Sorta	51	<0,0001	0,58
	Cd tretman	1	<0,0001	0,14
	Sorta*Cd tretman	51	0,0059	0,47
Zrno	Sorta	51	n.s.	0,17
	Cd tretman	1	n.s.	0,00
	Sorta*Cd tretman	51	0,019	0,19
Iznošenje Fe ($\mu\text{g}/10$ vlati)				
	Izvor variranja	Stupnjevi slobode	P	Partial Eta squared
List zastavičar	Sorta	51	0,014	0,52
	Cd tretman	1	n.s.	0,02
	Sorta*Cd tretman	51	n.s.	0,31
Zrno	Sorta	51	<0,0001	0,33
	Cd tretman	1	<0,0001	0,06
	Sorta*Cd tretman	51	<0,0001	0,35

Kontaminacija tla Cd značajno je utjecala na promjenu koncentracije Fe u listu zastavičaru. HSD testom na razini značajnosti od 99% utvrđeno je da je pri tretmanu od 20 mg Cd kg^{-1} tla koncentracija Fe u listu zastavičaru bila značajno viša od koncentracije Fe u listu zastavičaru na tlu nekontaminiranom Cd (tablica 23). Iznošenje Fe masom lista zastavičara bilo je niže na tlu kontaminiranom Cd u odnosu na nekontaminirano tlo, no statistički značajne razlike između tretmana nisu utvrđene. Na nekontaminiranom tlu utvrđeno je statistički značajno više iznošenje Fe masom zrna u odnosu na iznošenje na kontaminiranom tlu (tablica 23).

Tablica 23. Utjecaj kontaminacije tla Cd na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje Fe masom suhe tvari lista zastavičara i zrna ($\mu\text{g}/10$ vlati).

Svojstvo	mg Cd kg^{-1} tla	Aritmetička sredina	Standardna devijacija	Koeficijent varijacije (%)	Tukeyev HSD
Koncentracija Fe u listu zastavičaru (mg kg^{-1})	0	78,70 (1,90) ¹ 105,99	26,03	33,07	3,78**
	20	(2,00)	28,38	26,77	
Koncentracija Fe u zrnu (mg kg^{-1})	0	41,23	9,46	22,95	n.s.
	20	48,66	7,08	14,56	
Iznošenje Fe masom zastavičara ($\mu\text{g}/10$ vlati)	0	30,21	16,00	52,97	n.s.
	20	27,15	12,05	44,37	
Iznošenje Fe masom zrna ($\mu\text{g}/10$ vlati)	0	597,63	284,09	47,53	52,00**
	20	501,27	200,81	40,06	

¹ Analiza varijance koncentracije Fe u listu zastavičaru rađena je dekadski logaritmiranim podacima.

**=statistički značajno na razini $P < 0,01$; *=statistički značajno na razini $P < 0,05$; n.s.=nije statistički značajno

Statistički značajne razlike u koncentraciji Fe u listu zastavičaru i zrnu ispitivanih sorata pšenice na tlu kontaminiranom Cd i na nekontaminiranom tlu (tablica 24) utvrđene su Tukeyevim HSD testom. Na tlu nekontaminiranom Cd najniža koncentracija Fe u zrnu ($31,70 \text{ mg kg}^{-1}$) i listu zastavičaru ($38,42 \text{ mg kg}^{-1}$) utvrđena je u sorte MV Emesse. Najvišu koncentraciju Fe u zrnu na nekontaminiranom tlu imala je sorta GK Kalasz ($55,05 \text{ mg kg}^{-1}$), a u listu zastavičaru Osječka 20 ($150,22 \text{ mg kg}^{-1}$). Na tlu kontaminiranom Cd najniža koncentracija Fe u zrnu ($34,28 \text{ mg kg}^{-1}$) i listu zastavičaru ($55,91 \text{ mg kg}^{-1}$) utvrđena je za sortu Dekan. Sorta Alka imala je najvišu koncentraciju Fe u listu zastavičaru ($156,47 \text{ mg kg}^{-1}$), a Slavonija u zrnu ($59,63 \text{ mg kg}^{-1}$). U listu zastavičaru je bio puno veći raspon koncentracija Fe na oba tretmana Cd u odnosu na zrno.

S obzirom na koncentraciju Fe u listu zastavičaru i zrnu i iznošenje Fe masom zastavičara i zrna u dendogramu se slabije uočavaju specifične skupine sorata nego kod Cd i Zn (grafikon 8).

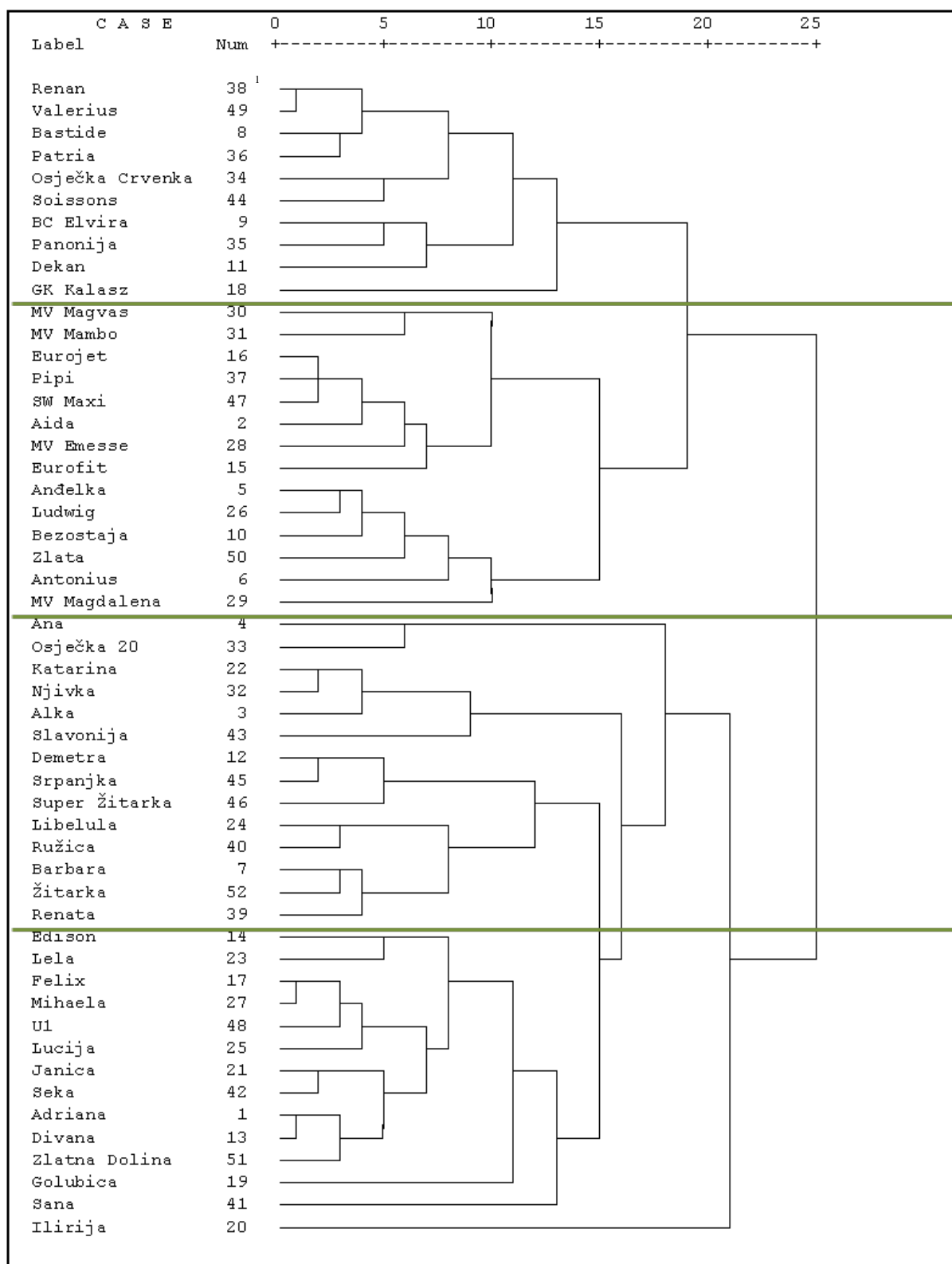
Tablica 24. Opisna statistika i rezultati Tukeyevog HSD testa različitosti sorata s obzirom na koncentraciju i iznošenje Cd masom zrna i lista zastavičara u vegetacijskoj sezoni 2007./2008. na kontaminiranom i nekontaminiranom tlu.

Sorta	Konc. Fe (mg kg ⁻¹)				Iznošenje Fe (µg/10 vlati)					
	Zastavičar		Zrno		Zastavičar		Zrno			
	0 mg Cd kg ⁻¹ tla									
Sorta	Konc. Fe (mg kg ⁻¹)				Iznošenje Fe (µg/10 vlati)					
	Zastavičar		Zrno		Zastavičar		Zrno			
	20 mg Cd kg ⁻¹ tla									
Adriana	84,55	1,93	32,95	36,02	311,90	121,95	2,09	53,13	33,10	547,20
Aida	47,45	1,68	36,80	21,00	512,20	100,06	2,00	50,97	15,58	548,90
Alka	104,09	2,02	33,93	33,05	622,50	156,47	2,19	55,05	33,82	453,60
Ana	137,13	2,14	45,13	73,31	769,00	108,25	2,03	52,98	41,10	570,30
Andelka	85,59	1,93	48,43	32,88	856,60	84,34	1,93	45,33	24,15	567,90
Antonius	49,83	1,70	47,17	19,70	1030,20	70,98	1,85	48,70	17,28	650,90
Barbara	89,68	1,95	46,50	33,27	613,90	110,15	2,04	52,50	29,48	480,40
Bastide	59,30	1,77	32,80	23,47	376,00	91,12	1,96	47,07	25,54	249,80
BC Elvira	100,66	2,00	36,45	42,40	528,70	71,30	1,85	42,10	16,86	404,20
Bezostaja	88,00	1,94	47,27	38,44	573,20	87,44	1,94	54,53	20,89	544,50
Dekan	68,97	1,84	42,48	23,67	632,90	55,91	1,75	34,28	10,99	428,40
Demetra	114,41	2,06	41,10	42,82	561,80	118,91	2,08	43,55	32,77	452,20
Divana	89,51	1,95	33,03	25,32	278,40	101,56	2,01	52,38	32,17	384,50
Edison	64,51	1,81	35,84	21,97	413,90	135,04	2,13	44,70	33,78	647,70
Eurofit	44,72	1,65	32,60	20,00	404,10	126,13	2,10	44,80	15,08	841,30
Eurojet	51,57	1,71	40,33	16,31	602,20	80,94	1,91	49,25	25,32	809,30
Felix	76,20	1,88	36,83	15,74	536,20	116,92	2,07	55,47	21,87	544,70
GK Kalasz	69,74	1,84	55,05	29,01	971,30	91,93	1,96	38,15	20,70	357,30
Golubica	74,17	1,87	47,88	37,85	260,20	130,65	2,12	50,49	38,12	715,40
Ilirija	98,69	1,99	54,55	53,99	1306,60	113,45	2,05	54,58	34,77	408,90
Janica	79,14	1,90	37,05	23,05	642,60	117,70	2,07	49,18	26,10	235,80
Katarina	104,74	2,02	35,00	53,01	358,70	152,07	2,18	53,83	30,35	376,30
Lela	63,98	1,81	43,93	20,94	683,60	125,55	2,10	47,23	31,35	466,60
Libellula	103,20	2,01	44,03	42,56	775,10	82,27	1,92	52,93	20,05	337,90
Lucija	83,50	1,92	38,85	24,62	614,50	88,90	1,95	52,60	17,62	396,70
Ludwig	76,02	1,88	46,38	39,73	887,10	92,21	1,96	49,28	27,61	745,10
Mihaela	66,84	1,83	35,23	19,84	522,70	125,52	2,10	51,15	25,10	459,00
MV Emesse	41,03	1,61	31,70	7,93	449,40	92,14	1,96	54,35	23,55	502,00
MV Magdalena	38,42	1,58	49,50	15,68	793,90	106,07	2,03	48,85	32,16	833,20
MV Magvas	53,42	1,73	38,20	20,79	831,00	101,30	2,01	37,58	22,73	590,10
MV Mambo	49,87	1,70	36,85	16,24	528,40	89,25	1,95	35,38	26,17	524,80
Njivka	91,94	1,96	40,30	51,48	252,20	132,00	2,12	53,65	32,60	437,00
Osječka 20	150,22	2,18	39,43	60,62	472,40	113,79	2,06	47,43	40,39	561,90
Osječka Crvenka	74,47	1,87	44,83	19,91	357,40	90,52	1,96	47,93	26,59	511,70
Panonija	78,43	1,89	41,53	41,66	714,70	82,22	1,91	35,53	16,12	404,90
Patria	63,89	1,81	33,40	26,27	701,50	74,98	1,87	47,35	22,25	458,30
Pipi	50,53	1,70	42,20	13,55	657,10	97,03	1,99	48,07	25,91	608,30
Renan	47,37	1,68	40,33	23,75	610,80	64,40	1,81	44,38	14,47	309,80
Renata	80,75	1,91	45,45	28,13	745,10	142,90	2,16	57,93	24,50	477,20
Ružica	81,84	1,91	42,95	38,16	872,80	107,03	2,03	49,70	22,74	262,60
Sana	70,55	1,85	40,65	33,49	414,30	154,23	2,19	52,60	54,27	411,50
Seka	82,41	1,92	39,18	31,52	501,50	118,25	2,07	52,03	30,70	335,70
Slavonija	104,86	2,02	41,48	42,17	486,30	131,21	2,12	59,63	47,79	801,40
Soissons	72,93	1,86	51,07	25,20	968,20	83,55	1,92	45,57	16,21	327,20
Srpanjka	99,12	2,00	40,18	31,23	538,20	132,17	2,12	40,43	30,57	431,60
Super Žitarka	117,63	2,07	49,08	40,34	446,70	128,41	2,11	43,18	38,94	290,50
SW Maxi	62,89	1,80	39,73	19,73	527,30	98,85	1,99	48,13	33,21	770,20
UI	78,53	1,90	36,93	12,21	355,70	104,83	2,02	54,13	6,31	431,60
Valerius	57,01	1,76	37,90	22,27	542,20	69,78	1,84	44,03	15,74	521,80
Zlata	65,23	1,81	49,15	20,27	812,40	99,36	2,00	55,65	23,62	631,70
Zlatna Dolina	101,60	2,01	36,25	31,25	319,60	99,26	2,00	45,50	28,95	572,80
Žitarka	101,08	2,00	48,18	33,45	531,70	140,73	2,15	55,18	34,25	433,80
Aritmetička sredina	78,70		41,23	30,22	597,63	106,00		48,66	26,77	501,28
Tukeyev HSD	0,37**		24,84**	26,28**	707,22**	0,42**		13,28**	n.s.	494,11**

**=statistički značajno na razini P<0,01; *=statistički značajno na razini P<0,05; n.s.=nije statistički značajno

Vrijednosti koje su za jednu standardnu devijaciju više od aritmetičke sredine.

Vrijednosti koje su za jednu standardnu devijaciju niže od aritmetičke sredine.



¹Brojevi u grafikonu predstavljaju redni broj sorte pšenice po abecednom redu.

Grafikon 8. Hijerarhijski klaster dijagram na osnovu koncentracije Fe u listu zastavičaru i zrnu i iznošenje Fe masom zrna i lista zastavičara na kontaminiranom i nekontaminiranom tlu u vegetacijskoj sezoni 2007./2008.

5.2.2. Koncentracija i iznošenje kadmija, cinka i željeza u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

5.2.2.1. Koncentracija i iznošenje kadmija

Dvosmjernom analizom varijance utvrđen je statistički značajan utjecaj interakcije sorte i kontaminacije tla Cd na koncentraciju Cd u listovima i klasu u fazi cvatnje te u listovima i zrnu u punoj zriobi (tablica 25).

Tablica 25. Analiza varijance koncentracije Cd u cvatnji i punoj zriobi u analiziranim dijelovima pšenice.

Koncentracija Cd (mg kg ⁻¹)				
Cvatnja				
	Izvor variranja	Stupnjevi slobode	P	Partial Eta squared
Korijen	Sorta	9	n.s.	0,16
	Cd tretman	2	<0,0001	0,91
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,37
Stabljika	Sorta	9	n.s.	0,34
	Cd tretman	2	0,0002	0,93
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,35
Listovi	Sorta	9	0,022	0,76
	Cd tretman	2	<0,0001	0,95
	Sorta*Cd tretman	18	0,0106	0,68
List zastavičar	Sorta	9	n.s.	0,77
	Cd tretman	2	0,0199	0,96
	Sorta*Cd tretman	18	0,1000	0,73
Klas	Sorta	9	<0,0001	0,80
	Cd tretman	2	0,0012	0,93
	Sorta*Cd tretman	18	0,0044	0,77
Puna zrioba				
	Izvor variranja	Stupnjevi slobode	P	Partial Eta squared
Slama	Sorta	9	n.s.	0,33
	Cd tretman	2	<0,0001	0,94
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,36
Listovi ¹	Sorta	9	0,0090	0,59
	Cd tretman	2	<0,0001	0,95
	Sorta*Cd tretman	18	0,0454	0,48
Pljevica	Sorta	9	0,0134	0,68
	Cd tretman	2	0,0002	0,91
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,59
Zrno	Sorta	9	0,0097	0,72
	Cd tretman	2	<0,0001	0,95
	Sorta*Cd tretman	18	0,0361	0,67

¹ U punoj zriobi listovi i list zastavičar su spojeni u jedan uzorak.

Interakcija sorte i kontaminacije tla Cd imala je značajan učinak na iznošenje Cd masom klasa u cvatnji, dok za ostale dijelove pšenice nije utvrđena statistički značajna interakcija ispitivanih faktora (tablica 26).

Tablica 26. Analiza varijance iznošenja Cd u cvatnji i punoj zriobi u analiziranim dijelovima pšenice.

Iznošenje Cd ($\mu\text{g}/10$ vlati)				
Cvatnja				
	Izvor variranja	Stupnjevi slobode	P	Partial Eta squared
Korijen	Sorta	9	n.s.	0,45
	Cd tretman	2	0,0005	0,84
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,58
Stabljika	Sorta	9	0,0435	0,65
	Cd tretman	2	0,0010	0,86
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,65
Listovi	Sorta	9	n.s.	0,58
	Cd tretman	2	0,0006	0,88
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,50
List zastavičar	Sorta	9	n.s.	0,78
	Cd tretman	2	n.s.	0,80
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,68
Klas	Sorta	9	0,0059	0,77
	Cd tretman	2	0,0005	0,82
	Sorta*Cd tretman	18	0,0156	0,77
Puna zrioba				
	Izvor variranja	Stupnjevi slobode	P	Partial Eta squared
Slama	Sorta	9	n.s.	0,24
	Cd tretman	2	0,0003	0,85
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,37
Listovi ¹	Sorta	9	0,0166	0,19
	Cd tretman	2	<0,0001	0,74
	Sorta*Cd tretman	18	0,0457	0,17
Pljevica	Sorta	9	n.s.	0,60
	Cd tretman	2	0,0016	0,83
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,49
Zrno	Sorta	9	n.s.	0,46
	Cd tretman	2	0,0022	0,80
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,38

¹ U punoj zriobi listovi i list zastavičar su spojeni u jedan uzorak.

Koncentracija Cd u pojedinim dijelovima biljke bila je pod značajnim utjecajem kontaminacije tla Cd, kao i iznošenje Cd masom suhe tvari. Statistički značajne razlike u koncentraciji i iznošenju Cd između primijenjenih tretmana utvrđene su za sve ispitivane dijelove biljke (tablica 27 i tablica 28) u cvatnji i punoj zriobi.

Tablica 27. Utjecaj kontaminacije tla Cd na koncentraciju Cd u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

mg Cd kg ⁻¹ tla	Cvatnja					Tukeyev HSD
	Korijen	Stabljika	Listovi	Zastavičar	Klas	
0	0,58	0,132	0,13	0,23	0,01	0,01**
2	14,25	2,21	2,84	0,95	0,44	1,23**
5	29,48	3,71	4,92	1,63	0,97	2,12**
Tukeyev HSD	2,89**	0,37**	0,30**	0,37**	0,15**	
mg Cd kg ⁻¹ tla	Puna zrioba					Tukeyev HSD
		Slama	Listovi ¹	Pljevica	Zrno	
0		0,12	0,07	0,05	0,03	0,03**
2		2,42	1,87	0,87	0,79	0,23**
5		4,28	3,69	1,49	1,34	0,39**
Tukeyev HSD		0,33**	0,26**	0,15**	0,01**	

¹ U punoj zriobi listovi i list zastavičar su spojeni u jedan uzorak.

**=statistički značajno na razini P<0,01; *=statistički značajno na razini P<0,05; n.s.=nije statistički značajno

Općenito najniža koncentracija i iznošenje Cd zabilježeno je u tretmanu s 0 mg Cd kg⁻¹ tla kod svih dijelova biljke. U tretmanu s 5 mg Cd kg⁻¹ tla utvrđena je najviša koncentracija i iznošenje Cd za sve biljne dijelove. Od ispitivanih biljnih dijelova, najvišu koncentraciju u sva tri tretmana imao je korijen, dok je najniža koncentracija Cd utvrđena u klasu u fazi cvatnje. Pljevice su iznosile najnižu količinu Cd u sva tri tretmana Cd u odnosu na ostale dijelove biljke, dok je najviše iznošenje imao korijen u tretmanu s 5 mg Cd kg⁻¹ tla.

Analizirani dijelovi pšenice u cvatnji na nekontaminiranom tlu čine niz rastuće koncentracije Cd redosljedom: klas – zastavičar – ostali listovi – stabljika – korijen. Nakon kontaminacije tla u listovima je bio veći porast koncentracije Cd nego u stabljici te je na nekontaminiranom tlu utvrđen rastući niz u slijedu: klas – zastavičar – stabljika – ostali listovi – korijen.

U zriobi niz koncentracije Cd u dijelovima biljke nije bio pod utjecajem kontaminacije tla jer je utvrđen isti rastući niz na nekontaminiranom i kontaminiranim tlima: zrno – pljevica – listovi – slama.

Iznošenje Cd dijelovima pšenice (tablica 28) u cvatnji na nekontaminiranom tlu raslo je u nizu: klas – zastavičar – ostali listovi – korijen – stabljika, dok je kontaminacija nešto promijenila redoslijed te je najmanje iznošenje bilo masom lista zastavičara: zastavičar – klas – ostali listovi – korijen – stabljika pri kontaminaciji s 2 mg Cd kg⁻¹ tla, a pri kontaminaciji tla s 5 mg Cd kg⁻¹; zastavičar – klas – ostali listovi – stabljika korijen.

U punoj zriobi kontaminacija tla Cd nije utjecala na redoslijed iznošenja Cd dijelovima pšenice te je najmanje iznošenje bilo masom pljevica, a najveće masom slame, bez obzira na razinu kontaminacije tla: pljevica – listovi – zrno – slama.

Tablica 28. Utjecaj kontaminacije tla Cd na iznošenje Cd (µg/10 vlati) masom suhe tvari u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

mg Cd kg ⁻¹ tla	Cvatnja					
	Korijen	Stabljika	Listovi	Zastavičar	Klas	Tukeyev HSD
0	0,43	0,73	0,17	0,13	0,02	0,10**
2	9,06	10,66	4,19	0,46	0,88	1,48**
5	19,54	17,82	7,14	0,76	1,94	4,04**
Tukeyev HSD	3,23**	2,08**	0,79**	n.s.	0,45**	
mg Cd kg ⁻¹ tla	Puna zrioba					
		Slama	Listovi ¹	Pljevica	Zrno	Tukeyev HSD
0		0,29	0,10	0,01	0,15	0,05**
2		5,59	2,48	0,20	4,30	0,82**
5		9,12	4,34	0,31	7,11	1,42**
Tukeyev HSD		1,24**	0,86**	0,04**	0,97**	

¹ U punoj zriobi listovi i list zastavičar su spojeni u jedan uzorak.

**=statistički značajno na razini P<0,01; *=statistički značajno na razini P<0,05; n.s.=nije statistički značajno

Statistički značajne razlike u koncentraciji Cd u korijenu u tretmanima sa 0 i 5 mg Cd kg⁻¹ tla dokazane su Tukeyevim HSD testom (tablica 29). Statistički značajne razlike u iznošenju Cd korijenom između ispitivanih sorata utvrđene su jedino u tretmanu s 5 mg Cd kg⁻¹ tla (tablica 29).

Najnižu koncentraciju Cd na nekontaminiranom tlu imale su sorte Super Žitarka i Osječka 20. Ove dvije sorte imale su i najniže iznošenje Cd masom korijena na nekontaminiranom tlu. Super Žitarka, koja je na nekontaminiranom tlu imala najnižu koncentraciju u korijenu i iznošenje Cd u tretmanu s 5 mg Cd kg⁻¹ tla imala je najvišu koncentraciju i iznošenje Cd u odnosu na ostale sorte. Na tlu kontaminiranom sa 2 mg Cd kg⁻¹ tla nisu utvrđene statistički značajne razlike između sorata pšenice u koncentraciji i iznošenju Cd, no Srpanjka i Bezostaja se mogu izdvojiti kao sorte koje su imale najvišu koncentraciju i iznošenje Cd u ovom

tretmanu. Bezostaja je imala visoku koncentraciju i iznošenje Cd i u tretmanu s 5 mg Cd kg⁻¹ tla.

Ispitivane sorte pšenice nisu se statistički značajno razlikovale po koncentraciji i iznošenju Cd masom stabljike na nekontaminiranom tlu (tablica 30). No na tlu kontaminiranom Cd (2 i 5 mg Cd kg⁻¹ tla) utvrđene su statistički značajne razlike u koncentraciji i iznošenju Cd masom stabljike između ispitivanih sorata pšenice. Najvišu koncentraciju Cd u stabljici u fazi cvatnje imala je sorta Katarina na obje razine kontaminacije tla Cd, a najviše iznošenje masom stabljike Cd utvrđeno je kod sorte U1. Osim Katarine visoka koncentracija Cd na obje razine kontaminacija tla Cd utvrđena je u sorte Srpanjka i Slavonija. Sorta Divana imala je prosječno najnižu koncentraciju Cd u stabljici za sva tri tretmana Cd, a najniža iznošenja Cd stabljikom prosječno su utvrđene sortama Pipi i Srpanjka, iako je sorta Srpanjka imala prosječno visoku koncentraciju Cd.

Tablica 29. Različitoš ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg⁻¹) i iznošenje (μg/10 vlati) Cd masom suhe tvari korijena u fazi cvatnje u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

	Korijen (cvatnja)					
	Koncentracija Cd (mg kg ⁻¹)			Iznošenje Cd (μg/10 vlati)		
	0 mg Cd kg ⁻¹ tla	2 mg Cd kg ⁻¹ tla	5 mg Cd kg -1 tla	0 mg Cd kg ⁻¹ tla	2 mg Cd kg ⁻¹ tla	5 mg Cd kg ⁻¹ tla
Bezostaja	0,610	15,693	31,919	0,451	12,002	28,726
Divana	0,659	12,128	30,139	0,414	7,559	9,808
Katarina	0,598	13,539	35,723	0,545	8,127	17,346
Osječka 20	0,374	15,255	30,182	0,281	9,249	22,530
Pipi	0,799	14,809	17,402	0,537	9,214	11,521
Sana	0,554	13,020	27,188	0,480	8,213	17,335
Slavonija	0,756	13,727	31,801	0,424	6,065	16,164
Srpanjka	0,637	18,475	24,435	0,474	11,083	8,648
Super Žitarka	0,297	12,814	37,060	0,287	10,276	34,743
U1	0,542	13,099	29,026	0,441	8,892	28,684
Aritmetička sredina	0,583	14,256	29,487	0,433	9,068	19,550
Tukeyev HSD	0,43*	n.s.	14,11**	n.s.	n.s.	14,14**

**=statistički značajno na razini P<0,01; *=statistički značajno na razini P<0,05; n.s.=nije statistički značajno

Tablica 30. Različnost ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje ($\mu\text{g}/10$ vlati) Cd masom suhe tvari stabljike u fazi cvatnje u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

Stabljika (cvatnja)						
	Koncentracija Cd (mg kg^{-1})			Iznošenje Cd ($\mu\text{g} / 10$ vlati)		
	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla
Bezostaja	0,172	2,132	3,443	0,822	11,812	22,603
Divana	0,094	1,693	3,335	0,640	9,558	14,598
Katarina	0,146	2,781	4,613	0,701	9,674	10,049
Osječka 20	0,092	2,088	3,838	0,560	10,937	23,090
Pipi	0,125	2,189	2,652	0,588	9,240	9,682
Sana	0,113	2,428	3,080	0,901	13,739	16,115
Slavonija	0,198	2,294	4,547	0,818	6,841	12,378
Srpanjka	0,170	2,527	4,486	0,596	6,988	8,902
Super Žitarka	0,108	1,924	3,526	0,769	11,458	25,125
U1	0,103	2,088	3,657	0,919	16,442	35,665
Aritmetička sredina	0,132	2,214	3,718	0,731	10,669	17,821
Tukeyev HSD	n.s.	0,88*	1,61**	n.s.	6,82**	11,01**

**=statistički značajno na razini $P < 0,01$; *=statistički značajno na razini $P < 0,05$; n.s.=nije statistički značajno

Ispitivane sorte pšenice međusobno se statistički značajno razlikuju po koncentraciji i iznošenju Cd masom listova na nekontaminiranom i kontaminiranom tlu, što je dokazano Tukeyevim HSD testom (tablica 31). Sorta Srpanjka imala je najvišu koncentraciju Cd u listovima i iznošenje Cd masom listova u fazi cvatnje u sva tri tretmana Cd u odnosu na ostale sorte. Na tlu kontaminiranom Cd (2 i 5 mg Cd kg^{-1} tla) najniža koncentracija Cd u listovima u fazi cvatnje utvrđena je kod sorte Divana, a na nekontaminiranom tlu u sorte Super Žitarka. Prosječno, Divana i Super Žitarka su sorte s najnižim koncentracijama Cd u listovima tijekom cvatnje u sva tri ispitivana tretmana kontaminacije tla Cd. Za sortu Divana utvrđeno je i najniže prosječno iznošenje Cd masom listova u fazi cvatnje u odnosu na ostale sorte.

Na nekontaminiranom tlu nisu utvrđene statistički značajne razlike između sorata u koncentraciji Cd i iznošenju Cd masom lista zastavičara (tablica 32). Po iznošenju Cd masom lista zastavičara ističe se sorta Osječka 20 koja je u sva tri tretmana Cd imala najviše iznošenje Cd masom zastavičara. Na tlu kontaminiranom Cd najvišu koncentraciju Cd u zastavičaru imale su sorte Osječka 20 (na 2 mg Cd kg^{-1} tla) i Katarina (na 5 mg Cd kg^{-1} tla). Prosječno najniža koncentracija Cd u zastavičaru utvrđena je kod sorte Divana (najniža na nekontaminiranom tlu i druga na kontaminiranim tlima). Sorta U1 imala je najnižu koncentraciju Cd u listu zastavičaru na tlu kontaminiranom s 2 mg Cd kg^{-1} , dok je pri

kontaminaciji tla s 5 mg Cd kg⁻¹ najniža koncentracija Cd zabilježena kod sorte Bezostaje. Najniže iznošenje Cd zastavičarom utvrđeno je kod sorte Divana neovisno o tretmanu tla Cd.

Tablica 31. Različitoš ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg⁻¹) i iznošenje (µg/10 vlati) Cd masom suhe tvari listova u fazi cvatnje u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

Listovi (cvatnja)						
	Koncentracija Cd (mg kg ⁻¹)			Iznošenje Cd (µg / 10 vlati)		
	0 mg Cd kg ⁻¹ tla	2 mg Cd kg ⁻¹ tla	5 mg Cd kg ⁻¹ tla	0 mg Cd kg ⁻¹ tla	2 mg Cd kg ⁻¹ tla	5 mg Cd kg ⁻¹ tla
Bezostaja	0,199	2,805	3,989	0,220	3,922	5,636
Divana	0,085	1,645	3,653	0,112	2,376	5,462
Katarina	0,178	3,354	6,775	0,291	6,110	11,513
Osječka 20	0,114	3,064	5,873	0,193	4,078	6,120
Pipi	0,167	2,998	4,626	0,242	3,495	5,342
Sana	0,131	3,459	4,335	0,173	4,938	6,402
Slavonija	0,078	1,713	4,457	0,085	2,909	6,635
Srpanjka	0,238	4,718	7,939	0,273	6,603	13,039
Super Žitarka	0,067	1,998	3,777	0,090	3,672	5,769
U1	0,068	2,680	3,865	0,100	3,838	5,493
Aritmetička sredina	0,133	2,843	4,929	0,178	4,194	7,141
Tukeyev HSD	0,19*	0,90**	1,71**	0,23*	2,41**	3,95**

**=statistički značajno na razini P<0,01; *=statistički značajno na razini P<0,05; n.s.=nije statistički značajno

Tablica 32. Različitoš ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg⁻¹) i iznošenje (µg/10 vlati) Cd masom suhe tvari lista zastavičara u fazi cvatnje u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

Zastavičar (cvatnja)						
	Koncentracija Cd (mg kg ⁻¹)			Iznošenje Cd (µg / 10 vlati)		
	0 mg Cd kg ⁻¹ tla	2 mg Cd kg ⁻¹ tla	5 mg Cd kg ⁻¹ tla	0 mg Cd kg ⁻¹ tla	2 mg Cd kg ⁻¹ tla	5 mg Cd kg ⁻¹ tla
Bezostaja	0,174	0,730	0,598	0,083	0,348	0,373
Divana	0,052	0,343	0,689	0,024	0,180	0,166
Katarina	0,269	0,774	3,194	0,144	0,485	1,089
Osječka 20	0,417	1,755	2,572	0,327	0,954	1,715
Pipi	0,059	1,362	1,140	0,027	0,658	0,288
Sana	0,429	1,336	1,972	0,283	0,556	1,342
Slavonija	0,340	0,642	1,557	0,144	0,251	0,532
Srpanjka	0,102	1,656	2,479	0,044	0,666	0,959
Super Žitarka	0,308	0,645	1,162	0,183	0,342	0,555
U1	0,153	0,335	0,992	0,087	0,203	0,622
Aritmetička sredina	0,230	0,958	1,636	0,135	0,464	0,764
Tukeyev HSD	n.s.	0,97**	1,76**	n.s.	0,65*	0,95**

**=statistički značajno na razini P<0,01; *=statistički značajno na razini P<0,05; n.s.=nije statistički značajno

U fazi cvatnje ispitivane sorte se nisu statistički značajno razlikovale po koncentraciji Cd u klasu na nekontaminiranom tlu (tablica 33). U tom tretmanu najvišu koncentraciju Cd u klasu imala je sorta Slavonija, a iznošenje masom klasa Super Žitarka. Na tlu kontaminiranom Cd (2 i 5 mg Cd kg⁻¹ tla) utvrđene su statistički značajne razlike između sorata u koncentraciji i iznošenju Cd. Najvišu koncentraciju i iznošenje Cd na obje razine kontaminacija tla Cd imale su Srpanjka, Osječka 20 i Katarina. Najnižu koncentraciju Cd na kontaminiranom tlu i iznošenje na 5 mg Cd kg⁻¹ tla imala je sorta Divana, dok je sorta Slavonija imala najniže iznošenje u tretmanu s 2 mg Cd kg⁻¹ tla. Prosječno, u području najnižih koncentracija u klasu najzastupljenije su sorte Divana, te U1 i Pipi, a najviših koncentracija sorte Osječka 20 i Srpanjka. Na razini najnižih iznošenja Cd klasom ističe se sorta Divana, a nešto manje sorta Pipi, dok su na razinama najviših iznošenja sorte Super Žitarka, Osječka 20 i Sana.

Tablica 33. Različnost ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg⁻¹) i iznošenje (μg/10 vlati) Cd masom suhe tvari klasa u fazi cvatnje u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

	Klas (cvatnja)					
	Koncentracija Cd (mg kg ⁻¹)			Iznošenje Cd (μg / 10 vlati)		
	0 mg Cd kg ⁻¹ tla	2 mg Cd kg ⁻¹ tla	5 mg Cd kg ⁻¹ tla	0 mg Cd kg ⁻¹ tla	2 mg Cd kg ⁻¹ tla	5 mg Cd kg ⁻¹ tla
Bezostaja	0,006	0,317	0,743	0,015	0,620	1,719
Divana	0,009	0,192	0,454	0,016	0,405	0,513
Katarina	0,010	0,595	1,624	0,018	0,794	1,622
Osječka 20	0,010	0,681	1,747	0,019	1,990	4,252
Pipi	0,008	0,326	0,685	0,011	0,564	1,087
Sana	0,008	0,638	1,169	0,027	1,482	3,293
Slavonija	0,014	0,322	0,544	0,016	0,298	0,516
Srpanjka	0,012	0,717	1,354	0,018	0,825	1,167
Super Žitarka	0,009	0,382	0,737	0,034	1,244	2,885
U1	0,002	0,241	0,740	0,005	0,626	2,351
Aritmetička sredina	0,009	0,441	0,980	0,018	0,885	1,940
Tukeyev HSD	n.s.	0,33**	0,35**	0,02*	0,94**	1,67**

**=statistički značajno na razini P<0,01; *=statistički značajno na razini P<0,05; n.s.=nije statistički značajno

U punoj zriobi statistički značajne razlike u koncentraciji Cd između ispitivanih sorata pšenice utvrđene su za slamu, listove, pljevice i zrno u sva tri tretmana Cd (tablica 34, tablica 35, tablica 36 i tablica 37).

Najnižu koncentraciju Cd u slami na nekontaminiranom tlu imala je sorta Pipi, dok je na kontaminiranom tlu bila među tri sorte s najvišom koncentracijom Cd (tablica 34). Sorta Srpanjka imala je najvišu koncentraciju Cd u slami na nekontaminiranom i tlu kontaminiranom s 2 mg Cd kg⁻¹ tla, a u tretmanu s 5 mg Cd kg⁻¹ tla najvišu koncentraciju Cd

imala je sorta Katarina. Najnižu koncentraciju Cd u slami na obje razine kontaminacija tla Cd imala je sorta Divana. Statistički značajne razlike između sorata u iznošenju Cd masom slame u punoj zriobi utvrđene su za razinu kontaminacije od 2 i 5 mg Cd kg⁻¹ tla dok na nekontaminiranom tlu nisu utvrđene statistički značajne razlike između sorata. Na najnižim razinama iznošenja Cd opet je sorta Divana, dok su na najvišim razinama iznošenja Cd slamom različite sorte (U1, Bezostaja, Sana, Srpanjka), ovisno o tretmanu tla Cd.

Tablica 34. Različitoš ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg⁻¹) i iznošenje (μg/10 vlati) Cd masom slame u punoj zriobi u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

	Slama (puna zrioba)					
	Koncentracija Cd (mg kg ⁻¹)			Iznošenje Cd (μg / 10 vlati)		
	0 mg Cd kg ⁻¹ tla	2 mg Cd kg ⁻¹ tla	5 mg Cd kg ⁻¹ tla	0 mg Cd kg ⁻¹ tla	2 mg Cd kg ⁻¹ tla	5 mg Cd kg ⁻¹ tla
Bezostaja	0,103	2,668	3,734	0,299	9,018	7,235
Divana	0,134	1,371	3,310	0,322	4,321	7,640
Katarina	0,112	2,401	5,321	0,188	5,645	9,441
Osječka 20	0,115	2,270	3,752	0,276	4,509	5,339
Pipi	0,097	2,731	5,297	0,230	6,075	10,724
Sana	0,126	2,845	4,566	0,280	6,081	10,993
Slavonija	0,171	2,279	4,508	0,270	4,853	11,567
Srpanjka	0,182	2,981	4,147	0,422	4,424	8,278
Super Žitarka	0,120	2,610	4,375	0,232	5,103	7,960
U1	0,112	2,128	3,802	0,384	5,918	12,029
Aritmetička sredina	0,127	2,428	4,281	0,290	5,595	9,121
Tukeyev HSD	0,07**	0,64**	1,95*	n.s.	3,75**	6,02*

**=statistički značajno na razini P<0,01; *=statistički značajno na razini P<0,05; n.s.=nije statistički značajno

U odnosu na ostale sorte, sorta Katarina je imala najvišu koncentraciju Cd u listovima na nekontaminiranom tlu te pri kontaminaciji s 5 mg Cd kg⁻¹ te je ostvarila i vrlo visoko iznošenje Cd masom listova u punoj zriobi (tablica 35). Osim Katarine visoku koncentraciju i visoko iznošenje Cd masom listova imala je sorta Srpanjka, ali jedino na tlu kontaminiranom Cd. Najnižu koncentraciju Cd u listovima na tlu kontaminiranom Cd (2 i 5 mg Cd kg⁻¹) imala je sorta Divana koja je imala i najniže iznošenje Cd masom listova na kontaminiranom tlu, a nalazi se i u grupi tri sorte s najnižom koncentracijom i iznošenjem Cd listovima na nekontaminiranom tlu. Statistički značajne razlike u iznošenju Cd masom listova između sorata utvrđene su jedino na nekontaminiranom tlu, dok na tlu kontaminiranom Cd (2 i 5 mg Cd kg⁻¹) nisu utvrđene statistički značajne razlike (tablica 35).

Tablica 35. Različnost ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje ($\mu\text{g}/10$ vlati) Cd masom listova u punoj zriobi u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

	Listovi (puna zrioba)					
	Koncentracija Cd (mg kg^{-1})			Iznošenje Cd ($\mu\text{g} / 10$ vlati)		
	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla
Bezostaja	0,021	1,744	3,456	0,040	2,642	3,971
Divana	0,022	0,820	2,471	0,027	1,377	2,112
Katarina	0,270	2,197	5,162	0,349	3,340	5,261
Osječka 20	0,040	2,125	3,538	0,104	2,567	3,691
Pipi	0,039	1,706	3,366	0,069	2,296	4,042
Sana	0,179	1,994	4,293	0,227	2,538	5,879
Slavonija	0,026	1,528	3,215	0,024	2,424	4,738
Srpanjka	0,086	2,541	4,781	0,095	2,583	5,710
Super Žitarka	0,006	2,199	3,583	0,007	2,605	3,387
U1	0,027	1,857	3,042	0,059	2,517	4,614
Aritmetička sredina	0,072	1,871	3,691	0,100	2,489	4,341
Tukeyev HSD	0,10**	1,16**	1,12**	0,14**	n.s.	n.s.

**=statistički značajno na razini $P < 0,01$; *=statistički značajno na razini $P < 0,05$; n.s.=nije statistički značajno

Najviša koncentracija Cd u pljevicama utvrđena je za sorte Katarina, Srpanjka i Pipi na nekontaminiranom tlu, dok su najvišu koncentraciju Cd u pljevicama na kontaminiranom tlu imale sorte Katarina, Srpanjka i Sana (tablica 36). Katarina, Srpanjka i Sana ostvarile su i najveće iznošenje Cd pljevicama na kontaminiranom tlu u odnosu na ostale sorte (tablica 36). Divana je imala najnižu koncentraciju Cd u pljevicama na obje razine kontaminacije tla Cd, a najmanje iznošenje na kontaminiranom tlu imale su Divana i Osječka 20. Na nekontaminiranom tlu nisu utvrđene statistički značajne razlike u iznošenju Cd masom pljevica, no najniže iznošenje imala je Super Žitarka, koja je imala i najnižu koncentraciju Cd na nekontaminiranom tlu.

Na nekontaminiranom tlu, najnižu koncentraciju Cd u zrnju i najniže iznošenje zrnjom imala je Bezostaja, a najvišu koncentraciju i iznošenje na nekontaminiranom tlu imale su sorte U1 i Pipi (tablica 37). Sorta Divana koja je na nekontaminiranom tlu bila među prve tri sorte po visini koncentracije i iznošenju Cd, na tlu kontaminiranom Cd (2 i 5 mg Cd kg^{-1}) imala je najnižu koncentraciju i iznošenje Cd masom zrna u odnosu na ostale sorte. Na tlu kontaminiranom Cd, najvišu koncentraciju i iznošenje Cd imale su sorte Katarina, Srpanjka, Sana i Osječka 20.

Tablica 36. Različnost ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje ($\mu\text{g}/10$ vlati) Cd masom pljevica u punoj zriobi u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

Pljevica (puna zrioba)						
	Koncentracija Cd (mg kg^{-1})			Iznošenje Cd ($\mu\text{g} / 10$ vlati)		
	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla
Bezostaja	0,057	0,541	1,325	0,015	0,173	0,312
Divana	0,053	0,436	0,631	0,013	0,149	0,134
Katarina	0,079	1,262	2,590	0,016	0,373	0,567
Osječka 20	0,048	0,665	1,260	0,014	0,098	0,169
Pipi	0,061	0,723	1,107	0,014	0,154	0,221
Sana	0,052	1,108	1,894	0,015	0,279	0,460
Slavonija	0,047	0,907	1,323	0,006	0,210	0,221
Srpanjka	0,074	1,508	1,901	0,014	0,289	0,430
Super Žitarka	0,021	0,819	1,558	0,005	0,186	0,317
U1	0,026	0,764	1,337	0,008	0,179	0,308
Aritmetička sredina	0,052	0,873	1,493	0,012	0,209	0,314
Tukeyev HSD	0,03**	0,42**	0,76**	n.s.	1,41**	0,22**

**=statistički značajno na razini $P<0,01$; *=statistički značajno na razini $P<0,05$; n.s.=nije statistički značajno

Tablica 37. Različnost ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje ($\mu\text{g}/10$ vlati) Cd masom zrna u punoj zriobi u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

Zrno (puna zrioba)						
	Koncentracija Cd (mg kg^{-1})			Iznošenje Cd ($\mu\text{g} / 10$ vlati)		
	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla
Bezostaja	0,013	0,597	0,975	0,069	3,890	5,511
Divana	0,032	0,291	0,681	0,182	1,354	2,898
Katarina	0,031	1,011	2,123	0,156	7,477	11,300
Osječka 20	0,030	0,943	1,550	0,127	3,286	5,527
Pipi	0,046	0,719	1,046	0,313	4,278	5,313
Sana	0,024	1,011	1,441	0,147	5,577	10,221
Slavonija	0,031	0,610	1,447	0,092	3,077	7,838
Srpanjka	0,019	1,075	1,492	0,088	5,630	9,995
Super Žitarka	0,013	0,846	1,183	0,065	4,555	5,271
U1	0,054	0,855	1,534	0,265	3,961	7,240
Aritmetička sredina	0,029	0,796	1,347	0,150	4,308	7,111
Tukeyev HSD	0,03*	0,32**	0,46**	0,21**	3,09**	4,82**

**=statistički značajno na razini $P<0,01$; *=statistički značajno na razini $P<0,05$; n.s.=nije statistički značajno

Ukupna količina Cd koja je iznesena prinosom nadzemne mase pšenice statistički se značajno razlikuje između ispitivanih tretmana kontaminacije tla Cd ($P<0,001$), ali i između sorata (tablica 38) u sva tri tretmana Cd. Vrlo je značajno da su po tom svojstvu sorte značajno razlikuju na kontaminiranom i na nekontaminiranom tlu. Tako je najmanju količinu Cd nadzemnom masom na nekontaminiranom tlu iznijela sorta Super Žitarka, a slične niske količine iznijele su i sorte Bezostaja i Slavonija. S druge strane, prosječno dvostruko veće

količine iznijele su sorte U1, Katarina i Sana. Na kontaminiranim je tlima velika promjena kod sorte Divana. Naime, po iznošenju Cd nadzemnom masom na nekontaminiranom tlu bliža je sortama visokog nego niskog iznošenja, dok je na kontaminiranom tlu sorta s daleko najnižim ukupnim iznošenjem Cd nadzemnom masom. U odnosu na pojedine sorte, Divana na kontaminiranom tlu iznosi i dvostruko nižu količinu Cd nadzemnom masom. U pogledu sorata koje iznose najveće količine Cd, najviša mjesta kontinuirano zauzimaju na kontaminiranim tlima sorte Katarina i Sana, a vrlo blizu su i Srpanjka, te sorta U1.

Tablica 38. Različitoš ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje ($\mu\text{g}/10$ vlati) Cd ukupnom nadzemnom masom biljke u punoj zriobi u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

Ukupni nadzemni dio biljke (puna zrioba)						
	Ukupna nadzemna masa (g/10 vlati)			Iznošenje Cd ($\mu\text{g} / 10$ vlati)		
	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla
Bezostaja	9,996	12,312	9,036	0,422	15,723	17,029
Divana	9,632	10,087	7,761	0,544	7,201	12,784
Katarina	8,041	12,369	8,306	0,709	16,836	26,569
Osječka 20	9,070	6,816	6,230	0,521	10,460	14,726
Pipi	10,659	9,537	8,605	0,625	12,802	20,300
Sana	10,165	9,173	11,182	0,669	14,475	27,554
Slavonija	5,626	9,044	9,718	0,392	10,564	24,364
Srpanjka	8,590	7,934	10,087	0,619	12,927	24,414
Super Žitarka	8,635	8,581	7,380	0,310	12,449	16,935
U1	11,665	9,130	9,662	0,716	12,575	24,190
Aritmetička sredina	9,208	9,498	8,797	0,553	12,601	20,886
Tukeyev HSD	4,95*	n.s.	4,58*	0,43*	6,76**	11,13**

**=statistički značajno na razini $P < 0,01$; *=statistički značajno na razini $P < 0,05$; n.s.=nije statistički značajno

5.2.2.2. Koncentracija i iznošenje cinka

Dvosmjernom analizom varijance utvrđena je statistički značajan učinak interakcije sorte i kontaminacije tla Cd na koncentraciju Zn u korijenu i listovima u cvatnji (tablica 39). U punoj zriobi interakcija sorte i kontaminacije tla Cd nije značajno utjecala na koncentraciju Zn u ispitivanim dijelovima pšenice.

Tablica 39. Analiza varijance koncentracije Zn (mg kg^{-1}) u ispitivanim dijelovima pšenice

Koncentracija Zn (mg kg^{-1})				
Cvatnja				
	Izvor variranja	Stupnjevi slobode	P	Partial Eta squared
Korijen	Sorta	9	0,0079	0,58
	Cd tretman	2	n.s.	0,03
	Sorta*Cd tretman	18	0,0427	0,45
Stabljika	Sorta	9	0,0051	0,68
	Cd tretman	2	0,0088	0,27
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,26
Listovi	Sorta	9	0,0091	0,53
	Cd tretman	2	0,0141	0,17
	Sorta*Cd tretman	18	0,0286	0,50
List zastavičar	Sorta	9	n.s.	0,60
	Cd tretman	2	n.s.	0,02
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,55
Klas	Sorta	9	0,0386	0,56
	Cd tretman	2	0,0162	0,15
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,13
Puna zrioba				
	Izvor variranja	Stupnjevi slobode	P	Partial Eta squared
Slama	Sorta	9	n.s.	0,73
	Cd tretman	2	0,0382	0,10
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,42
Listovi ¹	Sorta	9	n.s.	0,35
	Cd tretman	2	n.s.	0,10
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,33
Pljevica	Sorta	9	0,0049	0,81
	Cd tretman	2	0,0420	0,190
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,52
Zrno	Sorta	9	0,0144	0,65
	Cd tretman	2	n.s.	0,00
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,33

Koncentracija Zn u stabljici, listovima i klasu u cvatnji te u slami i pljevicama u punoj zriobi bila je pod statistički značajnim utjecajem kontaminacije tla Cd (tablica 40). U stabljici, listovima i klasu u cvatnji kontaminacija tla Cd utjecala je na povećanje prosječne koncentracije Zn. Razlike između prosječnih vrijednosti koncentracija Zn u ispitivanim dijelovima pšenice utvrđene su Tukeyevim HSD testom. Utvrđeno je da se ispitivani biljni dijelovi međusobno značajno razlikuju u koncentraciji Zn u sva tri tretmana Cd u cvatnji i punoj zriobi (tablica 40). Najviša koncentracija Zn u cvatnji utvrđena je u korijenu, zatim klasu, te zastavičaru, prosječno je dvostruko niža u stabljici, a najniža koncentracija Zn je utvrđena u ostalim listovima. U punoj je zriobi najviša koncentracija Zn u zrnu, značajno je niža u listovima (prosječno zastavičar i ostali listovi zajedno), dok je najniža koncentracija utvrđena u pljevicama, te slami.

Tablica 40. Utjecaj kontaminacije tla Cd na koncentraciju Zn u pšenici u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

mg Cd kg ⁻¹ tla	Cvatnja					
	Korijen	Stabljika	Listovi	Zastavičar	Klas	Tukeyev HSD
0	27,17	11,59	9,73	20,24	22,43	3,03**
2	28,81	13,31	10,83	21,27	23,63	3,10**
5	29,21	14,23	11,69	21,33	25,02	3,51**
Tukeyev HSD	n.s.	1,60**	1,31**	n.s.	2,08**	
mg Cd kg ⁻¹ tla	Puna zrioba					
		Slama	Listovi ¹	Pljevica	Zrno	Tukeyev HSD
0		10,07	17,62	10,06	26,13	2,05**
2		10,86	17,95	11,99	26,77	2,06**
5		11,57	15,55	11,41	26,47	1,53**
Tukeyev HSD		1,45**	n.s.	1,32**	n.s.	

¹ U punoj zriobi listovi i list zastavičar su spojeni u jedan uzorak.

**=statistički značajno na razini P<0,01; *=statistički značajno na razini P<0,05; n.s.=nije statistički značajno

Dvosmjernom analizom varijance nije utvrđen značajan utjecaj interakcije sorte i tretmana Cd na iznošenje Zn masom suhe tvari ispitivanih dijelova pšenice u cvatnji i punoj zriobi (tablica 41).

Tablica 41. Analiza varijance iznošenja Zn masom suhe tvari ($\mu\text{g}/10$ vlati)

Iznošenje Zn ($\mu\text{g}/10$ vlati)				
Cvatnja				
	Izvor variranja	Stupnjevi slobode	P	Partial Eta squared
Korijen	Sorta	9	n.s.	0,45
	Cd tretman	2	n.s.	0,05
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,36
Stabljika	Sorta	9	0,0098	0,51
	Cd tretman	2	n.s.	0,00
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,18
Listovi	Sorta	9	0,0375	0,43
	Cd tretman	2	0,0189	0,23
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,48
List zastavičar	Sorta	9	n.s.	0,22
	Cd tretman	2	n.s.	0,03
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,49
Klas	Sorta	9	0,0004	0,77
	Cd tretman	2	n.s.	0,06
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,44
Puna zrioba				
	Izvor variranja	Stupnjevi slobode	P	Partial Eta squared
Slama	Sorta	9	n.s.	0,53
	Cd tretman	2	n.s.	0,02
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,46
Listovi ¹	Sorta	9	n.s.	0,19
	Cd tretman	2	n.s.	0,15
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,21
Pljevica	Sorta	9	0,0095	0,56
	Cd tretman	2	0,0405	0,10
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,32
Zrno	Sorta	9	n.s.	0,21
	Cd tretman	2	n.s.	0,01
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,25

Iznošenje Zn masom listova, tj. ukupno usvajanje Zn, u fazi cvatnje listovima te pljevicama i listovima u punoj zriobi bilo je pod statistički značajnim utjecajem kontaminacije tla Cd (tablica 42). Kod ostalih biljnih dijelova, između ispitivanih tretmana Cd, nisu utvrđene statistički značajne razlike u iznošenju Zn masom suhe tvari. Statistički značajne razlike u iznošenju Zn utvrđene su između ispitivanih biljnih dijelova u sva tri tretmana u cvatnji i punoj zriobi. U fazi cvatnje najviše Zn iznosila je stabljika, a u punoj zriobi zrno u sva tri tretmana Cd.

Tablica 42. Utjecaj kontaminacije tla Cd na iznošenje Zn (10 vlati) masom suhe tvari u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

mg Cd kg ⁻¹ tla	Cvatnja					
	Korijen	Stabljika	Listovi	Zastavičar	Klas	Tukeyev HSD
0	20,22	69,23	12,94	10,66	48,48	8,99**
2	18,64	65,34	16,17	10,59	48,10	10,22**
5	17,85	65,87	17,27	9,75	54,10	13,52**
Tukeyev HSD	n.s.	n.s.	2,60**	n.s.	n.s.	
mg Cd kg ⁻¹ tla	Puna zrioba					Tukeyev HSD
		Slama	Listovi ¹	Pljevica	Zrno	
0		23,50	26,08	24,06	139,09	12,85**
2		25,61	25,99	30,89	145,24	19,67**
5		24,00	18,21	24,55	131,70	11,32**
Tukeyev HSD		n.s.	7,05**	0,60*	n.s.	

**=statistički značajno na razini P<0,01; *=statistički značajno na razini P<0,05; n.s.=nije statistički značajno

Najveće ukupno usvajanje Zn do cvatnje bilo je stabljikom pšenice bez obzira na tretman tla Cd, a tek nešto niže bile su količine Zn u klasu. Prosječno dvostruko niže količine Zn bile su u korijenu, slijede listovi (izuzev zastavičara) te najmanje Zn u masi zastavičara. U žetvi je utvrđeno najveće ukupno usvajanje Zn masom zrna, prosječno pet do šest puta niže bile su količine Zn u masi slame ili listova koji su na sličnim razinama, a još 10-ak puta niže količine Zn u pljevicama.

Ispitivane sorte pšenice statistički se značajno razlikuju po koncentraciji Zn i usvajanju Zn masom korijena u sva tri tretmana Cd (tablica 43). Divana, Slavonija, U1 i Katarina mogu se izdvojiti kao sorte koje imaju visoku koncentraciju Zn u korijenu u fazi cvatnje u odnosu na ostale ispitivane sorte. Visoko usvajanje Zn masom korijena utvrđeno je kod sorte U1, Super Žitarke i Bezostaje. Najnižu koncentraciju i iznošenje Zn masom korijena u tretmanu s 5 mg Cd kg⁻¹ tla imala je sorta Pipi, a prosječno vrlo niske koncentracije i usvajanje Zn korijenom karakterizira sorte Osječka 20 i Sana.

Tablica 43. Različnost ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje ($\mu\text{g} / 10$ vlati) Zn masom suhe tvari korijena u fazi cvatnje u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

Korijen (cvatnja)						
	Koncentracija Zn (mg kg^{-1})			Iznošenje Zn ($\mu\text{g} / 10$ vlati)		
	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla
Bezostaja	26,709	39,975	32,276	20,084	30,599	28,472
Divana	36,749	33,388	44,061	23,149	20,845	14,557
Katarina	28,553	25,812	29,066	25,915	15,083	14,164
Osječka 20	20,773	20,807	22,182	15,296	12,703	16,560
Pipi	27,415	30,319	13,232	18,534	19,066	8,510
Sana	20,090	19,911	28,067	17,125	12,343	18,420
Slavonija	31,139	34,589	34,448	16,937	17,220	17,474
Srpanjka	27,336	24,224	37,563	20,255	14,754	13,170
Super Žitarka	21,611	23,952	25,485	20,935	19,168	23,850
U1	31,401	35,129	25,740	25,331	24,660	25,390
Aritmetička sredina	27,178	28,811	29,212	20,356	18,644	18,057
Tukeyev HSD	16,27*	12,76**	6,22**	8,99**	15,44**	10,60**

**=statistički značajno na razini $P < 0,01$; *=statistički značajno na razini $P < 0,05$; n.s.=nije statistički značajno

Ispitivane sorte pšenice, značajno se razlikuju po koncentraciji Zn u stabljici u sva tri tretmana Cd te u iznošenju Zn masom stabljike u fazi cvatnje na tlu kontaminiranom Cd (2 i 5 mg Cd kg^{-1}) (tablica 44).

Tablica 44. Različnost ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje ($\mu\text{g}/10$ vlati) Zn masom suhe tvari stabljike u fazi cvatnje u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

Stabljika (cvatnja)						
	Koncentracija Zn (mg kg^{-1})			Iznošenje Zn ($\mu\text{g} / 10$ vlati)		
	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla
Bezostaja	14,507	15,141	15,447	80,100	84,020	103,830
Divana	12,725	15,003	15,593	85,760	89,710	68,090
Katarina	13,606	18,389	21,233	66,240	68,880	46,800
Osječka 20	10,041	9,809	10,957	61,210	50,840	64,510
Pipi	10,290	10,537	10,895	48,610	44,300	44,450
Sana	9,717	12,877	11,157	77,140	73,620	60,690
Slavonija	12,846	14,881	15,718	50,870	44,060	42,530
Srpanjka	14,157	13,811	19,011	52,100	38,360	37,860
Super Žitarka	8,161	9,603	10,564	58,720	56,880	74,470
U1	9,922	13,124	11,804	91,980	102,770	115,470
Aritmetička sredina	11,597	13,318	14,238	67,273	65,344	65,870
Tukeyev HSD	4,71**	5,42*+	4,85*+	n.s.	54,87**	41,76**

**=statistički značajno na razini $P < 0,01$; *=statistički značajno na razini $P < 0,05$; n.s.=nije statistički značajno

Najnižu koncentraciju Zn u stabljici u fazi cvatnje imala je sorta Super Žitarka u sva tri tretmana Cd, a najvišu Katarina, Bezostaja i Srpanjka u sva tri tretmana Cd. Niske koncentracije Zn u stabljici na kontaminiranim tlima utvrđene su i za sorte Osječka 20 i Pipi. Unatoč visokoj koncentraciji Zn u stabljici, sorta Srpanjka je imala najniže iznošenja Zn masom stabljike u cvatnji na tlu kontaminiranom Cd (2 i 5 mg Cd kg⁻¹). Najveće iznošenje Zn masom stabljike imala je sorta U1 u sva tri tretmana Cd, a osim nje, visoko iznošenje Zn masom stabljike utvrđeno je i kod sorata Bezostaja i Divana.

U fazi cvatnje su utvrđene statistički značajne razlike u koncentraciji i iznošenju Zn masom listova između ispitivanih sorata na sve tri razine kontaminacija tla Cd (tablica 45). Sorta Srpanjka imala je približno jednaku koncentraciju i iznošenje Zn u tretmanima 0 i 2 mg Cd kg⁻¹ i po tim vrijednostima bila je u prosjeku ostalih sorata. No u tretmanu s 5 mg Cd kg⁻¹, Srpanjka je imala najvišu koncentraciju Zn i iznošenje Zn masom listova u odnosu na ostale sorte. Osim Srpanjke, visoku koncentraciju i iznošenje Zn imala je sorta Katarina. Najniža koncentracija Zn i vrlo nisko iznošenje utvrđeno je kod sorte U1. Osječka 20 je na tlu kontaminiranom Cd imala nisku koncentraciju i iznošenje Zn, ali je na nekontaminiranom tlu imala najviše iznošenje Zn masom listova u odnosu na ostale sorte.

Tablica 45. Različitoš ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg⁻¹) i iznošenje (μg/10 vlati) Zn masom suhe tvari listova u fazi cvatnje u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

	Listovi (cvatnja)					
	Koncentracija Zn (mg kg ⁻¹)			Iznošenje Zn (μg / 10 vlati)		
	0 mg Cd kg ⁻¹ tla	2 mg Cd kg ⁻¹ tla	5 mg Cd kg ⁻¹ tla	0 mg Cd kg ⁻¹ tla	2 mg Cd kg ⁻¹ tla	5 mg Cd kg ⁻¹ tla
Bezostaja	12,776	11,161	12,452	14,519	15,700	17,681
Divana	9,942	12,121	10,949	13,187	17,325	16,557
Katarina	8,049	14,529	13,261	12,983	26,068	22,609
Osječka 20	10,683	8,252	9,047	17,945	10,907	9,420
Pipi	11,280	12,312	12,914	16,280	14,267	14,685
Sana	6,436	10,683	8,897	8,400	15,304	12,719
Slavonija	14,758	11,776	11,289	16,144	19,937	17,161
Srpanjka	10,618	10,082	18,432	12,116	14,439	29,999
Super Žitarka	7,409	8,501	12,431	10,079	15,114	18,801
U1	5,384	8,962	7,253	7,790	12,668	10,827
Aritmetička sredina	9,733	10,838	11,693	12,945	16,173	17,046
Tukeyev HSD	4,23**	4,38**	5,72**	7,45**	8,10*+	11,03**

**=statistički značajno na razini P<0,01; *=statistički značajno na razini P<0,05; n.s.=nije statistički značajno

Statistički značajne razlike u koncentraciji Zn u listu zastavičaru između ispitivanih sorata pšenice utvrđene su na tlu kontaminiranom Cd (2 i 5 mg Cd kg⁻¹ tla), a u iznošenju Zn masom

lista zastavičara na nekontaminiranom tlu (tablica 46). Na nekontaminiranom tlu najnižu koncentraciju Zn u listu zastavičaru imale su sorte U1 i Sana, a najniže iznošenje u ovom tretmanu zabilježeno je kod sorte U1 i Slavonije. Najvišu koncentraciju Zn u listu zastavičaru na kontaminiranom tlu imale su sorte Pipi, Slavonija i Katarina. Unatoč visokoj koncentraciji Zn u listu zastavičaru u fazi cvatnje, u odnosu na ostale sorte, Slavonija je imala relativno nisko iznošenje Zn zastavičarom.

Tablica 46. Različitoš ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje ($\mu\text{g}/10$ vlati) Zn masom suhe tvari lista zastavičara u fazi cvatnje u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

	List zastavičar (cvatnja)					
	Koncentracija Zn (mg kg^{-1})			Iznošenje Zn ($\mu\text{g} / 10$ vlati)		
	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla
Bezostaja	28,167	18,085	15,712	13,291	8,598	11,567
Divana	19,030	20,624	24,453	8,556	12,128	6,540
Katarina	27,638	24,858	23,350	14,905	15,757	7,831
Osječka 20	19,960	17,111	17,396	16,171	8,956	11,483
Pipi	20,094	25,528	33,670	8,662	12,420	8,343
Sana	14,706	18,614	17,401	10,541	7,742	12,664
Slavonija	20,190	33,199	22,789	7,760	13,026	7,720
Srpanjka	22,972	22,095	20,366	10,000	8,913	8,035
Super Žitarka	16,484	19,301	19,369	9,380	10,265	9,692
U1	13,211	13,354	18,803	7,390	8,122	13,687
Aritmetička sredina	20,245	21,277	21,331	10,666	10,593	9,756
Tukeyev HSD	n.s.	12,90**	n.s.	7,15**	n.s.	n.s.

**=statistički značajno na razini $P < 0,01$; *=statistički značajno na razini $P < 0,05$; n.s.=nije statistički značajno

Utvrđene su statistički značajne razlike u koncentraciji i iznošenju Zn masom klasa u fazi cvatnje u sva tri tretmana Cd (tablica 47). Najvišu koncentraciju Zn u klasu u fazi cvatnje imale su sorte Osječka 20 i Katarina bez obzira na tretman tla Cd, a najnižim koncentracijama odlikovale su se sorte Super Žitarka i Pipi. Osječka 20 je imala i najviše iznošenje Zn masom klasa na tlu kontaminiranom Cd (2 i 5 mg Cd kg^{-1} tla), a na nekontaminiranom tlu je po tom svojstvu bila treća sorta. Na nekontaminiranom tlu najveće iznošenje Zn utvrđeno je kod sorata Super Žitarka i Sana, iako je koncentracija Zn posebice kod sorte Super Žitarka bila ispod prosjeka ostalih sorata. Najniža količina Zn u masi klasa tijekom cvatnje utvrđena je kod sorte Slavonija.

Tablica 47. Različnost ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje ($\mu\text{g}/10$ vlati) Zn masom suhe tvari klasa u fazi cvatnje u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

	Klas (cvatnja)					
	Koncentracija Zn (mg kg^{-1})			Iznošenje Zn ($\mu\text{g} / 10$ vlati)		
	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla
Bezostaja	24,248	23,841	25,985	54,946	45,998	60,230
Divana	21,442	22,883	24,175	38,963	51,840	27,520
Katarina	26,178	29,302	30,503	47,497	40,826	30,080
Osječka 20	28,837	28,495	29,603	59,505	81,982	71,980
Pipi	20,327	20,352	19,930	28,906	35,308	31,910
Sana	21,441	22,014	25,538	70,546	51,763	72,960
Slavonija	20,771	21,127	26,561	23,948	19,825	24,190
Srpanjka	22,195	24,430	22,849	34,552	28,164	19,720
Super Žitarka	19,725	21,052	22,021	78,221	68,924	84,900
U1	19,150	22,808	23,124	47,784	56,416	73,550
Aritmetička sredina	22,431	23,630	25,029	48,487	48,105	49,704
Tukeyev HSD	4,01**	4,74**	10,15*	20,02**	30,50**	38,20**

**=statistički značajno na razini $P < 0,01$; *=statistički značajno na razini $P < 0,05$; n.s.=nije statistički značajno

U punoj zriobi su utvrđene statistički značajne razlike u koncentraciji Zn i iznošenju Zn masom slame u sva tri tretmana Cd (tablica 48). Na nekontaminiranom tlu najvišu koncentraciju Zn u slami imale su Osječka 20 i Bezostaja te su ove dvije sorte imale i najviše iznošenje Zn na nekontaminiranom tlu. Na tlu kontaminiranom Cd najvišu koncentraciju Zn u slami imala je sorta Srpanjka, a najnižu U1. Prosječno, najnižim koncentracijama i iznošenjem Zn slamom odlikuje se sorta Sana, a najvišim Divana, te Bezostaja i Srpanjka.

Ispitivane sorte pšenice statistički značajno se razlikuju po koncentraciji Zn u listovima u punoj zriobi na sva tri tretmana Cd (tablica 49). Za iznošenje Zn masom listova u punoj zriobi utvrđene su statistički značajne razlike između ispitivanih sorata pšenice (tablica 49) jedino u tretmanu s 2 mg Cd kg^{-1} tla. Najvišu koncentraciju Zn u listovima na nekontaminiranom tlu imale su sorte Slavonija, Bezostaja i Katarina. Sorte Divana, Osječka 20, Slavonija i Super Žitarka su imale visoku koncentraciju Zn u listovima u punoj zriobi u tretmanima s 2 i 5 mg Cd kg^{-1} tla. Prosječno za sve tretmane najniže iznošenje i koncentracije Zn u listovima u punoj zriobi imala je sorta Sana, a najviše Slavonija.

Tablica 48. Različnost ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje ($\mu\text{g}/10$ vlati) Zn masom suhe tvari slame u punoj zriobi u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

Slama (puna zrioba)						
	Koncentracija Zn (mg kg^{-1})			Iznošenje Zn ($\mu\text{g} / 10$ vlati)		
	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla
Bezostaja	15,675	12,950	9,731	44,291	41,912	19,310
Divana	11,290	12,188	14,370	27,929	39,351	34,372
Katarina	11,546	11,942	14,253	19,891	28,596	24,653
Osječka 20	16,350	13,685	13,690	40,605	27,196	19,910
Pipi	7,609	8,114	10,137	16,877	17,704	20,838
Sana	4,576	8,097	9,145	10,137	17,274	22,046
Slavonija	9,062	10,060	11,741	14,409	21,616	29,628
Srpanjka	11,841	14,703	19,323	27,079	21,678	38,605
Super Žitarka	7,093	9,013	8,150	13,639	18,022	14,806
U1	5,692	7,926	5,216	20,430	22,821	15,833
Aritmetička sredina	10,073	10,868	11,576	23,529	25,617	24,000
Tukeyev HSD	4,75**	5,74**	4,71**	19,46**	19,57**	13,05**

**=statistički značajno na razini $P < 0,01$; *=statistički značajno na razini $P < 0,05$; n.s.=nije statistički značajno

Tablica 49. Različnost ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje ($\mu\text{g}/10$ vlati) Zn masom suhe tvari listova u punoj zriobi u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

Listovi (puna zrioba)						
	Koncentracija Zn (mg kg^{-1})			Iznošenje Zn ($\mu\text{g} / 10$ vlati)		
	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla
Bezostaja	20,329	14,461	14,779	32,368	27,413	16,022
Divana	15,064	20,518	18,810	18,064	36,698	16,439
Katarina	20,149	15,966	13,958	26,308	27,141	14,313
Osječka 20	15,343	21,327	18,581	33,983	26,549	20,227
Pipi	16,476	15,250	11,857	27,299	21,379	14,705
Sana	12,787	14,256	12,317	17,622	18,120	16,887
Slavonija	23,046	21,947	18,342	21,625	34,733	27,413
Srpanjka	15,956	14,317	14,597	18,267	14,754	17,307
Super Žitarka	19,092	17,608	20,208	24,639	20,502	20,077
U1	18,024	23,900	12,103	40,718	32,618	17,872
Aritmetička sredina	17,627	17,955	15,555	26,089	25,991	18,126
Tukeyev HSD	n.s.	8,74**	5,85**	n.s.	n.s.	n.s.

**=statistički značajno na razini $P < 0,01$; *=statistički značajno na razini $P < 0,05$; n.s.=nije statistički značajno

Jednosmjernom analizom varijance utvrđene su statistički značajne razlike između ispitivanih sorata pšenice u koncentraciji i iznošenju Zn masom pljevica u punoj zriobi u sva tri tretmana Cd (tablica 50). Sorta Super Žitarka je imala najnižu koncentraciju Zn u pljevicama na nekontaminiranom tlu, a najvišu koncentraciju imala je sorta U1. Osim na nekontaminiranom

tlu, sorta U1 je imala najvišu koncentraciju Zn i u tretmanima s 2 i 5 mg Cd kg⁻¹ tla u odnosu na ostale sorte te najviše iznošenje Zn pljevicama u sva tri tretmana Cd. Na tlu kontaminiranom (2 i 5 mg Cd kg⁻¹ tla) Cd najmanje iznošenje Zn masom pljevica utvrđeno je kod sorte Osječka 20, a na nekontaminiranom tlu kod Slavonije. Međutim, analizom koncentracija i iznošenja Zn pljevicama na svim tretmanima tla, na razini niskih vrijednosti najzastupljenije su sorte Sana, te Osječka 20, dok je na najvišim razinama sorta U1, a slijedi ju sorta Katarina.

Tablica 50. Različitos t ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg⁻¹) i iznošenje (μg/10 vlati) Zn masom suhe tvari pljevica u punoj zriobi u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

	Pljevica (puna zrioba)					
	Koncentracija Zn (mg kg ⁻¹)			Iznošenje Zn (μg / 10 vlati)		
	0 mg Cd kg ⁻¹ tla	2 mg Cd kg ⁻¹ tla	5 mg Cd kg ⁻¹ tla	0 mg Cd kg ⁻¹ tla	2 mg Cd kg ⁻¹ tla	5 mg Cd kg ⁻¹ tla
Bezostaja	14,467	10,753	9,043	36,927	36,276	20,960
Divana	7,913	13,240	11,106	19,309	45,599	23,476
Katarina	10,072	14,787	13,156	19,814	46,456	28,169
Osječka 20	9,381	8,179	8,187	24,656	11,809	10,778
Pipi	8,701	10,898	8,475	18,966	22,479	20,725
Sana	7,268	7,915	8,398	20,904	19,980	21,132
Slavonija	10,116	10,896	7,900	14,034	25,786	12,675
Srpanjka	8,906	11,227	15,943	17,236	21,394	36,850
Super Žitarka	6,347	8,299	11,660	15,640	18,683	24,051
U1	17,514	23,776	20,268	53,111	60,427	46,702
Aritmetička sredina	10,069	11,997	11,414	24,060	30,889	24,552
Tukeyev HSD	3,48**	4,38**	5,81**	21,54**	32,20**	22,22**

**=statistički značajno na razini P<0,01; *=statistički značajno na razini P<0,05; n.s.=nije statistički značajno

Ispitivane sorte pšenice značajno se razlikuju po koncentraciji Zn u zrnu u sva tri tretmana Cd što je dokazano jednosmjernom analizom varijance (tablica 51). Najvišu koncentraciju Zn u zrnu u sva tri tretmana Cd imala je sorta Osječka 20. Sana je imala najnižu koncentraciju Zn u zrnu na kontaminiranom tlu (2 i 5 mg Cd kg⁻¹ tla), a na nekontaminiranom tlu Super Žitarka, te sorta Sana. Ispitivane sorte pšenice značajno se razlikuju po iznošenju Zn masom zrna jedino na nekontaminiranom tlu (tablica 51). U ovom tretmanu najviše iznošenje imala je Osječka 20, a najniže sorta Slavonija. Vrlo niskim iznošenjem Zn u sva tri tretmana odlikuje se sorta Super Žitarka, a relativno visokim Bezostaja i Katarina.

Tablica 51. Različnost ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje ($\mu\text{g}/10$ vlati) Zn masom suhe tvari zrna u punoj zriobi u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

	Zrno (puna zrioba)					
	Koncentracija Zn (mg kg^{-1})			Iznošenje Zn ($\mu\text{g} / 10$ vlati)		
	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla
Bezostaja	34,125	33,233	25,420	176,261	234,784	142,514
Divana	24,659	31,630	26,811	139,496	150,305	113,246
Katarina	25,904	26,139	28,508	126,088	211,203	148,902
Osječka 20	35,785	35,189	34,592	212,277	122,714	124,333
Pipi	27,871	21,959	23,317	178,121	126,829	121,943
Sana	19,691	19,331	22,672	123,357	105,639	161,830
Slavonija	23,744	24,033	27,090	69,896	118,826	138,757
Srpanjka	23,306	23,994	24,592	112,006	125,412	164,414
Super Žitarka	17,764	22,194	24,582	93,271	117,901	106,344
U1	28,464	30,092	27,189	160,171	138,857	127,278
Aritmetička sredina	26,131	26,779	26,477	133,005	145,247	134,956
HSD _{0,05}	6,72**	10,68**	7,46**	130,45*	n.s.	n.s.

**=statistički značajno na razini $P < 0,01$; *=statistički značajno na razini $P < 0,05$; n.s.=nije statistički značajno

Ukupna količina Zn koja je iznesena prinosom nadzemne mase pšenice statistički se značajno ne razlikuje između ispitivanih tretmana kontaminacije tla Cd ($P = 0,324$), dok su između sorata utvrđene statistički značajne razlike na nekontaminiranom tlu (tablica 52). Pri tome najniže ukupno iznošenje Zn nadzemnom masom na nekontaminiranom tlu ima sorta Slavonija, a slijedi Super Žitarka, dok je najviše iznošenje sortom Bezostajom i Osječkom 20. Kontaminacijom tla Cd situacija se ipak nešto mijenja jer Slavonija više nema tako nisko iznošenje, čak je treća sorta po visini iznošenja Zn na najkontaminiranijem tlu, a na kontaminiranom se tlu visokim iznošenjem Zn najviše ističu sorte Bezostaja i Katarina. S druge strane na kontaminiranom je tlu nisko iznošenje Zn odlika Super Žitarke (kao i na nekontaminiranom tlu), ali i sorte Osječka 20 koja je imala najviše iznošenje na nekontaminiranom tlu.

Tablica 52. Različnost ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje ($\mu\text{g}/10$ vlati) Zn ukupnom nadzemnom masom biljke u punoj zriobi u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

Ukupno nadzemni dio biljke (puna zrioba)						
	Ukupna nadzemna masa (g/10 vlati)			Iznošenje Zn ($\mu\text{g} / 10$ vlati)		
	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla
Bezostaja	9,996	12,312	9,036	256,613	307,737	179,943
Divana	9,632	10,087	7,761	187,420	230,913	166,405
Katarina	8,041	12,369	8,306	174,269	271,586	190,685
Osječka 20	9,070	6,816	6,230	228,433	177,640	165,547
Pipi	10,659	9,537	8,605	224,194	168,160	159,558
Sana	10,165	9,173	11,182	153,207	143,031	202,877
Slavonija	5,626	9,044	9,718	107,334	177,754	197,065
Srpanjka	8,590	7,934	10,087	159,075	163,984	224,011
Super Žitarka	8,635	8,581	7,380	133,113	158,293	143,631
U1	11,665	9,130	9,662	226,631	200,339	165,653
Aritmetička sredina	9,208	9,498	8,797	185,029	199,944	179,538
Tukeyev HSD	4,95*	n.s.	4,58*	106,52**	n.s.	n.s.

**=statistički značajno na razini $P < 0,01$; *=statistički značajno na razini $P < 0,05$; n.s.=nije statistički značajno

5.2.2.3. Koncentracija i iznošenje željeza

Koncentracija Fe u korijenu u cvatnji te koncentracija Fe u pljevicama u punoj zriobi bile su pod statistički značajnim utjecajem interakcije sorte i kontaminacije tla Cd, što je utvrđeno dvosmjernom analizom varijance (tablica 53).

Tablica 53. Analiza varijance koncentracije Fe (mg kg^{-1}) u ispitivanim dijelovima pšenice

Koncentracija Fe (mg kg^{-1})				
Cvatnja				
	Izvor variranja	Stupnjevi slobode	P	Partial Eta squared
Korijen	Sorta	9	0,0019	0,62
	Cd tretman	2	0,0170	0,08
	Sorta*Cd tretman	18	0,0074	0,56
Stabljika	Sorta	9	0,0183	0,57
	Cd tretman	2	n.s.	0,01
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,25
Listovi	Sorta	9	0,0359	0,31
	Cd tretman	2	n.s.	0,02
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,31
List zastavičar	Sorta	9	n.s.	0,80
	Cd tretman	2	n.s.	0,04
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,39
Klas	Sorta	9	0,0102	0,78
	Cd tretman	2	n.s.	0,00
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,25
Puna zrioba				
	Izvor variranja	Stupnjevi slobode	P	Partial Eta squared
Slama	Sorta	9	n.s.	0,58
	Cd tretman	2	n.s.	0,14
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,32
Listovi ¹	Sorta	9	n.s.	0,53
	Cd tretman	2	n.s.	0,11
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,43
Pljevica	Sorta	9	0,0092	0,47
	Cd tretman	2	0,0253	0,10
	Sorta*Cd tretman	18	0,0434	0,37
Zrno	Sorta	9	0,0108	0,69
	Cd tretman	2	n.s.	0,10
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,39

Kontaminacija tla Cd je značajno utjecala na promjenu koncentracije Fe u korijenu u cvatnji te u pljevicama u punoj zriobi (tablica 54). Najviša koncentracija Fe u fazi cvatnje utvrđena je u korijenu u sva tri tretmana Cd, a u punoj zriobi najviša koncentracija Fe utvrđena je u listu u sva tri tretmana Cd.

Statistički značajne razlike u koncentraciji Fe između ispitivanih biljnih dijelova utvrđene su u sva tri tretmana Cd u cvatnji i punoj zriobi (tablica 54). Koncentracija Fe u cvatnji opadala je u nizu: korijen – listovi – zastavičar – stabljika – klas, a u punoj zriobi opadajući je niz koncentracije Fe: listovi – pljevica – slama – zrno.

Tablica 54. Utjecaj kontaminacije tla Cd na koncentraciju Fe u pšenici u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

mg Cd kg ⁻¹ tla	Cvatnja					
	Korijen	Stabljika	Listovi	Zastavičar	Klas	Tukeyev HSD
0	1446,2	53,32	237,54	179,94	40,12	160,7**
2	1374,2	51,54	228,77	187,04	39,73	156,2**
5	1251,9	50,73	226,42	186,68	39,43	131,5**
Tukeyev HSD	170,62*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
mg Cd kg ⁻¹ tla	Puna zrioba					Tukeyev HSD
		Slama	Listovi ¹	Pljevica	Zrno	
0		71,126	1677,5	129,47	33,176	119,8**
2		65,739	1517,1	148,75	29,269	106,7**
5		83,321	1426,4	158,85	28,608	127,7**
Tukeyev HSD		n.s.	n.s.	26,40**	n.s.	

¹ U punoj zriobi listovi i list zastavičar su spojeni u jedan uzorak.

**=statistički značajno na razini P<0,01; *=statistički značajno na razini P<0,05; n.s.=nije statistički značajno

Dvosmjernom analizom varijance utvrđen je statsitički značajan utjecaj interakcije sorte i kontaminacije tla Cd na iznošenje Fe masom suhe tvari klasa u cvatnje i zrna u punoj zriobi (tablica 55).

Tablica 55. Analiza varijance iznošenja Fe masom suhe tvari (($\mu\text{g}/10$ vlati)

Iznošenje Fe ($\mu\text{g}/10$ vlati)				
Cvatnja				
	Izvor variranja	Stupnjevi slobode	P	Partial Eta squared
Korijen	Sorta	9	n.s.	0,53
	Cd tretman	2	n.s.	0,30
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,65
Stabljika	Sorta	9	0,0431	0,50
	Cd tretman	2	n.s.	0,02
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,21
Listovi	Sorta	9	n.s.	0,32
	Cd tretman	2	n.s.	0,02
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,19
List zastavičar	Sorta	9	n.s.	0,69
	Cd tretman	2	n.s.	0,03
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,44
Klas	Sorta	9	0,0019	0,68
	Cd tretman	2	n.s.	0,02
	Sorta*Cd tretman	18	0,0268	0,40
Puna zrioba				
	Izvor variranja	Stupnjevi slobode	P	Partial Eta squared
Slama	Sorta	9	n.s.	0,44
	Cd tretman	2	n.s.	0,06
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,31
Listovi	Sorta	9	n.s.	0,24
	Cd tretman	2	0,0340	0,14
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,32
Pljevica	Sorta	9	n.s.	0,33
	Cd tretman	2	n.s.	0,07
	Sorta*Cd tretman	18	n.s.	0,26
Zrno	Sorta	9	0,0034	0,40
	Cd tretman	2	n.s.	0,05
	Sorta*Cd tretman	18	0,0231	0,26

Statistički značajne razlike u iznošenju Fe između ispitivanih tretmana Cd utvrđene su samo u listovima u punoj zriobi (tablica 56). Listovima u punoj zriobi iznesena je najveća količina Fe u sva tri tretmana Cd u odnosu na ostale dijelove biljke u cvatnji i punoj zriobi, a najmanje je bilo iznošenje Fe klasom u cvatnji te pljevicama u punoj zriobi.

Tablica 56. Utjecaj kontaminacije tla Cd na iznošenje Fe ($\mu\text{g}/10$ vlati) masom suhe tvari u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

mg Cd kg^{-1} tla	Cvatnja					Tukeyev HSD
	Korijen	Stabljika	Listovi	Zastavičar	Klas	
0	1121,58	300,40	319,43	101,11	84,08	194,3**
2	873,79	227,19	345,14	94,91	77,64	332,4**
5	808,356	240,70	331,33	92,18	81,19	148,2**
Tukeyev HSD	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
mg Cd kg^{-1} tla	Puna zrioba					Tukeyev HSD
		Slama	Listovi ¹	Pljevica	Zrno	
0		159,74	2493,30	28,580	178,88	359,6**
2		150,14	2157,70	35,634	164,33	332,5
5		183,37	1669,70	31,833	140,76	332,3**
Tukeyev HSD		n.s.	650,6**	n.s.	n.s.	

**=statistički značajno na razini $P<0,01$; *=statistički značajno na razini $P<0,05$; n.s.=nije statistički značajno

Tukeyevim HSD testom utvrđene su statistički značajne razlike između sorata pšenice u koncentraciji i iznošenju Fe masom korijena u sva tri tretmana Cd (tablica 57). Sorte Srpanjka i Katarina imale su najvišu, a Osječka 20 najnižu koncentraciju i iznošenje Fe na nekontaminiranom tlu. Osječka 20 je imala nisku koncentraciju i iznošenje Fe masom korijena u fazi cvatnje i na tlu kontaminiranom Cd. Najvišu koncentraciju Fe u korijenu na kontaminiranom tlu imala je sorta Slavonija, te iznošenje masom korijena na kontaminiranom tlu tretmanom s 2 mg Cd kg^{-1} tla, a sorta U1 imala je najviše iznošenje Fe korijenom u tretmanu s 5 mg Cd kg^{-1} tla.

Ispitivane sorte pšenice značajno se razlikuju po koncentraciji Fe i iznošenju Fe masom stabljike u fazi cvatnje u sva tri tretmana Cd (tablica 58). Najvišu koncentraciju Fe u stabljici u sva tri tretmana Cd imala je sorta Slavonija, a slijede sorte Srpanjka, Pipi i Katarina. Unatoč visokoj koncentraciji Fe u stabljici u sva tri tretmana Cd, sorta Srpanjka je imala najniže iznošenje Fe masom stabljike u odnosu na ostale sorte u sva tri tretmana Cd. Visoko iznošenje Fe u sva tri tretmana Cd imala je sorta U1.

Tablica 57. Različnost ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje ($\mu\text{g}/10$ vlati) Fe masom suhe tvari korijena u fazi cvatnje u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

Korijen (cvatnja)						
	Koncentracija Fe (mg kg^{-1})			Iznošenje Fe ($\mu\text{g} / 10$ vlati)		
	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla
Bezostaja	892,922	1476,070	1314,020	605,011	1129,680	1146,760
Divana	1360,260	1045,600	828,813	865,550	655,532	270,484
Katarina	2151,870	1413,030	1490,860	1955,940	814,107	725,443
Osječka 20	647,200	601,654	731,432	488,507	368,919	553,082
Pipi	1571,500	1650,890	720,051	1080,180	1037,700	465,100
Sana	1284,320	1058,580	1459,100	1104,870	659,490	986,400
Slavonija	1181,340	2355,070	1882,800	692,878	1161,430	963,608
Srpanjka	2671,000	1527,940	1449,560	1984,340	914,363	437,902
Super Žitarka	1375,240	1054,480	1160,700	1335,310	886,036	1072,200
U1	1326,290	1558,920	1481,710	1103,260	1110,670	1462,580
Srednja vrijednost	1446,194	1374,223	1251,905	1121,585	873,793	808,356
Tukeyev HSD	444,7**	903,7**	811,2**	531,6**	787,7*	554,9**

**=statistički značajno na razini $P < 0,01$; *=statistički značajno na razini $P < 0,05$; n.s.=nije statistički značajno

Tablica 58. Različnost ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje ($\mu\text{g}/10$ vlati) Fe masom suhe tvari stabljike u fazi cvatnje u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

Stabljika (cvatnja)						
	Koncentracija Fe (mg kg^{-1})			Iznošenje Fe ($\mu\text{g} / 10$ vlati)		
	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla
Bezostaja	43,150	42,536	39,213	244,27	236,48	258,53
Divana	39,386	37,226	41,758	268,45	224,74	192,97
Katarina	49,216	50,889	56,877	236,53	179,39	122,27
Osječka 20	44,259	33,512	48,540	269,82	177,97	299,4
Pipi	68,711	53,457	54,906	346,3	222,57	217,85
Sana	33,470	33,447	33,085	267,21	191,32	188,88
Slavonija	110,660	130,771	87,911	437,62	392,53	233,55
Srpanjka	54,327	63,813	50,120	197,92	157,62	100,05
Super Žitarka	39,135	30,794	51,734	282,13	184,79	370,7
U1	50,963	39,046	43,230	453,66	304,46	422,49
Srednja vrijednost	53,328	51,549	50,737	300,391	227,187	240,669
Tukeyev HSD	39,5**	29,9**	25,4**	255,7*	156,5**	202,9**

**=statistički značajno na razini $P < 0,01$; *=statistički značajno na razini $P < 0,05$; n.s.=nije statistički značajno

Prosječne koncentracije i iznošenja Fe listovima u fazi cvatnje bile su ujednačene po tretmanima, ali su između sorata utvrđene statistički značajne razlike u tretmanima s 2 i 5 mg Cd kg^{-1} tla (tablica 59). Na tlu nekontaminiranom Cd i u tretmanu s 2 mg Cd kg^{-1} tla najnižu koncentraciju Fe u listovima imala je sorta Osječka 20, a u tretmanu s 5 mg Cd kg^{-1} tla

Srpanjka. Srpanjka je imala i nisko iznošenje Fe u sva tri tretmana Cd. Visoko iznošenje Fe masom listova u fazi cvatnje imale su sorte Super Žitarka i Katarina.

Tablica 59. Različitoš ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje ($\mu\text{g}/10$ vlati) Fe masom suhe tvari listova u fazi cvatnje u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

	Listovi (cvatnja)					
	Koncentracija Fe (mg kg^{-1})			Iznošenje Fe ($\mu\text{g} / 10$ vlati)		
	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla
Bezostaja	258,161	203,480	179,119	296,300	282,592	256,647
Divana	249,990	225,307	264,254	331,387	322,401	383,344
Katarina	227,617	266,455	228,390	367,757	488,914	388,504
Osječka 20	199,945	183,913	251,075	333,793	245,827	259,780
Pipi	209,353	250,598	252,745	295,414	292,408	296,068
Sana	243,467	209,462	212,741	317,094	300,270	312,147
Slavonija	264,942	255,869	239,627	289,692	437,109	354,283
Srpanjka	210,014	190,031	156,870	239,170	274,035	256,587
Super Žitarka	250,912	245,024	283,186	339,211	438,085	443,131
U1	261,021	257,657	196,273	384,492	369,795	282,110
Srednja vrijednost	237,542	228,779	226,428	319,431	345,144	323,260
Tukeyev HSD	n.s.	81,2**	98,7**	n.s.	195,8**	187,3*

**=statistički značajno na razini $P<0,01$; *=statistički značajno na razini $P<0,05$; n.s.=nije statistički značajno

Utvrđene su statistički značajne razlike između ispitivanih sorata pšenice u koncentraciji Fe u listu zastavičaru u fazi cvatnje u sva tri tretmana Cd i iznošenju Fe na nekontaminiranom tlu (tablica 60). Najvišu koncentraciju i iznošenje Fe masom lista zastavičara u fazi cvatnje imala je sorta Osječka 20 u sva tri tretmana Cd, a slijedi ju sorta Super Žitarka. Najnižim koncentracijama i iznošenjem okarakterizirane su sorte Srpanjka i Bezostaja.

U fazi cvatnje, ispitivane sorte pšenice su se statistički značajno razlikovale po koncentraciji i iznošenju Fe masom klasa u sva tri tretmana Cd (tablica 61). Najnižu koncentraciju Fe u klasu na sva tri tretmana Cd imala je Super Žitarka, no unatoč tome, iznošenje Fe kod ove sorte nije bilo nisko. Vrlo nisku koncentraciju Fe imala je i sorta U1. Bezostaja, Divana i Srpanjka su imale visoku koncentraciju Fe u sva tri tretmana Cd, a po visini iznošenja Fe ističu se Bezostaja, Osječka 20 i Sana. Najniže iznošenje Fe masom klasa utvrđeno je u sorte Slavonija u sva tri tretmana Cd.

Tablica 60. Različnost ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje ($\mu\text{g}/10$ vlati) Fe masom suhe tvari lista zastavičara u fazi cvatnje u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

List zastavičar (cvatnja)						
	Koncentracija Fe (mg kg^{-1})			Iznošenje Fe ($\mu\text{g} / 10$ vlati)		
	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla
Bezostaja	158,666	142,362	153,636	75,630	67,450	123,190
Divana	168,083	151,410	161,155	77,150	91,920	42,880
Katarina	194,374	162,814	193,458	105,190	103,910	66,570
Osječka 20	258,642	269,565	257,473	217,180	143,560	171,070
Pipi	168,058	203,521	182,774	72,680	99,200	46,200
Sana	186,651	172,199	170,654	133,000	71,620	121,890
Slavonija	155,402	210,151	200,314	60,140	82,400	68,880
Srpanjka	136,532	163,110	171,941	59,600	66,610	69,850
Super Žitarka	196,532	225,026	216,064	111,560	119,700	107,250
U1	176,502	170,205	159,346	99,020	102,730	104,100
Srednja vrijednost	179,944	187,036	186,682	101,115	94,910	92,188
Tukeyev HSD	95,0*	74,6**	81,4*	111,0**	n.s.	n.s.

**=statistički značajno na razini $P < 0,01$; *=statistički značajno na razini $P < 0,05$; n.s.=nije statistički značajno

Tablica 61. Različnost ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje ($\mu\text{g}/10$ vlati) Fe masom suhe tvari klasa u fazi cvatnje u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

Klas (cvatnja)						
	Koncentracija Fe (mg kg^{-1})			Iznošenje Fe ($\mu\text{g} / 10$ vlati)		
	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla
Bezostaja	48,180	53,933	47,612	108,290	104,070	111,470
Divana	46,339	45,005	47,771	85,020	101,700	55,130
Katarina	43,152	41,088	41,990	78,140	56,750	41,710
Osječka 20	45,652	37,311	41,064	94,110	107,480	99,760
Pipi	36,666	34,079	41,156	52,120	59,310	65,480
Sana	39,569	38,513	38,814	129,850	88,390	106,950
Slavonija	38,038	42,136	32,603	43,400	39,330	31,150
Srpanjka	48,934	50,323	46,265	76,780	59,400	40,220
Super Žitarka	25,486	27,345	26,246	101,030	89,620	100,840
U1	29,226	27,643	30,776	72,110	70,400	97,440
Srednja vrijednost	40,124	39,738	39,430	84,085	77,645	75,015
Tukeyev HSD	9,7**	13,0**	9,1**	34,9**	55,0**	52,1**

**=statistički značajno na razini $P < 0,01$; *=statistički značajno na razini $P < 0,05$; n.s.=nije statistički značajno

Ispitivane sorte pšenice značajno su se razlikovale po koncentraciji i iznošenju Fe masom slame u punoj zriobi u sva tri tretmana Cd (tablica 62). Sorta Pipi je imala najnižu koncentraciju i iznošenje Fe na nekontaminiranom tlu, a sorta Super Žitarka na kontaminiranom tlu. Sorta Slavonija je imala najvišu koncentraciju Fe u slami u punoj zriobi

u sva tri tretmana Cd te najviše iznošenje Fe na tlu kontaminiranom s 5 mg Cd kg⁻¹ tla. Na nekontaminiranom tlu najviše iznošenje utvrđeno je za sortu U1.

Tablica 62. Različitoš ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg⁻¹) i iznošenje (µg/10 vlati) Fe masom suhe tvari slame u punoj zriobi u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

Slama (puna zrioba)						
	Koncentracija Fe (mg kg ⁻¹)			Iznošenje Fe (µg / 10 vlati)		
	0 mg Cd kg ⁻¹ tla	2 mg Cd kg ⁻¹ tla	5 mg Cd kg ⁻¹ tla	0 mg Cd kg ⁻¹ tla	2 mg Cd kg ⁻¹ tla	5 mg Cd kg ⁻¹ tla
Bezostaja	54,914	66,574	63,985	163,82	209,46	117,80
Divana	70,054	51,695	107,739	172,78	156,73	261,33
Katarina	75,501	72,981	116,710	128,70	174,27	204,43
Osječka 20	59,775	81,723	73,999	136,31	160,66	111,62
Pipi	38,943	51,384	77,830	89,62	116,99	159,43
Sana	65,234	59,558	56,050	146,10	127,99	134,57
Slavonija	144,336	99,436	147,610	230,16	206,05	402,70
Srpanjka	68,137	83,266	62,865	164,95	123,26	122,64
Super Žitarka	65,560	40,206	58,144	125,64	78,02	106,65
U1	68,810	50,562	68,276	239,32	148,00	212,52
Srednja vrijednost	71,126	65,739	83,321	159,741	150,143	183,371
Tukeyv HSD	47,6**	37,7**	62,5**	137,7*	104,6**	197,5**

**=statistički značajno na razini P<0,01; *=statistički značajno na razini P<0,05; n.s.=nije statistički značajno

Utvrđene su statistički značajne razlike između sorata u koncentraciji Fe u listovima i pljevicama u sva tri tretmana Cd te u iznošenju Fe masom listova i pljevica na nekontaminiranom tlu i u tretmanu s 2 mg Cd kg⁻¹ tla (tablica 63 i tablica 64). Na tlu nekontaminiranom Cd najvišu koncentraciju Fe u listovima i pljevicama u odnosu na ostale sorte imale su Katarina i Slavonija. Slavonija je imala najvišu koncentraciju Fe u listovima i iznošenje Fe masom listova na tlu kontaminiranom Cd (2 i 5 mg Cd kg⁻¹ tla). Osječka 20, U1 i Katarina su imale najviše iznošenje Fe masom listova na nekontaminiranom tlu.

Na tlu kontaminiranom Cd najvišu koncentraciju Fe u pljevicama imale su sorte Katarina i Osječka 20. Katarina je imala i visoko iznošenje Fe masom pljevica u sva tri tretmana Cd, dok je najviše iznošenje na nekontaminiranom tlu imala sorta Sana, a na tlu kontaminiranom s 5 mg Cd kg⁻¹ tla sorta U1.

Tablica 63. Različnost ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje ($\mu\text{g}/10$ vlati) Fe masom suhe tvari listova u punoj zriobi u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

	Listovi (puna zrioba)					
	Koncentracija Fe (mg kg^{-1})			Iznošenje Fe ($\mu\text{g} / 10$ vlati)		
	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla
Bezostaja	1597,230	1443,380	1416,940	2618,240	2762,570	1628,800
Divana	1626,700	998,066	1345,660	1996,320	1810,980	1287,780
Katarina	2495,390	1171,530	1606,450	3266,120	1895,700	1655,710
Osječka 20	1809,690	1717,770	1429,340	3866,800	2122,470	1541,220
Pipi	1432,180	1654,900	1407,980	2421,040	2157,360	1610,970
Sana	1671,790	1229,220	1069,310	2298,650	1550,280	1464,680
Slavonija	1844,050	2588,130	2325,040	1655,820	4209,420	3217,690
Srpanjka	1233,200	1363,200	854,061	1367,910	1397,450	970,581
Super Žitarka	1436,130	2043,310	1713,850	1900,410	2384,240	1615,670
U1	1629,060	961,797	1094,880	3541,510	1286,310	1437,000
Srednja vrijednost	1677,542	1517,130	1426,351	2493,282	2157,678	1643,010
Tukeyev HSD	780,5**	678,8**	942,6**	2450,7*	2143,8**	n.s.

**=statistički značajno na razini $P<0,01$; *=statistički značajno na razini $P<0,05$; n.s.=nije statistički značajno

Tablica 64. Različnost ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg^{-1}) i iznošenje ($\mu\text{g}/10$ vlati) Fe masom suhe tvari pljevica u punoj zriobi u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

	Pljevica (puna zrioba)					
	Koncentracija Fe (mg kg^{-1})			Iznošenje Fe ($\mu\text{g} / 10$ vlati)		
	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla	0 mg Cd kg^{-1} tla	2 mg Cd kg^{-1} tla	5 mg Cd kg^{-1} tla
Bezostaja	153,458	135,230	102,390	36,051	42,075	23,162
Divana	86,379	80,343	72,838	21,293	27,403	15,414
Katarina	182,513	195,350	208,176	35,844	61,416	45,889
Osječka 20	111,530	197,081	223,200	28,464	28,333	30,510
Pipi	153,796	169,911	180,692	33,127	34,881	35,098
Sana	168,407	182,599	122,382	45,769	46,187	30,669
Slavonija	173,869	135,953	233,058	23,629	31,048	37,355
Srpanjka	127,209	160,407	135,606	24,528	29,590	31,143
Super Žitarka	85,456	122,426	106,974	21,134	27,727	21,782
U1	52,105	108,178	203,217	15,963	27,685	47,304
Srednja vrijednost	129,472	148,748	158,853	28,580	35,634	31,833
Tukeyev HSD	89,7**	92,8**	120,6**	20,0**	31,7*	n.s.

**=statistički značajno na razini $P<0,01$; *=statistički značajno na razini $P<0,05$; n.s.=nije statistički značajno

Ispitivane sorte pšenice značajno se razlikuju po koncentraciji i iznošenju Fe masom zrna u sva tri tretmana Cd (tablica 65). Sorte Katarina, Osječka 20, Bezostaja i U1 ističu se kao sorte s najvišom koncentracijom Fe u zrnu u punoj zriobi u sva tri tretmana u odnosu na ostale sorte. Navedene sorte imale su i visoko iznošenje Fe masom zrna barem u jednom od

tretmana Cd. Na nekontaminiranom tlu najviše iznošenje imala je sorta Osječka 20, u tretmanu s 2 mg Cd kg⁻¹ tla sorta Bezostaja dok je u tretmanu s 5 mg Cd kg⁻¹ tla najviše Fe masom zrna iznosila sorta Katarina. Nisku koncentraciju i iznošenje Fe masom zrna u sva tri tretmana imale su sorte Divana i Srpanjka.

Tablica 65. Različitoš ispitivanih sorata pšenice s obzirom na koncentraciju (mg kg⁻¹) i iznošenje (µg/10 vlati) Fe masom suhe tvari zrna u punoj zriobi u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

	Zrno (puna zrioba)					
	Koncentracija Fe (mg kg ⁻¹)			Iznošenje Fe (µg / 10 vlati)		
	0 mg Cd kg ⁻¹ tla	2 mg Cd kg ⁻¹ tla	5 mg Cd kg ⁻¹ tla	0 mg Cd kg ⁻¹ tla	2 mg Cd kg ⁻¹ tla	5 mg Cd kg ⁻¹ tla
Bezostaja	41,683	42,109	24,610	216,357	300,780	139,661
Divana	15,560	17,036	17,644	87,649	79,339	73,736
Katarina	53,308	35,236	41,642	254,843	293,866	221,003
Osječka 20	49,367	41,225	43,050	295,309	143,726	153,402
Pipi	34,785	33,494	24,709	227,930	198,450	128,180
Sana	42,784	19,454	27,521	273,778	108,063	196,700
Slavonija	22,305	26,295	29,856	66,987	132,082	151,712
Srpanjka	20,257	16,999	16,624	94,572	89,194	111,924
Super Žitarka	22,725	22,189	22,707	112,436	117,779	99,816
U1	28,988	38,651	37,721	158,966	180,064	176,418
Srednja vrijednost	33,176	29,269	28,608	178,883	164,334	145,255
Tukeyev HSD	22,9**	14,3**	10,7**	226,5**	201,7**	88,4**

**=statistički značajno na razini P<0,01; *=statistički značajno na razini P<0,05; n.s.=nije statistički značajno

Ukupna količina Fe koja je iznesena prinosom nadzemne mase pšenice statistički se značajno razlikuje između ispitivanih tretmana kontaminacije tla Cd (P = 0,005), ali i između sorata na nekontaminiranom i tlu kontaminiranom sa 2 mg Cd kg⁻¹ tla (tablica 66). Pri tome najniže ukupno iznošenje Fe nadzemnom masom na nekontaminiranom tlu ima sorta Srpanjka, a slijede Slavonija i Super Žitarka, dok je najviše iznošenje sortom Osječka 20, te sortama U1 i Katarina.

Kontaminacija tla Cd vrlo je značajno promijenila odnose sorata u iznošenju Fe te uz Srpanjku najmanje Fe na kontaminiranim tlima iznose U1 i Sana, a na vrlo kontaminiranom tlu i Divana. S druge strane, najviše Fe na kontaminiranom tlu ne iznose sorte koje su najviše iznosile na nekontaminiranom tlu (Osječka 20, U1, i Katarina), već Slavonija i Bezostaja na nižoj razini kontaminacije te Slavonija i Katarina na višoj razini kontaminacije tla Cd.

Tablica 66. Različitoš ispitivanih sorata pšenice s obzirom na ukupno iznošenje ($\mu\text{g}/10$ vlati) Fe nadzemnim dijelom biljke u punoj zriobi u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

Iznošenje Fe ukupnim nadzemnim dijelom biljke (puna zrioba)						
	Ukupna nadzemna masa (g/10 vlati)			Iznošenje Fe ($\mu\text{g} / 10$ vlati)		
	0 mg Cd kg^{-1}tla	2 mg Cd kg^{-1}tla	5 mg Cd kg^{-1}tla	0 mg Cd kg^{-1}tla	2 mg Cd kg^{-1}tla	5 mg Cd kg^{-1}tla
Bezostaja	9,996	12,312	9,036	3034,471	3314,883	1909,426
Divana	9,632	10,087	7,761	2278,044	2074,447	1638,264
Katarina	8,041	12,369	8,306	3685,507	2425,252	2127,033
Osječka 20	9,070	6,816	6,230	4326,883	2455,186	1836,756
Pipi	10,659	9,537	8,605	2771,717	2507,678	1933,680
Sana	10,165	9,173	11,182	2764,296	1832,523	1826,622
Slavonija	5,626	9,044	9,718	1976,599	4578,605	3809,455
Srpanjka	8,590	7,934	10,087	1651,962	1639,491	1236,287
Super Žitarka	8,635	8,581	7,380	2159,616	2607,769	1843,919
U1	11,665	9,130	9,662	3955,759	1642,060	1873,244
Srednja vrijednost	9,208	9,498	8,797	2860,485	2507,789	2003,469
Tukeyev HSD	4,9*	n.s.	4,5*	2502,6*	2280,2**	n.s.

**=statistički značajno na razini $P < 0,01$; *=statistički značajno na razini $P < 0,05$; n.s.=nije statistički značajno

5.2.3. Usporedba koncentracija i iznošenja kadmija, cinka i željeza između prve (2007./2008.) i druge (2008./2009.) godine pokusa

U drugoj godini pokusa (2008./2009.) koncentracije Cd, Fe i Zn u zrnu bile su statistički značajno niže nego u prvoj godini (2007./2008.) (tablica 57.), kao i iznošenje ovih elemenata masom zrna u punoj zriobi (tablica 58.).

Tablica 57. Usporedba koncentracija Cd, Fe i Zn u zrnu na nekontaminiranom tlu u prvoj i drugoj godini pokusa.

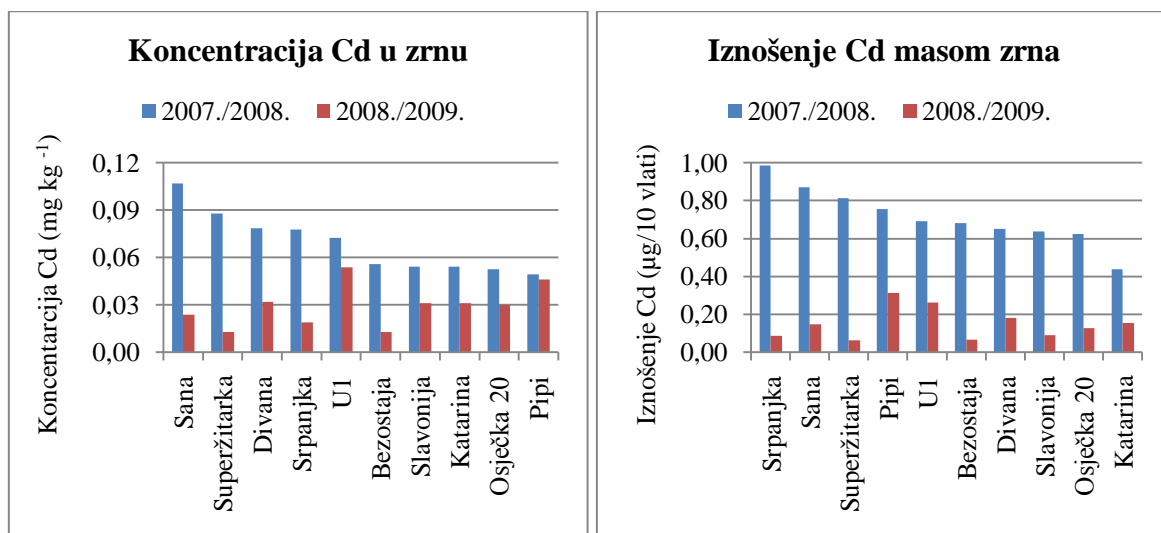
Godina	Koncentracija u zrnu (mg kg^{-1})		
	Cd	Fe	Zn
2007. / 2008.	0,069	43,255	35,075
2008. / 2009.	0,031	33,176	26,131
Tukeyev HSD	0,01**	5,21**	3,28**

U drugoj godini pokusa ispitivane sorte su imale statistički značajno nižu masu zrna po klasu (tablica 12.). što je uz nižu koncentraciju sva tri elementa rezultiralo značajno nižim iznošenjem u drugoj godini pokusa.

Tablica 58. Usporedba iznošenje Cd, Fe i Zn masom zrna na nekontaminiranom tlu u prvoj i drugoj godini pokusa.

Godina	Iznošenje masom zrna ($\mu\text{g} / 10 \text{ vlati}$)		
	Cd	Fe	Zn
2007. / 2008.	0,715	458,10	396,75
2008. / 2009.	0,150	178,88	133,00
Tukeyev HSD	0,08**	63,6**	58,6**

U prvoj godini pokusa sve ispitivane sorte su imale koncentraciju i iznošenje Cd više nego u drugoj godini pokusa (grafikon 9), no statistički značajne razlike u koncentraciji Cd između prve i druge godine pokusa utvrđene su za sorte Bezostaja, Divana, Sana, Srpanjka i Super Žitarka. (Prilog, tablica 75.). Statistički značajne razlike u iznošenju Cd masom zrna u punoj zriobi između prve i druge godine pokusa utvrđene su za sve sorte, osim za sortu Pipi (Prilog, tablica 78.).

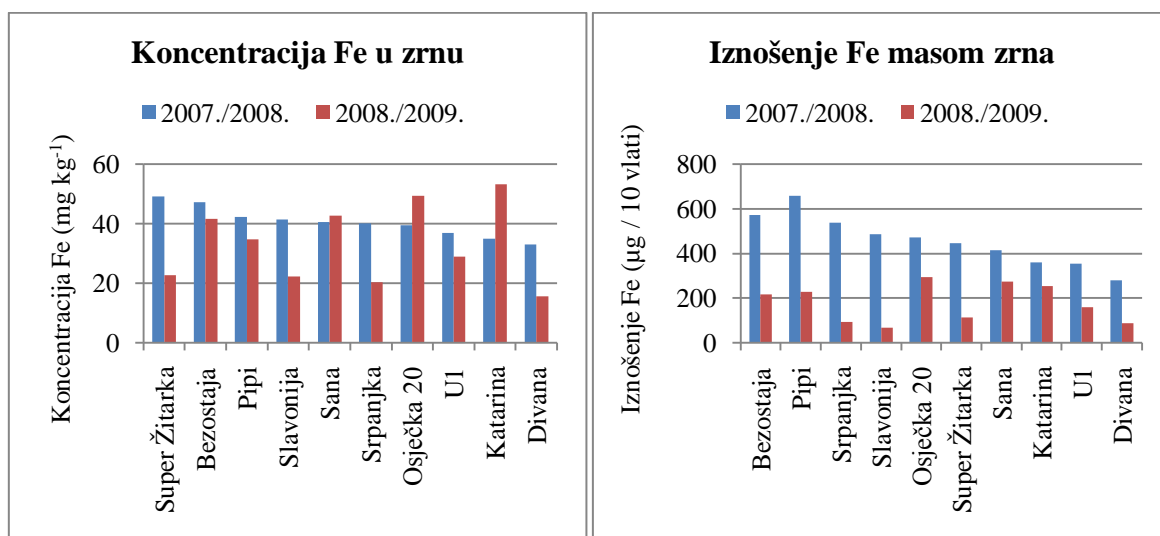


Grafikon 9. Koncentracija (mg kg^{-1}) i iznošenje ($\mu\text{g}/10 \text{ vlati}$) masom zrna na nekontaminiranom tlu u prvoj i drugoj godini pokusa.

Sana, Osječka 20 i Katarina su imale višu koncentraciju Fe u zrnu na nekontaminiranom tlu u drugoj u odnosu na prvu godinu pokusa (grafikon 10.). Kod sorte Sana razlika u koncentraciji Fe između prve i druge godine pokusa nije bila statistički značajna, dok je kod Osječke 20 i Katarine ta razlika bila statistički značajna (prilog, tablica 76.). Statistički značajne razlike u koncentraciji Fe u zrnu između prve i druge godine pokusa utvrđene su još i kod Divane, Slavonije, Srpanjke i Super Žitarke, no kod ovih sorata koncentracija Fe u zrnu bila je viša u prvoj nego u drugoj godini pokusa.

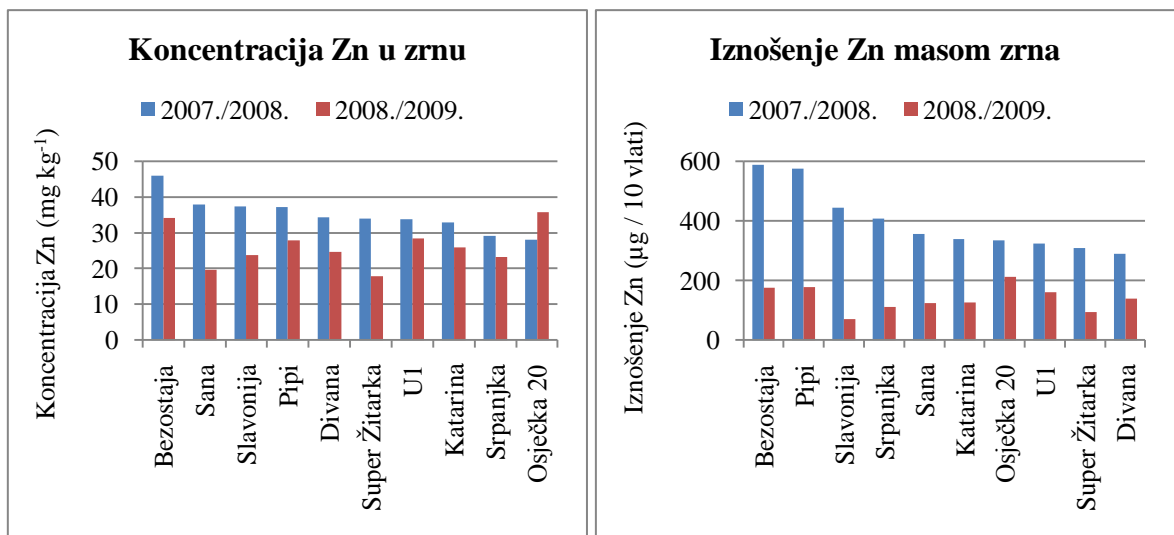
Iznošenje Fe masom zrna na nekontaminiranom tlu bilo je više u prvoj godini pokusa kod svih ispitivanih sorata u odnosu na drugu godinu (grafikon 10.). Statistički značajne razlike u

iznošenju Fe između prve i druge godine utvrđene su kod svih sorata, osim kod Katarine i Sane (prilog, tablica 80.).



Grafikon 10. Koncentracija (mg kg^{-1}) i iznošenje Fe ($\mu\text{g} / 10$ vlati) masom zrna na nekontaminiranom tlu u prvoj i drugoj godini pokusa.

Osječka 20 je jedina sorta koja je u drugoj godini pokusa imala višu koncentraciju Zn u zrnu na nekontaminiranom tlu u odnosu na prvu godinu pokusa i za ovu sortu su utvrđene statistički značajne razlike u koncentraciji Zn između prve i druge godine pokusa (prilog, tablica 77.). Osim kod Osječke 20, statistički značajne razlike u koncentraciji Zn između prve i druge godine pokusa utvrđene su kod Divane, Katarine, Sane i Super Žitarke, s tim da su ove sorte imale višu koncentraciju Zn u zrnu u prvoj nego u drugoj godini pokusa. Sve ispitivane sorte imale su više iznošenje Zn masom zrna u prvoj nego u drugoj godini pokusa (grafikon 11), te su statistički značajne razlike u iznošenju između prve i druge godine pokusa utvrđene kod svih sorata osim kod Katarine i Sane (prilog, tablica 79.).



Grafikon 11. Koncentracija (mg kg^{-1}) i iznošenje Zn ($\mu\text{g}/10$ vlati) masom zrna na nekontaminiranom tlu u prvoj i drugoj godini pokusa.

5.3. Korelacije koncentracija kadmija, cinka i željeza

5.3.1. Korelacije koncentracija kadmija, cinka i željeza u vegetacijskoj sezoni 2007./2008.

Korelacijskom analizom utvrđeno je da postoji jaka veza pozitivnog smjera ($0,628^{**}$) između koncentracije Cd u listu zastavičaru i zrnu pšenice na tlu kontaminiranom Cd (tablica 67). Utvrđena korelacija između koncentracije Cd u listu zastavičaru i zrnu je najjača utvrđena veza između svih ispitivanih svojstava. Statistički značajna srednje jaka korelacija utvrđena je između koncentracije Cd u zrnu na kontaminiranom i nekontaminiranom tlu (tablica 67).

Koncentracija Zn u zrnu na nekontaminiranom tlu u pozitivnoj je vezi s koncentracijom Cd u zrnu na kontaminiranom ($0,413^{**}$) i koncentracijom Fe u zrnu na nekontaminiranom tlu ($0,606^{**}$).

Između koncentracije Zn u zrnu na kontaminiranom tlu i koncentracije Fe u zrnu na kontaminiranom ($0,503^{**}$) i koncentracije Fe u listu zastavičaru na nekontaminiranom tlu ($0,427^{**}$) utvrđena je statistički značajna pozitivna korelacija.

Koncentracija Fe u listu zastavičaru na kontaminiranom tlu u pozitivnoj je korelaciji sa koncentracijom Fe u zrnu na kontaminiranom ($0,449^{**}$) i koncentracijom u listu zastavičaru na nekontaminiranom tlu ($0,349^{*}$).

Tablica 67. Korelacijski koeficijent (Pearson) za koncentracije Cd, Zn i Fe u vegetacijskoj sezoni 2007./2008. (N = 52)

	Konc. Cd u zrnu (mg kg ⁻¹) (0 mg Cd kg ⁻¹)	Konc. Cd u zrnu (mg kg ⁻¹) (20 mg Cd kg ⁻¹)	Konc. Cd u zastavičaru (mg kg ⁻¹) (20 mg Cd kg ⁻¹)	Konc. Zn u zrnu (mg kg ⁻¹) (0 mg Cd kg ⁻¹)	Konc. Zn u zrnu (mg kg ⁻¹) (20 mg Cd kg ⁻¹)	Konc. Zn u zastavičaru (mg kg ⁻¹) (0 mg Cd kg ⁻¹)	Konc. Zn u zastavičaru (mg kg ⁻¹) (20 mg Cd kg ⁻¹)	Konc. Fe u zrnu (mg kg ⁻¹) (0 mg Cd kg ⁻¹)	Konc. Fe u zrnu (mg kg ⁻¹) (20 mg Cd kg ⁻¹)	Konc. Fe u zastavičaru (mg kg ⁻¹) (0 mg Cd kg ⁻¹)	Konc. Fe u zastavičaru (mg kg ⁻¹) (20 mg Cd kg ⁻¹)
Konc. Cd u zrnu (mg kg ⁻¹) (0 mg Cd kg ⁻¹)	1										
Konc. Cd u zrnu (mg kg ⁻¹) (20 mg Cd kg ⁻¹)	0,403**	1									
Konc. Cd u zastavičaru (mg kg ⁻¹) (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	0,170 ^{n.s.}	0,628**	1								
Konc. Zn u zrnu (mg kg ⁻¹) (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	0,093 ^{n.s.}	0,084 ^{n.s.}	-0,115 ^{n.s.}	1							
Konc. Zn u zrnu (mg kg ⁻¹) (20 mg Cd kg ⁻¹)	0,255 ^{n.s.}	0,188 ^{n.s.}	-0,004 ^{n.s.}	0,413**	1						
Konc. Zn u zastavičaru (mg kg ⁻¹) (0 mg Cd kg ⁻¹)	-0,039 ^{n.s.}	0,066 ^{n.s.}	0,116 ^{n.s.}	-0,066 ^{n.s.}	-0,006 ^{n.s.}	1					
Konc. Zn u zastavičaru (mg kg ⁻¹) (20 mg Cd kg ⁻¹)	0,187 ^{n.s.}	-0,038 ^{n.s.}	-0,209 ^{n.s.}	-0,094 ^{n.s.}	-0,103 ^{n.s.}	0,081 ^{n.s.}	1				
Konc. Fe u zrnu (mg kg ⁻¹) (0 mg Cd kg ⁻¹)	-0,093 ^{n.s.}	-0,048 ^{n.s.}	-0,114 ^{n.s.}	0,606**	0,240 ^{n.s.}	-0,129 ^{n.s.}	-0,235 ^{n.s.}	1			
Konc. Fe u zrnu (mg kg ⁻¹) (20 mg Cd kg ⁻¹)	0,014 ^{n.s.}	0,137 ^{n.s.}	0,012 ^{n.s.}	0,253 ^{n.s.}	0,503**	-0,051 ^{n.s.}	-0,102 ^{n.s.}	-0,002 ^{n.s.}	1		
Konc. Fe u zastavičaru (mg kg ⁻¹) (0 mg Cd kg ⁻¹)	0,207 ^{n.s.}	0,217 ^{n.s.}	0,322*	0,002 ^{n.s.}	0,427**	0,005 ^{n.s.}	-0,229 ^{n.s.}	0,135 ^{n.s.}	0,214 ^{n.s.}	1	
Konc. Fe u zastavičaru (mg kg ⁻¹) (20 mg Cd kg ⁻¹)	0,091 ^{n.s.}	0,199 ^{n.s.}	0,159 ^{n.s.}	-0,104 ^{n.s.}	0,280*	-0,149 ^{n.s.}	-0,108 ^{n.s.}	-0,090 ^{n.s.}	0,449**	0,349*	1

**korelacija je značajna na razini od 99%.

*korelacija je značajna na razini od 95%.

Na osnovu odnosa koncentracija Cd u zrnu na nekontaminiranom i kontaminiranom tlu te na osnovu hijerarhijskog klaster dijagrama napravljenog na osnovu koncentracija Cd u zrnu na kontaminiranom i nekontaminiranom tlu, ispitivane sorte su podijeljene u šest skupina (tablica 68). Korelacijskom analizom utvrđene su korelacije između koncentracija Cd, Zn i Fe u zrnu na kontaminiranom i nekontaminiranom tlu za svaku skupinu sorata pojedinačno (tablica 69).

Tablica 68. Skupine sorata s obzirom na odnos koncentracija Cd u zrnu na kontaminiranom i nekontaminiranom tlu

Skupina 1	Skupina 2	Skupina 3	Skupina 4	Skupina 5	Skupina 6
Zlata	MV Magvas	Andelka	Renata	Barbara	Janica
Adriana	SW Maxi	Libellula	Seka	Ružica	Slavonija
Demetra	Antonius	Ana	Alka	Lucija	Mihaela
Panonija	Dekan	Bastide	GK Kalasz	Patria	Pipi
Njivka	Eurofit	BC Elvira	Lela	Soissons	Žitarka
Renan	MV Emesse	Katarina		Ilirija	Valerius
Super Žitarka	Eurojet			Aida	Edison
U1	Felix				MV Magdalena
Divana	Ludwig				Golubica
Srpanjka	Bezostaja				
Osječka Crvenka	MV Mambo				
Zlatna Dolina	Osječka 20				
Sana					

U prvoj, drugoj i četvrtoj skupini utvrđena je statistički značajna pozitivna veza između koncentracije Fe i Zn u zrnu na nekontaminiranom tlu. No u prvoj skupini sorata nije utvrđena niti jedna druga korelacija osim te, dok je u drugoj skupini između koncentracije Fe i Zn na kontaminiranom tlu također utvrđena statistički značajna pozitivna veza. Ovaj rezultat može upućivati na to da kontaminacija tla Cd utječe na promjenu odnosa koncentracije Fe i Zn u prvoj skupini, dok u drugoj skupini pozitivna veza između ovih elemenata i dalje postoji kao i na nekontaminiranom tlu.

Treća skupina sorata može se izdvojiti zbog utvrđene statistički značajne negativne veze između koncentracije Cd i Fe+Zn na nekontaminiranom tlu. Prema tome, kod sorata uvrštenih u treću skupinu javlja se antagonistički odnos Cd s jedne strane i Fe i Zn s druge. Osim toga, na tlu kontaminiranom Cd utvrđena je statistički značajna veza pozitivnog smjera između

koncentracije Cd i Fe, što upućuje na promjenu odnosa ovih elemenata uzrokovane kontaminacijom tla Cd.

Za razliku od treće skupine u šestoj skupini je utvrđena pozitivna korelacija između koncentracije Cd i Fe i Zn na nekontaminiranom tlu, što može upućivati na to da u ovoj skupini sorata antagonistički odnos Cd i Fe i Zn nije izražen.

Korelacijskom analizom utvrđeni su različiti međuodnosi koncentracija Cd, Fe i Zn u različitim skupinama sorata što upućuje na to da postoji sortna specifičnost s obzirom na akumulaciju Cd, Fe i Zn u zrnu pšenice.

Tablica 69. Korelacijski koeficijenti (Pearson) za koncentracije Cd, Zn i Fe u zrnu u vegetacijskoj sezoni 2007./2008.

Skupina 1. (N = 52)						
	Cd (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Fe (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Zn (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Cd (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Fe (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Zn (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)
Cd (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	1,000					
Fe (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	-0,082	1,000				
Zn (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	0,162	0,521**	1,000			
Cd (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	0,310	-0,048	0,132	1,000		
Fe (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	-0,169	-0,175	0,138	0,026	1,000	
Zn (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	0,052	-0,085	0,177	0,149	0,226	1,000

Skupina 2. (N = 44)						
	Cd (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Fe (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Zn (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Cd (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Fe (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Zn (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)
Cd (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	1,000					
Fe (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	-0,179	1,000				
Zn (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	-0,038	0,666**	1,000			
Cd (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	-0,029	0,047	0,059	1,000		
Fe (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	0,113	0,035	0,33*	0,098	1,000	
Zn (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	0,307*	0,048	0,34*	-0,198	0,706**	1,000

Skupina 3. (N = 24)						
	Cd (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Fe (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Zn (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Cd (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Fe (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Zn (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)
Cd (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	1,000					
Fe (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	-0,442*	1,000				
Zn (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	-0,427*	0,446*	1,000			
Cd (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	-0,207	0,011	0,185	1,000		
Fe (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	-0,308	0,153	0,187	0,449*	1,000	
Zn (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	-0,083	0,369	0,395	-0,099	0,466*	1,000

Skupina 4. (N = 20)						
	Cd (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Fe (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Zn (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Cd (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Fe (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Zn (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)
Cd (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	1,000					
Fe (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	-0,176	1,000				
Zn (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	0,079	0,826**	1,000			
Cd (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	0,273	-0,314	-0,110	1,000		
Fe (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	0,114	-0,443*	-0,179	0,555**	1,000	
Zn (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	0,330	-0,308	0,056	0,359	0,586**	1,000

Skupina 5. (N = 28)						
	Cd (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Fe (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Zn (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Cd (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Fe (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Zn (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)
Cd (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	1,000					
Fe (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	-0,639**	1,000				
Zn (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	-0,336	0,606**	1,000			
Cd (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	-0,184	0,011	0,097	1,000		
Fe (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	-0,030	0,025	-0,038	0,387*	1,000	
Zn (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	-0,257	0,463*	0,411*	0,408*	0,476*	1,000

Skupina 6. (N = 36)						
	Cd (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Fe (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Zn (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Cd (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Fe (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	Zn (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)
Cd (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	1,000					
Fe (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	0,379*	1,000				
Zn (0 mg Cd kg ⁻¹ tla)	0,373*	0,665**	1,000			
Cd (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	-0,332*	-0,182	-0,232	1,000		
Fe (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	-0,116	-0,052	-0,134	0,032	1,000	
Zn (20 mg Cd kg ⁻¹ tla)	0,282	0,474**	0,503**	-0,310	0,193	1,000

**korelacija je značajna na razini od 99%.

*korelacija je značajna na razini od 95%

5.3.2. Korelacije koncentracija kadmija, cinka i željeza u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

Korelacijskom analizom koncentracija Cd, Zn i Fe u različitim biljnim dijelovima pšenice utvrđen je različit uzorak korelacije između elemenata na nekontaminiranom tlu i u prosjeku za sva tri tretmana Cd.

Na nekontaminiranom tlu statistički značajna korelacija za koncentraciju Cd utvrđena je jedino između koncentracije Cd u listovima u cvatnji i pljevicama u punoj zriobi te listovima i pljevicama u punoj zriobi (tablica 70). Između ovih biljnih dijelova utvrđena je jaka i srednje jaka veza pozitivnog smjera.

Prosječna korelacija za sva tri tretmana Cd potvrđuje postojanje vrlo jake i izuzetno jake veze pozitivnog smjera u pogledu koncentracije Cd kod svih ispitivanih biljnih dijelova u fazi cvatnje i u punoj zriobi (tablica 71).

Na tlu nekontaminiranom Cd utvrđena je srednja jaka veza pozitivnog smjera između koncentracije Cd u listovima u punoj zriobi i koncentracije Fe u listovima u punoj zriobi (tablica 70). Za razliku od toga koncentracija Cd u listovima u punoj zriobi bila je u negativnoj korelaciji s koncentracijom Fe i Zn u listovima u punoj zriobi u prosjeku sva tri tretmana Cd. Negativna veza, (koja nije statistički značajna u svim kombinacijama) je utvrđena i između koncentracije Cd u svim ispitivanim biljnim dijelovima u cvatnji i punoj zriobi i koncentracije Fe i Zn u listovima u punoj zriobi (tablica 71).

Srednje jaka veza pozitivnog smjera utvrđena je između koncentracije Zn i Fe u zrnu na nekontaminiranom tlu i u prosjeku tretmana.

Tablica 70. Korelacijski koeficijenti (Pearson) za koncentracije Cd, Zn i Fe na nekontaminiranom tlu u vegetacijskoj sezoni 2008./2009. (N = 40)

	Cvatnja															Puna zrioba													
	Cd	Fe	Zn	Cd	Fe	Zn	Cd	Fe	Zn	Cd	Fe	Zn	Cd	Fe	Zn	Cd	Fe	Zn	Cd	Fe	Zn	Cd	Fe	Zn					
	(listovi)	(listovi)	(listovi)	(korijen)	(korijen)	(korijen)	(zastavičar)	(zastavičar)	(zastavičar)	(klas)	(klas)	(klas)	(stabljika)	(stabljika)	(stabljika)	(slama)	(slama)	(slama)	(listovi)	(listovi)	(listovi)	(pljevica)	(pljevica)	(pljevica)	(zrno)	(zrno)	(zrno)		
Cvatnja	Cd (listovi)	1																											
	Fe (listovi)	-0,23	1																										
	Zn (listovi)	0,167	0,155	1																									
	Cd (korijen)	0,262	0,133	0,421**	1																								
	Fe (korijen)	0,347*	-0,162	-0,143	0,177	1																							
	Zn (korijen)	-0,012	0,306	0,204	0,593**	0,181	1																						
	Cd (zastavičar)	-0,092	0,017	0,089	-0,17	-0,311	-0,577**	1																					
	Fe (zastavičar)	-0,185	-0,122	-0,23	-0,446*	-0,390*	-0,358*	0,471*	1																				
	Zn (zastavičar)	0,292	-0,129	0,466**	0,246	0,193	0,079	0,07	-0,164	1																			
	Cd (klas)	-0,162	0,178	0,298	-0,054	-0,053	-0,045	0,188	-0,008	0,046	1																		
	Fe (klas)	0,532**	-0,225	0,442**	0,326*	0,13	0,131	-0,035	-0,148	0,543**	0,087	1																	
	Zn (klas)	0,335*	-0,187	0,203	-0,149	-0,113	-0,135	0,218	0,514**	0,369*	0,213	0,551**	1																
	Cd (stabljika)	0,075	-0,019	0,319*	0,009	-0,167	-0,145	0,26	0,244	0,094	0,059	0,277	0,237	1															
	Fe (stabljika)	-0,132	0,237	0,508**	0,325*	-0,053	0,054	0,249	-0,211	0,032	0,235	-0,088	-0,162	-0,032	1														
	Zn (stabljika)	0,268	0,154	0,441**	0,325*	0,23	0,373*	-0,029	-0,339*	0,578**	0,295	0,556**	0,245	0,017	0,123	1													
Puna zrioba	Cd (slama)	0,094	-0,122	0,14	-0,063	0,315*	-0,025	-0,015	-0,349*	-0,008	0,13	0,186	-0,163	0,005	0,301	0,168	1												
	Fe (slama)	-0,132	0,297	0,318*	0,176	-0,008	0,147	0,182	-0,164	-0,046	0,463**	-0,036	-0,107	0,165	0,414	0,121	0,371*	1											
	Zn (slama)	0,097	-0,071	0,514**	-0,049	-0,11	0,14	-0,096	0,17	0,571**	0,242	0,580**	0,646**	0,326*	-0,067	0,426**	0,005	-0,068	1										
	Cd (listovi)	0,232	-0,124	-0,29	-0,046	0,388*	-0,092	0,077	-0,015	0,203	-0,01	0,211	0,292	-0,05	-0,171	0,178	0,033	-0,024	-0,054	1									
	Fe (listovi)	-0,002	-0,053	-0,093	0,038	-0,095	-0,021	0,273	0,216	0,319	0,055	0,123	0,315	0,007	0,101	0,118	-0,058	0,157	0,074	0,479**	1								
	Zn (listovi)	-0,103	0,352*	0,321	0,187	-0,058	0,245	-0,015	-0,225	0,397*	0,195	-0,133	-0,081	-0,031	0,356*	0,213	0,101	0,413**	0,181	-0,031	0,121	1							
	Cd (pljevica)	0,589**	-0,338**	0,185	0,303	0,466**	0,055	-0,124	-0,219	0,392**	0,012	0,573**	0,405**	-0,156	0,067	0,343*	0,13	-0,033	0,26	0,442**	0,198	-0,109	1						
	Fe (pljevica)	0,122	-0,094	0,329*	0,173	0,054	-0,126	0,167	-0,243	0,348*	0,327*	0,205	0,169	-0,041	0,295	0,2	0,082	0,148	0,15	0,512**	0,388*	0,117	0,473**	1					
	Zn (pljevica)	0,057	0,175	-0,041	0,17	-0,181	0,359*	-0,308	-0,195	0,027	-0,121	-0,02	-0,035	-0,039	0,01	0,189	-0,185	0,046	0,125	-0,103	0,043	0,289	-0,036	-0,167	1				
	Cd (zrno)	-0,194	0,054	-0,301	0,046	-0,01	0,161	-0,248	0,075	-0,361*	-0,171	-0,196	-0,172	-0,102	0,076	-0,251	-0,047	0,082	-0,281	-0,059	0,076	-0,104	-0,026	-0,271	0,266	1			
	Fe (zrno)	0,201	-0,299	-0,108	0,003	-0,159	-0,306	0,255	0,391*	0,28	-0,12	0,203	0,564**	0,095	-0,157	-0,147	-0,313*	-0,271	0,165	0,359*	0,422**	0,027	0,224	0,285	0,074	-0,136	1		
	Zn (zrno)	0,129	-0,137	0,296	0,049	-0,353*	0,063	-0,078	0,279	0,296	-0,111	0,447**	0,576**	0,241	0,001	0,178	-0,254	-0,267	0,630**	-0,187	0,055	-0,031	0,105	-0,087	0,458**	0,119	0,420**	1	

**korelacija je značajna na razini od 99%.

*korelacija je značajna na razini od 95%.

Tablica 71. Korelacijski koeficijent (Pearson) za koncentracije Cd, Zn i Fe u sva tri tretmana Cd u vegetacijskoj sezoni 2008./2009. (N = 120)

	Cvatnja															Puna zrioba														
	Cd (listovi)	Fe (listovi)	Zn (listovi)	Cd (korijen)	Fe (korijen)	Zn (korijen)	Cd (zastavičar)	Fe (zastavičar)	Zn (zastavičar)	Cd (klas)	Fe (klas)	Zn (klas)	Cd (stabljika)	Fe (stabljika)	Zn (stabljika)	Cd (slama)	Fe (slama)	Zn (slama)	Cd (listovi)	Fe (listovi)	Zn (listovi)	Cd (pljevica)	Fe (pljevica)	Zn (pljevica)	Cd (zmo)	Fe (zmo)	Zn (zmo)			
Cvatnja	Cd (listovi)	1																												
	Fe (listovi)	-0,171	1																											
	Zn (listovi)	0,328**	-0,04	1																										
	Cd (korijen)	0,829**	-0,071	0,215*	1																									
	Fe (korijen)	-0,136	-0,007	0,027	-0,041	1																								
	Zn (korijen)	0,056	0,062	0,259**	0,175	0,348**	1																							
	Cd (zastavičar)	0,823**	-0,210*	0,228*	0,653**	-0,122	-0,111	1																						
	Fe (zastavičar)	0,104	0,049	-0,164	0,106	-0,294**	-0,344**	0,294**	1																					
	Zn (zastavičar)	0,042	0,113	0,357**	0,01	0,188*	-0,016	0,029	-0,032	1																				
	Cd (klas)	0,902**	-0,151	0,227*	0,775**	-0,159	-0,059	0,880**	0,217*	-0,03	1																			
	Fe (klas)	0,083	-0,223*	0,313**	-0,029	0,077	0,258**	0,031	-0,319**	0,260**	0,078	1																		
	Zn (klas)	0,336**	-0,046	0,114	0,323**	-0,096	-0,013	0,397**	0,272**	-0,018	0,427**	0,248**	1																	
	Cd (stabljika)	0,893**	-0,143	0,319**	0,889**	-0,063	0,139	0,715**	0,073	0,077	0,798**	0,017	0,319**	1																
	Fe (stabljika)	-0,067	0,177	0,179	-0,027	0,271**	0,125	-0,014	0,029	0,267**	-0,071	0,01	-0,088	0,003	1															
Zn (stabljika)	0,403**	-0,103	0,573**	0,337**	0,229*	0,460**	0,302**	-0,314**	0,257**	0,298**	0,393**	0,292**	0,427**	0,161	1															
Puna zrioba	Cd (slama)	0,880**	-0,102	0,272**	0,856**	-0,129	0,01	0,722**	0,086	0,131	0,800**	-0,023	0,293**	0,901**	-0,015	0,281**	1													
	Fe (slama)	0,164	0,115	0,131	0,194*	0,079	0,14	0,205*	0,043	0,125	0,138	0,095	0,127	0,220*	0,274**	0,231*	0,176	1												
	Zn (slama)	0,329**	-0,16	0,452**	0,161	-0,141	0,203*	0,313**	0,09	0,266**	0,297**	0,530**	0,433**	0,232*	0,01	0,462**	0,164	0,118	1											
	Cd (listovi)	0,933**	-0,161	0,273**	0,856**	-0,121	0,032	0,792**	0,109	0,023	0,882**	0,001	0,322**	0,896**	-0,061	0,349**	0,928**	0,152	0,236**	1										
	Fe (listovi)	-0,255**	0,191*	-0,156	-0,12	0,156	-0,057	-0,114	0,345**	0,235**	-0,204*	-0,061	0,043	-0,137	0,393**	-0,141	-0,144	0,320**	-0,065	-0,182*	1									
	Zn (listovi)	-0,236**	0,314**	0,053	-0,146	0,004	0,171	-0,202*	0,125	0,051	-0,216*	-0,202*	-0,033	-0,182*	0,264**	-0,023	-0,242*	0,124	0,075	-0,234*	0,199*	1								
	Cd (pljevica)	0,880**	-0,164	0,310**	0,796**	-0,022	0,007	0,791**	0,053	0,083	0,863**	0,013	0,368**	0,864**	0,004	0,405**	0,886**	0,14	0,226**	0,917**	-0,177	-0,241**	1							
	Fe (pljevica)	0,299**	-0,059	0,055	0,176	-0,034	-0,254**	0,393**	0,141	0,185*	0,345**	-0,019	0,337**	0,276**	0,174	0,091	0,295**	0,211*	0,144	0,262	0,174	-0,116	0,320**	1						
	Zn (pljevica)	0,143	0,084	0,092	0,113	0,086	0,282**	-0,034	-0,258**	-0,091	0,059	-0,143	-0,005	0,141	-0,063	0,255**	0,076	-0,086	-0,004	0,119	-0,334**	0,197*	0,162	-0,12	1					
	Cd (zmo)	0,916**	-0,161	0,197*	0,850**	-0,099	-0,034	0,819**	0,16	0,008	0,891**	-0,083	0,377**	0,905**	-0,048	0,330**	0,913**	0,192*	0,184*	0,933**	-0,165	-0,223*	0,932**	0,390**	0,171	1				
	Fe (zmo)	-0,112	-0,013	-0,179	-0,102	-0,027	-0,179	0,046	0,304**	0,024	-0,016	-0,02	0,373**	-0,123	-0,073	-0,084	-0,134	-0,07	0,005	-0,115	0,192*	0,065	-0,106	0,250**	0,105	-0,045	1			
	Zn (zmo)	0,036	-0,03	0,042	0,056	-0,255**	0,075	0,066	0,207*	-0,057	0,064	0,196*	0,433**	0,014	-0,056	0,133	-0,034	-0,062	0,435**	-0,017	-0,033	0,229*	-0,055	0,031	0,263**	0,027	0,450**	1		

**korelacija je značajna na razini od 99%.

*korelacija je značajna na razini od 95%.

6. RASPRAVA

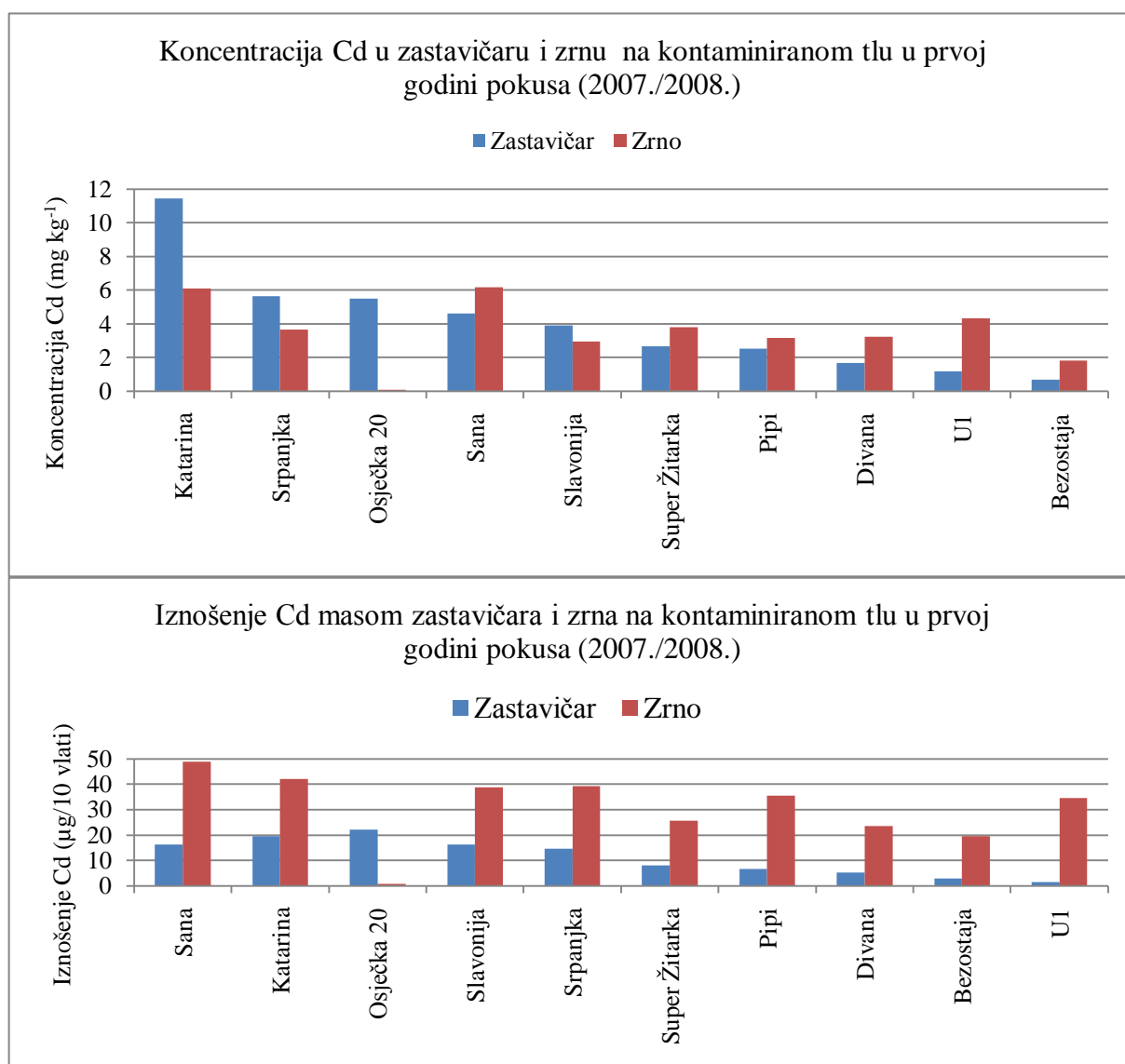
6.1. Izbor sorata za sjetvu u drugoj godini pokusa

U prvoj godini pokusa proveden je screening sorata s obzirom na koncentraciju Cd, Zn i Fe u zrnu i listu zastavičaru na nekontaminiranom i kontaminiranom tlu. Cilj screeninga bio je izbor sorata za sjetvu u drugoj godini pokusa. Osnovni kriteriji za izbor sorata za sjetvu u drugoj godini pokusa bile su koncentracije Cd u listu zastavičaru i zrnu te iznošenje Cd masom lista zastavičara i zrna na nekontaminiranom i kontaminiranom tlu. Dodatni kriterij za izbor sorata bilo je porijeklo sorte i zastupljenost u proizvodnji u Republici Hrvatskoj kao i agronomska svojstva sorte.

Kraljević-Balalić i sur. (2008.) su istraživali sortnu specifičnost pšenice s obzirom na koncentraciju Cd u listovima, a za svrstavanje genotipova pšenice u grupe koristili su hijerarhijsku klaster analizu. Udaljenost između sorta računali su na osnovu Euklidske udaljenosti. Za razliku od njih Chen i sur. (2007.) su proveli pokus sa 600 genotipova ječma u poljskim uvjetima s ciljem izbora genotipova koji akumuliraju niske koncentracije Cd u zrno, a za sjetvu u drugoj godini pokusa izabrali su 20 genotipova na osnovu koncentracije Cd u zrnu ječma, odnosno 10 genotipova s najnižom i 10 genotipova s najvišom koncentracijom Cd u zrnu.

U ovom radu izbor sorata za sjetvu u drugoj godini pokusa napravljen je na osnovu odstupanja prosječne vrijednosti sorte od prosječne vrijednosti svojstva za $\bar{x} \pm \sigma$ i na osnovu hijerarhijske klaster analize. Na osnovu koncentracije Cd u listu zastavičaru i zrnu i iznošenje Cd masom lista zastavičara i zrna na nekontaminiranom i kontaminiranom tlu, provedena je hijerarhijska klaster analiza na osnovu koje su ispitivane sorte svrstane u četiri osnovne grupe (grafikon 6), iz kojih je izabrano deset sorata za sjetvu u drugoj godini pokusa. Iz prve grupe izabrane su sorte Sana i Srpanjka. Sana je imala koncentraciju Cd u zrnu na nekontaminiranom i kontaminiranom tlu te iznošenje Cd masom lista zastavičara i zrna na kontaminiranom tlu više od $\bar{x} \pm \sigma$ te se kao takva izdvojila od ostalih sorata. Osim nje, sorta Katarina se također izdvojila zbog visokih vrijednosti koncentracija Cd u listu zastavičaru i zrnu, ali u dendogramu ona čini zasebnu grupu. Sorta Srpanjka je imala najviše iznošenje Cd masom zrna na nekontaminiranom tlu u odnosu na izabrane sorte te visoke koncentracije Cd u listu zastavičaru i zrnu na kontaminiranom tlu. Osječka 20 i Bezostaja svrstane su u istu grupu ali su razdvojene unutar te grupe. Ove dvije sorte imaju najnižu koncentraciju Cd u zrnu na kontaminiranom tlu (Osječka 20) i u listu zastavičaru (Bezostaja) te najniže iznošenje Cd masom zrna odnosno lista zastavičara na kontaminiranom tlu. Bezostaja je imala

koncentraciju Cd u listu zastavičaru i zrnu te iznošenje Cd masom lista zastavičara i zrna na kontaminiranom tlu niže od $\bar{x} - \sigma$, te se zbog toga može izdvojiti kao sorta s najnižom koncentracijom i iznošenjem Cd na kontaminiranom tlu. Slavonija, U1, Super Žitarka, Divana i Pipi su svrstane u istu grupu, no sorta Slavonija je izdvojena od ostalih sorata u ovoj grupi. Divana i Pipi nisu imale prosječnu vrijednost niti jednog ispitivanog svojstva veću od $\bar{x} + \sigma$ niti manju od $\bar{x} - \sigma$. Na ovaj način izabrano je deset sorata čije vrijednosti koncentracija Cd u listu zastavičaru i zrnu obuhvaćaju raspon koncentracija Cd u ukupnom uzorku od 52 sorte ozime pšenice. Prosječne vrijednosti koncentracija i iznošenja Cd masom lista zastavičara i zrna izabranih sorata prikazane su u grafikonu 12.



Grafikon 12. Prosječne vrijednosti koncentracija i iznošenje Cd masom lista zastavičara i zrna sorata izabraniz za sjetvu u drugoj godini pokusa.

Na osnovu vrijednosti agronomskih svojstava na kontaminiranom i nekontaminiranom tlu sorte izabrane za sjetvu u drugoj godini pokusa svrstane su u četiri grupe (grafikoni 4 i 5). Na nekontaminiranom tlu Osječka 20, Slavonija, Srpanjka i Katarina su svrstane u istu grupu. Na tlu kontaminiranom Cd, Katarina je izdvojena, a ostale tri sorte su i dalje u istoj grupi. Osječka 20, Slavonija i Srpanjka imale su manji broj sterilnih klasića na tlu kontaminiranom Cd u odnosu na nekontaminirano tlo te su najvjerojatnije iz tog razloga svrstane u istu grupu. Za razliku od njih Katarina je na kontaminiranom tlu imala 76% više sterilnih klasića nego na nekontaminiranom tlu. Bezostaja i U1 svrstane su u istu grupu na kontaminiranom i nekontaminiranom tlu. Iako je kontaminacijom tla smanjena visina biljke i duljina klasa u ove dvije sorte, one su u odnosu na ostale sorte bile najviše te su imale najdulju stabljiku. Super Žitarka i Divana pripadaju istoj grupi na kontaminiranom i nekontaminiranom tlu. U ove dvije sorte zabilježen je pad vrijednosti svih agronomskih svojstava (osim visine biljke za sortu Divanu) kontaminacijom tla Cd. Značajno je da su obje sorte imale ispod prosječne i vrlo slične vrijednosti mase biljke, mase klasa i broja fertilnih klasića na kontaminiranom tlu. Super Žitarka je imala iznad prosječne vrijednosti broja sterilnih klasića po klasu i mase 1000 zrna na kontaminiranom i nekontaminiranom tlu. Na nekontaminiranom tlu Pipi i Sana su uvrštene u istu grupu dok je na kontaminiranom tlu Sana u grupi sa Divanom i Super Žitarkom, a Pipi sa Bezostajom i U1. Sana je imala iznad prosječne vrijednosti broja sterilnih klasića na kontaminiranom i nekontaminiranom tlu te mase 1000 zrna na kontaminiranom tlu te je uvrštena u grupu s Divanom i Super Žitarkom.

6.2. Agronomska svojstva ozime pšenice

Cd je neesencijalan element, toksičan za mikroorganizme, biljke, životinje i ljude. Tlo je osnovni izvor Cd za biljke. Koncentracija Cd u tlu neprestano se povećava (Sharma i Dubey, 2006. prema Jones i sur., 1992.) te takva tla predstavljaju potencijalan problem za poljoprivredu. Povišenje koncentracije Cd u tlu uzrokuje oštećenje korijena biljaka, klorozu i pojavu crvenkasto-smeđih točaka po listovima. Cd remeti transport vode u tkivu, smanjuje transpiraciju, izaziva promjene u strukturi staničnih organela te mijenja aktivnost enzima uključenih u različite metaboličke procese (Sharma i Dubey, 2006. prema Shan i sur., 2001.; Fediuc i Erdei, 2002.). Na taj način Cd inhibira klijanje, rast biljaka i metabolizam. Larsson i sur. (1998.) navode da Cd utječe na fotosintezu, transpiraciju, rast korijena i akumulaciju hraniva.

U prvoj godini pokusa utvrđene su statistički značajne razlike ($p < 0,01$) između sorata za sva ispitivana agronomska svojstva na nekontaminiranom i kontaminiranom tlu (tablica 7 i tablica

8). Vrijednosti svih ispitivanih agronomskih svojstava, osim broja sterilnih klasića po klasu, bile su snižene u tretmanu s 20 mg Cd kg⁻¹ tla u odnosu na kontrolni tretman (tablica 72). Broj sterilnih klasića po klasu bio je povećan za 11,69% na kontaminiranom u odnosu na nekontaminirano tlo, što se može smatrati posljedicom stresnog djelovanja toksičnosti Cd. Najveća promjena pod utjecajem tretmana Cd utvrđena je za masu klasa (-25,82%), masu biljke (-25,42%) i masu zrna po klasu (-24,46%) u odnosu na kontrolni tretman.

Tablica 72. Promjena vrijednosti agronomskih svojstava na kontaminiranom tlu u odnosu na nekontaminirano tlo u obje vegetacijske godine.

Agronomsko svojstvo	Relativni odnos tretmana Cd			
	0/20 (2008.)	0/2 (2009.)	0/5 (2009.)	0 (2008.) / 0 (2009.)
Visina biljke (cm)	-0,99%	-1,16%	-4,21%	-15,49%
Duljina klasa (cm)	-7,76%	-1,18%	-4,92%	-28,65%
Masa biljke (g)	-25,42%	-15,15%	-22,73%	-46,56%
Masa klasa (g)	-25,82%	-17,07%	-19,51%	-45,33%
Broj fertilnih klasića po klasu	-11,90%	1,04%	-0,21%	-29,40%
Broj sterilnih klasića po klasu	11,69%	5,93%	-13,83%	-31,62%
Broj zrna po klasu (g)	-21,27%	3,31%	5,19%	-45,20%
Masa zrna po klasu (g)	-24,46%	5,66%	0,00%	-53,91%
Masa 1000 zrna (g)	-3,95%	-1,53%	-5,72%	-17,46%

U drugoj godini pokusa primijenjene su tri razine kontaminacije tla Cd (0, 2 i 5 mg Cd kg⁻¹ tla), a statistički značajne razlike između tretmana Cd utvrđene su samo za masu biljke (g) i masu klasa (g) (tablica 10). Masa biljke je u tretmanu s 2 mg Cd kg⁻¹ tla bila manja za 15,15%, a masa klasa za 17,07% u odnosu na kontrolni tretman. Opadajući trend vrijednosti mase biljke i mase klasa uočen je i u tretmanu sa 5 mg Cd kg⁻¹ tla, pri kojemu je masa biljke smanjena za 22,73% a masa klasa za 19,51% u odnosu na kontrolni tretman.

U drugoj godini pokusa utvrđene su manje relativne razlike vrijednosti agronomskih svojstava između kontrole i primijenjenih tretmana nego u prvoj godini pokusa i to zato što su u drugoj godini primijenjene znatno niže razine kontaminacije tla Cd nego u prvoj godini pokusa.

Također su u drugoj godini pokusa na nekontaminiranom tlu utvrđene značajno niže vrijednosti svih agronomskih svojstava u odnosu na vrijednosti agronomskih svojstava na nekontaminiranom tlu u prvoj godini pokusa (tablica 72) (usporedba je izvršena samo za sorte koje su sijane u drugoj godini pokusa).

Zabilježene razlike u vrijednostima agronomskih svojstava na nekontaminiranom tlu mogu se pripisati klimatskim čimbenicima. U vegetacijskoj sezoni 2008./2009. (od listopada 2008. do srpnja 2009.) palo je samo 368,6 mm oborina što je gotovo 41% manje nego u istom razdoblju u vegetacijskoj sezoni 2007./2008. Izrazito sušno razdoblje nastupilo je u ožujku, travnju i svibnju 2009. godine kada se pšenica nalazila u fenofazi vlatanja i klasanja. Duljina vlatanja te količina oborina i hraniva u ovoj fazi značajno utječu na stvaranje elemenata prinosa. U ovoj fazi protječu IV., V., VI. i VII. etape organogeneze, koje su vrlo značajne za broj klasića, broj cvjetova i njihovu fertilnost.

S obzirom da je tlo kontaminirano vrlo visokom dozom Cd u prvoj godini pokusa (20 mg Cd kg^{-1} tla) i relativno visokim dozama u drugoj godini pokusa, ostvareni rezultati su očekivani i u skladu s rezultatima stranih autora. Wu i sur. (2007.) su ispitali utjecaj Cd na agronomska svojstva ječma. Primijenili su tri razine kontaminacije hranjive otopine Cd, no na najnižoj razini kontaminacije ($0,1 \text{ } \mu\text{M Cd}$) nisu utvrdili statistički značajne razlike u masi zrna i broju zrna po klasu u odnosu na kontrolu ($0 \text{ } \mu\text{M Cd}$). Primjenom kontaminacije na $1 \text{ } \mu\text{M Cd}$ utvrđen je značajan pad mase zrna i broja klasića po klasu u odnosu na kontrolu, dok je pri kontaminaciji od $5 \text{ } \mu\text{M Cd}$ utvrđen još veći pad mase zrna i broja zrna po klasu. Zhang i sur. (2002.) su istraživali utjecaj Cd na prinos pet genotipova pšenice, koje se međusobno razlikuju po otpornosti na Cd. Primijenili su Cd u koncentraciji od 1 mg L^{-1} i pri toj koncentraciji su utvrdili značajno smanjenje mase korijena i stabljike te broja klasića po klasu kod svih pet genotipova pšenice. Broj zrna po klasu i masa zrna nisu bile značajno smanjene primjenom tretmana Cd. Također su utvrdili i značajnu interakciju između genotipova i tretmana Cd za masu biljke, broj zrna po klasu i masu zrna. Stolt i sur. (2003.) navode da je rast pšenice inhibiran već pri primjeni tretmana Cd od $1 \text{ } \mu\text{M}$. Primjenom $0,01 \text{ } \mu\text{M Cd}$ u hranjivu otopinu utvrdili su povećanje ukupne suhe mase biljke, no to povećanje nije bilo statistički značajno na razini značajnosti od 99%. Kubo i sur. (2008.) su utvrdili da su duljina stabljike i broj klasića po klasu u negativnoj korelaciji s koncentracijom Cd u zrnu pšenice. Oni objašnjavaju da genotipovi pšenice s duljim stabljikama zadržavaju više Cd u stabljici u odnosu na genotipove s kraćim stabljikama, kao što i genotipovi s većim brojem klasića po klasu imaju manju količinu Cd po klasiću u odnosu na one s manjim brojem klasića po klasu. Prema njima, koncentracija Cd u zrnu bi se mogla sniziti primjenom agrotehničkih mjera koje potiču stvaranje većeg broja klasića po klasu, poboljšavaju busanje te sjetvom genotipova dulje stabljike.

6.3. Usvajanje kadmija, cinka i željeza u ozime pšenice

Biljne vrste i različiti genotipovi iste vrste međusobno se razlikuju u sposobnosti usvajanja, translokacije i akumulacije Cd, Zn i Fe u jestive dijelove biljke (Li i sur., 1997.; Gray i McLaren, 2001.; Jing i sur., 2009.; Perilli i sur., 2010.). Biljke teške metale usvajaju prvenstveno putem korijena, no moguće je i usvajanje putem lista, ali u znatno manjoj mjeri (Godzik, 1993.).

Rezultati raznih autora pokazuju da svojstva tla (pH tla, temperatura, sadržaj organske tvari, oksidacijsko - redukcijski potencijal te mineraloški sastav tla), agrotehničke mjere i klimatske prilike značajno utječu na pristupačnost teških metala iz tla (Eriksson, 1990.; Öborn i sur., 1995.; Kabata-Pendias i Pendias, 2001.). Sadržaj teških metala u poljoprivrednim tlima može se kretati u vrlo širokom rasponu ovisno o tipu tla, primijenjenoj mineralnoj i organskoj gnojidbi, primjeni otpadnog mulja te taloženju iz atmosfere (Gimeno-Garcia i sur., 1996.; Grant i sur., 1998.). Prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (Narodne novine 32/2010) (na temelju Zakona o poljoprivrednom zemljištu "Narodne novine", br. 152/08.) kao onečišćujuće tvari i potencijalno toksični elementi navode se teški metali među kojima su Cd i Zn. Za onečišćujuće tvari Pravilnikom su određene maksimalno dopuštene količine (MDK) izražene u mg kg⁻¹ u tlima različite teksture (tablica 73). Na MDK utječe i pH tla te se tako za tla pH reakcije < 6,0 primjenjuje MDK teksturno lakšeg tla. Npr., u glinovitom tlu kisele pH reakcije (pH < 6,0), MDK je 0,5-1,0 mg Cd kg⁻¹ i 60-150 mg Zn kg⁻¹.

Tablica 73. Maksimalno dopuštene količine Cd i Zn u tlima Republike Hrvatske.

Vrsta tla	Cd (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
Pjeskovito tlo	0,0 – 0,5	0 – 60
Praškasto-ilovasto tlo	0,5 – 1,0	60 – 150
Glinovito tlo	1,0 - 2,0	150 - 200

Gao i sur. (2011.) su utvrdili da je pšenica uzgajana na lakšim tlima imala višu koncentraciju Cd u zrnu u odnosu na pšenicu uzgajanu na teksturno težim tlima, dok su za Zn dobili suprotne rezultate.

Transfer metala iz tla u biljku mnogi autori opisuju koeficijentom usvajanja (PUF – plant uptake factor) (Cui i sur., 2004.; Chen i sur., 2009.; Zhang i sur., 2010.), koji se može opisati kao odnos koncentracije elementa u biljnom tkivu i tlu (Zhang i sur., 2010.). Koeficijenti usvajanja Cd, Zn i Fe u drugoj godini pokusa prikazani su u tablici 74.

Tablica 74. Koeficijenti usvajanja Cd, Zn i Fe u korijen i zrno u vegetacijskoj sezoni 2008./2009.

Element	mg Cd kg ⁻¹ tla	Korijen				Zrno			
		\bar{x} ^a	σ ^b	Me ^c	CV (%) ^d	\bar{x}	σ	Me	CV (%)
Cd	0	0,42	0,09	0,44	22,17	0,39	0,17	0,41	44,70
	2	0,88	0,04	0,87	4,28	0,51	0,13	0,55	25,24
	5	0,56	0,03	0,57	6,10	0,47	0,10	0,50	20,42
Zn	0	2,62	0,16	2,64	5,97	2,59	0,17	2,58	6,76
	2	2,66	0,19	2,66	7,18	2,61	0,16	2,57	6,15
	5	2,66	0,26	2,68	9,95	2,61	0,10	2,60	3,69
Fe	0	1,54	0,09	1,54	5,55	0,73	0,09	0,74	12,23
	2	1,53	0,08	1,56	5,13	0,71	0,08	0,73	10,95
	5	1,52	0,07	1,55	4,75	0,71	0,07	0,70	10,03

^a Aritmetička sredina; ^b Standardna devijacija; ^c Medijana; ^d Koeficijent varijacije

Koeficijent usvajanja Cd u korijen i zrno pšenice bio je najniži na nekontaminiranom tlu, a najviši pri kontaminaciji tla s 2 mg Cd kg⁻¹ tla. Koeficijent usvajanja Cd na nekontaminiranom tlu bio je niži u odnosu na koeficijente usvajanja na kontaminiranom tlu zato što u tom tretmanu tlo nije dodatno kontaminirano Cd, već su biljke imale na raspolaganju samo 0,076 mg kg⁻¹ Cd_{EDTA}, odnosno 0,125 mg kg⁻¹ Cd_{AR}. Grant i sur. (1998.) su utvrdili da pri nižim koncentracijama Cd u tlu usvajanje Cd u korijen teče aktivnim transportom, dok se pri višim koncentracijama Cd usvaja pasivnim transportom. Iako je koncentracija Cd u korijenu u tretmanu s 5 mg Cd kg⁻¹ bila viša od koncentracije Cd u korijenu pri tretmanu s 2 mg Cd kg⁻¹, koeficijent usvajanja Cd na tlu kontaminiranom s 5 mg Cd kg⁻¹ tla bio je niži nego pri kontaminaciji s 2 mg Cd kg⁻¹. U apsolutnom iznosu pri kontaminaciji tla s 5 mg Cd kg⁻¹ u korijen je usvojena veća količina Cd nego pri nižoj kontaminaciji tla. No u relativnom odnosu usvojene količine Cd u korijen i količine pristupačnog Cd iz tla, pri kontaminaciji tla s 5 mg Cd kg⁻¹ usvojeno je manje, odnosno niži je koeficijent usvajanja Cd u korijen u odnosu na kontaminaciju tla s 2 mg Cd kg⁻¹. Ovakav rezultat najvjerojatnije je posljedica usvajanja Cd pasivnim transportom, ali svakako je posljedica relativno niže učinkovitosti usvajanja Cd pri visokim koncentracijama.

Dobivene vrijednosti koeficijenata usvajanja Cd u korijen i zrno u skladu su s vrijednostima iz svjetske literature. Chen i sur. (2009.) su utvrdili prosječnu vrijednost koeficijenta usvajanja Cd u zrno koje iznosi 0,22, a raspon se kretao od 0,025 do 1,29. Prema CDFA (2002.)

prosječna vrijednost koeficijenta usvajanja Cd u korijenu je 0,308 (0,005 – 5,7), a u zrnu 0,092 (0,0005 – 2,5). Koeficijenti usvajanja Zn u korijen i zrno pšenice vrlo su slični i konstantni neovisno o kontaminaciji tla Cd, što znači da pri primijenjenim količinama Cd nije došlo do kompetitivnog odnosa Cd i Zn prilikom usvajanja u korijen i zrno. Hart i sur. (1998.) su dobili rezultate koji ukazuju na kompetitivan odnos Cd i Zn prilikom usvajanja u korijen, na osnovu čega su zaključili da postoji mogućnost da se Cd i Zn usvajaju u korijen istim transportnim sustavom.

Koeficijent usvajanja Fe u korijenu nije se mijenjao u ovisnosti o kontaminaciji tla Cd, kao ni u zrnu, no u zrnu je koeficijent usvajanja bio duplo niži nego u korijenu.

Ispitivane sorte međusobno su se najviše razlikovale po koeficijentu usvajanja Cd u zrnu o čemu govori koeficijent varijacije. Najveća varijabilnost sorata utvrđena je na nekontaminiranom tlu (22,17% za korijen i 44,70% za zrno), što upućuje na to da se s obzirom na usvajanje Cd sorte međusobno najviše razlikuju na nekontaminiranom tlu te da kontaminacija tla, odnosno povećana pristupačnost Cd iz tla, smanjuje razliku između sorata osobito kod usvajanja u korijen. Iako je varijabilnost sorata mala s obzirom na usvajanje Cd u korijen na kontaminiranom tlu, usvajanje Cd u zrno je i dalje vrlo varijabilno svojstvo. Osim toga između koeficijenata usvajanja Cd u korijen i koncentracije Cd u zrnu nije utvrđena statistički značajna korelacija. Između koeficijenata usvajanja Zn i Fe u korijen i koncentracije Zn i Fe u zrnu također nije utvrđeno postojanje statistički značajne korelacije. Na osnovu toga može se zaključiti da razlika između sorata u specifičnoj akumulaciji Cd, Zn i Fe u zrno, više ovisi o razlikama između sorata u translokaciji ovih elemenata iz korijena u ostale dijelove biljke i konačno u zrno, nego o razlici između sorata u količini elemenata usvojenih u korijen. Koeficijent usvajanja Cd u korijen i zrno niži je nego koeficijenti usvajanja Zn i Fe. Zn i Fe su esencijalni elementi, neophodni biljci za rast i razvoj za razliku od Cd koji je neesencijalan te nakon usvajanja u korijen, jedan dio usvojenog Cd ostaje vezan u korijenu (Nan i sur., 2001.) te se na taj način smanjuje translokacija iz korijena u nadzemne dijelove biljke (Ashraf i sur., 2011.).

Na nekontaminiranom tlu najniži koeficijent usvajanja Cd u korijen imale su sorta Super Žitarka i Osječka 20, a na kontaminiranim tlima Divana, Sana i Super Žitarka na 2 mg Cd kg^{-1} tla te Pipi na tlu kontaminiranom s 5 mg Cd kg^{-1} .

Razlike između sorata u koeficijentima usvajanja Zn i Fe u korijen su manje nego kod koeficijenata usvajanja Cd u korijen. Sorta Sana je imala najniži koeficijent usvajanja Zn u korijen na nekontaminiranom tlu i pri kontaminaciji tla s 2 mg Cd kg^{-1} , a pri kontaminaciji tla

s 5 mg Cd kg⁻¹ sorta Pipi. Najviše koeficijente usvajanja Zn u korijen imale su sorte Divana (na nekontaminiranom i pri kontaminaciji s 5 mg Cd kg⁻¹) te Bezostaja.

Najniže koeficijente usvajanja Fe u korijen imala je sorta Osječka 20 na nekontaminiranom tlu i pri kontaminaciji s 2 mg Cd kg⁻¹, dok je na najkontaminiranijem tlu najniži koeficijent imala sorta Pipi, a Osječka 20 je odmah iza nje po visini koeficijenta usvajanja Fe u korijen. Na nekontaminiranom tlu najviši koeficijent usvajanja Fe u korijen imala je sorta Srpanjka, a na kontaminiranim tlima Slavonija.

S obzirom na koeficijent usvajanja u korijen na kontaminiranom tlu ističe se sorta Pipi koja je imala najniže koeficijente usvajanja sva tri elementa na najkontaminiranijem tlu.

6.4. Translokacija kadmija, cinka i željeza u ozime pšenice

Biljne vrste i različiti genotipovi iste biljne vrste razlikuju se u translokaciji Cd, Zn i Fe iz korijen u izdanak te u transportu do zrna (Greger i Löftstedt, 2004.; Harris i Taylor, 2004.). Nakon usvajanja iz tla, gotovo 50% usvojenog Cd ostaje vezano u korijenu (Herren i Feller, 1997., prema Jarvis i sur., 1976.; i Obata i Umebayashi, 1993.), a drugi dio se translocira u izdanak.

Rezultati dosadašnjih istraživanja o translokaciji Cd u zrno durum pšenice su kontradiktorni. Hart i sur. (1998.) ukazuju na to da pojačana akumulacija Cd kod durum pšenice nije u korelaciji s translokacijom Cd iz korijena u izdanak, već da bi mogla biti povezana s transportom Cd floemom do zrna. Isti autori (Hart i sur., 2004.) u kasnijim istraživanjima su utvrdili pozitivnu korelaciju između koncentracije Cd u zrnu durum pšenice i translokacije Cd iz korijena u izdanak. Kod ozime pšenice utvrđena je pozitivna korelacija između koncentracije Cd u zrnu i izdanku (Stolt i sur., 2006.).

Translokacija Cd u zrno odvija se tijekom razvoja zrna direktno preko ksilema ili Cd s produktima fotosinteze putuje floemom iz listova do zrna (Greger i Löftstedt, 2004.). Za akumulaciju Cd u zrno značajna je mobilnost Cd u ksilemu te transfer iz ksilema u floem u vršnom ili nižim internodijima te interakcija s drugim elementima, a osobito s Zn (Herren i Feller, 1997.).

Odnos koncentracija Cd, Zn i Fe u korijenu i stabljici te korijenu i listu zastavičaru prikazuje translokaciju navedenih elemenata iz korijena u navedene nadzemne dijelove biljke. Prosječan koeficijent translokacije Cd iz korijena u stabljiku u fazi cvatnje (koncentracija u stabljici/koncentracija u korijenu) smanjivao se porastom kontaminacije tla Cd (0,219, 0,154 i

0,125 na 0,2 i 5 mg Cd kg⁻¹ tla), što znači da je na nekontaminiranom tlu bila najmanja razlika u koncentraciji Cd između korijena i stabljike (4,5 puta niža u stabljici).

Prosječan koeficijent translokacije Cd iz korijena u list zastavičar također se smanjivao s porastom kontaminacije tla Cd, s tim da je kod zastavičara puno izraženija razlika između koeficijenta translokacije na nekontaminiranom u odnosu na kontaminirano tlo (0,213, 0,051 i 0,034 na 0,2 i 5 mg Cd kg⁻¹ tla). Pri kontaminaciji tla s 2 i 5 mg Cd kg⁻¹ utvrđena je statistički značajna negativna korelacija između koeficijenta translokacije u zastavičar i koncentracije Cd u zrnu pšenice na razini značajnosti od 95% ($r = -0,58$ i $-0,70$ za tretman od 2 odnosno 5 mg Cd kg⁻¹ tla). Osim toga između koncentracije Cd u listu zastavičaru i zrnu utvrđena je statistički značajna pozitivna korelacija ($r = 0,819$) (tablica 71). List zastavičar je osnovni izvor produkata fotosinteze za zrno tijekom sazrijevanja tako da ovaj rezultat ide u prilog teoriji prema kojoj se Cd translocira u zrno floemom zajedno s produktima fotosinteze. Značajna korelacija između koncentracije Cd u listu zastavičaru i zrnu te između koeficijenta translokacije u zastavičar i koncentracije Cd u zrnu sugeriraju da bi se vrijednosti koncentracije Cd u zastavičaru u fazi cvatnje i koeficijent translokacije u zastavičar mogli upotrijebiti kao parametri u modelima za procjenu koncentracije Cd u zrnu ozime pšenice.

Kontaminacija tla Cd nije utjecala na promjenu prosječne vrijednosti koeficijenta translokacije u stabljiku i u zastavičar za Zn i Fe. U usporedbi s Cd i Fe, kod Zn su utvrđeni najviši koeficijenti translokacije u stabljiku (0,420, 0,452 i 0,481 pri 0,2 i 5 mg Cd kg⁻¹ tla) i list zastavičar (0,709, 0,694 i 0,694 pri 0, 2 i 5 mg Cd kg⁻¹ tla). To znači da su stabljika i list zastavičar imali visoku koncentraciju Zn u odnosu na koncentraciju u korijenu. Zn je vrlo pokretan u biljci te se relativno lako usvaja u zrno u odnosu na Cd. Cd i Zn su kemijski slični, sličnih su ionskih struktura i stupnja elektronegativnosti, no imaju različit promjer ($Cd^{2+} = 0,097$ nm; $Zn^{2+} = 0,074$ nm) što je vjerojatno glavni razlog lakšeg usvajanja Zn kod biljaka (Čoga i sur., 2001.). Fe je metal srednje pokretljivosti u floemu te se manje od 20% od ukupne količine Fe akumuliranog u vegetativno tkivo translocira u zrno (Miller i sur., 1993.). Pearson i Rengel (1994.) navode da je za razliku od Fe, Zn pokretan i u značajnoj količini se transportira iz starijih listova i lista zastavičara u zrno pšenice.

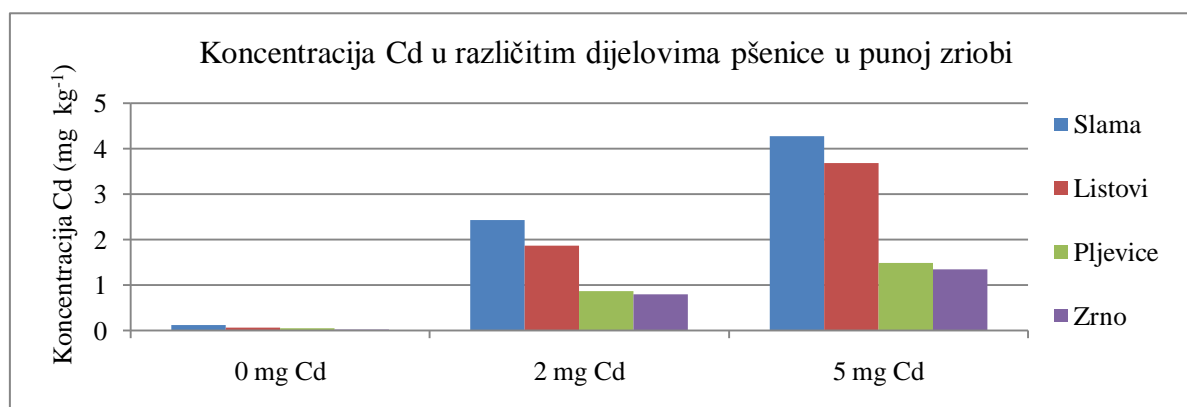
Ispitivane sorte razlikuju se po koeficijentu translokacije Cd iz korijena u stabljiku i iz korijena u list zastavičar. Najniži koeficijent translokacije u stabljiku i zastavičar imala je sorta Divana, na nekontaminiranom i kontaminiranom tlu, što je rezultiralo niskom koncentracijom Cd u zrnu ove sorte u odnosu na ostale sorte, osobito na kontaminiranom tlu. Što se tiče translokacije Zn i Fe, sorta Divana je također imala niske koeficijente

translokacije, što je rezultiralo niskom koncentracijom Fe u zrnu, ali je koncentracija Zn u zrnu bila iznad prosjeka ostalih sorata. Za koeficijente translokacije u stabljiku i zastavičar za Zn i Fe nije utvrđena statistički značajna korelacija s koncentracijom Zn odnosno Fe u zrnu te je zbog toga teže povezati koeficijente translokacije s utvrđenim koncentracijama Zn i Fe u zrnu. Visoke koeficijente translokacije Cd u zastavičar imale su sorte Osječka 20, Srpanjka, Sana i Katarina koje su imale najvišu koncentraciju Cd u zrnu. Osim visokih koeficijenata translokacije Cd, sorta Osječka 20 ima i visoke koeficijente translokacije Zn i Fe, što znači da se od usvojenih količina Zn i Fe u korijen dobar dio translocirao u nadzemne dijelove. U sorte Srpanjka utvrđeni su niski koeficijenti translokacije Zn i Fe, što je rezultiralo niskom koncentracijom ova dva elementa u zrnu.

6.5. Distribucija kadmija, cinka i željeza u ozime pšenice

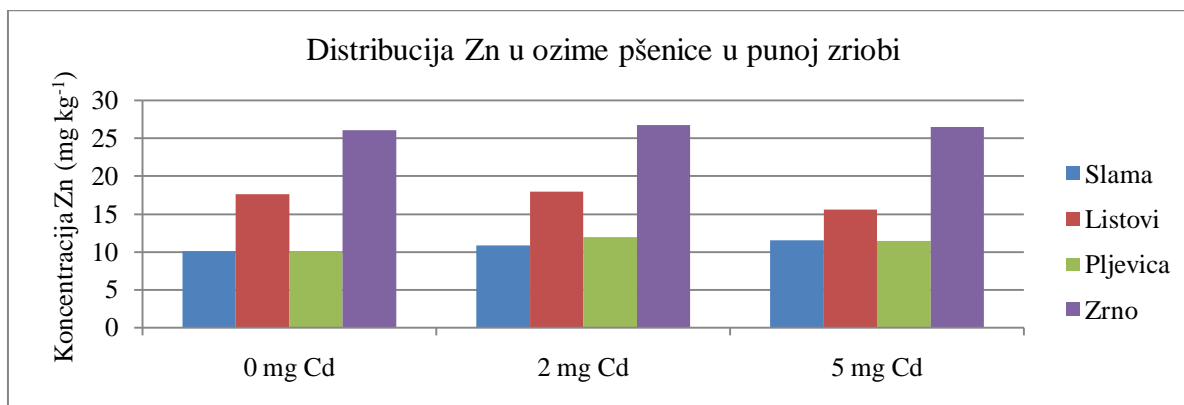
Distribucija Cd, Zn i Fe najviše ovise o biljnoj vrsti i količini metala usvojenog iz tla. Korijen sadrži najvišu koncentraciju metala u odnosu na ostale dijelove biljke (Chan i sur., 2004.; Chandra i sur., 2009.; Liu i sur., 2009.).

U provedenom istraživanju koncentracije Cd i Fe opadaju od korijena prema klasu u fazi cvatnje na nekontaminiranom i kontaminiranom tlu. U punoj zriobi nisu analizirani uzorci korijena, no prosječni gradijent koncentracija Cd i Fe u biljci također opada od „dolje prema gore“ tako da je najviša koncentracija Cd utvrđena u slami a najniža u zrnu pšenice (grafikon 13) za sva tri tretmana Cd. Najviša koncentracija Fe utvrđena je u listu, a najniža u zrnu u punoj zriobi. Opadajući gradijent koncentracije Cd kod ozime pšenice utvrdili su i Liu i sur. (2009.) i Nan i sur. (2002.). Chandra i sur. (2009.) su utvrdili da su Cd, Zn i Fe različito distribuirani u pojedinim organima pšenice (Zn: zrno > korijen > izdanak > listovi, Cd: korijen ≈ listovi ≈ zrno > izdanak i Fe: korijen > listovi > izdanak > zrno) u punoj zriobi.



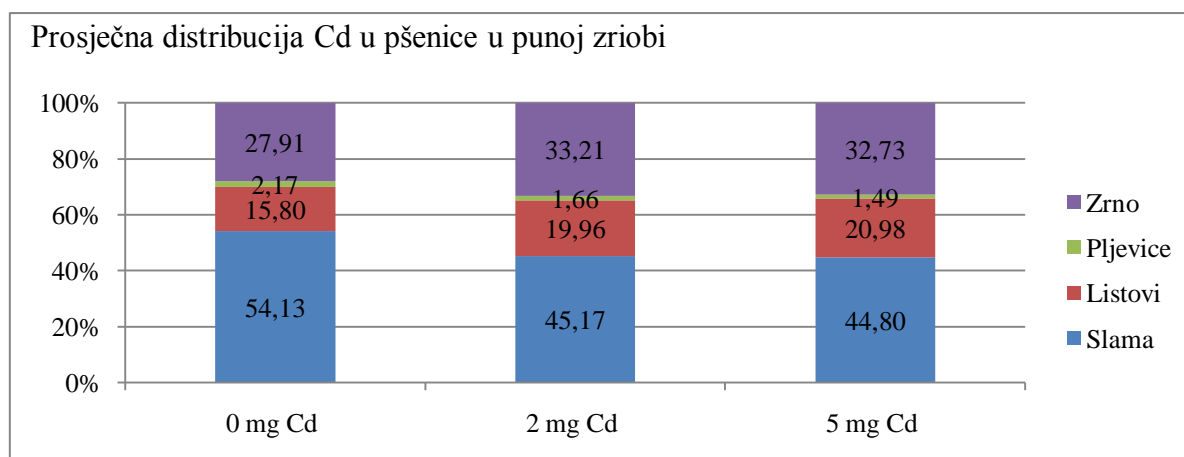
Grafikon 13. Distribucija Cd u ozime pšenice u punoj zriobi

U cvatnji i u punoj zriobi gradijent koncentracija Zn u različitim dijelovima ozime pšenice razlikuje se od gradijenta koncentracija Cd i Fe (grafikon 14). U punoj zriobi u sva tri tretmana Cd, prosječno najviša koncentracija Zn utvrđena je u zrnu u odnosu na ostale dijelove biljke.



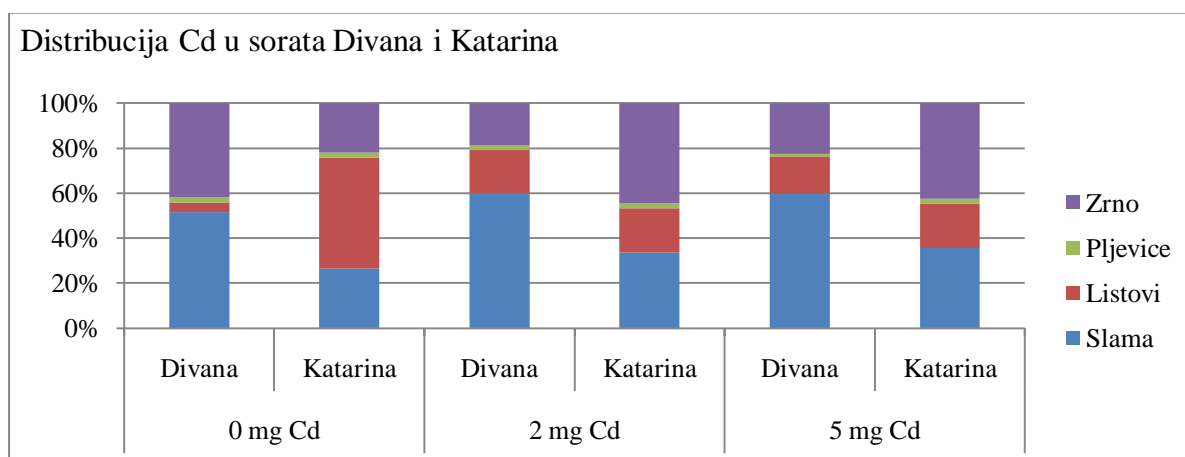
Grafikon 14. Distribucija Zn u ozime pšenice u punoj zriobi

Ispitivane sorte pšenice značajno se razlikuju po ukupnom iznošenju Cd masom suhe tvari u punoj zriobi na nekontaminiranim i na kontaminiranim tlima. S obzirom na prosječnu distribuciju Cd po pojedinim dijelovima biljke u odnosu na ukupno usvojenu količinu Cd po vlati u punoj zriobi, utvrđeno je da se najviše Cd nalazi u slami, s tim da se s porastom kontaminacije tla Cd, smanjuje udio Cd u slami u odnosu na ukupno usvojenu količinu Cd (grafikon 15). Količina Cd akumulirana u pljevicama također se smanjuje porastom kontaminacije tla Cd, dok količina Cd akumuliranog u listovima i zrnu po vlati raste s porastom kontaminacije tla Cd.



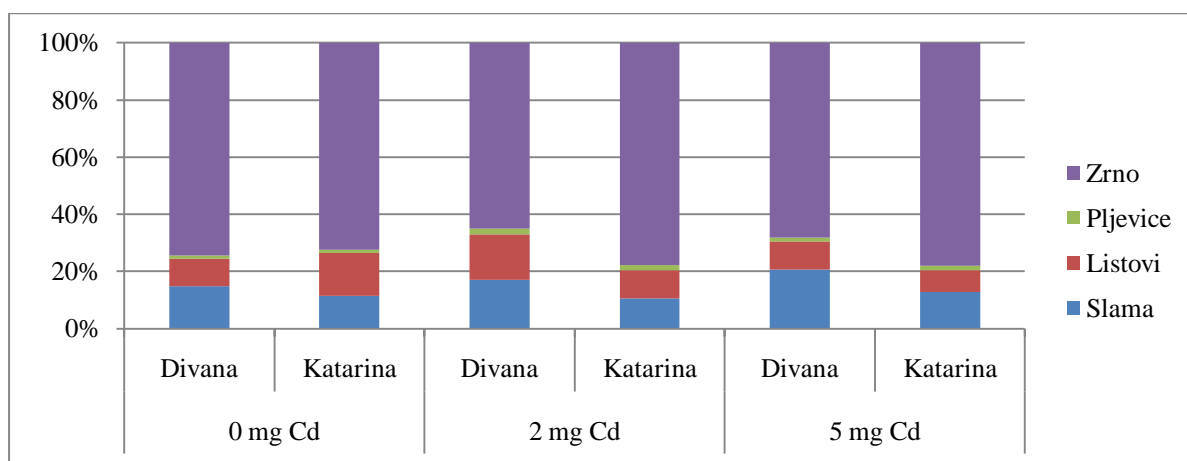
Grafikon 15. Prosječna distribucija Cd u različitim dijelovima pšenice u odnosu na ukupno akumuliranu količinu Cd po vlati

Sorta Katarina je usvojila najviše Cd (1,68 $\mu\text{g/vlati}$ u tretmanu s 2 i 2,66 $\mu\text{g/vlati}$ u tretmanu s 5 mg Cd kg^{-1} tla) u odnosu na ostale sorte, a Divana je usvojila najmanje Cd na tlu kontaminiranom Cd (0,72 $\mu\text{g/vlati}$ u tretmanu s 2 i 1,28 $\mu\text{g/vlati}$ u tretmanu s 5 mg Cd kg^{-1} tla). Najveća razlika u distribuciji Cd između ove dvije sorte utvrđena je na nekontaminiranom tlu, iako je na takvom tlu bila manja razlika između ukupno usvojene količine Cd po vlati (0,062 $\mu\text{g/vlati}$ sorta Divana i 0,070 $\mu\text{g/vlati}$ sorta Katarina) nego na kontaminiranom tlu. Na nekontaminiranom tlu sorta Katarina listovima iznosi 11 puta više Cd nego sorta Divana, no Divana iznosi 1,95 puta više slamom/vlati i 1,90 puta više zrnom/vlati nego Katarina. U listovima i pljevicama Divane i Katarine na kontaminiranom tlu akumulirane su približno jednake količine Cd u odnosu na ukupno usvojenu količinu Cd u biljci. Osnovna razlika u distribuciji između ove dvije sorte na kontaminiranom tlu je u slami (Divana je oko 60% od ukupne količine Cd u biljci akumulirala u slami, dok je kod Katarine u slami bilo oko 35% od ukupne količine Cd u biljci) i zrnu. Katarina je pri obje razine kontaminacije tla Cd u zrno akumulirala više od 40%, a Divana oko 20% od ukupno usvojene količine Cd. Divana je imala niži žetveni indeks na kontaminiranom tlu u odnosu na Katarinu te je moguće da je zbog toga udio Cd akumuliranog u zrno niži u odnosu na Katarinu. No Divana nije imala značajno niži žetveni indeks u odnosu na ostale sorte, a udio Cd akumuliranog u zrno Divane niži je od prosjeka ostalih sorata. S obzirom da je Divana u slami na kontaminiranom tlu zadržala oko 60% od ukupno usvojene količine Cd (što je oko 15% više od prosjeka ostalih sorata), postoji mogućnost da ova sorta ima bolje razvijen mehanizam vezanja Cd u stabljici i slabiju translokaciju u zrno u odnosu na Katarinu.



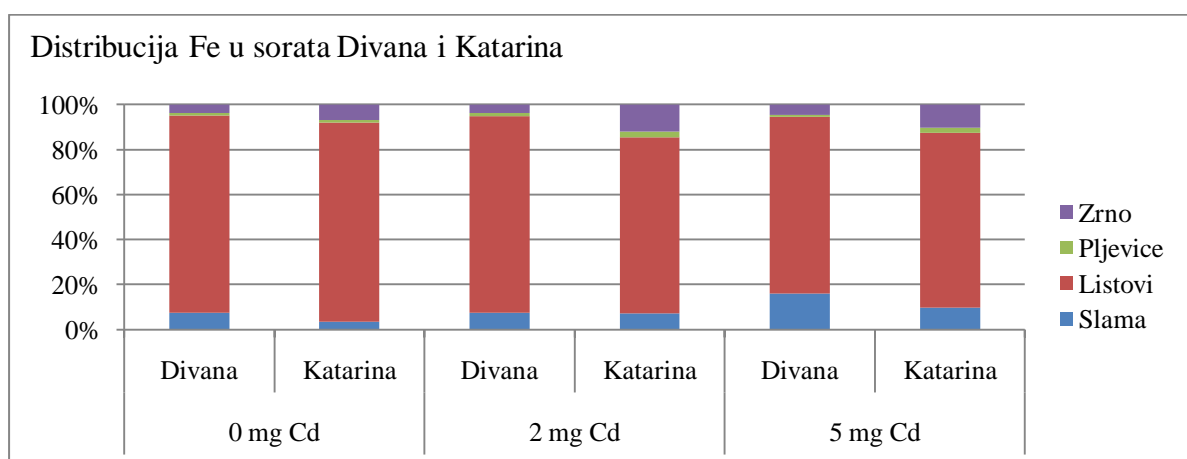
Grafikon 16. Distribucija Cd u sorata Divana i Katarina u punoj zriobi

Distribucija Zn i Fe u sortama koje su imale najnižu (Divana) i najvišu (Katarina) ukupnu količinu Cd po vlati nije se značajno razlikovala po primijenjenim tretmanima Cd u punoj zriobi. Obje sorte su najveći dio od ukupno usvojenog Zn akumulirale u zrnu (grafikon 17). No sorta Katarina je na tlu kontaminiranom Cd akumulirala u zrno približno 10% više Zn od ukupno usvojene količine u odnosu na sortu Divanu.



Grafikon 17. Distribucija Zn u sorata Divana i Katarina u punoj zriobi

Od ukupno usvojene količine Fe po vlati oko 80% je akumulirano u listovima kod obje sorte i u sva tri tretmana Cd, iako je porastom kontaminacije tla Cd primjećeno opadanje akumulacije Fe u listovima obje sorte. Distribucija Fe u Divane i Katarine ne razlikuje se značajno od prosječne distribucije Fe u ostalih sorata.



Grafikon 18. Distribucija Fe u sorata Divana i Katarina u punoj zriobi

Na osnovu dobivenih rezultata možemo zaključiti da se od ukupne količine usvojenog Cd u punoj zriobi najveći dio akumulira u slami i zrnu, najveći dio Zn u zrnu, a Fe u listovima pšenice.

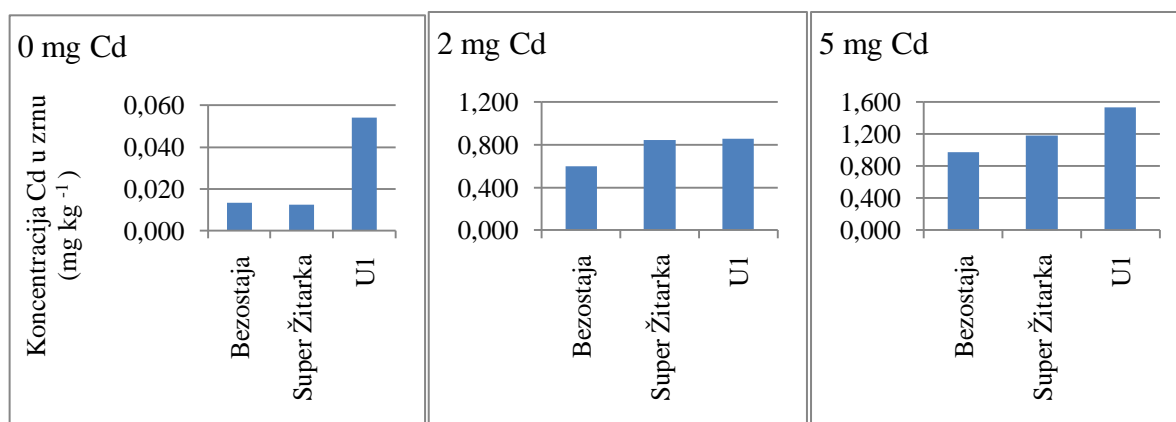
6.6. Akumulacija kadmija, cinka i željeza u ozime pšenice

Biljne vrste se značajno razlikuju s obzirom na usvajanje i akumulaciju Cd, Zn i Fe u različitim dijelovima biljke (Bingham, 1979.; McDonald i sur., 2008.). Rezultati dosadašnjih istraživanja pokazuju da najveći dio usvojenog Cd iz tla ostaje vezan u korijenu, a da se samo jedan dio translocira u nadzemne dijelove biljke. Količina Cd koji se translocira i akumulira u nadzemnim dijelovima ovisi o vrsti biljke i o genotipu (Grant i sur., 1998.). Tanhuanpää i sur. (2007.) navode da se najviše Cd akumulira u korijenu, zatim u stabljici, a da je najniža akumulacija Cd u zrnu.

U provedenom istraživanju, ispitivane sorte pšenice značajno se razlikuju po koncentraciji Cd u različitim dijelovima biljke (slama, listovi, pljevice i zrno) u punoj zriobi u sva tri tretmana Cd. Statistički značajne razlike u koncentraciji Cd utvrđene su i između primijenjenih razina kontaminacije tla Cd za sve dijelove biljke u punoj zriobi. Utvrđene su statistički značajne razlike u koncentraciji Fe u slami i u koncentraciji Zn u listovima između primjenjenih tretmana Cd u punoj zriobi. Od ispitivanih dijelova biljke u punoj zriobi najviša koncentracija Cd utvrđena je u slami, Zn u zrnu, a Fe u listovima na sve tri razine kontaminacije tla Cd u odnosu na ostale dijelove biljke.

Na nekontaminiranom tlu, najveća varijabilnost u koncentraciji Cd između sorata utvrđena je za listove i zrno. Iako je na nekontaminiranom tlu utvrđena velika varijabilnost u koncentraciji Cd u zrnu između ispitivanih sorata (CV = 43,03%) niti jedna od ispitivanih sorata nije akumulirala u zrno više od maksimalno dopuštene količine Cd u zrnu žitarica. Sorta U1 akumulirala je najviše Cd u zrnu na nekontaminiranom tlu te je od sorata koje su imale najnižu koncentraciju Cd u zrnu, Bezostaje i Super Žitarke, imala čak 4,15 puta višu koncentraciju. Utjecaj kontaminacije tla Cd na koncentraciju Cd u zrnu različitih sorata prikazan je u grafikonu 19. Sorta U1 koja je na nekontaminiranom tlu imala najvišu koncentraciju Cd u zrnu u odnosu na ostale sorte, na kontaminiranim tlima imala je prosječne vrijednosti koncentracije Cd u zrnu nešto iznad prosjeka ostalih sorata. Koncentracije Cd u zrnu sorata Super Žitarka ($0,846 \text{ mg kg}^{-1}$) i U1 ($0,855 \text{ mg kg}^{-1}$) gotovo su izjednačene na tlu kontaminiranom s 2 mg Cd , iako je na nekontaminiranom tlu U1 imala značajno višu koncentraciju Cd u zrnu. Sorte Bezostaja i Super Žitarka imale su jednaku koncentraciju Cd u

zrnu na nekontaminiranoj tlu, dok je na kontaminiranim tlima Super Žitarka imala veću koncentraciju od Bezostaje.



Grafikon 19. Utjecaj kontaminacije tla Cd na koncentraciju Cd u zrnu sorata Bezostaja, Super Žitarka i U1

Na kontaminiranim tlima koncentracija Cd u zrnu svih ispitivanih sorata prelazila je maksimalno dopuštenu količinu Cd u zrnu od 0,2 mg kg⁻¹. Na kontaminiranom tlu varijabilnost između sorata bila je nešto niža (CV=29,02% na 2 mg Cd, CV=27,95% na 5 mg Cd kg⁻¹ tla) te je pri kontaminaciji tla s 2 mg Cd kg⁻¹ razlika između sorte s najviše akumuliranog Cd u zrno (Srpanjka) i sorte s najmanje akumuliranog Cd u zrno (Divana) iznosila 3,70 reda veličina. U tretmanu s 5 mg Cd kg⁻¹ tla najviše Cd u zrno akumulirala je sorta Katarina, koja je imala 3,12 puta više Cd u zrnu od Divane, koja je akumulirala najmanje Cd u zrno i u ovom tretmanu. Katarina i Divana imaju približno jednaku masu 1000 zrna na kontaminiranom tlu te se razlike u koncentraciji Cd u zrnu u ove dvije sorte ne mogu pripisati „razrjeđenju“ zrna. Katarina je ostvarila najviši prinos zrna u odnosu na ostale sorte na tlu kontaminiranom s 2 mg Cd kg⁻¹, dok je pri kontaminaciji tla s 5 mg Cd kg⁻¹ najviši prinos imala sorta Srpanjka, dok je najniži prinos zrna na kontaminiranom tlu imala Osječka 20. Između prinosa zrna i koncentracije Cd u zrnu na nekontaminiranom i na kontaminiranom tlu nije utvrđena statistički značajna korelacija.

Iako su utvrđene statistički značajne razlike između sorata s obzirom na koncentraciju Zn u zrnu u sva tri tretmana Cd, varijabilnost sorata je niža nego za koncentraciju Cd u zrnu. Koeficijenti varijacije za koncentraciju Zn u zrnu iznose 21,83%, 20,16% i 12,82% pri kontaminaciji tla s 0, 2 i 5 mg Cd kg⁻¹ tla, što ukazuje da kontaminacija kadmijem i povećane koncentracije Cd u zrnu smanjuju različitost sorata u akumulaciji Zn u zrnu. Najviše Zn u zrno na nekontaminiranom tlu akumulirala je sorta Osječka 20 i imala je 2,01 puta više

koncentraciju Zn od Super Žitarke, sorte s najnižom akumulaciju Zn u zrno. Istovremeno je Osječka 20 imala čak i viši prinos zrna od sorte Super Žitarka (0,59 g prema 0,51 g). Osječka 20 je imala i najvišu koncentraciju Zn u zrnu na kontaminiranim tlima te je akumulirala 1,82 i 1,53 puta više Zn u zrno od Sane, sorte s najnižom akumulacijom Zn, u tretmanu s 2 odnosno s 5 mg Cd kg⁻¹ tla. Međutim, na kontaminiranim je tlima sorta Osječka 20 imala najniži prinos, čak 37% niži od sorte Sana (tablice 10 i 11) ili 46-56% niži prinos od sorti s najvišim prinosima na kontaminiranim tlima (Katarina i U1). Značajne razlike u koncentraciji Zn i Fe u zrnu različitih genotipova pšenice utvrdili su brojni istraživači te navode da bi se divlji rođaci pšenice, kod kojih je utvrđena visoka koncentracija Zn i Fe u zrnu u odnosu na heksaploidnu pšenicu, mogli upotrijebiti u oplemenjivanju s ciljem povećanja koncentracije Zn i Fe u zrnu (Cakmak i sur., 1999.; Bálint i sur., 2001.). Uauy i sur. (2006.) navode da divlja emer pšenica (*Triticum turgidum ssp. dicocoides*) može poslužiti kao značajan izvor genetske varijabilnosti s obzirom na sadržaj proteina, Zn, i Fe u zrnu. Isti autori su utvrdili da snižen sadržaj proteina, Zn i Fe u zrnu nije rezultat “razrjeđenja” zrna zbog njegove veličine, već posljedica razlika u translokaciji iz listova u zrno te navode da je to najvjerojatnije pod kontrolom NAM gena.

Ispitivane sorte značajno su se razlikovale u akumulaciji Fe u zrno u sva tri tretmana Cd. Akumulacija Fe u zrno varijabilno je svojstvo te je na nekontaminiranom tlu CV bio 39,65%, u tretmanu s 2 mg Cd 34,26%, a u tretmanu s 5 mg Cd kg⁻¹ tla 32,83%. Najvišu koncentraciju Fe u zrnu imale su sorte Osječka 20 i Katarina u sva tri tretmana Cd, što nije posljedica visine prinosa zrna jer su obje sorte imale prosječan prinos na nekontaminiranom tlu, dok je na kontaminiranim tretmanima Osječka 20 ostvarila najniže, a Katarina prosječno najviše prinose. Najmanje Fe u zrno akumulirale su Divana i Srpanjka. To je moguća posljedica visokog prinosa Divane samo na nekontaminiranom tlu, odnosno Srpanjke na najkontaminiranijem tlu. Istovremeno, prinosi Divane na najkontaminiranijem i Srpanjke na nekontaminiranom tlu bili su ispodprosječno niski, dakle najniža akumulacija Fe u zrnu Divane i Srpanjke nije direktna posljedica (samo) visokog prinosa zrna. Na nekontaminiranom tlu razlika između sorte s najvišom i najnižom koncentracijom Fe u zrno iznosila je 3,43 reda veličine, a na kontaminiranim tlima 2,48 i 2,59.

Odnos koncentracija Zn/Cd i Fe/Cd u zrnu najveći je na nekontaminiranom tlu za sve sorte (1073 i 1367), a porastom kontaminacije tla ovaj odnos se snižava te je vrlo sličan za Zn/Cd (40,0) i Fe/Cd (40,4) na tlu kontaminiranom s 2 mg Cd, ali i na tlu kontaminiranom s 5 mg Cd (21,3 i 21,7). Najviši omjer koncentracija Zn/Cd i Fe/Cd u zrnu na nekontaminiranom tlu u

odnosu na ostale sorte imale su Bezostaja (2625 i 3206) i Super Žitarka (1367 i 1748), koje su imale najniže koncentracije Cd u zrnu. No razlika u odnosu koncentracija Zn/Cd i Fe/Cd između ove dvije sorte je značajan jer je Bezostaja akumulirala u zrno 48% više Zn i 43% više Fe nego Super Žitarka. Najviši odnos koncentracija Zn/Cd na kontaminiranom tlu imaju sorte Divana (39,4-108,7) i Bezostaja (26,1-55,7), a odnos koncentracija Fe/Cd Osječka 20 (27,8-43,7), Divana (25,9-58,5) i Bezostaja (25,2-70,5). Najniži odnos koncentracija Zn/Cd na nekontaminiranom tlu ima sorta U1 (527), a na kontaminiranim tlima Sana (15,7-19,1), Katarina (13,4-25,9) i Srpanjka (16,5-22,3). Sorta Divana ima najniži odnos koncentracija Fe/Cd (486) na nekontaminiranom dok Sana (19,1) i Srpanjka (11,1-15,8) imaju najniži odnos Fe/Cd na kontaminiranim tlima. Najviši odnos koncentracija Zn/Fe u zrnu imaju sorte Divana i Srpanjka, a najniži Katarina i Sana na nekontaminiranom tlu te Pipi i Katarina na kontaminiranim tlima.

Osječka 20 može se izdvojiti kao sorta s visokom akumulacijom Zn i Fe i prosječnom akumulacijom Cd u zrno u odnosu na ostale sorte. Divana se ističe kao sorta izrazito niske akumulacije Cd (na kontaminiranim tlima) i Fe u zrno, dok je akumulacija Zn u prosjeku ostalih sorata. Za razliku od Divane, Katarina akumulira visoke koncentracije Cd i Fe u zrno uz prosječnu akumulaciju Zn u zrno. Srpanjka akumulira visoke koncentracije Cd u zrno na kontaminiranom tlu, a akumulacija Fe i Zn u zrno su ispod prosjeka ostalih sorata.

Ukupna akumulacija Cd, Zn i Fe po biljci izražena je kao ukupno iznošenje nadzemnom masom biljke u punoj zriobi u $\mu\text{g/vlati}$ (tablica 38, 52 i 66). Iako je prosječna masa biljke (g) opadala s porastom kontaminacije tla, ukupno iznošenje Cd/vlati raslo je porastom kontaminacije tla. Za razliku od Cd ukupno iznošenje Zn i Fe opadalo je porastom kontaminacije tla Cd, kao posljedica manje mase biljke. Na nekontaminiranom tlu najmanje Cd iznosi Super Žitarka (0,03 $\mu\text{g/vlati}$), a najviše Katarina i U1 (0,07 $\mu\text{g/vlati}$). Divana, koja je na nekontaminiranom tlu imala prosječno iznošenje Cd, na kontaminiranom tlu iznosi najmanje Cd (0,72 i 1,28 $\mu\text{g/vlati}$ pri kontaminaciji s 2 odnosno 5 mg Cd kg^{-1} tla) u odnosu na ostale sorte, što je rezultat niže akumulacije Cd u sve nadzemne dijelove kod ove sorte. Najviše Cd na kontaminiranom tlu iznose sorte Katarina, Sana i Srpanjka te Bezostaja u tretmanu s 2 mg Cd kg^{-1} tla. Ispitivane sorte statistički značajno su se razlikovale u iznošenju Zn na nekontaminiranom tlu dok na kontaminiranim tlima nisu utvrđene statistički značajne razlike u iznošenju Zn (tablica 52). Na nekontaminiranom tlu najviše Zn iznosile su Bezostaja i Osječka 20, a najmanje Super Žitarka i Slavonija. Super Žitarka je iznosila niske količine Zn i na kontaminiranim tlima. Za iznošenje Fe utvrđene su statistički značajne razlike između sorata na nekontaminiranom tlu i pri kontaminaciji tla s 2 mg Cd kg^{-1} tla (tablica 66). Osječka

20 i U1 iznosile su najviše Fe na nekontaminiranom tlu. Slavonija, koja je bila predzadnja po iznošenju Fe na nekontaminiranom tlu, na kontaminiranim tlima iznosila je najviše Fe. Sorta Srpanjka je na sve tri razine kontaminacije tla Cd ukupnom nadzemnom masom biljke iznosila najmanje Fe.

6.7. Pogodnost ispitivanih genotipova ozime pšenice za prehranu ljudi

U svijetu se godišnje proizvede preko 600 milijuna tona pšenice. U nerazvijenim dijelovima Svijeta pšenica je osnovna namirnica u svakodnevnoj prehrani ljudi i važan izvor minerala. Procjenjuje se da gotovo polovina svjetskog stanovništva pati zbog nedostatka Fe i Zn. Iz tog razloga važno je povećati količinu ovih esencijalnih elemenata u zrnu pšenice, a količinu toksičnih elemenata, kao što je Cd, zadržati u dozvoljenim okvirima. Maksimalno dopuštena količina Cd u zrnu ozime pšenice iznosi $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ (Commission regulation, 2001.).

Koncentracija Cd u zrnu ispitivanih sorata pšenice bila je ispod maksimalno dopuštene količine na nekontaminiranom tlu, ali je na kontaminiranim tlima (2 i 5 mg Cd kg^{-1} tla) koncentracija svih ispitivanih sorata bila iznad dopuštene granice. Prema podacima Statističkog ljetopisa Republike Hrvatske (2010.) prosječna dnevna potrošnja kruha u Hrvatskoj iznosi 210 g po stanovniku. Prosječnom potrošnjom kruha od 210 g po glavi stanovnika dnevno, ispitivanim sortama pšenice uzgajanim na tlu nekontaminiranom Cd, u organizam bi se unosilo manje od dozvoljene dnevne količine Cd po danu, koja iznosi $0,057\text{--}0,071 \text{ mg}$ (WHO, 1972.). No treba uzeti u obzir da bi se samo konzumacijom kruha (od cjelovitog zrna), sortama U1, Pipi, Divana, Katarina i Slavonija uzgajanih na nekontaminiranom tlu u organizam unijelo više od 10% od dozvoljene dnevne količine Cd, a sortom U1 čak 17%. Konzumacijom kruha ispitivanih sorata uzgajanih na kontaminiranom tlu u organizam bi se dnevno unosilo i do sedam puta više Cd od dozvoljene dnevne količine. Za uzgoj na tlu kontaminiranom Cd najpogodnija bi bila sorta Divana koja je imala najnižu koncentraciju Cd u zrnu te bi se kruhom ove sorte u organizam unosile najmanje količine (ali ipak više od dozvoljene dnevne količine Cd) Cd u odnosu na ostale ispitivane sorte.

Ciljna koncentracija Zn u zrnu pšenice koju se želi postići biofortifikacijom je $40\text{--}60 \text{ mg kg}^{-1}$ (Gao i sur., 2011.). Prosječna koncentracija Zn u zrnu ispitivanih sorata pšenice bila je 26 mg kg^{-1} na sve tri razine kontaminacije tla Cd. Najvišu koncentraciju Zn u zrnu imala je sorta Osječka 20 (35 mg kg^{-1}), no i ta je koncentracija niža od željenih minimalno 40 mg kg^{-1} . Dnevni unos Zn trebao bi se kretati od 10 do 15 mg . Prosječnom konzumacijom kruha (od cjelovitog zrna), od sorte Osječka 20, u organizam bi se unosilo oko $7,4 \text{ mg Zn/dan}$, što je

60% od preporučene dnevne količine za odrasle osobe. Osim Osječke 20, sortama Bezostaja i U1 bi se također u organizam unosile visoke količine Zn. Za sada nije u potpunosti razjašnjeno koliko se Zn iz zrna pšenice može apsorbirati u probavnom traktu čovjeka. Zn i Fe su u zrnu vezani na fitinsku kiselinu te su zbog toga slabo apsorbiraju u ljudskom organizmu (Welch i sur., 2005.). Na osnovu toga može se zaključiti da je za zadovoljavajući unos Zn u organizam čovjeka potrebno povećati koncentraciju Zn u zrnu, smanjiti sadržaj fitinske kiseline i ukoliko je moguće konzumirati namirnice koje su bolji izvori Zn nego pšenica. U grupu namirnica bogatih Zn spadaju povrće, meso, riba, morski plodovi, mlijeko i jaja (Jirka Alebić, 2008.).

Najbolji izvori Fe u prehrani ljudi su crveno meso, piletina i riba. Apsorpcija Fe iz pšenice u ljudskom organizmu je niska te stoga pšenica nije najbolji izvor Fe, no za osobe koje žive u nerazvijenim i siromašnim dijelovima Svijeta, pšenica je značajan izvor Fe. Preporučene dnevne količine Fe kreću se u rasponu od 10 do 15 mg/dnevno za odrasle osobe (Herbert, 1987.). Sorte Osječka 20, Katarina i U1 se mogu izdvojiti kao sorte pšenice čije brašno, odnosno kruh bi bili najbolji izvor Fe u odnosu na ostale sorte. Konzumacijom kruha sorte Osječka 20 i Katarine zadovoljilo bi se oko 70% dnevnih potreba, a sortama Bezostaja i U1 oko 57% dnevnih potreba za Fe. Kruhom sorata Divana i Srpanjka zadovoljilo bi se tek 27 odnosno 29% ukupnih dnevnih potreba za Fe.

6.8. Pogodnost ispitivanih genotipova ozime pšenice za hranidbu životinja

Osim žitarica i povrća, od kojih potječe najveća količina Cd koji se akumulira u organizmu čovjeka, značajan dio potječe i od mesa životinja u kojemu je akumuliran Cd. U organizmu životinja Cd se najviše akumulira u bubrezima i jetri te u manjim količinama u mišićima i mlijeku (WHO, 1998.). U Republici Hrvatskoj zakonom o zdravstvenoj ispravnosti i zdravstvenom nadzoru nad namirnicama i predmetima opće uporabe, propisane su maksimalno dopuštene količine Cd u namirnicama različitog porijekla (Ministarstvo zdravstva RH, 1994.). Dozvoljena količina Cd u mesu u RH je $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ svježe mase, dok je u zemljama Europske Unije dozvoljena granica duplo niža - $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ svježe mase (Commission Regulation, 2001.). Maksimalno dopuštena količina Cd u jetrici je 0,5, a u bubrezima $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$ svježe mase. Procjenjuje se da se unos dopuštene dnevne količine Cd u organizam čovjeka može prekoračiti konzumacijom samo jednog ovčjeg bubrega (Prankel i sur., 2004.). Sapunar-Postružnik i sur. (2001.) su proveli istraživanje kojim su u jetri svinja utvrdili da se koncentracija Cd kretala od 0,07 do $1,69 \text{ mg kg}^{-1}$, a u bubrezima od 0,67 do

12,96 mg kg⁻¹, što je nekoliko puta više od maksimalno dopuštene količine Cd u ovim tkivima. Visoka koncentracija Cd u bubrezima i jetri posljedica je hranjenja svinja krmivom kontaminiranim Cd. Osim što mesnim proizvodima i mlijekom ulazi u organizam ljudi, Cd u organizmu životinja izaziva brojne probleme (usporen rast, loš apetit, anemiju, problem s mineralizacijom kostiju, pobačaje i dr.). Powell i sur. (1964.) navode da kod preživača, konzumacija visokih količina Cd izaziva simptome slične nedostatku Zn, koji se mogu ublažiti dodatkom Zn u svakodnevnu prehranu. Kod peradi je utvrđeno da povišene razine Cd uzrokuju sniženu produkciju jaja, usporen razvoj spolnih organa te oštećenja bubrega. S obzirom na navedeno, važno je da hrana za životinje sadrži što nižu količinu Cd i što povoljniji omjer Zn/Cd. Ispitivane sorte pšenice značajno su se razlikovale po koncentraciji Cd, Zn i Fe u slami u punoj zriobi na sve tri razine kontaminacije tla Cd. Najnižu koncentraciju Cd u slami imale su sorte Pipi i Bezostaja na nekontaminiranom tlu dok su najvišu koncentraciju Zn u slami na nekontaminiranom tlu imale sorte Osječka 20 i Bezostaja. S obzirom da je imala nisku koncentraciju Cd i visoku koncentraciju Zn u slami, sorta Bezostaja ima najpovoljniji omjer Zn/Cd u odnosu na ostale sorte. Na kontaminiranim tlima najnižu koncentraciju Cd u slami ima sorta Divana, a najvišu koncentraciju Zn sorte Srpanjka i Osječka 20, što je rezultiralo povoljnim omjerima Zn/Cd kod ovih sorata. Povoljan omjer koncentracija Zn/Cd u zrnu na nekontaminiranom tlu imala je sorta Bezostaja, a na kontaminiranim tlima Divana (isto kao i u slami) te bi ove dvije sorte mogli preporučiti za hranidbu životinja, jer bi se njima unosilo najmanje Cd i najviše Zn zrnom i slamom u odnosu na ostale sorte.

6.9. Značaj rezultata za oplemenjivanje pšenice

Koncentracije Cd, Zn i Fe u zrnu različitih genotipova pšenice značajno variraju (Oliver i sur., 1995.; Grant i sur., 2008.; White i Broadley, 2009.), a genotipovi s niskom akumulacijom Cd u zrno imaju sličan pedigree, što ukazuje na mogućnost oplemenjivanja u cilju sniženja koncentracije Cd u zrnu.

U Kanadi je 1991. godine pokrenut program oplemenjivanja durum pšenice u cilju snižavanja koncentracije Cd u zrnu, a 2004. godine je priznata prva komercijalna sorta durum pšenice „Springfield“, za koju je karakteristična niska akumulacija Cd u zrno. Clarke i sur. (2005.) navode da je u Kanadi zastupljena u proizvodnji s 25% u odnosu na ostale durum pšenice. Utvrđeno je da kod durum pšenice koncentraciju Cd u zrnu kontrolira jedan dominantni gen, a naknadno je utvrđeno da je smješten na kromosomu 5B (Grant i sur., 2008.). Clarke i sur.

(2002.) su utvrdili da svojstvo niske akumulacije Cd u zrno nije u negativnoj korelaciji s urodom, sadržajem proteina u zrnu i masom zrna.

Literaturni navodi o interakciji Cd i Zn prilikom usvajanja i akumulacije u zrno su kontradiktorni pa tako i preporuke o oplemenjivanju pšenice u cilju povećanja koncentracije Zn uz nisku koncentraciju Cd. Gao i sur. (2011.) navode da je ciljana koncentracija Zn koju se želi postići biofortifikacijom minimalno 40 mg kg⁻¹. Isti autori navode da između koncentracije Zn i Cd nisu utvrdili nikakvu povezanost te da bi oplemenjivanje u cilju povećanja koncentracije Zn u zrnu bilo izvedivo bez opasnosti od povećanja koncentracije Cd u zrnu. Gawalko i sur. (2002.) su proveli istraživanje na 1000 uzoraka ozime pšenice i nisu utvrdili vezu između koncentracije Cd i Zn u zrnu. Za razliku od njih, Hart i sur. (2005.) navode da bi svojstvo niske akumulacije Cd u zrno moglo biti povezano sa snižavanjem akumulacije Zn u zrno, osobito u uvjetima nedostatka Zn u tlu. Vasconcelos i sur. (2003.) navode da postoji pozitivna korelacija između akumulacije Zn i Fe u zrno riže te da bi se oplemenjivanjem mogla povećati koncentracije oba elementa u zrnu.

U provedenom istraživanju utvrđeno je da se međuodnosi elemenata razlikuju na kontaminiranom i nekontaminiranom tlu. S obzirom na međuodnose Cd, Zn, i Fe, 55 sorata ispitivanih u prvoj godini pokusa, podijeljeno je u šest grupa (tablica 68 i tablica 69). Za sve grupe sorata utvrđena je pozitivna korelacija između koncentracije Zn i Fe u zrnu, što ukazuje na to da bi se oplemenjivanjem u cilju povećanja akumulacije Zn u zrnu mogla povećati i akumulacija Fe. Slaba veza pozitivnog smjera između koncentracije Cd i Zn utvrđena je u grupama 5 (Aida, Barbara, Ilirija, Lucija, Patria, Soissons i Ružica) i 6 (Edison, Golubica, Janica, Mihaela, MV Magdalena, Pipi, Slavonija, Valerius i Žitarka). Negativna veza između koncentracije Cd i Zn te Cd i Fe u zrnu utvrđena je za 3. grupu sorata (Ana, Anđelka, Bastide, BC Elvira, Libellula i Katarina).

S obzirom na veliku varijabilnost koncentracija Cd, Zn i Fe u zrnu ispitivanih sorata pšenice te na različite međuodnose ovih elemenata u pojedinim grupama, moguće je izdvojiti genetski materijal koji bi mogao poslužiti kao polazište za oplemenjivanje s ciljem povećanja koncentracije Zn i Fe te sniženja Cd u zrnu, odnosno postizanja povoljnog odnosa Zn/Cd i Fe/Cd u zrnu.

7. ZAKLJUČAK

Na temelju istraživanja sortne specifičnosti ozime pšenice s obzirom na akumulaciju Cd, Zn i Fe može se zaključiti sljedeće:

1. Agronomska svojstva ozime pšenice

- a) Kontaminacija tla Cd značajno je utjecala na sniženje vrijednosti agronomskih svojstava u obje vegetacije.
- b) Ispitivane sorte pšenice značajno se razlikuju po vrijednostima agronomskih svojstava u obje godine pokusa na nekontaminiranom i na kontaminiranim tlima.
- c) Masa biljke (g) i masa klasa (g) su svojstva na koje je kontaminacija tla Cd najviše utjecala te je za njih zabilježeno najveće sniženje vrijednosti pod utjecajem kontaminacije tla Cd.

2. Koncentracija Cd, Zn i Fe u ozimoj pšenici

- a) U svim analiziranim dijelovima pšenice u fazi cvatnje i punoj zriobi utvrđene su najviše prosječne koncentracije Fe, nešto niže koncentracije Zn i najniže koncentracije Cd neovisno o kontaminaciji tla kadmijem.
- b) Najviša prosječna koncentracija Cd i Zn utvrđena je u korijenu. Od nadzemnih dijelova pšenice, najviša prosječna koncentracija Cd utvrđena je u slami (stabljici) i listovima na kontaminiranim tlima te u listu zastavičaru na nekontaminiranom tlu, a Zn u zrnu neovisno o primijenjenoj razini kontaminacije tla kadmijem. Najviša koncentracija Fe (viša od koncentracije u korijenu) utvrđena je u listovima. U fazi cvatnje najniža koncentracija Cd i Fe utvrđena je u klasu, a Zn u listovima. U punoj zriobi najniže koncentracije Cd i Fe utvrđene su u zrnu, a Zn u slami. Ispitivane sorte značajno se razlikuju po koncentracijama navedenih elemenata u različitim dijelovima pšenice.
- c) Kontaminacija tla Cd značajno je povećala koncentraciju Cd u svim analiziranim dijelovima pšenice. Na tlu kontaminiranom Cd, utvrđene su statistički značajne razlike između sorata u koncentraciji Cd u svim dijelovima pšenice (osim u korijenu pri kontaminaciji s 2 mg Cd kg^{-1} tla). U fazi cvatnje, na nekontaminiranom tlu statistički značajne razlike u koncentraciji Cd između ispitivanih sorata utvrđene su jedino u korijenu i listovima. Najveće povećanje koncentracije Cd uslijed kontaminacije tla, utvrđeno je kod Srpanjke i Katarine, a najmanje kod Divane.
- d) Kontaminacija tla Cd značajno je utjecala na promjenu prosječne koncentracije Zn u stabljici, listovima i klasu u cvatnji, te Zn u listovima i Fe u slami u punoj zriobi.

3. Iznošenje Cd, Zn i Fe masom suhe tvari pšenice

- a) Utvrđeno je prosječno najviše iznošenje Fe svim dijelovima pšenice, nešto niže iznošenje Zn te najniže iznošenje Cd, neovisno o kontaminaciji tla Cd, u cvatnji i u punoj zriobi.
- b) Najviše Cd iznošeno je masom stabljike i listova u cvatnji, Zn masom zrna, a Fe masom listova u punoj zriobi neovisno u kontaminaciji tla Cd. Masom pljevica iznesene su najniže količine sva tri ispitivana elementa neovisno o kontaminaciji tla Cd.
- c) Kontaminacija tla Cd značajno je utjecala na prosječno iznošenje Cd svim analiziranim dijelovima pšenice. Ispitivane sorte pšenice značajno se razlikuju po iznošenju Cd masom listova i zrna u punoj zriobi na nekontaminiranom tlu te slamom, pljevicama i zrnom na kontaminiranim tlima.
- d) Najveće iznošenje Cd ukupnom nadzemnom masom u punoj zriobi na kontaminiranom tlu utvrđeno je za sorte Katarina i Sana, a najveći porast iznošenja Cd ukupnom nadzemnom masom uslijed kontaminacije tla Cd utvrđen je za sorte Super Žitarka i Slavonija. Najmanje Cd ukupnom nadzemnom masom na kontaminiranim tlima iznosile su sorte Divana i Osječka 20, a najmanji porast iznošenja uslijed kontaminacije tla Cd imale su Divana, U1 i Pipi. Na nekontaminiranom tlu najveće iznošenje Cd imale su U1, Katarina i Sana.
- e) Kontaminacija tla Cd značajno je utjecala na promjenu prosječnog iznošenja Zn i Fe masom listova. Na nekontaminiranom tlu najviše prosječno iznošenje Zn ukupnom nadzemnom masom imale su sorte Bezostaja, Osječka 20 i U1, a Fe Osječka 20, U1 i Katarina. Kod nekih sorata (Slavonija, Katarina, Super Žitarka i Srpanjka) utvrđen je porast iznošenja Zn ukupnom nadzemnom masom uslijed kontaminacije tla, dok su pojedine sorte (Pipi, Osječka 20 i U1) reagirale snižavanjem iznošenja Zn ukupnom nadzemnom masom biljke. Slavonija je jedina sorta kod koje je utvrđen porast iznošenja Fe ukupnom masom suhe tvari uslijed kontaminacije tla Cd te je ova sorta imala i najviše iznošenje Fe. Najmanje Fe ukupnom nadzemnom masom biljke iznosila je Srpanjka na sve tri razine kontaminacije tla, a najznačajnije sniženje iznošenja Fe uslijed kontaminacija tla imale su sorte U1 i Osječka 20.

4. Usvajanje Cd, Zn i Fe u korijen ozime pšenice

- a) Kontaminacija tla Cd značajno je utjecala na povećanje koeficijenta usvajanja Cd u korijen, ali nije imala značajan utjecaj na koeficijente usvajanja Zn i Fe u korijen.

- b) Najniži koeficijent usvajanja Cd u korijen na nekontaminiranom tlu imala je sorta Super Žitarka, a najviši Pipi. Na kontaminiranim tlima visoke koeficijente usvajanja Cd u korijen imale su Srpanjka, Bezostaja, Katarina i U1. Sana i Pipi su imale najniže koeficijente usvajanja Zn u korijen, a Divana, Bezostaja i Katarina najviše. Nizak koeficijent usvajanja Fe u korijen na sve tri razine kontaminacije tla Cd imala je sorta Osječka 20, a visok Srpanjka.
- c) Koeficijenti usvajanja Cd, Zn i Fe u korijen nisu u korelaciji s koncentracijom navedenih elemenata u zrnu što znači da specifičnost akumulacije Cd, Zn i Fe u zrno više ovisi o specifičnosti translokacije iz korijena u nadzemne dijelove biljke nego o usvajanju Cd, Zn i Fe iz tla. Kompetitivni odnos između Cd i Zn prilikom usvajanja u korijen nije utvrđen.

5. Translokacija Cd, Zn i Fe u ozime pšenice

- a) Kontaminacija tla Cd utjecala je na snižavanje koeficijenta translokacije Cd iz korijena u stabljiku i list zastavičar s tim da su veće razlike u koeficijentu translokacije između kontaminiranog i nekontaminiranog tla utvrđene za list zastavičar. Kontaminacija tla Cd nije značajno utjecala na koeficijente translokacije Zn i Fe iz korijena u stabljiku i list zastavičar.
- b) Ispitivane sorte značajno se razlikuju po koeficijentima translokacije Cd, Zn i Fe u stabljiku i zastavičar. Najniži koeficijent translokacije Cd u stabljiku i zastavičar imala je sorta Divana, na nekontaminiranom i kontaminiranom tlu, dok najviše koeficijente translokacije u stabljiku imaju Katarina i Srpanjka, a u list zastavičar Osječka 20 i Srpanjka na kontaminiranim tlima. Osječka 20 ima i visoke koeficijente translokacije Zn i Fe, za razliku od Srpanjke koja ima niske koeficijente translokacije ova dva elementa.
- c) Koeficijent translokacije Cd u zastavičar dobar je pokazatelj za procjenu koncentracije Cd u zrnu, dok za Zn i Fe nije utvrđena značajna veza između koeficijenta translokacije u zastavičar i koncentracije u zrnu.

6. Distribucija Cd, Zn i Fe u ozime pšenice

- a) Kontaminacija tla Cd nije značajno utjecala na distribuciju Cd, Zn i Fe u različitim organima pšenice. U cvatnji koncentracije Cd, Zn i Fe u pšenici opadaju od korijena prema vrhu biljke. U punoj zriobi utvrđen je niz koncentracija Cd slama>listovi>pljevice>zrno neovisno o kontaminaciji tla Cd. Najviša koncentracija Zn

utvrđena je u zrnu (zrno>listovi>pljevice>slama), a Fe u listovima (listovi>pljevice>slama>zrno) u punoj zriobi neovisno o kontaminaciji tla Cd.

- b) Uzevši u obzir masu suhe tvari pojedinih dijelova pšenice i koncentraciju ispitivanih elemenata, prosječno najviše Cd akumuliralo se u stabljiku i zrno, Zn u zrno, a Fe u listove u punoj zriobi neovisno o kontaminaciji tla Cd.
- c) Ispitivane sorte ne razlikuju se značajno po distribuciji Zn i Fe u različitim dijelovima pšenice. Najveće razlike između sorata u distribuciji po dijelovima pšenice, utvrđene su za Cd. Divana je akumulirala najmanje, a Katarina najviše Cd u zrno (od ukupno usvojene količine) na kontaminiranim tlima u odnosu na ostale sorte te je Divana bila ispod, a Katarina iznad prosjeka ostalih sorata po tom svojstvu. Na kontaminiranim tlima visoku akumulaciju Cd u zrno imala je sorta Srpanjka koja je na nekontaminiranom tlu u zrno akumulirala vrlo malo od ukupno usvojenog Cd u nadzemnim dijelovima pšenice.

7. Akumulacija Cd, Zn i Fe u ozimoj pšenici

- a) Kontaminacija tla Cd značajno je utjecala na akumulaciju Cd u svim ispitivanim dijelovima pšenice, akumulaciju Zn u listove te Fe u slamu.
- b) Ispitivane sorte pšenice značajno se razlikuju po akumulaciji Cd, Zn i Fe u zrnu pšenice te po koeficijentu akumulacije Cd, Zn i Fe u zrno.
- c) Odnosi koncentracija Zn/Cd i Fe/Cd u zrnu najviši su na nekontaminiranom tlu, a porastom kontaminacije tla se snižavaju. Sorte se razlikuju po odnosu koncentracija Zn/Cd, Fe/Cd i Zn/Fe. Najpovoljniji odnos Zn/Cd i Fe/Cd na nekontaminiranom tlu imaju sorte Bezostaja i Super Žitarka, a na kontaminiranim tlima Divana i Bezostaja (Zn/Cd) te Osječka 20 i Divana (Fe/Cd).
- d) Utvrđena je sortna specifičnost s obzirom na akumulaciju Cd, Zn i Fe u zrno te je moguće izdvojiti sljedeće sorte:
- na nekontaminiranom tlu:
 - Super Žitarka i Srpanjka (niska akumulacija Cd, Zn i Fe u zrno)
 - Divana (visoka akumulacija Cd, prosječna Zn i niska Fe u zrno)
 - Osječka 20 (prosječna akumulacija Cd, visoka Zn i Fe u zrno)
 - na kontaminiranom tlu:
 - Divana (niska akumulacija Cd i Fe, visoka akumulacija Zn u zrno)
 - Super Žitarka (prosječna akumulacija Cd, niska Zn i Fe u zrno)
 - Katarina (visoka akumulacija Cd i Fe, prosječna Zn u zrno)

- Osječka 20 (visoka akumulacija Cd, Zn i Fe u zrno).

8. S aspekta unosa Cd, Zn i Fe prehranom ljudi može se zaključiti sljedeće:

- a) Najpogodnije odnose Zn/Cd i Fe/Cd imaju sorte Osječka 20, Bezostaja i Divana. Njihovom bi se konzumacijom (u obliku kruha od cjelovitog brašna) zadovoljilo više od 50% dnevnih potreba za Zn i Fe. Osječka 20 i Bezostaja nisu danas u proizvodnji te ih se može upotrijebiti kao izvor genetske varijabilnosti u oplemenjivanju s ciljem povećanja koncentracije Zn i Fe u zrnu pšenice.
- b) Uzgojem Super Žitarke i Bezostaje na nekontaminiranom tlu smanjio bi se unos Cd kruhom u organizam.

8. LITERATURA

1. Adams ML, Zhao FJ, McGrath SP, Nicholson FA, Chambers BJ (2004) Predicting cadmium concentrations in wheat and barley grain using soil properties. *Journal of Environmental Quality* 33: 532-541
2. Arduini I, Gotbold D, Onnis A (1996) Cadmium and copper uptake and distribution in Mediterranean tree seedlings. *Plant Physiology* 97: 111-117
3. Ashraf MA, Maah MJ, Yusoff I (2011) Heavy metals accumulation in plants growing in ex tin mining catchment. *International journal of Environmental Science and Technology* 8(2): 401-416
4. Athar R, Ahmad M (2001) Heavy metal toxicity: Effect on plant growth and metal uptake by wheat, and on free living *Azotobacter*. *Water, Air, and Soil Pollution* 138: 165-180
5. Balint AF, Kovacs G, Erdei L, Sutka J (2001) Comparison of the Cu, Zn, Fe, Ca and Mg contents of the grains of wild, ancient and cultivated wheat species. *Cereal Research Communications* 29: 375-382
6. Barak P, Helmke PA (1993) *The Chemistry of Zinc*. U: Robson AD (ur.): Zinc in soils and plants. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 1-8
7. Bingham FT (1979) Bioavailability of Cd to food crops in relation to heavy metal content of sludge-amended soil. *Environmental Health Perspectives* 28: 39-43
8. Bouis HE (2003) Micronutrient fortification of through plant breeding: can it improve nutrition in man at low cost? *Proceedings of Nutrition Society* 62: 403-411
9. Cakmak I, Tolay I, Ozdemir A, Ozkan H, Ozturk L, Kling CI (1999) Differences in zinc efficiency among and within diploid, tetraploid and hexaploid wheats. *Annals of Botany* 84: (2) 163-171
10. Cakmak I, Ozkan H, Braun HJ, Welch RM, Römheld V (2000) Zinc and iron concentrations in seeds of wild, primitive and modern wheats. *Food and Nutrition Bulletin* 21:(4) 401-403
11. Cataldo DA, Wildung RE (1978) Soil and plant factors influencing the accumulation of heavy metals by plants. *Environmental Health Perspectives* 27: 149-159
12. CDFA (2002) Supplement to the development of risk-based concentrations for arsenic, cadmium, and lead in inorganic fertilizers. MWH, Sacramento, California.
13. Chakroun HK, Souissi F, Bouchardon JL, Souissi R, Moutte J, Faure O, Remon E, Abdeljaoued S (2010) Transfer and accumulation of lead, zinc, cadmium and copper in plants growing in abandoned mining-district area. *African Journal of Environmental Science and Technology* 4: (10) 651-659

14. Chan DY, Hale BA (2004) Differential accumulation of Cd in durum wheat cultivars: uptake and retranslocation as sources of variation. *Journal of Experimental Botany* 55(408): 2571-2579
15. Chandra R, Bharagava RN, Yadav S, Mohan D (2009) Accumulation and distribution of toxic metals in wheat (*Triticum aestivum* L.) and Indian mustard (*Brassica campestris* L.) irrigated with distillery and tannery effluents. *Journal of Hazardous Materials* 162: 1514-1521
16. Chatterjee C, Dube BK (2006) Cadmium-A Metal-An enigma: An Overview. U: Khan NA and Samiullah (ur.): Cadmium toxicity and tolerance in plants. Narosa Publishing House. New Delhi. 159-177
17. Chatzav M, Peleg Z, Ozturk L, Yazici A, Fahima T, Cakmak I, Saranga Y (2010) Genetic diversity for grain nutrients in wild emmer wheat: potential for wheat improvement. *Annals of Botany* 105: 1211-1220
18. Chen F, Dong J, Wang F, Wu F, Zhang G, Li G, Chen Z, Chen J, Wei K (2007) Identification of barley genotypes with low grain Cd accumulation and its interaction with four microelements. *Chemosphere* 67: 2082-2088
19. Chen F, Wu F, Dong J, Vincze E, Zhang G, Wang F, Huang Y, Wei K (2007a) Cadmium translocation and accumulation in developing barley grains. *Planta* 227: 223-232
20. Chen W, Li L, Chang AC, Wu L, Kwon S, Bottoms R (2008) Modeling uptake kinetics of cadmium by field-grown lettuce. *Environmental pollution* 152: 147-152
21. Chen W, Li L, Chang AC, Wu L, Chaney RL, Smith R, Ajwa H (2009) Characterizing the solid-solution partitioning coefficient and plant uptake factor of As, Cd and Pb in Californian Croplands. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 129: 212-220
22. Cheng W, Zhang G, Yao H, Wu W, Xu M (2006) Genotypic and environmental variation in cadmium, chromium, arsenic, nickel and lead concentrations in rice grains. *Journal of Zhejiang University Science (7)* 565-571
23. Clarke JM, Norwell WA, Clarke FR, Buckley WT (2002) Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. *Canadian Journal of Plant Science* 82: 27-33
24. Clarke JM, McCaig TN, DePauw RM, Knox RE, Clarke FR, Fernandez MR, Ames NP (2005) Strongfield durum wheat. *Canadian Journal of Plant Science* 85: 651-65
25. Commission regulation (EC) No 466/2001, setting maximum levels for certain contaminants in foodstuff (2001.) *Official Journal of the European Communities*, L77/1

26. Cui YJ, Zhu YG, Zhai RH, Chen DY, Huang YZ, Qiu Y, Liang JZ (2004) Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanjing, China. *Environment International* 30(6): 785-791
27. Čoga L, Bensa A, Herak Ćustić M, Poljak M, Gunjača J (2001) Utjecaj kadmija i cinka na koncentraciju kadmija u kukuruzu i pšenici. IX. Kongres Hrvatskog tloznanstvenog društva s međunarodnim sudjelovanjem. Racz, Zoltan (ur.), Zagreb: Hrvatsko tloznanstveno društvo: 77-78
28. Egner H, Riehm H, Domingo WR (1960) Investigations on the chemical soil analysis as a basis for assessing the soil nutrient status. II: Chemical extraction methods for phosphorus and potassium determination. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler* 26: 199-215
29. Eide D, Broderius M, Fett J, Guerinot ML (1996) A novel iron-regulated metal transporter from plants identified by functional expression in yeast. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA.* 93: 5624-5628.
30. Eriksson JE (1990) A field study on factors influencing Cd levels in soils and in grain of oats and winter wheat. *Water, Air, and Soil Pollution* 53: 69-81
31. Fan MS, Zhao FJ, Fairweather-Tait SJ, Poulton PR, Dunham SJ, McGrath SP (2008) Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over last 160 years. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 22: 315-324
32. Fediuc E, Erdei L (2002) Physiological and molecular aspects of cadmium toxicity and protective mechanisms induced in *Phragmites australis* and *Typha latifolia*. *Journal of Plant Physiology* 159:265-271
33. Fytianos K, Katsianis G, Triantafyllou P, Zachariadis G (2001) Accumulation of heavy metals in vegetables grown in an industrial area in relation to soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 67:423-430
34. Gao X, Mohr RM, McLaren DL, Grant CA (2011) Grain cadmium and zinc concentration in wheat as affected by genotypic variation and potassium chloride fertilization. *Field Crops Research* 122 (2): 95-103
35. Gawalko EJ, Garrett RG, Novicki TW (2002) Cadmium, copper, iron, manganese, selenium and zinc in Canadian spring wheat. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33: 3121-3133
36. Gimeno-García E, Andreu V, Boluda R (1996) Heavy metals incidence in the application of inorganic fertilizers and pesticides to rice farming soils. *Environmental Pollution* 92 (1): 19-25

37. Godzik, B (1993) Heavy metal content in plants from zinc dump and reference areas. Polish Botanical Studies 5: 113-132
38. Grant CA, Buckley WT, Bailey LD, Selles F (1998) Cadmium accumulation in crops. Canadian Journal of Plant Science 78(1): 1-17
39. Grant CA, Clarke JM, Duguid S, Chaney RL (2008) Selection and breeding of plant cultivars to minimize cadmium accumulation. Science of the Total Environment 390: 301-310
40. Gray CV, McLaren RG (2001) Cadmium concentrations in some New Zealand wheat grain. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 29: 125-136
41. Greger M, Löfstedt M (2004) Comparison of uptake and distribution of cadmium in different cultivars of bread and durum wheat. Crop Science 44: 501-507
42. Grewal HS, Graham RD (1997) Seed zinc content influences early vegetative growth and zinc uptake in oilseed rape (*Brassica napus* and *Brassica juncea*) genotypes on zinc-deficient soil. Plant and Soil 192: 191-199
43. Grotz N, Guerinot ML (2002) Limiting nutrients: an old problem with new solutions? Current Opinion in Plant Biology 5:158-163
44. Grotz N, Guerinot ML (2006) Molecular aspects of Cu, Fe and Zn homeostasis in plants. Biochimica et Biophysica Acta 1763: 595-608
45. Guerinot ML, Eide D (1999) Zeroing in on zinc uptake in yeast and plants. Current Opinion in Plant Biology 2: 244-249
46. Harris NS, Taylor GY (2004) Cadmium uptake and translocation in seedlings of near isogenic lines of durum wheat that differ in grain cadmium accumulation. BMC Plant Biology 4: 4
47. Hart JJ, Welch RM, Norwell WA, Sullivan LA, Kochian LV (1998) Characterization of cadmium binding, uptake, and translocation in intact seedlings of bread and durum wheat cultivars. Plant Physiology 116(4): 1413-1420
48. Hart JJ, Welch RM, Norwell WA, Clarke JM, Kochian LV (2005) Zinc effects on cadmium accumulation and partitioning in near-isogenic lines of durum wheat that differ in grain cadmium concentration. New Phytologist 167: 391-401
49. Hart JJ, Welch RM, Norwell WA, Kochian LV (2006) Characterization of cadmium uptake, translocation and storage in near-isogenic lines of durum wheat that differ in grain cadmium. New Phytologist 172: 261-271
50. He J, Zhu C, Ren Y, Yan Y, Jiang D (2006) Genotypic variation in grain cadmium concentration of lowland rice. Journal of Plant Nutrition Soil Science 169: 711-716

51. Herbert V (1987) Recommended dietary intakes (RDI) of iron in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition* 45: 679-686
52. Herrren T, Feller U (1997) Transport of cadmium via xylem and phloem in maturing wheat shoots: comparison with the translocation of zinc, strontium and rubidium. *Annals Botany* 80: 623-628
53. International Standard Organisation (1994) Soil quality - Determination of pH [ISO 10390: 1994(E)]. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
54. International Standard Organisation (1998) Soil quality - Determination of organic carbon by sulfochromic oxidation [ISO 14235: 1998(E)]. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization
55. Jacoby B, Moran N (2001) Mineral Nutrient Transport in Plants. U: Pessaraki M (2001) Handbook of plant and crop physiology. Marcel Dekker Inc. New York. 337-361
56. Järup L, Åkesson A (2009) Current status of cadmium as an environmental health problem. *Toxicology and Applied Pharmacology* 238: 201-208
57. Jing S, Lianqing LI, Genxing P (2009) Variation of grain Cd and Zn concentrations of 110 hybrid rice cultivars grown in a low-Cd paddy soil. *Journal of Environmental Sciences* 21: 168–172
58. Jirka Alebić I (2008) Prehrambene smjernice i osobitosti osnovnih skupina namirnica. *Medicus* 17 (1): 31-46
59. Kabata-Pendias A, Pendias H (2001) Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, Florida
60. Kalayci M, Torun B, Eker S, Aydin M, Ozturk L, Cakmak I (1999) Grain yield, zinc efficiency and zinc concentration of wheat cultivars grown in a zinc-deficient calcareous soil in field and greenhouse. *Field Crops Research* 63: 87-98
61. Köleli N, Eker S, Cakmak I (2004) Effect of zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread wheat grown in zinc-deficient soil. *Environmental Pollution* 131: 453-459
62. Kraljević-Balalić M, Petrović S, Dimitrijević M, Mladenov N (2008) Genotypic variation for leaf cadmium concentration in *Triticum* sp. U: Molina Cano JL, Christou P, Graner A, Hammer K, Jouve N, Keller B, Lasa JM, Powell W, Royo C, Shewry P, Stanca AM. Cereal science and technology for feeding ten billion people: genomics era and beyond. *Options Mediterraneennes, Series A, No. 81*: 311-314
63. Kubo K, Watanabe Y, Oyanagi A, Kaneko S, Chono M, Matsunaka H, Seki M, Fujita M (2008) Cadmium concentration in grains of Japanese wheat cultivars: genotypic

- difference and relationships with agronomic characteristics. *Plant Production Science* 11(2): 243-249
64. Larsson EH, Bornman JF, Asp H (1998) Influence of UV-B radiation and Cd²⁺ on chlorophyll fluorescence, growth and nutrient content in *Brassica napus*. *Journal of Experimental Botany* 49 (323): 1031-1039
 65. Li YM, Chaney RL, Schneiter AA, Miller JF, Elias EM, Hammond JJ (1997) Screening for low grain cadmium phenotypes in sunflower, durum wheat and flax. *Euphytica* 94: 23-30
 66. Liu JG, Liang JS, Li KQ, Zhang ZJ, Yu BY, Lu XL, Yang JC, Zhu QS (2003) Correlation between cadmium and mineral nutrients in absorption and accumulation in various genotypes of rice under cadmium stress. *Chemosphere* 52: 1467-1473
 67. Liu J, Zhu Q, Zhang Z, Xu J, Yang J, Wong MH (2005) Variations in cadmium accumulation among rice cultivars and types and the selection of cultivars for reducing cadmium in the diet. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85:147-153
 68. Liu J, Qian M, Gai G, Yang J, Zhu Q (2007) Uptake and translocation of Cd in different rice cultivars and the relation with Cd accumulation in rice grain. *Journal of Hazardous Materials* 143: 443-447
 69. Liu WX, Liu JV, Wu MZ, Li Y, Zhao Y, Li SR (2009) Accumulation and translocation of toxic heavy metals in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) growing in agricultural soil of Zhengzhou, China. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 82: 343-347
 70. Lombnaes P, Singh BR (2003) Varietal tolerance to Zinc deficiency in wheat and barley grown in chelator-buffered nutrient solution and its effect on uptake of Cu, Fe and Mn. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 166: 76-83
 71. Lončarić Z, Popović B, Karalić K, Rékási M, Kovačević V (2010) Regression model for prediction availability of essential heavy metals in soils. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Australia. 92-95
 72. McDonald GK, Genc Y, Graham RD (2008) A simple method to evaluate genetic variation in grain zinc concentration by correcting for differences in grain yield. *Plant Soil* 306: 49-55
 73. McLaughlin MJ, Parker DR, Clarke JM (1999) Metals and micronutrients - food safety issues. *Field Crops Research* 60: 143-163

74. Miller RO, Jacobsen JS, Skogley EO (1993) Aerial accumulation and partitioning of nutrients by hard red spring wheat. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 24: 2389-2407
75. MPRRR (2010) Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja. *Narodne novine* 32/2010
76. Ministarstvo zdravstva (1994) Pravilnik o količinama pesticida, toksina, mikotoksina, metala i histamina i sličnih tvari koje se mogu nalaziti u namirnicama, te o drugim uvjetima u pogledu zdravstvene ispravnosti namirnica i predmeta opće uporabe. *Narodne novine* 46/1994
77. Nan Z, Li J, Zhang J, Cheng G (2002) Cadmium and zinc interactions and their transfer in soil-crop system under actual field conditions. *The Science of the Total Environment* 285: 187-195
78. Oliver DP, Gartrell JW, Tiller KG, Correl R, Cozens GD, Youngberg BL (1995) Differential responses of Australian wheat cultivars to cadmium concentration in wheat grain. *Australian Journal of Agricultural Research* 46: 873-886
79. Olsson IM, Bensryd I, Lundh T, Ottosson H, Skertving S, Oskarsson A (2002) Cadmium in blood and urine – impact of sex, age, dietary intake, iron status, and former smoking – association of renal effects. *Environmental Health Perspectives* 110: 1185-1190
80. Öborn I, Jansson G, Johnsson L (1995) A field study on the influence of soil pH on trace element levels in spring wheat (*Triticum aestivum*), potatoes (*Solanum tuberosum*) and carrots (*Daucus carota*). *Water, Air and Soil Pollution* 85: 835-840
81. Pearson JN, Rengel Z (1994) Distribution and remobilization of Zn and Mn during grain development in wheat. *Journal of Experimental Botany* 45: 1829-1835
82. Pearson JN, Rengel Z (1995) Uptake and distribution of ⁶⁵Zn and ⁵⁴Mn in wheat grown at sufficient and deficient levels of Zn and Mn. II. During grain development. *Journal of Experimental Botany* 46: 833-839.
83. Pearson JN, Rengel Z, Jenner CF, Graham RD (1995) Transport of zinc and manganese to developing wheat grains. *Physiologia Plantarum* 95: 449-455
84. Perilli P, Mitchell LG, Grant CA, Pisante M (2010) Cadmium concentration in durum wheat grain (*Triticum turgidum*) as influenced by nitrogen rate, seeding date and soil type. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90(5): 813-22
85. Powell GW, Miller WI, Morton JD, Clifton CM (1964) Influence of dietary cadmium level and supplemental zinc on cadmium toxicity in the bovine. *Journal of Nutrition* 84: 205-211.

86. Prankel SH, Nixon RM, Phillips CJC (2004) Meta-analysis of feeding trials investigating cadmium accumulation in the livers and kidneys of sheep. *Environmental Research* 94: 171–183
87. Ramesh SA, Shin R, Eide DJ, Schachtman DP (2003) Differential metal selectivity and gene expression of two zinc transporters from rice. *Plant Physiology* 133: 126–134
88. Rengel Z, Graham RD (1995) Wheat genotypes differ in zinc efficiency when grown in the chelate-buffered nutrient solution. I. Growth. *Plant and Soil* 176: 307-316
89. Robin A, Vansuyt G, Corberand T, Briat JF, Lemanceau P (2006) The soil type affects both the differential accumulation of iron between wild-type and ferritin over-expressor tobacco plants and the sensitivity of their rhizosphere bacterioflora to iron stress. *Plant and Soil* 283: 73-81
90. Romić M, Romić D (1998) Contents of metals Pb, Cd, Zn and Cu in agricultural soils of Zagreb and its surroundings. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 63: (3) 147-154
91. Sapunar-Postružnik J, Bažulić D, Grubelić M, Kubala Drinčić H, Njari B (2001) Cadmium in animal feed and in foodstuffs of animal origin. *Food Technology and Biotechnology* 3: (1) 67–71
92. SAS Institute (2003) SAS/STAT User's Guide, Version 9.1.3. SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA
93. Shao GS, Chen MX, Wang DY, Xu CM, Mou RX, Cao ZY (2008) Using iron fertilizer to control Cd accumulation in rice plants: A new promising technology. *Science in China Series C:Life Sciences* 51: (3) 245-253
94. Sharma P, Dubey RS (2006) Cadmium uptake and its toxicity in higher plants. U: Khan NA and Samiullah (ur.): Cadmium toxicity and tolerance in plants. Narosa Publishing House. New Delhi 63-86
95. Statistički ljetopis Republike Hrvatske 2010 (2010) Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske; ISSN 1333-3305
96. Stolt JP, Sneller FEC, Bryngelsson T, Lundborg T, Schat H (2003) Phytochelatin and cadmium accumulation in wheat. *Environmental and Experimental Botany* 49: 21-28
97. Tanhuanpää P, Kalendar R, Schulman AH, Kiviharju E (2007) A major gene for grain cadmium accumulation in oat (*Avena sativa* L.). *Genome* 50: 588-594
98. Trierweiler FJ, Lindsay WL (1969) EDTA-Ammonium carbonate soil test for Zn. *Proceedings - Soil Science Society of America* 33: 49-54

99. Uauy C, Distelfeld A, Fahima T, Blechl A, Dubcovski J (2006) A NAC gene regulating senescence improves grain protein, zinc and iron content in wheat. *Science* 314: 1298-1301
100. Uruguchi S, Mori S, Kuramata M, Kawasaki A, Arao T, Ishikawa S (2009) Root-to-shoot Cd translocation via the xylem is the major process determining shoot and grain cadmium accumulation in rice. *Journal of Experimental Botany* 60: (9) 2677-2688
101. Van Bruwaene R, Kirchmann R, Impens R (1984) Cadmium contamination in agriculture and zootechnology. *Experientia* 40: 43-50
102. Vasconcelos M, Datta K, Oliva N, Khalekuzzaman M, Torrizo L, Krishan S, Oliveira M, Goto F, Datta SK (2003) Enhanced iron and zinc accumulation in transgenic rice with the ferritin gene. *Plant Science* 164: 371-378
103. von Wirén N, Marschner H, Römheld V (1996) Roots of iron-efficient maize also absorb phytosiderophore-chelated zinc. *Plant Physiology* 111:1119-1125
104. Vukadinović V, Bertić B (1988) Praktikum iz agrokemije i ishrane bilja. Sveučilište u Osijeku, BTZNC, Poljoprivredni fakultet u Osijeku
105. Wangstrand H, Eriksson J, Oborn I (2007) Cadmium concentration in winter wheat as affected by nitrogen fertilization. *European Journal of Agronomy* 26: (3) 209-214
106. Webb MJ, Loneragan JF (1990) Zinc translocation to wheat roots and its implications for a phosphorus/zinc interaction in wheat plants. *Journal of Plant Nutrition* 13: 1499-1512
107. Welch RM, House WA, Ortiz-Monasterio I, Cheng Z (2005) Potential for improving bioavailable zinc in wheat grain (*Triticum species*) through plant breeding. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53:2176-2180
108. White PJ, Broadley MR (2009) Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist* 182(1): 49-84
109. World Health Organization (1998) Water, Sanitation and Health. Guidelines for Drinking Water Quality. WHO, Geneva, 2001
110. World Health Organization (1972) Long term programme in environmental pollution control in Europe. The hazards to health of persistent substances in water. Annexes to a report on a working group. Technical documents on arsenic, cadmium, lead, manganese and mercury. Copenhagen.

111. Wu J, Norwell WA, Hopkins DG, Welch RM (2002) Spatial variability of grain cadmium and soil characteristics in durum wheat field. *Soil Science Society American Journal* 66: 268-275
112. Wu F, Zhang G, Dominy P, Wu Hongxia, Bachir Dango ML (2007) Differences in yield components and kernel Cd accumulation in response to Cd toxicity in four barley genotypes. *Chemosphere* 70: 83-92
113. Xu JL, Yang JR (1995) *Heavy Metals in Land Ecosystem*. Beijing: China Environmental Science 1: 24-36
114. Zhang G, Wu F, Wei K, Dong Q, Dai F, Chen F, Yang J (2006) Cadmium Stress in Higher Plants. U: Khan NA and Samiullah (ur.): *Cadmium toxicity and tolerance in plants*. Narosa Publishing House. New Delhi. 87-101
115. Zhang H, Luo Y, Song J, Zhang H, Xia J, Zhao Q (2010) Predicting As, Cd and Pb uptake by rice and vegetables using field data from China. *Journal of Environmental Sciences* 23(1): 70-78
116. Zhang GP, Fukami M, Sekimoto H (2002) Influence of cadmium on mineral concentrations and yield components in wheat genotypes differing in Cd tolerance at seedling stage. *Field Crops Research* 77: 93-98
117. Zhao FJ, Su YH, Dunham SJ, Rakszegi M, Bedo Z, McGrath SP, Shewry PR (2009) Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin. *Journal of Cereal Science* 49: 290-295
118. Zheng R, Li H, Jiang R, Römheld V, Zhang F, Zhao FJ (2010) The role of root hairs in cadmium acquisition by barley. *Environmental Pollution* 159: 408-415
119. Zhu YG, Smith SE, Smith FA (2001) Zinc (Zn)-phosphorus (P) interactions in two cultivars of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) differing in P uptake efficiency. *Annals of Botany* 88: 941-945

Ostali izvori:

<http://www.copenhagenconsensus.com/Default.aspx?ID=953> 14.11.2010.

http://www.iza.com/zinc_health.html 16.11.2010.

9. SAŽETAK

U radu je istraživana sortna specifičnost usvajanja, translokacije, distribucije i akumulacije Cd, Zn i Fe te interakcija navedenih elemenata u ozimoj pšenici. Ciljevi istraživanja su bili: (1) ispitati postoji li genetska specifičnost genotipova ozime pšenice u pogledu akumulacije Cd, Zn i Fe u zrno pšenice te mogu li se izdvojiti sorte niske akumulacije Cd uz visoku akumulaciju Zn i/ili Fe, (2) istražiti postojanje genetske različitosti genotipova ozime pšenice u pogledu translokacije Cd, Zn i Fe iz vegetativnih dijelova u zrno te (3) utvrditi utjecaj kontaminiranosti tla kadmijem na distribuciju i akumulaciju Cd, Zn i Fe u organe pšenice. Pokus je proveden tijekom dvije godine. U vegetacijskoj sezoni 2007./2008. u pokus je bilo uključeno 52 sorte ozime pšenice od kojih je 34 hrvatskog, 7 austrijskog, 5 mađarskog, 3 francuskog te po jedna sorta ruskog, talijanskog i njemačkog podrijetla. Pokus je bio postavljen u posude, po planu potpuno slučajnog sustava s dvije razine kontaminacije tla kadmijem (0 i 20 mg kg⁻¹) u četiri ponavljanja. U vegetacijskoj sezoni 2008./2009. pokus je postavljen po planu potpuno slučajnog blok sustava s 10 sorata pšenice i tri razine kontaminacije tla kadmijem (0, 2 i 5 mg kg⁻¹) u četiri ponavljanja. Koncentracija Cd, Zn i Fe u otopini biljnih uzoraka utvrđena je direktnim mjerenjem pomoću ICP-OES. Koncentracija Cd, Zn i Fe određena je u fazi cvatnje u korijenu, stabljici, listovima, listu zastavičaru i klasu te u punoj zriobi u slami, listovima, pljevicama i zrnu. Prikupljeni podaci statistički su obrađeni u SAS Software 9.1.3. programskom paketu. Utvrđena je sortna specifičnost s obzirom na akumulaciju kadmija, cinka i željeza na kontaminiranom i nekontaminiranom tlu. Analizom varijance utvrđene su statistički značajne razlike u koncentraciji Cd, Zn i Fe u zrnu između ispitivanih sorata pšenice na svim primijenjenim razinama kontaminacije tla Cd u obje godine pokusa. Također je utvrđeno da je kontaminacija tla Cd značajno utjecala na akumulaciju Cd u zrno dok za akumulaciju Zn i Fe u zrno nije utvrđen statistički značajan utjecaj kontaminacije tla Cd. Ispitivane sorte značajno su se razlikovale po iznošenju Cd, Zn i Fe masom suhe tvari različitih dijelova pšenice, te po koeficijentu akumulacije Cd, Zn i Fe u korijen, koeficijentu translokacije iz korijena u stabljiku i iz korijena u list zastavičar. S obzirom na koeficijent korelacije između koncentracije Cd, Zn i Fe u zrnu, ispitivane sorte podijeljene su u šest skupina, koje se razlikuju po međuodnosu navedenih elemenata. Dobiveni rezultati mogu poslužiti kao polazna točka u istraživanjima mehanizama usvajanja, translokacije i akumulacije Cd, Zn i Fe u ozime pšenice te za izbor sorata za oplemenjivanje s ciljem povećanja koncentracije Zn i Fe u zrnu, uz snižavanje koncentracije Cd u zrnu.

Ključne riječi: kadmij, cink, željezo, pšenica, akumulacija, sortna specifičnost

10. ABSTRACT

This study examined the uptake, translocation, distribution and accumulation of Cd, Zn and Fe and the interaction of these elements in winter wheat. The objectives were: (1) to characterise specificity among winter wheat genotypes in terms of accumulation of Cd, Zn and Fe in various organs and identify genotypes combining low accumulation of Cd with high accumulation of Zn and/or Fe, (2) to determine genetic specificity of winter wheat genotypes in terms of translocation of Cd, Zn and Fe from the vegetative parts to the grain, and (3) elucidate an effect of soil cadmium contamination on the distribution and accumulation of Cd, Zn and Fe in various organs of wheat. In the 2007/2008 vegetation season, 52 winter wheat varieties, (34 Croatian, 7 Austrian, 5 Hungarian, 3 French and one variety of Russian, Italian and German descent) were investigated. The pots were arranged, according to a completely randomized design with two levels of soil Cd contamination (0 and 20 mg kg⁻¹ soil) in four replicates. In the vegetation season of 2008/2009 the experiment was set up to a completely randomized block design with 10 varieties of wheat and three levels of soil Cd contamination (0, 2 and 5 mg kg⁻¹ soil) in four replicates. The concentration of Cd, Zn and Fe in the solution of plant samples was determined by ICP-OES. The concentration of Cd, Zn and Fe was determined at the flowering stage in the root, stem, leaves, flag leaf and spike and in a full maturity in the straw, leaves, glumes and grain. Collected data were statistically analyzed with SAS software 9.1.3. Analysis of variance identified a statistically significant difference in the concentrations of Cd, Zn and Fe in vegetative parts and grain between the tested wheat varieties at all levels of soil Cd contamination. It was also found that the soil Cd contamination had a significant effect on the accumulation of Cd in grain while the accumulation of Zn and Fe in the grain haven't been influenced by soil Cd contamination. The tested genotypes differed significantly in the Cd, Zn and Fe plant uptake factor, as well as in the coefficient of translocation from roots to stems and from roots to the flag leaf. According to correlation coefficient between the concentrations of Cd, Zn and Fe in the grain, the tested cultivars were divided into six groups, which differs in the interrelation of these elements. Obtained results may serve as a starting point for investigation of the mechanisms of uptake, translocation and accumulation of Cd, Zn and Fe in winter wheat, as well as for the selection of genotypes with increased concentrations of Zn and Fe and decreased Cd concentration in the grain.

Key words: cadmium, zinc, iron, wheat, accumulation, varietal specificity

11. PRILOG

Tablica 75. Rezultati HSD testa za koncentraciju Cd (mg kg^{-1}) u zrnu na nekontaminiranom tlu u prvoj i drugoj godini pokusa

Usporedba koncentracija Cd u zrnu u prvoj i drugoj godini pokusa				
Sorta	Kontrola (2007./2008.)	Kontrola (2008./2009.)	P	Tukeyev HSD _{0,05}
Bezostaja	0,056	0,013	0,0006	0,016
Divana	0,079	0,032	0,0214	0,037
Katarina	0,054	0,031	n.s.	
Osječka 20	0,053	0,03	n.s.	
Pipi	0,049	0,046	n.s.	
Sana	0,107	0,024	0,0144	0,060
Slavonija	0,054	0,031	n.s.	
Srpanjka	0,078	0,019	0,0011	0,025
Superžitarka	0,088	0,013	<0,001	0,009
U1	0,072	0,054	n.s.	

Tablica 76. Rezultati HSD testa za koncentraciju Zn (mg kg^{-1}) u zrnu na nekontaminiranom tlu u prvoj i drugoj godini pokusa

Usporedba koncentracija Zn u zrnu u prvoj i drugoj godini pokusa				
Sorta	Kontrola (2007./2008.)	Kontrola (2008./2009.)	P	Tukeyev HSD _{0,05}
Bezostaja	46,050	34,125	n.s.	
Divana	34,375	24,659	0,0058	5,683
Katarina	32,900	25,904	0,0028	3,504
Osječka 20	28,100	35,785	0,0284	6,551
Pipi	37,175	27,871	n.s.	
Sana	37,850	19,691	0,0055	10,522
Slavonija	37,400	23,744	n.s.	
Srpanjka	29,175	23,306	n.s.	
Superžitarka	33,925	17,764	0,0032	8,361
U1	33,800	28,464	n.s.	

Tablica 77. Rezultati HSD testa za koncentraciju Fe (mg kg^{-1}) u zrnu na nekontaminiranom tlu u prvoj i drugoj godini pokusa

Usporedba koncentracija Fe u zrnu u prvoj i drugoj godini pokusa				
Sorta	Kontrola (2007./2008.)	Kontrola (2008./2009.)	P	Tukeyev HSD _{0,05}
Bezostaja	64,650	41,683	n.s.	
Divana	33,025	15,560	<0,0001	3,9518
Katarina	35,000	53,308	0,0351	16,535
Osječka 20	39,425	49,367	0,046	9,7008
Pipi	52,150	34,785	n.s.	
Sana	40,650	42,784	n.s.	
Slavonija	41,475	22,305	0,0042	10,479
Srpanjka	40,175	20,257	0,0052	11,364
Superžitarka	49,075	22,725	0,0084	16,738
U1	36,925	28,988	n.s.	

Tablica 78. Rezultati HSD testa za iznošenje Cd masom zrna ($\mu\text{g}/10$ vlati) na nekontaminiranom tlu u prvoj i drugoj godini pokusa

Usporedba iznošenja Cd zrnom u prvoj i drugoj godini pokusa				
Sorta	Kontrola (2007./2008.)	Kontrola (2008./2009.)	P	Tukeyev HSD _{0,05}
Bezostaja	0,681	0,069	0,0003	0,198
Divana	0,651	0,182	0,0055	0,271
Katarina	0,438	0,156	0,0098	0,185
Osječka 20	0,623	0,127	0,0100	0,327
Pipi	0,755	0,313	n.s.	
Sana	0,871	0,147	0,0025	0,355
Slavonija	0,637	0,092	0,0137	0,387
Srpanjka	0,985	0,088	<0,0001	0,129
Superžitarka	0,814	0,065	<0,0001	0,201
U1	0,691	0,265	0,0065	0,255

Tablica 79. Rezultati HSD testa za iznošenje Zn masom zrna ($\mu\text{g}/10$ vlati) na nekontaminiranom tlu u prvoj i drugoj godini pokusa

Usporedba iznošenja Zn zrnem u prvoj i drugoj godini pokusa				
Sorta	Kontrola (2007./2008.)	Kontrola (2008./2009.)	P	Tukeyev HSD _{0,05}
Bezostaja	588,981	176,261	0,0276	348,970
Divana	288,851	139,496	0,0003	49,019
Katarina	339,670	126,088	n.s.	
Osječka 20	335,356	151,380	0,0025	90,210
Pipi	575,831	178,121	0,0002	118,820
Sana	356,441	123,357	n.s.	
Slavonija	443,587	69,896	0,0111	252,770
Srpanjka	406,738	112,006	0,0352	266,410
Superžitarka	309,280	93,271	0,0006	81,205
U1	322,756	160,171	0,0109	109,540

Tablica 80. Rezultati HSD testa za iznošenje Fe masom zrna ($\mu\text{g}/10$ vlati) na nekontaminiranom tlu u prvoj i drugoj godini pokusa

Usporedba iznošenja Fe zrnem u prvoj i drugoj godini pokusa				
Sorta	Kontrola (2007./2008.)	Kontrola (2008./2009.)	P	Tukeyev HSD _{0,05}
Bezostaja	573,199	216,357	0,0007	138,200
Divana	278,359	87,649	<0,0001	41,514
Katarina	358,686	254,843	n.s.	
Osječka 20	472,383	295,3090	0,0024	127,890
Pipi	657,079	227,930	0,0005	154,880
Sana	414,321	273,778	n.s.	
Slavonija	486,294	66,987	0,0037	223,480
Srpanjka	538,222	94,572	0,0035	233,430
Superžitarka	446,746	112,436	<0,0001	76,912
U1	355,703	158,966	0,0006	74,311

12. ŽIVOTOPIS

Rođena sam 24.03.1978. godine u Osijeku. Osnovnu školu sam završila u Bilju, a Srednju medicinsku, smjer zdravstveno-laboratorijski tehničar, u Osijeku 1996. godine. Iste godine upisujem Poljoprivredni fakultet u Osijeku, opći smjer. Diplomirala sam 17.09.2004. godine. Od 01. rujna 2005. godine do danas radim na Katedri za informatiku i strane jezike Poljoprivrednoga fakulteta u Osijeku kao asistent na predmetima Biometrika, Ekonometrija i Informacijske tehnologije u poljoprivredi. Interdisciplinarni sveučilišni poslijediplomski doktorski studij „Molekularne bioznanosti“ upisala sam 2006. godine. Tijekom studiranja na diplomskom studiju sudjelovala sam u razmjeni studenata te sam 2002. godine provela šest tjedana (od 01.srpnja do 15.kolovoza 2002.) u laboratoriju Centra za biljnu biotehnologiju, Lija, Malta. U sklopu suradnje Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku i Poljoprivrednog fakulteta Ege sveučilišta u Izmiru (Ege University, Faculty of Agriculture) provela sam 2007. godine mjesec dana (01. srpnja do 30. srpnja) na Zavodu za genetiku i oplemenjivanje. Godine 2009. dobila sam stipendiju Nacionalne zaklade za znanost, visoko školstvo i tehnologijski razvoj Republike Hrvatske, u sklopu koje sam provela dvanaest mjeseci (15. rujna 2009. do 15. rujna 2010.) na Sveučilištu zapadne Australije (University of Western Australia, School for Earth and Environment). Od 2006. do 2008. godine pohađala sam osam tečajeva statistike i programskog paketa SAS na Sveučilišnom računarskom centru (SRCE) Sveučilišta u Zagrebu. Sudjelovala sam na nekoliko domaćih i međunarodnih skupova agronoma. Kao autor i koautor sam objavila pet a1 i četiri a2 rada. Od 2006. godine urednik sam sadržaja časopisa „Poljoprivreda“ na portalu HRČAK, a od 2010. godine i na DOAJ-u. Predsjednica sam Znanstvenog foruma Poljoprivrednoga fakulteta u Osijeku od 2006. godine. Udana sam.