

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Erika LAH

RAZPOREDITEV CINKA V SEMENIH AJDE
(*Fagopyrum esculentum* Moench)

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2009

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Erika LAH

RAZPOREDITEV CINKA V SEMENIH AJDE
(*Fagopyrum esculentum* Moench)

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

ZINC ALLOCATION IN BUCKWHEAT SEEDS
(*Fagopyrum esculentum* Moench)

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2009

Diplomsko delo je zaključek visokošolskega strokovnega študija agronomije. Opravljeno je bilo na Katedri za genetiko, biotehnologijo, statistiko in žlahtnjenje rastlin Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Vzorci so bili pripravljene na Katedri za fiziologijo rastlin Oddelek za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Poskusi so bili izvedeni v Mikroanalitskem centru Odseka za fiziko nizkih in srednjih energij na Institutu Jožef Stefan v Ljubljani.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Ivana Krefta in za somentorja doc. dr. Primoža Pelicona.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član: prof. dr. Ivan Kreft,
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: doc. dr. Primož Pelicon,
Institut Jožef Stefan, Mikroanalitski center, Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij

Članica: prof. dr. Marjana Regvar,
Univerza v Ljubljani, Biotehniška Fakulteta, Oddelek za biologijo

Datum zagovora:

Delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisana se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddala v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Erika Lah

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 633.12 : 543. 61 : 546.47 (043.2)
KG	ajda/ zrnje/ kemična sestava/ elementi v sledovih/ cink/ Zn/ pomen cinka/ pomanjkanje cinka/ prehrana
KK	AGRIS F04/ Q 04
AV	LAH, Erika
SA	KREFT, Ivan (mentor) / PELICON, Primož (somentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI	2009
IN	RAZPOREDITEV CINKA V SEMENIH AJDE (<i>Fagopyrum esculentum</i> Moench)
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	IX, 29 str., 8 pregl., 18 sl., 23 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AL	Ajdovo zrno je plod - orešek, ki je sestavljen iz suhega perikarpa (luščina), hranilnega tkiva (sekundarni endosperm) in embrija (kalček in os embrija- klična lista). V tej nalogi smo analizirali hranilno tkivo in klična lista. Za hranilno tkivo ki je osrednji oz. večji del ajdovega zrna, smo v tej nalogi ugotovili, da je razmeroma skromen vir mineralnih elementov. V sredini ajdovega plodu sta klična lista, ki v primerjavi z hranilnim tkivom vsebujeta bistveno večje koncentracije mineralnih elementov. Elementarne sestave suhega perikarpa v tej nalogi nismo analizirali, ker ni pomemben s stališča kakovosti pridelka in prehrane. V glavnem se jo odstrani v procesih priprave ajdovih izdelkov, kot sta npr. ajdova kaša ali ajdova moka. Največja vsebnost cinka je bila v tej nalogi ugotovljena v embriju (klična lista) ajdovega zrna. Njegova koncentracija je znašala 300 mg kg ⁻¹ .

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
DC UDC 633.12 : 543. 61 : 546.47 (043.2)
CX buckwheat/ seeds/ zinc/ Zn/ trace elements/ chemical composition/ human nutrition
CC AGRIS F04/ Q 04
AU LAH, Erika
AA KREFT, Ivan (supervisor), PELICON, Primož (co-supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
PY 2009
TI ZINC ALLOCATION IN BUCKWHEAT SEEDS (*Fagopyrum esculentum* Moench)
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO IX, 29 p., 8 tab., 18 fig., 23 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Buckwheat grain is small nut composed by dry pericarp (husk), endosperm and embryo (composed of cotyledons and embryonal axis). In this study we analysed endosperm and cotyledons. Endosperm which is the main part of buckwheat nut is just a modest source of studied elements. In the middle part of buckwheat nut, is embryo composed two folded cotyledons. In contrast to endosperm, in cotyledons there are high concentrations of trace and other studied elements. Elemental constitution of husk is less important, as the husk is not used for obtaining food products. That is why the husk is mainly removed in the process of preparation of food products, like groats or flour. The most interesting trace elements like Zn were found in cotyledons, with the concentration 300 mg kg⁻¹ the material.

KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacija (KDI)	III
Key words documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VI
Kazalo slik	VII
Okrajšave, pojasnila in simboli	IX
1 UVOD	1
1.1 NAMEN RAZISKAVE	2
1.2 DELOVNA HIPOTEZA	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 BOTANIČNA UVRSTITEV AJDE	3
2.2 AJDA	3
2.3 CINK	5
2.3.1 Cink in njegove kemične lastnosti	5
2.3.2 Pomen cinka za ljudi	5
2.3.2.1 Znaki pomanjkanja cinka	5
2.3.2.2 Toksičnost cinka pri ljudeh	6
2.3.3 Cink v tleh in njegova razpoložljivost	6
2.3.4 Cink in rastline	8
2.3.4.1 Pomen cinka pri višjih rastlinah	8
2.3.4.2 Toksičnost cinka v rastlinah	9
2.3.4.3 Nalaganje cinka v nekaterih kmetijskih rastlinah	10
2.3.4.4 Žerjav	11
3 MATERIALI IN METODE	12
3.1 VZORCI IN NJIHOVA PRIPRAVA	12
3.2 PIXE PREGLEDOVANJE VZORCEV	14
4 REZULTATI	16
4.1 ANALIZA VZORCEV	16
5 RAZPRAVA IN SKLEPI	25
5.1 RAZPRAVA	25
5.2 SKLEPI	26
6 POVZETEK	27
7 VIRI	28

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Primerjava med vsebnostjo rudnin v ajdovi in koruzni moki, pšeničnem zdrobu in v sojini moki (Edwardson, 1996, cit. po Bavec, 2001)	4
Preglednica 2:	Mejne, opozorilne in kritične imisijske vrednosti za nevarne snovi v Sloveniji (Uredba o vnosu..., 1996)	7
Preglednica 3:	Sprejem težkih kovin v rastline (Zupan, 1996)	10
Preglednica 4:	Koncentracija elementov v zrnu ajde v vzorcu »Navadna«, Ljubljana, 2008	17
Preglednica 5:	Koncentracija elementov v zrnu ajde v vzorcu »Navadna+ZnN ₂ «, Ljubljana, 2008	17
Preglednica 6:	Koncentracija elementov v zrnu ajde v vzorcu »Žerjav«, Ljubljana, 2008	18
Preglednica 7:	Koncentracija elementov v zrnu ajde v vzorcu »Žerjav+ZnN ₂ «, Ljubljana, 2008	18
Preglednica 8:	Povprečno razmerje koncentracij elementov med kotiledoni in endospermom ajdovega zrna (x prečno kot: x prečno end) v posameznih vzorcih	18

KAZALO SLIK

Slika 1:	Vsebnost mikroelementov (rastlinam dostopni) in s tem tudi cinka v travniških tleh je odvisna od količine organske snovi (Stritar, 1973)	7
Slika 2:	Rast sončnic s cinkom in brez. Leva sončnica z dodanim cinkom, desna sončnica brez dodanega cinka (Sommer in Lipman, 1926)	8
Slika 3:	Posledica pomanjkanja cinka v rastlini se kaže v blede zelenih listih (Vodnik, 2009)	9
Slika 4:	Pripravljeni vzorci na aluminijastih nosilcih v dveh ponovitvah. Levi vzorec »Žerjav+ZnN ₂ « ter desni vzorec »Navadna« (Foto: Vogel-Mikuš, 2008)	12
Slika 5:	Nosilec vzorcev v dveh ponovitvah, »Žerjav+ZnN ₂ « (levo) ter »Žerjav« (desno) (Foto: Vogel-Mikuš, 2008)	13
Slika 6:	Merilna postaja z ionskim mikrožarkom v Mikroanalitskem centru Instituta Jožef Stefan (Foto: Kreft, 2008)	14
Slika 7:	Nosilec vzorcev petosnega vakumskega goniometra. Poleg dveh vzorcev ajde (levo in desno spodaj) so na nosilec pritrjeni referenčni vzorci, mikroskopske litografske mrežice in scintilacijski zaslon iz cezijevega jodida (Foto: Kreft, 2008)	15
Slika 8:	Posamezne mape zrna ajde s podatki o razporeditvi elementov, izmerjeni z metodo mikro-PIXE. Velikost map je 2,5×2,5 mm ² (Foto: Institut Jožef Stefan, 2008)	16
Slika 9:	Prikaz koncentracij posameznih elementov pri vzorcu »Navadna«, Ljubljana, 2008	19
Slika 10:	Koncentracije posameznih elementov do maksimuma 500 mg kg ⁻¹ v vzorcu »Navadna«	19
Slika 11:	Prikaz koncentracij posameznih elementov v vzorcu »Navadna+ZnN ₂ «, Ljubljana, 2008	20
Slika 12:	Koncentracije posameznih elementov do maksimuma 500 mg kg ⁻¹ v vzorcu »Navadna+ZnN ₂ «	20
Slika 13:	Prikaz posameznih koncentracij v vzorcu »Žerjav«, Ljubljana, 2008	21
Slika 14:	Koncentracije posameznih elementov do maksimuma 500 mg kg ⁻¹ v vzorcu »Žerjav«	21
Slika 15:	Prikaz posameznih koncentracij v vzorcu »Žerjav+ZnN ₂ «, Ljubljana, 2008	22

- Slika 16: Koncentracije posameznih elementov do maksimuma 500 mg kg^{-1} v vzorcu »Žerjav+ZnN₂« 22
- Slika 17: Prikaz povprečnih koncentracij v vseh vzorcih, Ljubljana, 2008 23
- Slika 18: Povprečno razmerje koncentracij elementov med kotiledoni in endospermom v zrnu ajde v (x prečno kot: x prečno end) odvisnosti od sestave substrata 23

OKRAJŠAVE, POJASNILA IN SIMBOLI

Dipl.	Diploma
Univ.	Univerza
Odd.	Oddelek
PIXE	Proton Induced X-ray Emission (protonsko vzbujeni rentgenski žarki)
Nav	Vzorec navadnih neonesnaženih tal z poskusnega polja BF
Nav+ZnN ₂	Vzorec navadnih neonesnaženih tal z poskusnega polja BF z dodatkom elementa ZnN ₂ v obliki cinkovega nitrita (ZnNO ₂)
Žerjav	Vzorec tal z vrtov okolice Žerjava
Žerjav+ZnN ₂	Vzorec tal z vrtov okolice Žerjava z dodatkom elementa ZnN ₂ v obliki cinkovega nitrita (ZnNO ₂)
MeV	Mega elektronvolt
Tandentron	Ionski pospeševalnik tandemskega tipa, pri katerem visoko napetost ustvarijo s pomočjo visokonapetostnih diod.
»list-mode«	Način shranjevanja spektroskopskih podatkov, ki omogoča popolno rekonstrukcijo meritve.
Kotiledoni A, B, C, G, H, E	Analizirani deli (klični listi) ajdovega zrna z ponovitvami v posameznih vzorcih.
Endosperm A, B, C, G, H, E	Analizirani deli (hranilno tkivo) ajdovega zrna z ponovitvami v posameznih vzorcih.

1 UVOD

Človekove potrebe po osnovnih mineralnih elementih so vsakodnevne. Količino elementov, ki jih telo potrebuje, nam omogoča raznovrstna prehrana, s katero naj bi pokrili potrebo po njih.

Mineralne elemente v prehrani delimo na makroelemente in mikroelemente (elementi v sledovih). Med elementi v sledovih je največ kovin, a so kljub temu zelo pomembni za delovanje našega organizma.

Težke kovine v naravi lahko najdemo v manjših količinah, ki pa so lahko nujno potrebne za rast in razvoj rastlin ter drugih živih organizmov. Neželena posledica njihovega nalaganja v tla ali organizme je lahko toksičnost, kar pomeni zastupitev organizma s težkimi kovinami, saj vemo, da se elementi ne razgrajujejo.

Zadnje čase je veliko pozornosti namenjene osnovni sestavi hrane, predvsem je poudarek na vsebnosti težkih kovin v semenih, saj so prav stročnice, žita in neprava žita glavni pridelki za hrano po vsem svetu. Te in enako tudi druge rastline za svoj razvoj potrebujejo tla. Vsebnost težkih kovin v rastlinah je tako odvisna od genotipa rastline, kot tudi od rastiščnih razmer, v katerih rastline uspevajo (Vogel-Mikuš in sod., 2009). Razporeditev elementov v semenih ni enakomerna, temveč so v različnih delih različne koncentracije. Znanje o koncentracijah in razporeditvah elementov v različnih strukturah zrna je pomembno za uporabo metod, kot so luščenje, mletje, valjanje ter sejanje, s katerimi dosežemo najboljše izdelke s primerno vsebnostjo teh elementov.

Ajda je nepravo žito, je eden od tradicionalno pomembnih virov hrane različnih ljudstev okoli Himalaje (jugozahodna Kitajska, Butan, Nepal, severna Indija, severovzhodni Pakistan). Pomemben vir hrane je tudi v nekaterih drugih državah Vzhoda, prav tako pa njen pomen v prehrani ni zanemarljiv niti v marsikateri evropski državi, kjer se je ohranila vse od njenega prihoda v 15. stoletju. Na slovenskih tleh je v preteklosti ajda odigrala pomembno vlogo, saj je poleg krompirja in zelja dolgo časa veljala za osnovno kmečko hrano. Kljub dejstvu, da je ajda za pridelavo dokaj zahtevna rastlina in da so jo z rastjo standarda prebivalstva izpodrivale nekatere druge vrste, kot sta pšenica in koruza, ki sta bili modernejši in predvsem donosnejši, se je ajda pri nas ohranila vse do danes. Poleg prehrane je ajda pomembna tudi v zdravilstvu, saj preprečuje sladkorne bolezni, varuje pred srčnim infarktom, možgansko kapjo, trombozo, rakom itd. Cenjena je tudi med čebelarji, saj je odlična medonosna rastlina. Poleg naštetega je ajda pomembna oziroma znana po vsebnosti cinka, ki ga naš organizem nujno potrebuje.

Cink je v človeškem organizmu potreben za nemoteno delovanje nekaterih encimov, prav tako pa je nujno potreben za uravnavanje delovanja naših genov. Iz dosedanjih raziskav je mogoče razbrati, da je slovenska ajda nekoliko bogatejša s cinkom kot japonska ali kitajska, prav tako je znano, da je več cinka v temni ajdovi moki (Kreft, 1995). Cink se v ajdi nahaja v zrnju, ni pa znano, kje v zrnju so največje vsebnosti cinka. Prav temu vprašanju se bomo v tej nalogi posebej posvetili.

1.1 NAMEN RAZISKAVE

Cink je element, pomemben za prehrano. Znano je, da je v ajdi zastopan v večjih količinah kot v drugih pridelkih. Namen pričujoče diplomske naloge je ugotoviti, kje v ajdovem zrnu se cink nahaja, česar z do sedaj znanimi metodami še niso ugotovili.

Poleg tega pa je njen namen tudi prilagoditev metode mikro-PIXE za analizo elementov v različnih tkivih ajdovega zrna. Pri metodi mikro-PIXE se za analizo vzame le del zrna, preostali del pa je še vedno primeren za nadaljnje razmnoževanje, vendar mora vsebovati odločilne dele kalčka, kot so os kalčka in vsaj del kličnih listov.

1.2 DELOVNA HIPOTEZA

Delovna hipoteza naloge je:

1. Predpostaviti, da bomo z metodo mikro-PIXE lahko določili mesta akumulacije elementov v tkivih ajdovega zrna.
2. Predpostaviti, da se cink kopiči predvsem v kličnih listih (kotiledoni).
3. Predpostaviti, da se v semenih rastlin tretiranih s Zn akumulira več cinka.

2 PREGLED OBJAV

2.1 BOTANIČNA UVRSTITEV AJDE

Slovensko ime: ajda

Latinsko ime: *Fagopyrum esculentum* Moench

Družina: dresnovke – *Polygonaceae*

Domača, ljudska imena: ajdina, idina, hejdina

Angleško ime: buckwheat

- *Fagopyrum esculentum* Moench – navadna ajda
- *Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn. – tatarska ajda

2.2 AJDA

Dandanes čedalje bolj stremimo k zdravi prehrani in dobremu počutju, to pa naj bi zagotavljala tudi kakovostna živila.

Ajda je ena izmed tradicionalnih poljščin v osrednji in zahodni Evropi ter v Aziji. Sedaj pa je alternativna možnost ekološkega pridelka za zdravo prehrano. Zadnja leta je zanimanje za ajdo in njene izdelke v Sloveniji in drugod po Evropi vse večje. Tudi naše raziskave so pokazale, da se uporabniki čedalje bolj zavedajo pomena ajde v prehrani za ohranjanje zdravja (Kreft in Škrabanja, 1999).

Ajda je prehransko zanimiva, saj ima ugodno biološko sestavo ter kakovostne beljakovine, ki so za naše potrebe v primernejši sestavi kot beljakovine mleka, soje, mesa. Bogat vir teh beljakovin lahko v svojo prehrano vključijo bolniki, občutljivi na gluten, in sicer pri bolezni celiakiji. Ajdove beljakovine so počasi prebavljive in bolje preprečijo tvorbo žolčnih kamnov, kot sojine beljakovine (Bonafaccia in sod., 2003). S tem pa je tudi povezan pomen beljakovin ajde za zmanjšanje možnosti nastanka raka na dojki (Bonafaccia in sod., 2003).

Med pozitivnimi značilnostmi je tudi ta, da preprečuje in zdravi povišan krvni tlak in manjša vsebnost holesterola. V primerjavi s krušnimi žiti ima ajda sorazmerno več nerazvejanega (linearnega) škroba amiloze, ki je osnova za počasi prebavljive in manj prebavljive oblike škroba (Kreft, 1995), ta pa je pomemben za bolnike s sladkorno boleznijo. Preprečevanje raka na debelem črevesu moramo pripisati ugodnim ajdovim vlakninam kot sestavnemu delu hrane z ugodnim delovanjem na prebavni trakt.

Vsebnost maščob je pomemben podatek, ki nakazuje kakovost ajdove moke in kaše. Ajdova moka v primerjavi s pšenično ni primerna za dolga skladiščenja. Najboljšo kakovost ohrani do dva meseca po mletju, daljše obdobje hranjenja v manj primernih prostorih pa povzroči žarkost ter neprijeten oster vonj in okus ajdove moke (Kreft in Škrabanja, 1999).

Bonafaccia in sod. (2003) navajajo, da sta navadna in tatarska ajda zelo bogati z mineralnimi elementi. V otrobih navadne in tatarske ajde so bile najdene večje

koncentracije selena, cinka, kobalta, niklja, rubidija ter srebra. Dodatno so razlike v vsebnosti železa in kroma med frakcijo običajne moke (55%) in frakcijo otrobov. V svetlejši tatarski ajdovi moki (42%) je manjša vsebnost teh elementov, kot pa v običajno mleti tatarski ajdovi moki. Največ elementov v sledovih je skoncentriranih v otrobih. In prav zato lahko dodamo mnenje, da lahko z ajdovimi otrobi dobro izkoristimo prehranski vir cinka in selena.

White in Broadley (2005) menita, da glede na človeške potrebe po mineralnih elementih, kot so železo, cink, jod, kalcij, magnezij, baker in selen, teh najbolj pogosto primanjkuje. Ocenjujeta, da 6 milijard ljudi po svetu živi v pomanjkanju nujno potrebnih elementov, kot so železo (60–80 %), cink (manj kot 30 %), jod (30 %), selen (15 %). To pomanjkanje pa je povzročeno z živili z veliko škroba in z majhno količino zaužite zelenjave, sadja, živalskih in ribjih izdelkov ter pridelkov z zemljišč, ki so neuravnovešena glede na mineralne elemente.

Steadman in sod. (2001) ugotavljajo, da je ajda bogatejši vir teh prehransko pomembnih elementov kot katera koli druga žita, npr. riž, sirek, proso, koruza in pšenica.

Preglednica 1: Primerjava med vsebnostjo rudnin v ajdovi in koruzni moki, pšeničnem zdrobu in v sojini moki (Edwardson, 1996, cit. po Bavec, 2001)

Izdelek:	Vsebnost (mg/100g)								
	Ca	Fe	Mg	P	K	Na	Zn	Cu	Mn
Ajdova moka	41	4	251	337	577	0	3,12	0,09	0,099
Koruzna moka	6	3,45	127	241	287	35	1,82	0,193	0,489
Pšenični zdrob	17	1,23	47	136	186	1	1,05	0,189	0,619
Pšenična moka	15	1,17	22	108	107	2	0,7	0,144	0,682
Sojina moka	206	6,37	429	494	2515	13	3,92	2,92	2,275

Posajeno ajdovo zrno nam da že v istem letu obilen pridelek. Izdelki, ki jih lahko napravimo, so ajdova moka, ajdova kaša, ajdovi otrobi, ajdov zdrob, ajdov čaj itd. Ti pa nam nadalje omogočajo, da iz njih ustvarimo izvrstne ajdove jedi in pijače.

2.3 CINK

2.3.1 Cink in njegove kemične lastnosti

Cink je kemijski element, ki ga pod simbolom Zn najdemo v II-B skupini periodnega sistema. V to skupino poleg cinka spadata še kadmij in živo srebro; prištevamo jih k težkim kovinam. Cink je trda modrikasto bela kovina, ki je na zraku dobro obstojna zaradi oksidirane površinske plasti (Dobovišek, 1958) in je prav zaradi te lastnosti najbolj uporabna v industriji, gradbeništvu in transportu.

2.3.2 Pomen cinka za ljudi

Človeški organizem vsebuje stalne količine mineralov. Te vsakodnevno vnašamo v telo s hrano kot anorganske soli ali organske spojine v kelirani obliki (veza ionov kovin v kompleksne spojine), ki se lažje absorbirajo.

Elemente, potrebne v prehrani delimo v dve skupini, makro- in mikroelemente. Med makroelemente uvrščamo tiste, ki jih organizem potrebuje več kot 100 mg na dan. Ti pa so natrij, klor, kalij, kalcij, magnezij, fosfor in žveplo. Med mikroelemente (elementi v sledovih) pa uvrščamo železo, baker, jod, fluor, cink, mangan, kobalt, selen, molibden. Skupna naloga vseh teh mikroelementov je, da s tvorbo encimov, hormonov, hemoglobina, beljakovin in vitaminov vplivajo na pravzaprav vse sestavine človeškega organizma (Medić-Šarić in sod., 2002). Razpoložljivost elementov v sledovih v prehrani je odvisna od njihovega vključevanja v celične strukture, ki pa lahko z medsebojnim vplivanjem učinkujejo tudi na druge sestavine v hrani.

Za razliko od ostalih elementov, ki jih najdemo največ pod zunanjim delom plodne ovojnice, je cinka največ v srednjem delu zrna ajde oziroma v kličnih listih. Priporočena dnevna potreba po tem mineralu znaša 12–15 mg za odraslega človeka, približno 1,5–2,5 g pa ga vsebuje že samo telo (Ursell, 2003). Njegova fiziološka vloga v telesu je pomembna pri zgodnji rasti otroka, nastajanju zdrave sperme, zdravljenju aken in ran. Najbolj pomemben pa je za delovanje imunskega sistema, sproščanje inzulina in pri delovanju čutov, predvsem pri okusu in vonju.

2.3.2.1 Znaki pomanjkanja cinka

Pogost vzrok za pomanjkanje cinka je nepravilna prehrana. Vse bolj pogosti so namreč obroki s hitro pripravljeno hrano, za katero je značilna prekomerna vsebnost škroba, maščob in beljakovin; vse naštete so znane po skromni vsebnosti cinka. Prav tako pa je pri vsakodnevnih jedilnikih premalo poudarka na živilih z večjo vsebnostjo vlaknin, ki so v kombinaciji z zadostnimi količinami cinka pomembne pri uravnavanju človekove prebave in boljšega počutja.

Skrabanja in sod. (2004) navajajo, da ajda v svoji plodni ovojnici (luščini) vsebuje več kot 90 % vlaknin, vsebnost topnih vlaknin v fini ajdovi moki pa znaša kar 76,5 % vseh vlaknin moke. Prav te vlaknine so pomembne za zmanjšanje visoke koncentracije holesterola, predvsem za zmanjševanje holesterola LDL.

Prva znana dedna bolezen je prirojeno pomanjkanje cinka (*acrodermatitis enteropathica*). Prvi značilni simptomi so driska, zaostalost v rasti, pogoste okužbe ter lise, za katere je značilna rdeča barva (Medić-Šarić in sod., 2002). Brez zdravljenja lahko ta bolezen v nekaj letih privede v smrt. Specifično predpisanih zdravil za omenjeno bolezen sicer ni, pa vendar se s predpisano vsakodnevno prehrano z večjo vsebnostjo cinka lahko bistveno omili njene znake. Ostali simptomi, ki prav tako kažejo na pomanjkanje cinka, so: bele pege na nohtih, izpadanje las, dermatitis, zmanjšanje imunosti, zmanjšana spermogeneza in anoreksija.

2.3.2.2. Toksičnost cinka pri ljudeh

Tako kot se pojavijo bolezenski znaki pri nezadostnem vnosu cinka, se lahko pojavijo tudi pri prekomernem zaužitju tega elementa. Tako lahko na primer akutna zastrupitev s cinkom izzove bolečine v želodcu, bruhanje in drisko. Do tega pripelje prekoračitev zgornje meje cinka, ki znaša več kot 150 mg dnevno. Podobno se lahko pri naključnem vdihavanju na območjih, ki so s cinkom zelo onesnažena, pojavijo bolečine v prsih, mrzlica s slabostjo in bruhanje.

2.3.3 Cink v tleh in njegova razpoložljivost

S posameznim vnosom nevarnih snovi v tla, kot je na primer izpuščanje tekočin, odlaganje nevarnih odpadkov, nanašanje blata iz čistilnih naprav, kompost ali mulj ter namakanje rastlin, lahko povzročimo dolgotrajne ali nepopravljive posledice v naravi. Posledice teh nevarnih snovi pa se pokažejo pri prekomerni količini in gostoti nalaganja teh odpadkov, ki negativno vplivajo na rabo tal in kakovost podtalnice. Zaradi tega so številne države omejile pridelavo hrane na onesnaženih območjih in določile dovoljeno mejo letnega vnosa s komposti in blati čistilnih naprav v tla (Urbsoil, 2009).

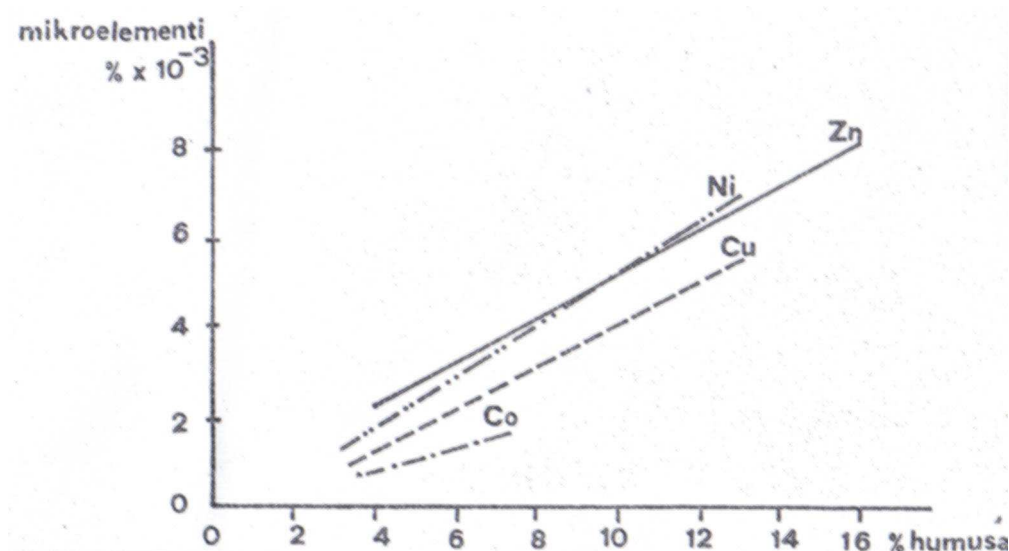
Dovoljene količine letnega vnosa teh snovi v tla določa Uredba o vnosu nevarnih snovi in rastlinskih hranil v tla, ki jo je sprejela Republika Slovenija leta 1996. Kot nevarno snov obravnavajo tudi cink in njegove spojine, izražene kot Zn, njegova dovoljena mejna vrednost letnega vnosa v tla je 10 kg/ha (Uredba o vnosu..., 1996).

Leta 1996 pa je bila sprejeta tudi odločba o mejnih, kritičnih in opozorilnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (Preglednica 2). Veljavnost te uredbe je določena ne glede na sestavo tal ali rabo za celotno Republiko Slovenijo.

Pregladnica 2: Mejne, opozorilne in kritične imisijske vrednosti za nevarne snovi v Sloveniji. (Uredba o mejnih..., 1996)

Elementi	Mejna imisijska vrednost mg/kg suhih tal	Opozorilna imisijska vrednost mg/kg suhih tal	Kritična imisijska vrednost mg/kg suhih tal
Cd	1	2	12
Cu	60	100	300
Ni	50	70	210
Pb	85	100	530
Zn	200	300	720
Cr	100	150	380

Največje pomanjkanje cinka v tleh se najbolj pokaže na njivah, vendar očitno vidnih znakov ni, zato je potrebno narediti analizo tal ter analizo rastlinskih delov. Količino pomanjkanja cinka lahko nadomestimo z dognovanjem z različnim pripravki, ki so še zlasti pomembni za ozimna žita, ki rastejo na lažjih tleh. Ajdi za svoje uspevanje ugajajo lažja tla, znana pa je po lažjem črpanju mineralnih snovi v primerjavi z drugimi poljščinami ter po dobrem izkoriščanju fosforja. V času pomanjkanja mineralnih snovi v tleh pa ajda ugodno izkoristi simbiozo njenih glivic, saj te bistveno lažje pridobijo mineralne snovi iz talnih delcev (Kreft, 1995). Kot nam prikazuje slika 1 je cink pomemben mikroelement, saj je ta odvisen od količine organske snovi v tleh.



Slika 1: Vsebnost mikroelementov (rastlinam dostopnih) in s tem tudi cinka v travniških tleh je odvisna od količine organske snovi (Stritar, 1973)

2.3.4 Cink in rastline

2.3.4.1 Pomen cinka pri višjih rastlinah

Ugotovitve in domneve rastlinskih fiziologov so skozi stoletja pokazale, da potrebujejo višje rastline za svojo rast in razvoj nujno potrebne kemijske elemente. Te elemente pa lahko drugače poimenujemo tudi mineralna hranila. Da pa kar najboljše zagotovimo izkoriščanje teh hranil iz tal v rastlino, nam omogočajo različni dejavniki, kot so:

- ugodna struktura tal in dobra preskrbljenost korenin,
- optimalne pH vrednosti,
- optimalna vsebnost organske snovi, humusa,
- velika aktivnost talnih mikroorganizmov,
- vlažna in topla tla,
- dovolj razvite korenine,
- velika transpiracija.

Z različnimi študijami in poskusi sta Sommer in Lipman (1926) ugotovila, da nekateri esencialni elementi (cink in bor) ugodno vplivajo na izboljšanje rasti rastlin, kar sta poimenovala »stimulans za razvoj rastlin«. To se je pokazalo tudi pri poskusih s sončnicami, ki sta jim dodala večjo in manjšo količino cinka. Na sliki 2 lahko vidimo očitno razliko med rastlinami s cinkom in brez njega.

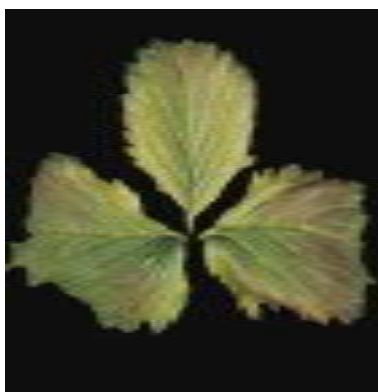


Slika 2: Rast sončnic s cinkom in brez. Leva sončnica z dodanim cinkom, desna sončnica brez dodanega cinka (Sommer in Lipman, 1926)

Sprejem cinka v rastline je v obliki Zn^{2+} in $ZnOH^+$ (pri visokem pH), transportira se po rastlinskemu ksilemu in floemu. Njegove spojine so lahko vezane na organske molekule ali pa prihajajo v rastline preko transpiracijskega toka. Vodnik (2009) navaja, da ima cink v rastlini različne naloge, in sicer:

- sodelovanje pri metabolizmu nukleinskih kislin in ogljikovih hidratov,
- sinteza avksinov,
- struktura proteinov,
- tvorjenje kompleksov z organskimi spojinami,
- katalitična in strukturna vloga v encimih.

Na hujše pomanjkanje elementa pa nas bo opozorila rastlina z vidnimi znaki, ki se kažejo v rozetavosti in krajši »internodijah«. Bledo zelena barva rastline nas bo opozorila na simptom, ki jo imenujemo kloroza. Drugi najbolj enostaven pokazatelj bolezenskih znakov pri rastlini je vsekakor prenehanje življenjskih procesov oz. odmrtje različnih delov organizma rastlin, s strokovno besedo to poimenujemo nekroze. Lažjo predstavo o bolezenskih znakih omogoča slikovni prikaz 3.



Slika 3: Posledica pomanjkanja cinka pri rastlini se kaže v blede zelenih listih (Vodnik, 2009)

2.3.4.2 Toksičnost cinka v rastlinah

Toksičnost cinka se pri rastlinah kaže v poslabšanju aktivacije encimov. Kot vemo, je cink za organizme esencialen element s pomembno vlogo v metabolnih procesih ter aktivator nekaterih encimov. Najbolj pomembni dejavniki pri prenosu težkih kovin, v tem primeru cinka, v rastline so: tekstura tal, delež organske snovi v tleh, oksidacijsko-redukcijski potencial ter pH. Vsi ti naštetni dejavniki pa vplivajo na to, da se kemijski element lahko veže na talne delce preko koncentracije kovin v talni raztopini do rastline, ki jo ta lahko sprejme.

Čižman in sod. (1996) ugotavljajo, da se z intenzivnim kmetovanjem in uporabo kemičnih sredstev ne dviga vsebnost mikroelementov v različnih prehranskih vzorcih.

Zupan in sod. (1996) pa menijo, da tudi v najbolj onesnaženih mestih po Sloveniji, kjer so koncentracije težkih kovin v tleh in ozračju prevelike, te ne vplivajo strupeno na rastline. S pranjem lahko zmanjšamo kontaminacijo rastlin; pri svincu kar za 90 %.

2.3.4.3 Nalaganje cinka v nekaterih kmetijskih rastlinah

Sprejem različnih elementov v rastlino lahko poteka iz tal v korenine ali preko listov.

Največ kovin rastline akumulirajo v koreninah, na steblih in listih nekoliko manj, v plodovih in semenih pa običajno najmanj. Za prehrano so zelo sporne korenovke na onesnaženih tleh, saj sprejem poteka preko korenin v koren, v katerega se elementi nalagajo. Solatnice so pri tem najbolj sporne zato, ker imajo veliko listno površino in so izpostavljene velikemu onesnaževanju iz zraka, pri tem pa se kovine nalagajo na listno površino in preko korenin.

Zupan in sod. (1996) so s poskusi ugotovili, da se največ cinka akumulira v listih špinače. Najden pa je bil še v slami in zrnju pšenice, listih endivije ter v korenu redkvice. V tabeli 3 so prikazane nekatere zelenjadnice glede na sprejem težkih kovin.

Preglednica 3: Sprejem težkih kovin v rastline (Zupan, 1996)

Visok sprejem	Srednji sprejem	Nizek sprejem	Zelo nizek sprejem
Solata Špinača Artičoka Endivija Kreša Repa – zelenje Korenje	ohrovt pesa repa redkvica ogrščica krompir čebula	zelje koruza brstični ohrovt cvetača zelena jagodičje	fižol grah lubenice paradižnik paprika sadje

2.3.4.4 Žerjav

Žerjav leži v Zgornji Mežiški dolini. Znan je po dolgoletnem rudarjenju in pridelovanju cinkove ter svinčeve rude. Na tem mestu se je zbirala vsa nakopana ruda, ki je bila največji vir žveplovega dioksida. S tem so pustili dolini po dolgih letih pridobivanja ekološko bedo. Ta se kaže v preobremenjenosti tal s težkimi kovinami in prav okolica Žerjava je še vedno preobremenjena s svincem, tako da se pridelava rastlin za ljudi in živali ne priporoča. Zavedanje tega negativnega vpliva na bivalni prostor je posebno pomembno za zdravje ljudi in zlasti otrok, ki so še bolj izpostavljeni in občutljivi na težke kovine v tleh. Po večletnem zaprtju rudnika pa še vedno poteka onesnaževanje okolice s prašnimi delci.

Finžgar in Leštan (2008) sta z različnimi vzorci posameznih lokacij Mežiške doline dokazala onesnaženost, saj je bila kritična imisijska vrednost za Pb in Zn presežena v skoraj vseh vzorcih. Ukrep za zmanjšanje onesnaženosti tal s težkimi kovinami bi bila sanacija okolja s prekrivanjem in odstranjevanjem, vendar pa je to odvisno od rabe in tipa tal.

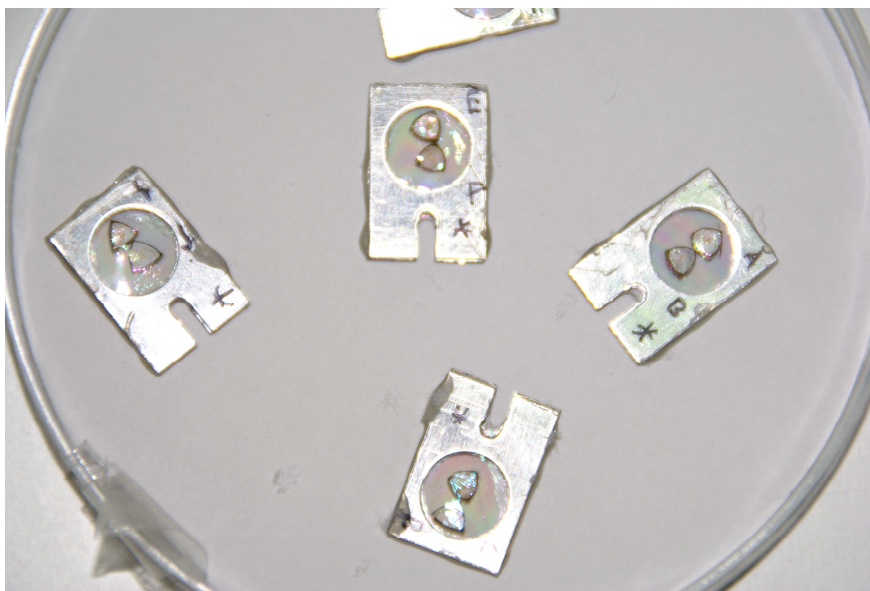
3 MATERIALI IN METODE

3.1 VZORCI IN NJIHOVA PRIPRAVA

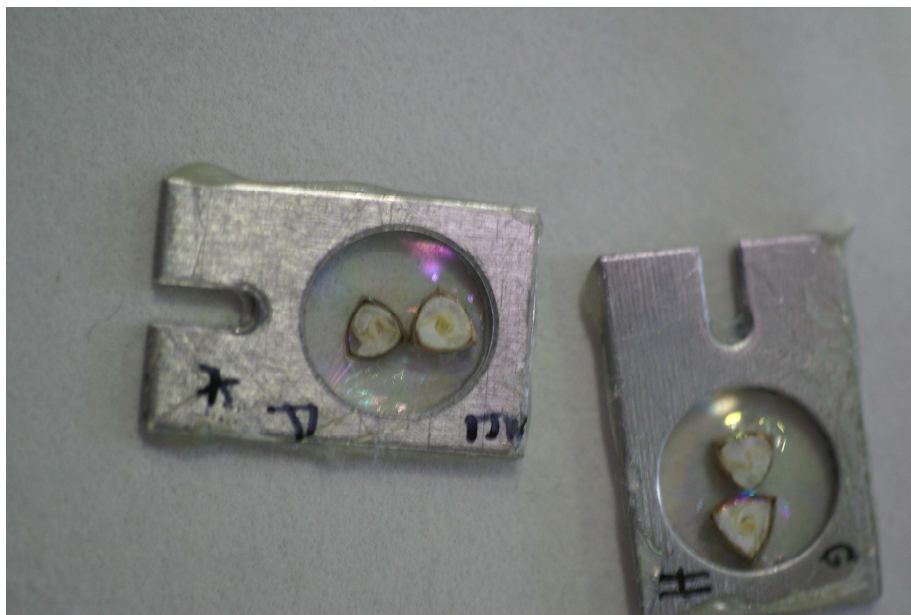
Navadna ajda (*Fagopyrum esculentum* Moench), sorta Darja, je bila vzgojena na neonesnaženi peščeni zemlji v Ljubljani s povprečno težo tisočih semen 26 g. Iz pridelka ajde, sorta Darja, je bilo izbranih 25 semen. Ta semena so bila posajena v loncih na različnih substratih. To so bila (1.) navadna neonesnažena tla z poskusnega polja Biotehniške fakultete, (2.) navadna neonesnažena tla z poskusnega polja BF z dodatkom 1g/kg ZnN_2 v obliki cinkovega nitrita ($ZnNO_2$), (3.) tla z vrtov okolice Žerjava in (4.) tla z vrtov okolice Žerjava z dodatkom 1g/kg ZnN_2 v obliki cinkovega nitrita ($ZnNO_2$).

Priprava vzorcev je potekala na Oddelku za biologijo, na Katedri za fiziologijo rastlin Biotehniške fakultete, s pomočjo dr. Katarine Vogel-Mikuš.

Ajdovo zrno je plod- orešek, ki je sestavljen iz suhega perikarpa (luščine), hranilnega tkiva (sekundarni endosperm) in embrija (kalček in os embrija- klična lista ali koiledona). Ajdove zrele zrna smo prerezali z britvijo ter naredili 2 mm tanke rezine. Za vsak vzorec smo naredili dve ponovitvi. Nato smo posamezne rezine namestili na aluminijaste nosilce med dva tanka sloja folije (pioloform 1 g/75 ml kloroforma). Na štirih različnih vzorcih, ki jih prikazuje slika 4 (»Navadna«, »Navadna+ ZnN_2 «, »Žerjav« ter »Žerjav+ ZnN_2 «), imajo vzorci običajno oziroma povečano količino cinka v zrnih. Te smo namestili na aluminijaste nosilce, ki so imeli po dve ponovitvi za vsak vzorec (slika 4). Na Oddelku za biologijo Biotehnične fakultete smo pod lupo (STEMI SV 11) Zeiss (AxioCam) slikali posebej vsak nosilec z lepo vidnim prerezom zrna.



Slika 4: Pripravljeni vzorci na aluminijastih nosilcih v dveh ponovitvah. Srednji vzorec »Žerjav+ ZnN_2 « ter desni vzorec »Navadna« (Foto: Vogel-Mikuš, 2008)

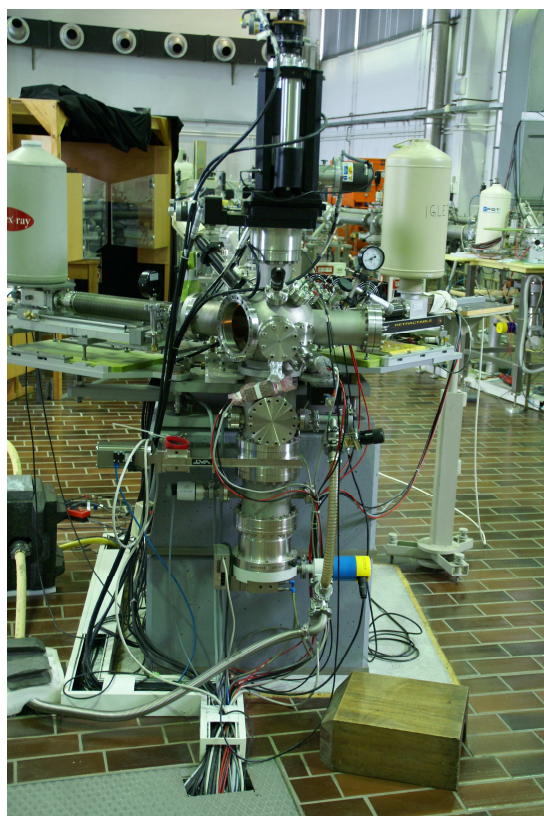


Slika 5: Nosilec vzorcev v dveh ponovitvah, »Žerjav+ZnN₂« (levo) ter »Žerjav« (desno) (Foto: Vogel-Mikuš, 2008)

Analizirani deli zrna so zajemali celoto vsega zrna, vključno s suhim perikarpom (luščino), hranilnim tkivom (endospermom) ter embrijem z kličnimi listi (kotiledoni), kot nam prikazuje slika 5. Vse to z dvema ponovitvama pri vsakem vzorcu.

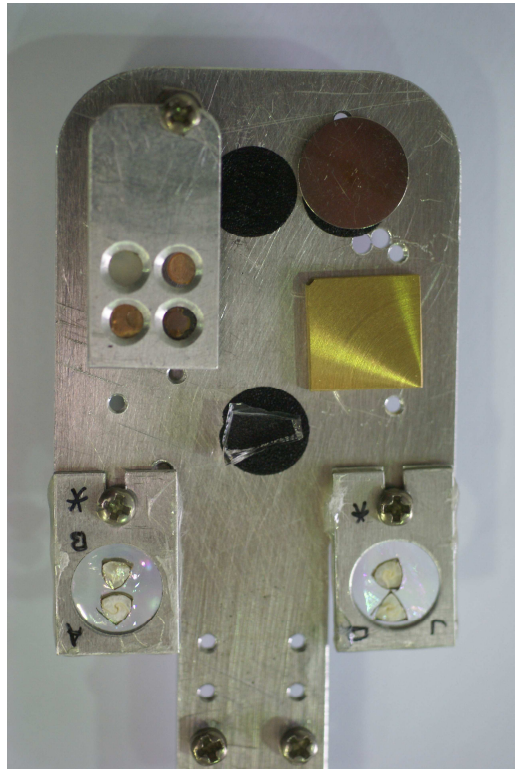
3.2 PIXE PREGLEDOVANJE VZORCEV

Elementne porazdelitve v zrnih ajde smo izmerili z metodo mikro-PIXE na ionskem pospeševalniku »Tandentron« Institutu Jožef Stefan. Meritve mikro-PIXE smo izvedli na merilni postaji z ionskim mikrožarkom. Pri metodi mikro-PIXE rastrsko pregledujemo izbrano polje vzorca. Zrna ajde zahtevajo uporabo največjih razpoložljivih preglednih površin. Pri energiji protonov 2 MeV je največja pregledna površina $2,5 \times 2,5 \text{ mm}^2$, pri energiji 3 MeV pa $2 \times 2 \text{ mm}^2$. Pri meritvah smo uporabili ionski tok 400 pA. Vzorce, ki jih kaže slika 4, smo namestili na nosilec vzorcev (slika 8), ki smo ga pritrdili na petosni vakumski goniometer v merilni vakumski celici. Za izvedbo meritev smo uporabili en teden žarkovnega časa. Meritve so potekale 24 ur na dan. Rezultati meritev so se zapisovali v obliki »list-mode«, ki omogoča naknadno obdelavo rezultatov.



Slika 6: Merilna postaja z ionskim mikrožarkom v Mikroanalitskem centru Instituta Jožef Stefan (Foto: Kreft, 2008)

Spodnja slika prikazuje nosilec vzorcev petosnega vakumskega goniometra. Poleg dveh vzorcev ajde (spodaj levo »Navadna+ZnN₂« in spodaj desno »Navadna«) so na nosilec (zgoraj) pritrjeni referenčni vzorci za spektroskopijo mikro-PIXE.

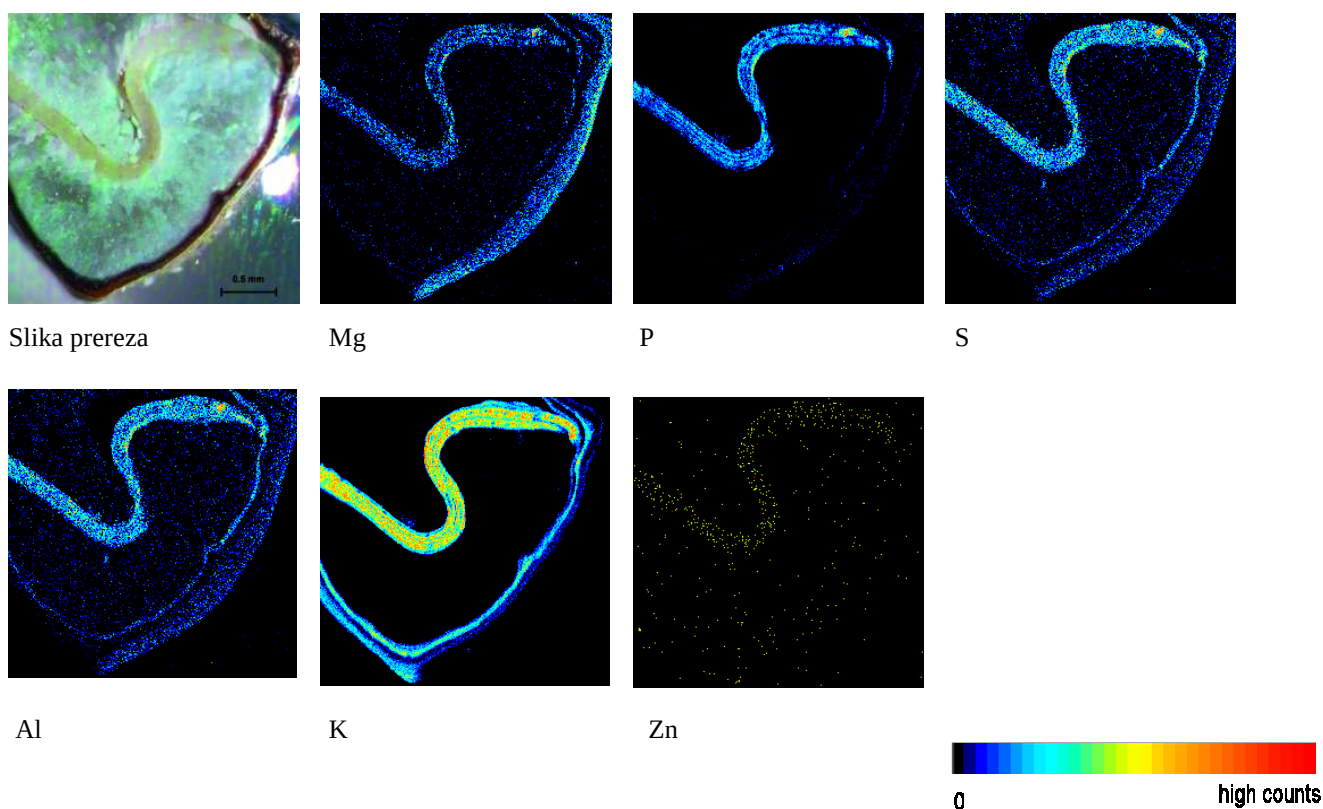


Slika 7: Nosilec vzorcev petosnega vakumskega goniometra. Poleg dveh vzorcev ajde (levo in desno spodaj) so na nosilcu pritrjeni referenčni vzorci, mikroskopske litografske mrežice in scintilacijski zaslon iz cezijevega jodida (Foto: Kreft, 2008)

4 REZULTATI

4.1 ANALIZA VZORCEV

Vsi dobljeni podatki so se nalagali v elementne mape z lepo vidnimi razporeditvami posameznih elementov v tkivih ajdovega zrna iz njihovih spektrov pa se izračunajo koncentracije. Podatki vsakega vzorca pa so bili tudi računalniško obdelani glede na posamezne elemente, s pomembnimi informacijami o vsebnosti njihove koncentracije v zrnju. Na podlagi teh podatkov smo v nadaljnje analize vključili šest elementov, katerih koncentracije so bile v posameznih vzorcih zrna ajde največje. Sledilo je ugotavljanje, kje v zrnju je cink in v katerem od izbranih vzorcev ga je največ.



Slika 8: Posamezne mape zrna ajde s podatki o razporeditvi elementov, ugotovljeni z metodo mikro-PIXE. Velikost prostora v vsaki mapi je $2,5 \times 2,5 \text{ mm}^2$

Rezultati so predstavljeni v preglednicah od 4 do 7. Te prikazujejo posamezne elemente z njihovo koncentracijo v endospermu in kotiledonu ter povprečja elementov posameznih vzorcev. Iz njih lahko razberemo, v katerem vzorcu je največ posameznega elementa, kje v zrnju se najbolj nalaga, kateri element je pod mejo zaznavanja za metodo mikro-PIXE, kateri od vzorcev ima največjo vsebnost elementov ter v katerem vzorcu je največja koncentracija cinka.

Preglednica 4: Koncentracija elementov v zrnih ajde v vzorcu »Navadna« (mg kg⁻¹), Ljubljana, 2008

	Elementi					
Deli semena	Mg	Al	P	S	K	Zn
Endosperm A	167,4	30	140,6	385,4	420	1,7
Endosperm B	41,8	19,3	109,2	166,9	199	1,2
Kotiledon A	10156,3	306,9	25578,1	4746,8	22376,2	71,1
Kotiledon B	3525,3	pod mejo	6949,7	1992	8754,6	38,8
Povprečje	3472,7	118,7	8194,4	1822,8	7937,5	28,2

V preglednici 4 je razvidna koncentracija posameznih elementov v delih zrna ajde v vzorcu »Navadna«. V povprečju je bila koncentracija cinka 37-krat večja v kotiledonih kot v endospermu (preglednica 8). Koncentracija kalija v kotiledonih je 48-krat večja od koncentracije v endospermu. Koncentracija elementa žvepla je bila 12-krat večja v kotiledonih, kot v endospermu. Pri elementu magnezij je bilo razmerje koncentracij 72-krat večja v kotiledonih kot pa v endospermu zrna ajde. Pri fosforju je razmerje med kotiledoni in endospermom za 122-krat večje v kotiledonih pri aluminiju pa 10-krat večje razmerje prav tako v kotiledonih.

Preglednica 5: Koncentracija elementov v zrnih ajde v vzorcu »Navadna+ZnN₂« (mg kg⁻¹), Ljubljana, 2008

	Elementi					
Deli semena	Mg	Al	P	S	K	Zn
Endosperm C	594,1	165,3	214,6	528,5	348,7	8,7
Kotiledon C	11046,9	pod mejo	18778,8	5313,6	16231,6	300,4
Povprečje	5820,5	165,3	9496,7	2921,1	8290,2	154,6

V preglednici 5 je bila koncentracija fosforja največja v kotiledonih. Največja koncentracija cinka pa se je pokazala prav v tem vzorcu s 300,4 mg kg⁻¹ v kotiledonih ajdovega zrna. In to je največji podatek o koncentraciji cinka v tej nalogi. Opazili smo podobno koncentracijsko razmerje med koncentracijami v kotiledonih in endospermu kot v preglednici 4. Pri vzorcu (»Nav+ZnN₂«) je razmerje med endospermom in kotiledonih pri cinku 35-krat večje v kotiledonih, kot v endospermu. Razmerje pri kaliju je 47-krat večje prav tako v kotiledonih. Razmerji za žveplo in magnezij se v tem vzorcu zmanjšata. Pri žveplu je razmerje za 10-krat večje v kotiledonah pri magneziju pa je razmerje v kotiledonah večje za 19-krat v primerjavi z endospermom. Podatka za razmerje pri aluminiju ni bilo.

Preglednica 6: Koncentracija elementov v zrnih ajde v vzorcu »Žerjav« (mg kg⁻¹), Ljubljana, 2008

	Elementi					
Deli semena	Mg	Al	P	S	K	Zn
Endosperm G	247	132,6	226,3	522,7	349,4	2,5
Endosperm H	1847,8	109,8	527,2	821,4	417,6	3,2
Kotiledon G	11200	pod mejo	23276,7	5143,2	24279,2	102,7
Kotiledon H	4168,8	100,9	10323,9	2571,5	10160,5	40,5
Povprečje	4365,9	114,4	8588,5	2264,7	8801,7	37,2

V preglednici 6 so prikazani rezultati za obe ponovitvi (G, H) v vzorcu »Žerjav«. Razmerje med koncentracijo v kotiledonih in endospermu je pri cinku 27-krat večje v kotiledonih. Koncentracija kalija je 47-krat večja v kotiledonih. Razmerje med kotiledoni in endospermom je pri žveplu za 7-krat večje v kotiledonih pri magneziju pa 24-krat večje prav tako v kotiledonih. Pri fosforju je razmerje med kotiledoni in endospermom za 61-krat večje v kotiledonih.

Preglednica 7: Koncentracija elementov v zrnu ajde v vzorcu »Žerjav+ZnN₂« (mg kg⁻¹), Ljubljana, 2008

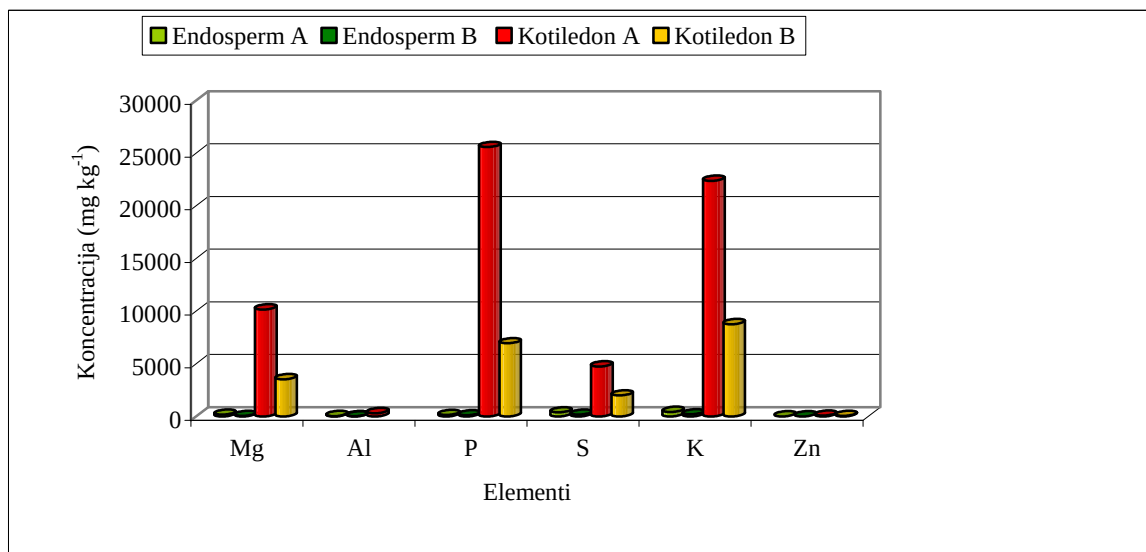
	Elementi					
Deli semena	Mg	Al	P	S	K	Zn
Endosperm E	210,5	pod mejo	106,5	218,2	131	3,8
Kotiledon E	4238,9	pod mejo	5195,4	1528,3	3337,6	20,9
Povprečje	2224,7	pod mejo	2651,0	873,3	1734,3	12,4

V preglednici 7 smo opazili zelo majhne razlike v razmerju med kotiledoni in endospermom. Razmerje kotiledonov in endosperma za cinka v delih zrna ajde je v kotiledonih 6-krat večje kot v endospermu, kalija je 25-krat več prav tako v kotiledonih. Razmerje za žveplo je 7-krat večje v kotiledonih, za magnezij 20-krat večje prav tako v kotiledonih pri aluminiju podatka za razmerje ni bilo.

Preglednica 8: Povprečno razmerje koncentracij elementov med kotiledoni in endospermom v zrnu ajde (x prečnokot: x prečno end) v posameznih vzorcih

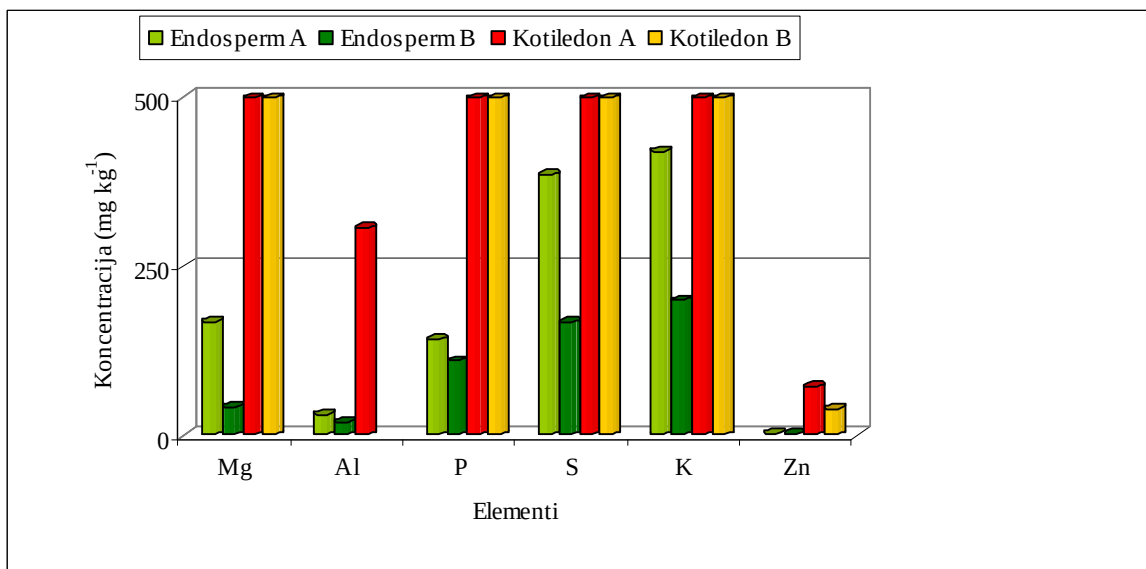
	Elementi					
Vzorci	Mg	Al	P	S	K	Zn
Navadna	72,5	10,2	122,7	12,1	48,6	37
Nav+ZnN ₂	18,5	ni podatka	87,5	10	46,5	34,5
Žer+ZnN ₂	20,1	ni podatka	48,7	7	25,4	5,5
Žerjav	23,7	0,9	61,2	6,4	46,9	26,8

V preglednici 8 so podatki o razmerjih elementov med kotiledoni in endospermom v zrnih ajde v vzorcih »Navadna«, »Navadna+ZnN₂«, »Žerjav« ter »Žerjav+ZnN₂«.



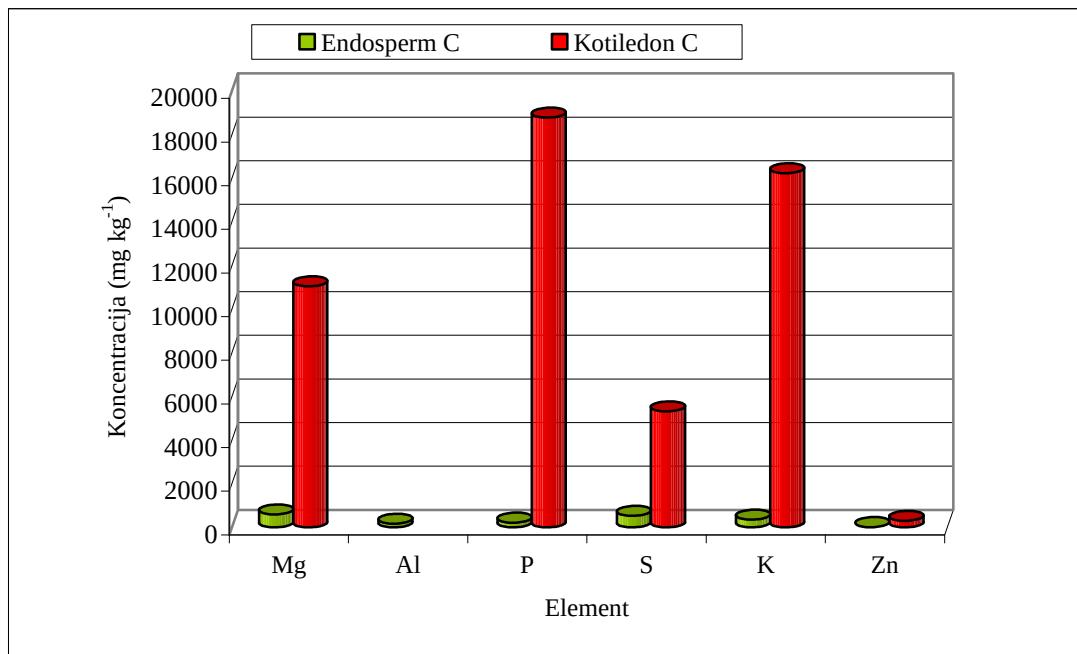
Slika 9: Prikaz koncentracij posameznih elementov pri vzorcu »Navadna«, Ljubljana, 2008

Iz slike 9 vidimo različne koncentracije posameznih elementov v vzorcu »Navadna«. Tretji in četrti najvišji stolpec z leve proti desni prikazujeta koncentracije v kotiledonih »A« in »B«. Prvi in drugi najmanjši stolpec, prav tako z leve proti desni, pa prikazujeta koncentracije v endospermu »A« in »B«. Iz grafičnih prikazov razberemo, da je največja koncentracija elementov prav v kotiledonih.



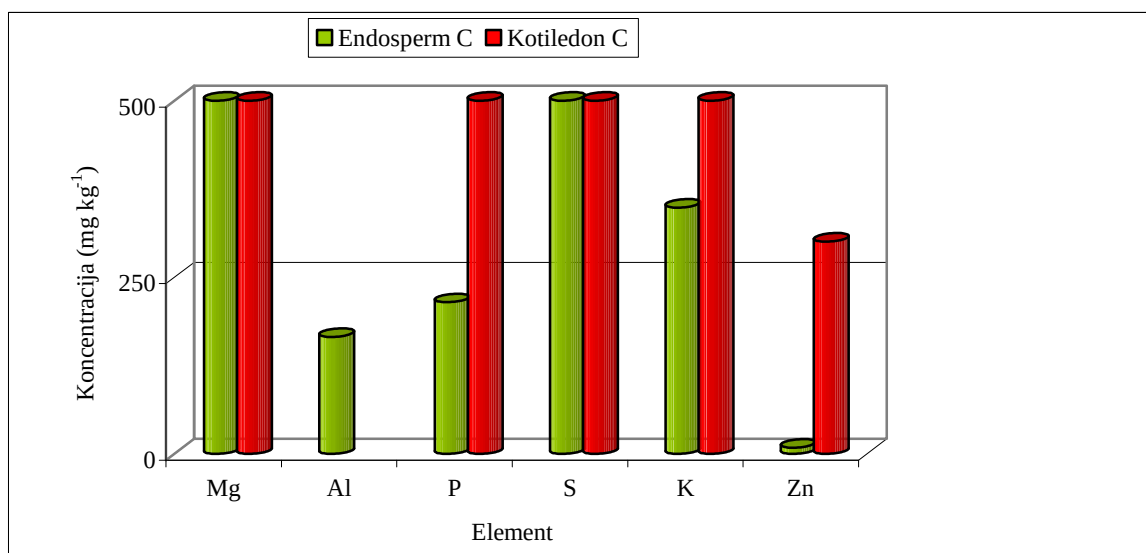
Slika 10: Koncentracija posameznih elementov do maksimuma 500 mg kg⁻¹ v vzorcu »Navadna«

Slika 10 prikazuje šest elementov s koncentracijami do 500 mg kg⁻¹. Največji stolpci prikazujejo koncentracije v kotiledonih, manjši stolpci pa prikazujejo koncentracije v endospermu.



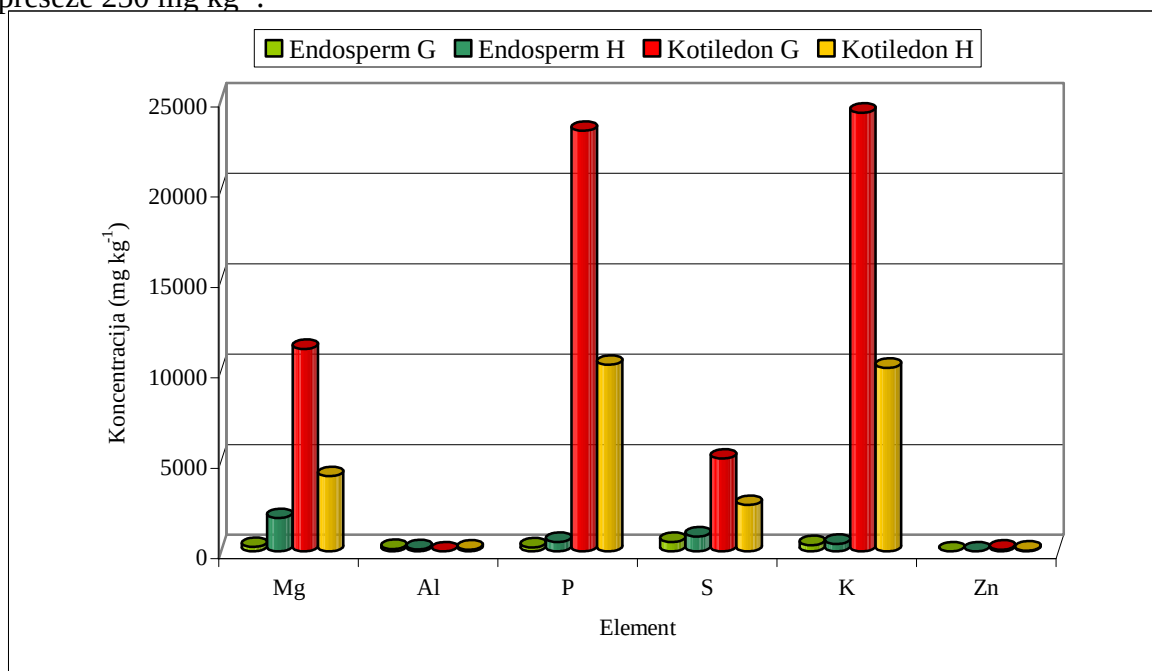
Slika 11: Prikaz koncentracije posameznih elementov v vzorcu »Navadna+ZnN₂«, Ljubljana, 2008

Iz slike 11 vidimo, da je koncentracija fosforja največja v kotiledonih. Ta se bistveno razlikuje od koncentracije aluminija, ki ga v kotiledonih sploh ni, saj je bil pod mejo zaznavnosti.



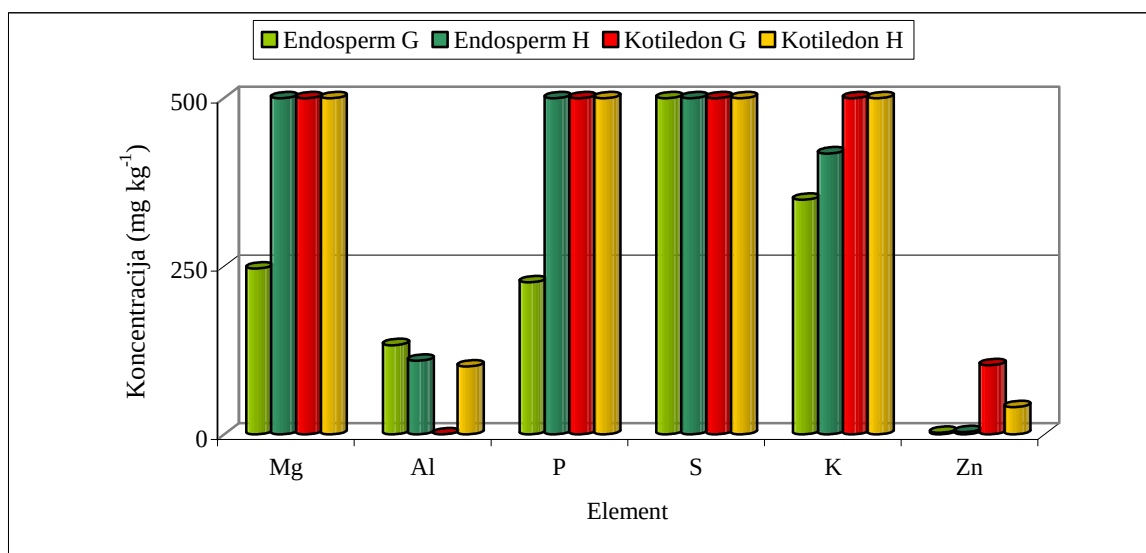
Slika 12: Koncentracije posameznih elementov do maksimuma 500mg kg⁻¹ v vzorcu »Navadna+ZnN₂«

Slika 12 prikazuje koncentracije posameznih elementov do največ 500 mg kg^{-1} . Pri žveplu in magneziju vidimo, da oba dosemeta maksimum. Cinkova koncentracija v kotiledonih preseže 250 mg kg^{-1} .



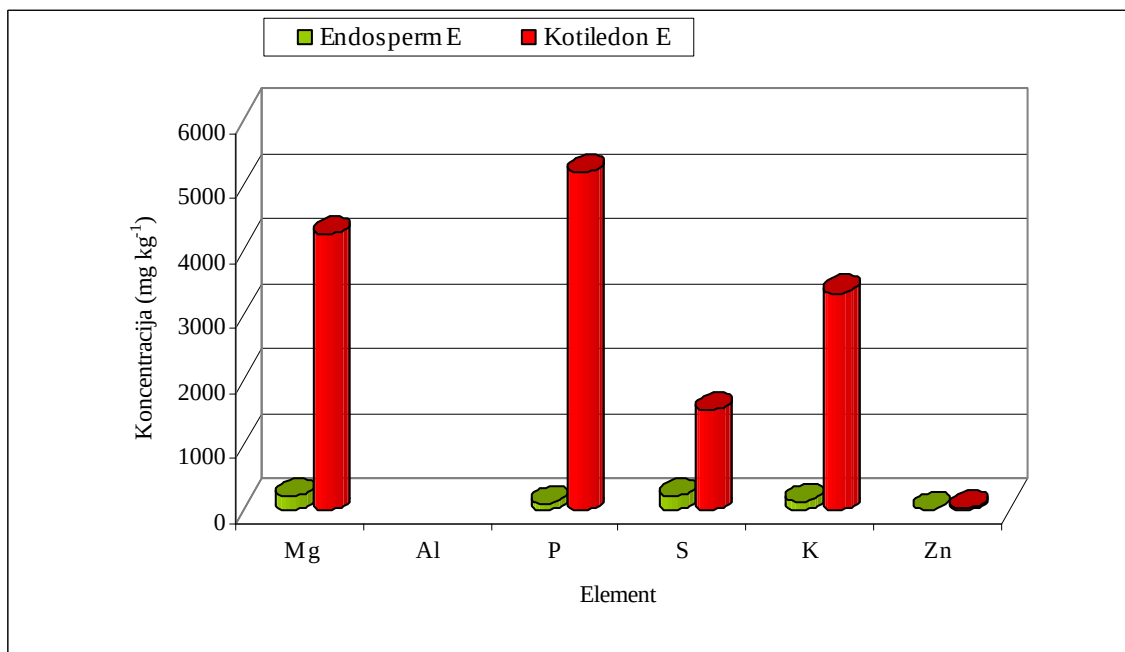
Slika 13: Prikaz posameznih koncentracij elementov v vzorcu »Žerjav«, Ljubljana, 2008

Iz slike 13 vidimo podatke pri obeh ponovitvah (G, H) vzorca. Pri elementu kalij je bila največja koncentracija v kotiledonih.



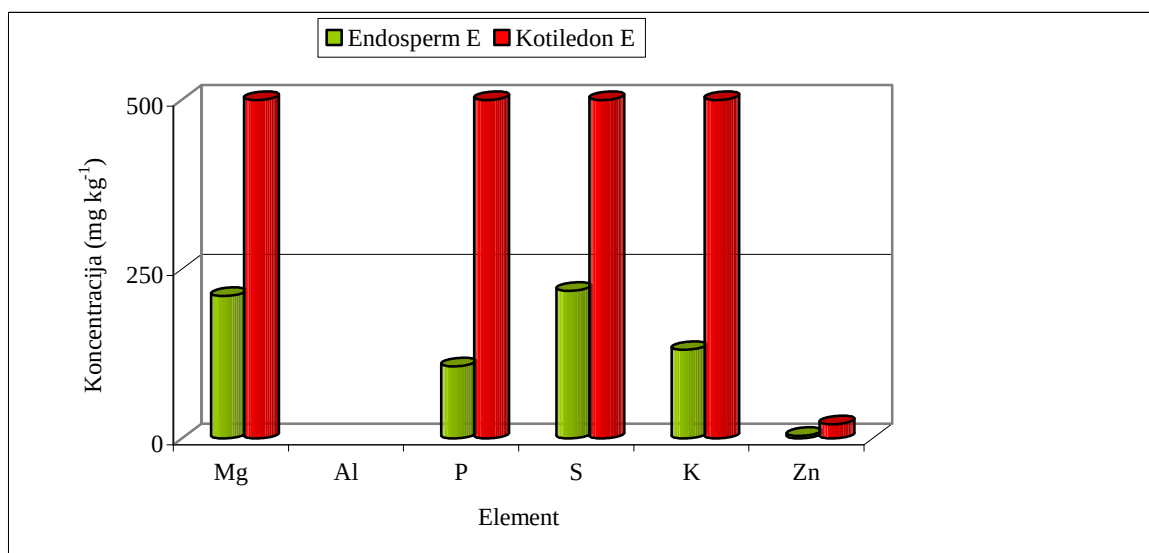
Slika 14: Koncentracija posameznih elementov do maksimuma 500 mg kg^{-1} v vzorcu »Žerjav«

Iz slike 14 vidimo, da so največje koncentracije v kotiledonih. Magnezij, fosfor in kalij presegajo koncentracijo 250 mg kg^{-1} , pri cinku je največja koncentracija v kotiledonih.



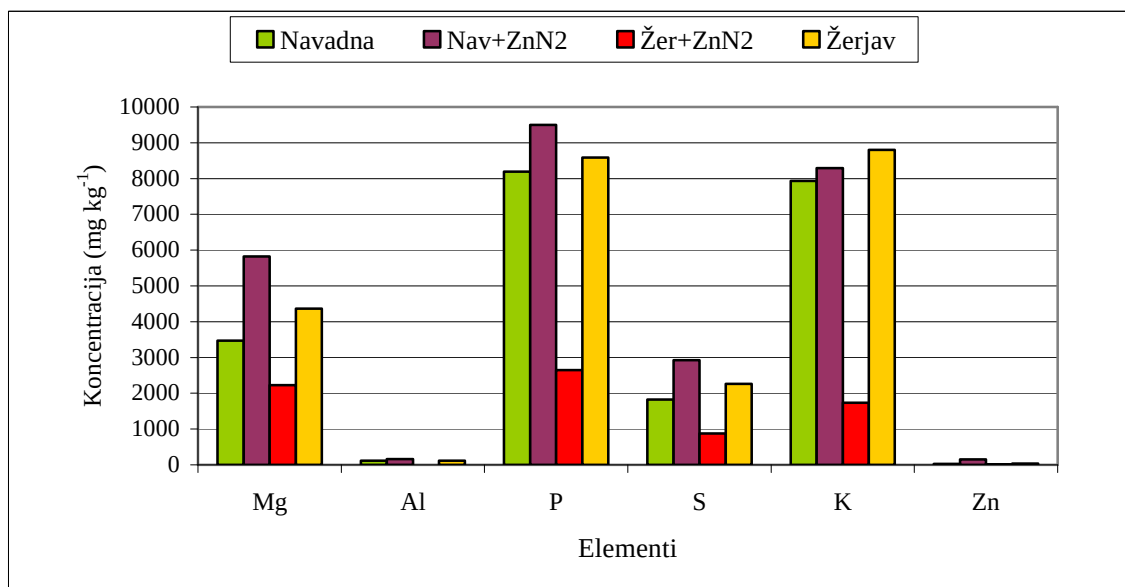
Slika 15: Prikaz koncentracij posameznih elementov v vzorcu »Žerjav+ZnN₂«, Ljubljana, 2008

Tudi pri vzorcu »Žerjav+ZnN₂« so največje izmerjene koncentracije posameznih elementov v kotiledonih ajdovega zrna (slika 15).



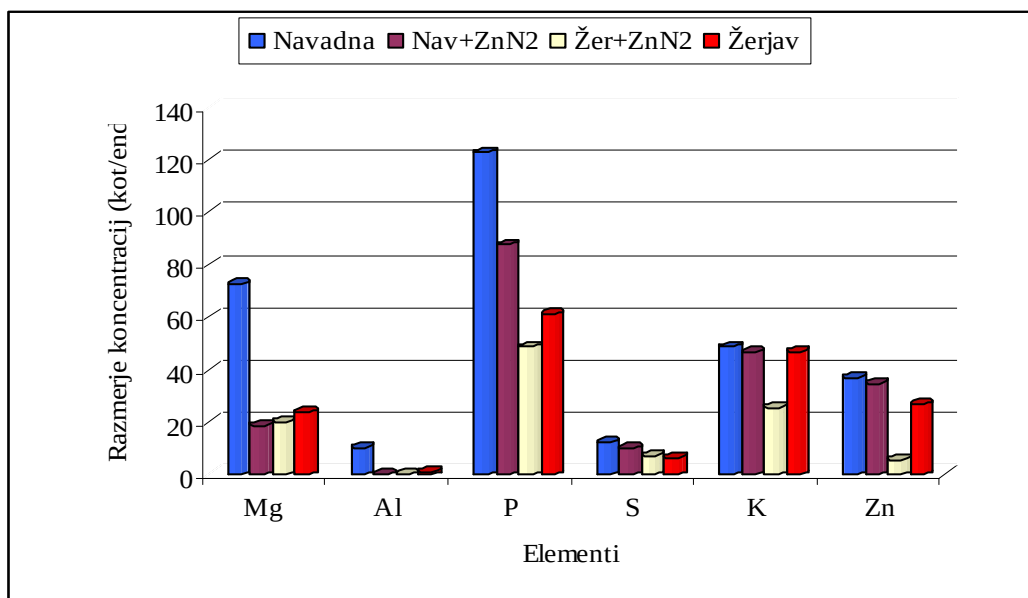
Slika 16: Koncentracija posameznih elementov do maksimuma 500 mg kg^{-1} v vzorcu »Žerjav+ZnN₂«

Slika 16 nam prikazuje da imajo vsi elementi največjo koncentracijo v kotiledonih.



Slika 17: Prikaz povprečnih koncentracij elementov v vseh vzorcih, Ljubljana, 2008

Slika 17 prikazuje povprečne koncentracij elementov v vseh vzorcih. Največjo koncentracijo ima pri vseh analiziranih vzorcih fosfor. Vzorec »Navadna+ZnN₂« pa ima največjo povprečno koncentracijo.



Slika 18: Povprečno razmerje koncentracij elementov med kotiledoni in endospermom v zrnu ajde v odvisnosti (x prečno kot:x prečno end) od sestave substrata

Slika 18 prikazuje povprečno razmerje koncentracij elementov med kotiledoni in endospermom v zrnih ajde v odvisnosti od sestave substrata. S tem dobimo podatek, da je v kotiledonih ajdovih zrn veliko več prehransko pomembnih elementov, ki so pomemben vir naše prehrane. Kotiledoni imajo pomembno vlogo v zrnju, saj vsebujejo nekaj vlaknin, maščob in beljakovin, te imajo veliko biološko vrednost in so bolj kakovostne od beljakovin pšenice. Pri luščenju ajde se kotiledona ne poškodujeta veliko, saj je znano, da temnejše ajdove moke vsebujejo največ mineralnih snovi (Kreft, 1995).

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

Z nalogo smo želeli ugotoviti, kakšna je porazdelitev cinka v zrnih ajde. Njena sestava mineralnih elementov je namreč znana predvsem po cinku, ki ga organizem nujno potrebuje za delovanje naših genov. Večina drugih mineralnih snovi, ki jih ajda poleg cinka vsebuje, pa je v zunanjih plasteh zrna, tik pod lusko (Kreft, 1995). Ker ajda ni primerna za surovo uživanje, se pri njeni pripravi za hrano (luščenje, kuhanje) vsebnost elementov zmanjša. Pri različnih ajdovih izdelkih, kot so svetlejši ali temnejši zdrobi ter svetlejše in temnejše ajdove moke, je različna razporeditev mineralnih elementov in drugih sestavin. Razlika med temnejšo in svetlejšo moko je predvsem v vsebnosti škroba, ki ga je največ v endospermu, zaradi česar so svetlejši izdelki iz ajde bolj primerni za pripravo zahtevnih ajdovih jedi, kot so potice, žganci. Temnejši ajdovi izdelki pa vsebujejo večji del kalčka in osrednjega dela oz. kotiledona. Ta je bolj bogat z beljakovinami, maščobami, mineralnimi elementi.

Izmerili smo koncentracije v zrnih ajde, vzgojene na različnih substratih: 1. »Navadna«, 2. »Navadna+ZnN₂«, 3. »Žerjav«, 4. »Žerjav+ZnN₂«. Priprava vseh vzorcev je potekala na Katedri za fiziologijo rastlin, Oddelka za biologijo. Meritve z metodo mikro-PIXE so potekale v Mikroanalitskem centru Odseka za fiziko nizkih in srednjih energij na Institutu Jožef Stefan.

Rezultati, ki smo jih izmerili z metodo mikro-PIXE, so pokazali, da je koncentracija cinka in ostalih elementov mnogo večja v kotiledonih, kot v endospermu.

Največje koncentracije cinka, smo pričakovali v vzorcu »Žerjav+ZnN₂«. Substrat iz okolice Žerjava naj bi namreč že sam vseboval veliko koncentracijo cinka (Vogel-Mikuš, 2008). Izkazalo se je ravno nasprotno, da vsebuje najmanjšo.

Največje koncentracije cinka smo izmerili v zrnih ajde, vzgojenih v substratu »Navadna+ZnN₂« (navadna neonesnažena tla s poskusnega polja BF z dodatkom cinkovega nitrita). V semenih tretiranih z ZnN₂, se v nasprotju s pričakovanji ni akumuliralo več cinka.

V nalogi smo preučevali povprečno razmerje koncentracij elementov med kotiledoni in endospermom v odvisnosti sestave substrata, v katerem so bili naši vzorci vzgojeni. Raziskave so pokazale, da je bilo razmerje med koncentracijo kotiledonov in koncentracijo endosperma večje v kotiledonih. Največje razmerje cinka med kotiledoni in endospermom je bilo ugotovljeno v vzorcu »Navadna« (navadna neonesnažena tla z poskusnega polja Biotehniške fakultete). Podatki o razmerju med koncentracijami kotiledonov in endosperma so bili približno podani.

5.2 SKLEPI

Glede na hipotezo, zastavljeno v uvodnem delu naloge, namreč ugotoviti, kje v zrnu ajde se nahaja cink, smo prišli do naslednjih sklepov:

- Analiza Mikro-PIXE je primerna za določanje koncentracij prehransko pomembnih elementov v posameznih delih ajdovega zrna.
- Koncentracija elementov v zrnih ajde se bistveno spreminja glede na vrsto substrata.
- Največja koncentracija cinka je v vzorcu »Navadna+ZnN₂«, znaša 300 mg kg⁻¹.
- Največ cinka je v osrednjem delu zrna oziroma v kotiledonu.
- Poleg cinka so v kotiledonu prisotni tudi drugi elementi: magnezij, žveplo, kalij.

6 POVZETEK

Z raziskavo smo dobili pomembne podatke o koncentraciji elementov, ki smo jih ugotavljali v zrnih ajde. Ajda je znana po vsebnosti cinka, kar je pomembno, saj ga primanjkuje v živilih rastlinskega izvora. V naši nalogi nas je zanimal predvsem cink kot element, pomemben za ustrezen potek presnove v organizmih.

Vzorci smo pripravili na Biotehniški fakulteti, na Katedri za fiziologijo rastlin Oddelka za biologijo in nato nadaljevali delo v Mikroanalitskem centru Instituta Jožef Stefan z metodo mikro-PIXE. Zgoraj omenjena metoda je primerna za določanje koncentracij prehransko pomembnih elementov v posameznih tkivih ajdovega zrna.

Vse štiri vzorce, »Navadna«, »Navadna+ZnN₂«, »Žerjav« ter »Žerjav+ZnN₂«, smo analizirali z metodo mikro-PIXE in nato pridobili podatke o koncentraciji posameznih elementov v vzorcih ajdovih zrn. Analizirani deli zrn so bili endosperm in kotiledoni. Po končani analizi so bili podatki vsakega vzorca obdelani za tabelarni in grafični prikaz posameznih elementov.

Ugotovili smo, da je največja koncentracija cinka v vzorcu »Navadna+ZnN₂«, ki znaša 300 mg kg⁻¹. V delih zrna ki smo jih analizirali smo ugotovili, da se največ prehransko pomembnih elementov nalaga prav v kotiledonih vključno s cinkom. Koncentracija elementov v zrnih ajde se spreminja tudi glede na vrsto substrata na katerem so bile vzgojene.

Torej smo v tej nalogi ugotovili, da je cink pomemben prehrambni element v naši vsakodnevni prehrani, da so ajdova zrna bogata s cinkom in tako primerna za uživanje.

7 VIRI

1. Bavec M. 2001. Ekološko kmetijstvo. Ljubljana, Kmečki glas: 448 str.
2. Bonafaccia G., Gambelli L., Fabjan N., Kreft I. 2003. Trace elements in flour and bran from common and tartary buckwheat. Food Chemistry, 83: 1–5
3. Bonafaccia G., Fabjan N. 2003. Nutritional comparison of tartary buckwheat with common buckwheat and minor cereals. Zbornik Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, Kmetijstvo, 81–2: 349–355
4. Čižman M., Štupar J., Plestenjak A. 1996. Vpliv intenzivnega kmetijstva na vsebnost mikroelementov Zn, Cu, Cr in Mn v prehrani. V: Tehnologija, hrana, zdravje Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 588–591
5. Dobovišek K. 1958. Anorganska kemija: kovine. Ljubljana, DZS: 189 str.
6. Finžgar N., Leštan D. 2008. Ocena dostopnosti težkih kovin iz onesnaženih tal Mežiške doline. Zbornik Biotehniške fakultete, Univerza v Ljubljani, kmetijstvo, letnik 91/1: 157–166
7. Kreft I. 1995. Ajda. Ljubljana, Kmečki glas: 112 str.
8. Kreft I., Škrabnja V. 1999. Pridelovanje in uporaba ajde. Sodobno kmetijstvo, 32, 4: 192–195
9. Medić-Šarić M., Buhač I., Bradamante V. 2002. Vitamini in minerali, resnice in predsodki. Ptuj, IN OBS MEDICUS, d.o.o.: 342 str.
10. Skrabnja V., Kreft I., Golob T., Modic M., Ikeda S., Ikeda K., Kreft S., Bonafaccia G., Knapp M., Kosmelj M. 2004. Nutrient content in buckwheat milling fractions. Cereal Chemistry, 81(2): 172–176
11. Sommer A., L. Lipman C.B. 1926. Evidence on the indispensable nature of zinc and boron for higher green plants. Plant Physiology, 1: 231–249
12. Steadman K., Burgoon M., Lewis B., Edwardson S., Obendorf R. 2001. Minerals, phytic acid, tannin and rutin in buckwheat seed milling fractions. Journal of Science of Food and Agriculture, 81: 1094–1100
13. Stritar A. 1973. Pedologija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 115 str.
14. Uredba o vnosu nevarnih snovi in rastlinskih hranil v tla. 1996. Ur. l. RS št. 68-5769–5777/96
15. Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh. Ur. l. RS št. 68-5773–5775/96

16. Urbsoil.
http://www.urbsoil.bf.uni-lj.si/nivo/3_o_tleh/tla_tk.htm (22. 4. 2009).
17. Ursell A. 2003. Vitamini in minerali. Tržič, Učila International, založba d.o.o.: 128 str.
18. Vogel-Mikuš K., Simčič J., Pelicon P., Budnar M., Kump P., Nečemer M., Mesjasz-Przybyłowicz J., J. Przybyłowicz W., Regvar M. 2008. Comparison of essential and non-essential element distribution in leaves of the Cd/Zn hyperaccumulator *Thlaspi praecox* as revealed by micro-PIXE. *Plant, Cell and Environment*, 31: 1484–1496
19. Vogel-Mikuš K., Pongrac P., Pelicon P., Vavpetič P., Povh B., Bothe H., Regvar M. 2009. Mikro-PIXE analysis for localization and quantification of elements in roots of mycorrhizal metal-tolerant plants. *Soil Biology*, 18: 227–242
20. Vogel-Mikuš K., Pelicon P., Vavpetič P., Kreft I., Regvar. M. 2009. Elemental analysis of edible grains by micro-PIXE: common buckwheat case study. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 267: 2884-2889
21. Vodnik D. 2009. Mineralna prehrana rastlin, fiziologija rastlin: 66 str.
http://bf.unilj.si/fileadmin/groups/2711/Gradiva_Vodnik_Predavanja_Bolonja/Vodnik_P_Bolonja_AG-UNI_Fiziologija_rastlin_Mineralni-1del-2008-09.pdf (22. 4. 2009)
22. White J.P., Broadley R.M. 2005. Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends in Plant Science*, 10, 12: 586–593
23. Zupan M., Hudnik V., Lobnik F., Grčman H. 1996. Akumulacija kadmija, svinca in cinka v nekaterih kmetijskih rastlinah. V: *Tehnologija, hrana, zdravje*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 588–591

ZAHVALA

Zahvaljujem se staršem, da so mi omogočili študij in bili potrpežljiv vse do zaključka študija.

Zahvaljujem se dr. Katarini Vogel-Mikuš za pomoč pri pripravi vzorcev, prof. dr. Marjani Regvar za usmerjanje, strokovne nasvete, pomoč, ter vzpodbudne besede.

Zahvaljujem se doc. dr. Primožu Peliconu ter Primožu Vavpetiču za meritve z mikro-PIXE metodo, njihove strokovne nasvete ter pomoč pri pisanju diplome.

Zahvaljujem se prof. dr. Ivanu Kreftu za njegovo mentorstvo, usmerjanje, pomoč ter strokovne nasvete pri pisanju diplomske naloge.

Zahvaljujem se Semenič Borisu za pomoč in vzpodbudo pri pisanju diplomske naloge.