

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Vesna WITWICKY

**VPLIV PRANJA TAL Z EDTA TER ANORGANSKIH
IN ORGANSKIH DODATKOV NA IZBRANE
FIZIKALNE LASTNOSTI TAL**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2012

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Vesna WITWICKY

**VPLIV PRANJA TAL Z EDTA TER ANORGANSKIH IN
ORGANSKIH DODATKOV NA IZBRANE FIZIKALNE LASTNOSTI
TAL**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

**INFLUENCE OF EDTA WASHING AND ANORGANIC AND
ORGANIC ADDITIVES ON SELECTED SOIL PHYSICAL
CHARACTERISTICS**

B. SC. THESIS
Professional Study Programmes

Ljubljana, 2012

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija Kmetijstvo – agronomija in hortikultura – 1. stopnja. Delo je bilo opravljeno na Centru za pedologijo in varstvo okolja (CPVO) Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorja diplomskega dela imenovala izr. prof. dr. Heleno Grčman, za somentorico asist. dr. Vesno Zupanc.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Marijana Jakše
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Članica: izr. prof. dr. Helena Grčman
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Članica: asist. dr. Vesna Zupanc
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Domen Leštan
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega diplomskega dela na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je delo, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identično tiskani verziji.

Vesna Witwicky

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dv1
- DK UDK 502.174: 631.41/.43 (043.2)
- KG remediirana tla/ fizikalne lastnosti tal/ agrogel/ sadra/ hlevski gnoj/ šota/ ligand/ EDTA/ testno rastlino/ gostota tal/ poroznost tal/ hidravlična prevodnost nasičenih tal/ vodnozadrževalne lastnosti tal
- AV WITWICKY, Vesna
- SA GRČMAN, Helena (mentor)/ZUPANC, Vesna (somentor)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
- LI 2012
- IN VPLIV PRANJA TAL Z EDTA TER ANORGANSKIH IN ORGANSKIH DODATKOV NA IZBRANE FIZIKALNE LASTNOSTI TAL
- TD Diplomsko delo (Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja)
- OP IX, 24 str., 4 pregl., 9 sl., 16 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI Namen diplomske naloge je bila primerjava fizikalnih lastnosti neremediiranih in remediiranih tal in možnost njihove izboljšave s sintetičnim (agrogel), anorganskim (sadra), in organskima (hlevski gnoj, šota) dodatkoma. Onesnažena tla, pripeljana iz Mežiške doline so bila podvržena postopku remediacije, pranju tal z ligandom EDTA. Sledil je kolonski poskus z 12 obravnavanji v štirih ponovitvah ter s testno rastlino belo deteljo (*Trifolium repens* L.). Merili smo gostoto in poroznost tal, obstojnost strukturnih agregatov, hidravlično prevodnost nasičenih tal, vodnozadrževalne lastnosti tal ter pridelek detelje. Rezultati so pokazali, da se gostota tal ter hidravlična prevodnost nasičenih tal pri neremediiranih in remediiranih tleh nista bistveno razlikovali in spreminjali tekom poskusa. Pri preučevanju obstojnosti strukturnih agregatov smo ugotovili, da so imela remediirana tla bolj obstojne agregate, še posebej pri frakciji 2-4 mm. Pri vodnozadrževalnih lastnostih tal, kjer se je meril interval rastlinam dostopne vode, so bila odstopanja med neremediiranimi in remediiranimi tlemi. Neremediirana tla so imela širši interval med točko venenja in poljsko kapaciteto tal. Kljub pričakovanju dodatki niso bistveno vplivali na merjene fizikalne lastnosti, z izjemo vpliva sadre in agrogela pri remediiranih tleh na vodnozadrževalne lastnosti tal.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- ND Dv1
- DC UDC 502.174: 631.41/.43 (043.2)
- CX remediated soil/ soil physical characteristics/ organic additives/ anorganic additives/ hydrogel/ gypsum/ manure/ peat/ ligand/ EDTA/ test plant/ bulk density/ soil porosity/ saturated hydraulic conductivity/ soil water retention characteristics
- AU WITWICKY, Vesna
- AA GRČMAN, Helena (supervisor)/ZUPANC, Vesna (co-advisor)
- PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
- PY 2012
- TY INFLUENCE OF EDTA WASHING AND ANORGANIC AND ORGANIC ADDITIVES ON SELECTED SOIL PHYSICAL CHARACTERISTICS
- DT B. Sc. Thesis (Professional Study Programmes)
- NO IX, 24 p., 4 tab., 9 fig., 16 ref.
- LA sl
- Al sl/en
- AB We compared physical characteristics of unremediated and remediated soil and the possibility of their improvement with sintetic (hydrogel), anorganic (gypsum) and organic (manure, peat) additives. Contaminated soil, brought from Mežica valley, was remediated by washing of the soil with EDTA. This was followed by column experiment in four replications and with a test plant white clover (*Trifolium repens* L.). We measured the bulk density and porosity, stability of structural aggregates, saturated hydraulic conductivity, soil water retention characteristics and yield of white clover. The results showed that bulk density and saturated hydraulic conductivity of unremediated and remediated soil did not differ significantly between treatments nor change during the experiment. We determined that remediated soil had much more stable structure aggregates, especially with the 2-4 mm fraction. There were differences in soil water retention characteristics between the unremediated and remediated soil. Unremediated soil had wider interval of plant available water between the wilting point and the field capacity of the soil. Despite the expectations the additives did not significantly influence on measured physical properties, with the exception of the influence of gypsum and hydrogel on water retention characteristics of remediated soil.

KAZALO VSEBINE

	Str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMATIKA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION.....	IV
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	VII
KAZALO SLIK.....	VIII
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI.....	IX
1 UVOD	1
1.1 POVOD DIPLOMSKE NALOGE.....	1
1.2 NAMEN RAZISKAVE.....	1
1.3 DELOVNA HIPOTEZA.....	2
2 PREGLED DOSEDANJIH OBJAV	3
2.1 ONESNAŽEVANJE IN REMEDIACIJA TAL.....	3
2.2 FIZIKALNE LASTNOSTI TAL.....	4
2.2.1 Gostota tal in poroznost	4
2.2.2 Struktura	4
2.2.3 Hidravlična prevodnost nasičenih tal	5
2.2.4 Vodnozadrževalne lastnosti tal	5
3 MATERIALI IN METODE DELA	7
3.1 MATERIAL.....	7
3.1.1 Tla	7
3.1.2 Rastlina	8
3.1.3 Dodatki	9
3.1.3.1 Agrogel.....	9
3.1.3.2 Sadra.....	9
3.1.3.3 Hlevski gnoj.....	9
3.1.3.4 Šota.....	9
3.1.4 Postavitev in potek poskusa	9
3.2 MERITVE.....	12
3.2.1 Meritve in izračun gostote tal ter poroznosti	12
3.2.2 Določanje strukturnih agregatov (wet sieving)	12
3.2.3 Meritve hidravlične prevodnosti nasičenih tal	13
3.2.4 Meritve vodnozadrževalnih lastnosti tal	14
3.3 STATISTIČNA ANALIZA.....	14
4 REZULTATI Z RAZPRAVO	15
4.1 PRIDELEK DETELJE.....	15
4.2 GOSTOTA TAL IN POROZNOST.....	15
4.3 OBSTOJNOST STRUKTURNIH AGREGATOV.....	17
4.4 HIDRAVLIČNA PREVODNOST NASIČENIH TAL.....	19

4.5	VODNOZADRŽEVALNE LASTNOSTI TAL	20
5	SKLEPI	21
6	POVZETEK	22
7	VIRI	23
	ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Razmerje med peskom, meljem in glino ter teksturni razred, kemične lastnosti ter parametri kationske izmenjalne kapacitete v neremediiranih (NT) in remediiranih tleh (RT).....	7
Preglednica 2: Prikaz obravnavanj v poskusu z belo deteljo (<i>Trifolium repens</i> L.) ter količin neremediiranih in remediiranih tal (g) ter dodatkov šote, hlevskega gnoja, sadre in agrogela (g).....	10
Preglednica 3: Povprečna (povp), maksimalna (max), minimalna (min) gostota tal in poroznost (<i>P</i>) posameznih obravnavanj po mesecih za neremediirana tla.....	16
Preglednica 4: Povprečna (povp), maksimalna (max), minimalna (min) gostota tal in poroznost (<i>P</i>) posameznih obravnavanj po mesecih za remediirana tla.....	17

KAZALO SLIK

Slika 1: Krivulja vodnozadrževalnih lastnosti tal glavnih treh teksturnih razredov (pesek, melj, glina) (Schachtschabel in sod., 1976).....	6
Slika 2: Kolona iz tlorisa (vidna mrežica in obroč med zgornjim in spodnjim delom kolone).....	10
Slika 3: Končna postavitev kolon, pripravljenih za začetek poskusa.....	11
Slika 4: Prikaz postopka nasičevanja iz dveh različnih višin, najprej preko kapilarnega dviga (h_1), nato pa še v višini zgornjega roba tal v koloni (h_2)	13
Slika 5: Prikaz suhe snovi bele detelje (<i>Trifolium repens</i> L.) za neremediirana in remediirana tla	15
Slika 6: Povprečje ter minimalna in maksimalna vrednost obstojnosti strukturnih agregatov po obravnavanjih za velikost agregatov 1-2 mm.....	18
Slika 7: Povprečje ter minimalna in maksimalna vrednost obstojnosti strukturnih agregatov po obravnavanjih za velikost agregatov 2-4 mm.....	18
Slika 8: Povprečje ter minimalna in maksimalna vrednost koeficienta hidravlične prevodnosti tal v cm/h za vsa obravnavanja.....	19
Slika 9: Interval rastlinam dostopne vode (RDV) v neremediiranih in remediiranih tleh po obravnavanjih	20

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

C/N	razmerje med organskim ogljikom in organskim dušikom
CaSO ₄	kalcijev sulfat
EDTA	etildiamintetraoetna kislina
h_i	hidravlična višina
h_{tal}	višina tal v posamezni koloni
K	hidravlična prevodnost nasičenih tal
K ₂ O	kalijev oksid
l	hidravlična dolžina
m_s	masa suhih tal
NaOH	natrijev hidroksid
NT	obravnavanje neremediiranih tal
NTAG	obravnavanje neremediiranih tal z dodatkom agrogela in rastline
NTCaSO ₄	obravnavanje neremediiranih tal z dodatkom sadre in rastline
NTHG	obravnavanje neremediiranih tal z dodatkom hlevskega gnoja in rastline
NTR	obravnavanje neremediiranih tal z rastlino
NTŠ	obravnavanje neremediiranih tal z dodatkom šote in rastline
P	poroznost
P ₂ O ₅	fosfat
pH	negativni logaritem koncentracije vodikovih [H ⁺] ionov v raztopini
q	tok vode v poroznem mediju
RT	obravnavanje remediiranih tal
RTAG	obravnavanje remediiranih tal z dodatkom agrogela in rastline
RTCaso ₄	obravnavanje remediiranih tal z dodatkom sadre in rastline
RTHG	obravnavanje remediiranih tal z dodatkom hlevskega gnoja in rastline
RTR	obravnavanje remediiranih tal z rastlino
RTŠ	obravnavanje remediiranih tal z dodatkom šote in rastline
R	polmer
S	vsota bazičnih kationov
T	kationska izmenjalna kapaciteta
t_i	časovni razkorak
V	delež bazičnih kationov
V_t	volumen neporušenih tal
ρ_{tal}	gostota tal
ρ_s	gostota talnih delcev

1 UVOD

Kakovostna, rodovitna tla so dolgoročno pomembna za zagotavljanje prehranske varnosti ter imajo v okolju aktivno vlogo kot prostor za rastline in živali. Poleg dostopnih hranil v tleh rodovitna tla odlikujejo tudi druge talne lastnosti, kot so vsebnost organske snovi, ustrezen pH, vsebnost bazičnih kationov ter dobra struktura tal (Mihelič in sod., 2010).

Neustrezna raba okolja in naravnih virov lahko tla trajno degradira. Tak primer so s potencialno toksičnimi kovinami onesnažena tla. V Sloveniji so primeri takih tal v Mežiški dolini, v okolici Celja ter Jesenic. V takšnem primeru je ogroženo človeško zdravje, saj lahko onesnažene talne delce in nanje vezane potencialno toksične kovine preko različnih poti vnosa sprejemamo v telo.

Onesnažena območja je potrebno sanirati. Med učinkovitejšimi postopki za čiščenje s kovinami onesnaženih tal je metoda *ex situ* pranja tal z ligandi. Ligand je snov, ki je sposobna tvoriti močne kemične vezi s kovinami in jih tako narediti bolj topne in mobilne. Stranski učinki takega postopka so izgube tudi za rodovitnost pomembnih hranil ter spremenjene fizikalne lastnosti tal.

1.1 POVOD DIPLOMSKE NALOGE

V predhodnih poskusih testiranja remediiranih tal smo opazili, da rastline dosežejo manjše pridelke, spremenjena je bila struktura tal in tok vode skozi testne kolone. Pri postopku pranja tal z ligandi se tla v več ciklikih spirajo z raztopino etildiamintetraoacetne kisline (EDTA), sledi spiranje tal z vodo, stiskanje odvečne raztopine v stiskalnici in drobljenje tal v enakomerne agregate. Pri tem se poleg zmanjšanja vsebnosti težkih kovin spremenijo tudi druge talne lastnosti: sperejo se tudi drugi mikroelementi in hranila, zmanjša se vsebnost organske snovi in spremeni se struktura tal. Vse to lahko vpliva na rodovitnost remediiranih tal: na vsebnost hranil, struktura tal ter hidravlične lastnosti tal.

1.2 NAMEN RAZISKAVE

Namen diplomske naloge je bil ugotoviti vpliv pranja z EDTA s svincem onesnaženih tal na nekatere fizikalne lastnosti tal in možnost izboljšave teh z izbranimi sintetičnimi, anorganskimi in organskimi dodatki. V kolonskem poskusu smo tako primerjali lastnosti onesnaženih, netretiranih tal ter lastnosti z ligandi spranih tal v kombinaciji z različnimi anorganskimi in organskimi dodatki.

1.3 DELOVNA HIPOTEZA

Predvidevali smo, da imajo onesnažena in remediirana tla različne fizikalne lastnosti. Predpostavili smo, da bodo izbrani sintetični, anorganski in organski dodatki, pomešani v onesnažena in remediirana tla, pozitivno vplivali na izbrane fizikalne lastnosti tal.

2 PREGLED DOSEDANJIH OBJAV

2.1 ONESNAŽEVANJE IN REMEDIACIJA TAL

Začetki industrializacije so prinesli s seboj tudi neizbežen problem onesnaževanja. Kot je navedeno v Uredbi o ugotavljanju onesnaženosti kmetijskih zemljišč in gozda so tla onesnažena takrat, kadar vsebujejo toliko škodljivih snovi, da se zmanjša njihova samoočiševalna sposobnost, poslabšajo fizikalne, kemične ali biotične lastnosti, zavirata ali preprečujeta rast in razvoj rastlin, onesnažuje podtalnica oziroma rastline ali je zaradi škodljivih snovi kako drugače okrnjena trajna rodovitnost tal. Tla uvrščamo med neobnovljive naravne vire, saj zelo počasi nastajajo, zato predstavlja onesnaževanje le-teh velik ekološki ter tudi gospodarski problem. Človek z neprimernim ravnanjem, kot so npr. neustrezna agronomska praksa, industrija, neustrezno odlaganje odpadkov itn., vnaša v tla različna organska in anorganska onesnažila, kot so na primer potencialno toksične kovine, ki močno škodijo ne le samim tlom ampak tudi ljudem ter ostalim živim bitjem. Kovine iz onesnaženih tal lahko sprejemamo v telo preko zraka ali ran, ter tudi skozi rastline, ki rastejo na onesnaženih območjih. Zaradi izjemne mobilnosti kovine prehajajo tudi v površinske in podzemne vodne vire. Kovine so elementi, zato se v okolju ne razkrojijo, ampak s svojo več stoletno prisotnostjo dolgotrajno vplivajo na okolje.

Vsako leto se odkrije kakšno novo območje, kjer je v tleh prisotna prevelika količina potencialno toksičnih kovin. Mežiška dolina velja za eno od problematičnih območij, saj je bilo ugotovljeno, da je na 24 km² tega območja presežena kritična vrednost težkih kovin v tleh. Pri tem gre izpostaviti zelo visoke vsebnosti Pb v tleh ter v rudi spremljajoča elementa Zn in Cd ter posamično tudi Cu (Romih in sod., 2010). Visoke vrednosti težkih kovin na tem območju so posledica več kot 300 letnega rudarstva in talilništva, ki so bila prekinjena leta 1990 (Udovič in Leštan, 2012). V krvi tamkajšnjih prebivalcev je koncentracija svincea pogosto višja od kritične vrednosti 100 mikrogramov na liter, ki predstavlja mejo, ko je potrebno izvajati ukrepe za njeno zmanjševanje. Tako močno onesnaženo območje predstavlja resno grožnjo zdravju prebivalstva ter znižuje kakovost življenja. Zastrupitve s svincem lahko pri otrocih dolgoročno povzročijo hiperaktivnost, izpad motoričnih funkcij ter celo mentalno zaostalost (Udovič in Finžgar, 2010).

V slovenskem prostoru sta poleg Mežiške doline kritični tudi območje Celja, ki je močno onesnaženo s svincem, kadmijem in cinkom ter območje Jesenic, ki je onesnaženo z nikljem in kromom. Ker se posledice dolgotrajnega obremenjevanja kažejo na prebivalstvu, je potrebno onesnažena območja ustrezno sanirati (odstranjevanje, nadzor in zmanjševanje onesnažil v tleh oz. pretvorba kovin v tleh v neškodljive oblike ali njihova odstranitev).

Številne znanstvene raziskave pri nas in v tujini so usmerjene v iskanje različnih postopkov, s katerimi bi lahko tla vrnil v stanje, ki bi bilo primerno za njihovo nadaljnjo uporabo. Ker je sprejem Pb v rastline, predvsem v nadzemne dele, omejen, zaradi časovnih omejitev fitoekstrakcija ni primerna metoda za čiščenje s svincem onesnaženih tal (Kos in sod., 2003). Kot učinkovita metoda se je v dosedanjih raziskavah izkazala metoda pranja

tal z ligandi. Pri tem načinu se svinec, ki je sicer v tleh močno vezan na organo mineralni kompleks, poveže z ligandom in postane mobilni ter ga v več ciklikih spiranja tal lahko izločimo iz tal. Kot učinkovit ligand se je v dosedanjih raziskavah izkazala etilendiamintetraocetna kislina – EDTA (Leštan in sod., 2008).

2.2 FIZIKALNE LASTNOSTI TAL

2.2.1 Gostota tal in poroznost

Poroznost predstavlja razmerje med volumnom por ter celotnim volumnom tal. Določena je kvantitativno z razmerjem med volumnom por in skupnim volumnom danega neporušenega talnega vzorca (Suhadolc in sod., 2008). Odvisna je od teksture, strukture in deleža organske snovi v tleh. Teksturno najpomembnejši so glinasti delci, saj pri večji vsebnosti vode v tleh nabreknejo in s tem spremenijo velikost in obliko talnih por. Poroznost narašča od peščenih tal (35-50%), preko glinastih (40-70%) do šotnih tal, kjer je kar 80 %.

Od strukturnih lastnosti na spremembe najbolj vpliva obstojnost strukturnih agregatov. Če so le ti slabo obstojni, lahko ob povečani količini vode v tleh razpadejo in s tem vplivajo na sistem talnih por. Organska snov zaradi svoje strukture običajno poveča poroznost tal.

2.2.2 Struktura

Struktura je način zlepljanja ali razporeditve talnih delcev peska, melja, glin in organske snovi v agregate različnih oblik in velikosti. Da jih lahko imenujemo strukturni agregati morajo imeti skupki ločene meje. Te pa lahko med seboj ločujemo po karakteristikah - obstojnosti, obliki in velikosti (Suhadolc in sod., 2008).

Stabilnost strukturnih agregatov je lahko definirana tudi kot odpornost tal na uničujoče vplive dežja, vetra in vodnih odtokov. Ob dežju lahko strukturni agregati razpadejo na manjše delce ter skupaj ustvarijo novo strukturo, naprimer nezaželeno tesnjenje zgornje plasti tal in razpoke (Le Bissonnais, 1996). Na stabilnost talnih delcev lahko vplivajo notranji dejavniki oz. primarne karakteristike tal (organska snov, vrste izmenjujočih kationov,...) ali zunanji dejavniki (podnebje, biološki vpliv, procesi tvorjenja tal,..). Bolj kot dejavniki sami, je pomemben odnos enega z drugim. Tako so najpomembnejši dejavniki odstotek izmenljivega natrija, železovi in aluminijevi oksidi in organska snov. Poleg tega je zelo pomembna tudi povezava med mikrobiološkim delom in vodno stabilnostjo agregatov. Miokroorganizmi s proizvodnjo encimov sposobnih mineralizacije visoko molekularnih spojin ter izločanjem polisaharidov, ki povežejo talne delce, stabilizirajo talne agregate. Poleg mikroorganizmov pa je prav tako pomembna tudi večja favna (črvi, mravlje, nematode, hrošči,...), ki s svojim prebavljanjem tal, ustvarjanjem por, stabilizirajo strukturo tal (Deviren Saygin in sod., 2012).

2.2.3 Hidravlična prevodnost nasičenih tal

Hidravlična prevodnost nasičenih tal K pove, kako hitro se voda giblje preko poroznega medija pod nasičenimi pogoji. K toku aktivno prispevajo t.i. efektivne pore, ki so med seboj povezane. K nam predstavlja nek največji enakomeren stalen tok vode v tleh pod nespremenljivimi pogoji. Opišemo jo z Darcyevim zakonom, ki izraža tok tekočine skozi zasičeni porozni prostor,

$$q = -KJ = -K \frac{\Delta h}{l} \quad \dots (1)$$

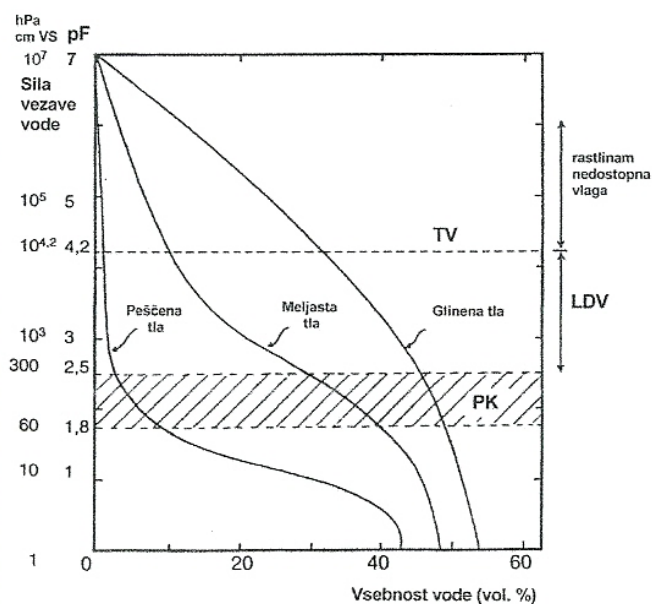
kjer je q tok vode v poroznem mediju, K hidravlična prevodnost nasičenih tal, Δh razlika v hidravlični višini preko hidravlične dolžine l .

Tok v poroznem mediju je torej sorazmeren s presekom in razliko v višinah vode ter obratno sorazmeren z dolžino poti. Sorazmernostni faktor je koeficient prepustnosti K , ki je v homogenih nasičenih tleh konstanten. Zaradi trenja pri toku vode skozi poti v poroznem prostoru pride do izgube energije in s tem padca v višini vode. K je pogojena tudi s strukturo tal oz. s premiki talnih delcev. V naravi se voda v lahkih tleh, kamor uvrščamo pesek ter peščeno ilovnata tla, giblje s hitrostjo 100-300 cm/dan, v srednje težkih tleh, kot so ilovnata ter meljasto ilovnata, s 40-100 cm/dan ter v težkih tleh, t.j. (meljasto) glinastih tleh pa s hitrostjo manjšo od 1-10 cm/dan (Bear, 1972).

2.2.4 Vodnozadrževalne lastnosti tal

Vodno zadrževalne lastnosti tal opisujejo gibanje vode v nenasičenem območju. Opišemo jih s pF vrednostjo, ki nam predstavlja silo, s katero je vezana voda v zemlji. pF vrednost je definirana kot log cm vodnega stolpca, kjer je višina vodnega stolpca enaka sili, s katero je voda vezana v tleh (1 bar nadtlaka ustreza 1000 cm vodnega stolpca, kar je 3 pF) (Zupanc in sod., 2012).

Slika 1 predstavlja krivuljo vodno zadrževalnih lastnosti tal, ki kaže povezavo med količino vode v tleh ter silo, s katero je voda vezana na talne delce za tri osnovne teksturne razrede.



Slika 1: Krivulja vodnozadrževalnih lastnosti tal glavnih treh teksturnih razredov (pesek, melj, glina) (Schachtschabel in sod., 1976)

Vodno zadrževalne lastnosti nam definirajo območje rastlinam dostopne vode, ki je med točko poljske kapacitete ter točko venenja. Poljska kapaciteta tal je točka, ko iz tal odteče vsa gravitacijsko odcedna voda. Privzeta vrednost matričnega potenciala (oz. sile vezave vode) za poljsko kapaciteto je 0,33 bara (pF = 2,5). Spodnja meja rastlinam dostopne vode je točka venenja. Rastline na tej točki zaradi pomanjkanja dostopne vode trajno ovenejo, matrični potencial je takrat okoli 15 barov (pF = 4,2) (Zupanc in sod., 2012).

S hidravlično prevodnostjo in krivuljo vodnozadrževalnih lastnosti tal opišemo značilnosti gibanja vode v tleh.

3 MATERIALI IN METODE DELA

3.1 MATERIAL

3.1.1 Tla

V poskusu smo uporabili tla iz zgornjega dela Mežiške doline, ki so močno onesnažena s svincem. Tla so bila odvezta iz zgornjih 30 cm. Del uporabljenih tal je bil očiščen s postopkom pranja z raztopino EDTA. Sam postopek poleg pranja z ligandom vključuje še spiranje tal z vodo, stiskanje odvečne raztopine v stiskalnici ter drobljenje tal v enakomerne agregate. Za kemijske analize tal smo zračno suha tla presejali skozi 2 mm sito in v laboratoriju Katedre za pedologijo in varstvo okolja določili teksturo, pH, vsebnost kalija in fosforja, delež organske snovi, dušika in ogljika ter C/N razmerje in parametre kationske izmenjalne kapacitete.

Preglednica 1: Razmerje med peskom, meljem in glino ter teksturni razred, kemične lastnosti ter parametri kationske izmenjalne kapacitete v neremediiranih (NT) in remediiranih tleh (RT)

Parametri		RT	NT
Pesek		39,2	48,5
Melj grobi	%	17,7	14,8
Melj fini		31,7	26,2
Melj skupni		49,4	41
Glina		11,1	10,5
Teksturni razred		I-MI	I
pH v CaCl ₂		6,5	6,9
P ₂ O ₅	mg/100g	79	72,5
K ₂ O		12,2	6,9
Organska snov	%	7,7	9,9
C		4,5	5,7
N		0,41	0,34
C/N		11	16,8
Ca	mmol _c /100g	19,16	18,66
Mg		4,97	4,19
K ₂ O		0,29	0,22
Na		0,12	2,27
H		6,75	5,6
S		24,5	25,3
T		31,3	30,9
V		%	78,3

Glede na delež posameznih mineralnih delcev so imela uporabljena neremediirana tla (NT) ilovnato do meljasto ilovnato teksturo (I-MI) (preglednica 1). Remediirana tla (RT) so bila ilovnate teksture, ki spada med najugodnejše teksturne razrede, saj vsebuje vse velikostne skupine talnih delcev (pesek, melj, glin) v dovolj velikem deležu (preglednica 1).

Kot je razvidno iz preglednice sta imela oba vzorca tal nevtralen pH, remediirana tla rahlo višjega (6,9) od neremediiranih (6,5), prav tako pa tudi večji odstotek organske snovi. C/N predstavlja razmerje med organskim ogljikom in organskim dušikom, ter služi kot merilo za ocenjevanje stopnje razgradljivosti organske snovi v tleh (Suhadolc in sod., 2008). Z razmerjem 11 in 16,8 imata oba vzorca ugodne pogoje za razgradnjo organske snovi. Neremediirana in remediirana tla so izjemno dobro preskrbljena s fosforjem, kar je verjetno posledica dolgotrajne uporabe organskih gnojil v vrtni pridelavi, medtem ko so glede kalija bolj siromašna (Leskošek, 1993). Remediacija nekoliko zmanjša količino dostopnih hranil.

Kationska izmenjalna kapaciteta neremediiranih tal je bila 31,3 mmol_c/100 g tal, remediiranih pa 30,9. Razlika je majhna in je v okviru merilne negotovosti in homogenosti vzorca. Razlike v deležih Ca, Mg in K na sorptivnem delu tal so majhne, medtem ko se v remediiranih tleh močno poveča delež Na na sorptivnem delu, kar je verjetno posledica dodatka EDTA, ki ga dodajamo v obliki Na soli. Natrija je v remediiranih tleh 2,27 mmol_c/100g, medtem ko ga imajo neremediirana tla 0,12 mmol_c/100g.

3.1.2 Rastlina

V poskusu smo uporabili testno rastlino belo deteljo (*Trifolium repens* L.), ki spada v družino metuljnic (Fabaceae) in je trajnica s plazečimi se poganjki, ki se na kolencih ukoreninjajo. Korenine se razvijajo površinsko in vretenast koreninski sistem je zelo razvejan, na njem pa so gomoljčki bakterij. S svojim razvejanim koreninskim sistemom močno vpliva na boljšo strukturo tal. Kot ostali predstavniki družine metuljnic, je tudi ta sposobna mikorize, t.j. sožitje z bakterijami družine *Rhizobium*, ki vežejo dušik iz zraka ter ga pretvorijo v obliko, ki je dostopna rastlinam (Seliškar in Wraber, 1986).

Pred setvijo detelje je bilo potrebno najprej pripraviti kolone. Najprej smo jih malo zalili, da površina ni bila čisto suha. Nato smo površino razrahljali, vendar tako, da se struktura ni spremenila. Sledilo je enakomerno dodajanje semena na površino. V nekaterih kolonah detelja po prvem sejanju ni v celoti vzklila, zato smo pri takšnih primerih opravili drugo sejanje, kjer je bila dodana manjša količina semena. Izvedli smo štiri rezi detelje. Suho maso smo ugotavljali s tehtanjem po sušenju na 35 °C do konstantne mase.

3.1.3 Dodatki

3.1.3.1 Agrogel

Agrogel je superabsorbcijski polimer (premrežen kopolimer akrilamid-natrijev akrilat), ki se primarno uporablja v kmetijstvu. V tleh deluje fizikalno (poveča svojo prostornino zaradi vezave vode), sicer je inerten.

3.1.3.2 Sadra

Sadra ali kalcijev sulfat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) je naraven material, ki lahko nastane tudi kot stranski produkt v industriji. Uporabljamo jo v gradbeništvu, medicini, živilski industriji kot tudi v kmetijstvu. Sadra je pomemben vir Ca, tako za kakovost tal kot za prehrano rastlin. Pozitivno vpliva na fizikalne lastnosti tal (struktura tal in posledično vodno-zračne lastnosti) ter kemijske lastnosti (bogatenje sorptivnega dela tal s Ca) brez vpliva na pH tal.

3.1.3.3 Hlevski gnoj

Za hlevski gnoj je značilno, da nastaja v hlevih ter ga sestavljajo iztrebki domačih živali in stelja. Uporabili smo 10 let star uležan gnoj, v katerem so potekali številni mikrobiološki in kemični procesi. Takšen gnoj je humusno bolj učinkovit saj vsebuje več dostopnih hranil. Dlje časa kot se hlevski gnoj stara, se zmanjša vsebnost organske snovi (iz 80 % na 75 % suhe snovi), večje so izgube dušika, ki se v obliki amoniaka sprošča v zrak, in ogljika, ki se izgublja v obliki ogljikovega dioksida. Vendar se med tem časom izboljša kakovost hlevkega gnoja, saj se poveča tvorba humusa, rastlinska hranila pa so v obliki, ki je rastlinam dostopnejša (Mihelič in sod., 2010).

3.1.3.4 Šota

Šota *Canadian sphagnum peat moss (CSPM)* je deloma razgrajen mah Sphagnum. Ta vrsta mahu je zgrajena iz velikih celic, ki spominjajo na strukturo gobe ter omogočajo veliko vpojnost vode in zraka. Šota ne vsebuje hranil, vendar jih je sposobna absorbirati iz tal ter jih tako posredovati rastlini. S tem se ohranja količina hranil v tleh, ki bi se sicer zmanjšala zaradi izpiranja. Električna prevodnost šote, ki smo jo uporabili v poskusu je bila 10 mS/m, pH šote je bil 3,5 – 4,5.

3.1.4 Postavitev in potek poskusa

Poskus je bil postavljen v steklenjak na poskusnem polju Biotehniške fakultete v Ljubljani. Remediirana in neremediirana tla smo presejali skozi 5 mm sito. Tla smo s prekopavanjem

homogenizirali. Kolone smo napolnili s tlemi in primešanimi dodatki v količinah, ki so predstavljene v preglednici 2 (do predvidene gostote tal $1,1 \text{ g/cm}^3$). Kolone so bile sestavljene iz zgornjega in spodnjega dela, skupaj pa ju je povezovala zasilikonizirana plast. V zgornji cilindri kolone smo dajali manjše odmerke tal, saj je za zapolniti na voljo 6 cm, pri spodnjem pa 8 cm. Pri šoti in hlevskem gnoju smo uporabljali le 95% teže tal, saj smo pričakovali, da bosta zaradi nabrekanja potrebovali večjo prostornino. Dno kolone je bilo zapolnjeno s peskom za boljši iztok vode (višina nasutega peska 2 cm), na sredini je bila speljana cevka za iztok oz. vtok vode. V notranjosti kolone je bila na dno položena kovinska mrežica, ki je preprečevala izgubo peska ter talnih delcev (slika 2).



Slika 2: Kolona iz tlorisa (vidna mrežica in obroč med zgornjim in spodnjim delom kolone)

V poskusu smo imeli 12 obravnavanj v štirih ponovitvah, kar je bilo skupaj 48 kolon (slika 3). Znotraj posamezne ponovitve so bila obravnavanja naključno porazdeljena (preglednica 2).

Preglednica 2: Prikaz obravnavanj v poskusu z belo deteljo (*Trifolium repens* L.) ter količin neremediiranih in remediiranih tal (g) ter dodatkov šote, hlevskega gnoja, sadre in agrogela (g)

Obravnavanje	Oznaka	Količina tal (g)	Količina dodatka (g)
neremediirana tla	NT	3185	/
neremediirana tla + rastlina	NTR	3185	/
neremediirana tla + sadra + rastlina	NTCaSO ₄	3185	16,7
neremediirana tla + hlevski gnoj + rastlina	NTHG	3185	208
neremediirana tla + šota + rastlina	NTŠ	3026	157
neremediirana tla + agrogel + rastlina	NTAG	3026	2,5
remediirana tla	RT	3400	/
remediirana tla + rastlina	RTR	3400	/
remediirana tla + sadra + rastlina	RTCaso ₄	3400	16,7
remediirana tla + hlevski gnoj + rastlina	RTHG	3400	208
remediirana tla + šota + rastlina	RTŠ	3230	157
remediirana tla + agrogel + rastlina	RTAG	3230	2,5



Slika 3: Končna postavitev kolon, pripravljenih za začetek poskusa

Za stabilizacijo razmer smo pred prvo meritvijo *K* s tlemi kolone napolnjene nekajkrat predhodno nasičili in pustili, da se odcedijo. Z meritvami *K* smo začeli v začetku julija (04.07.2011) ter nadaljevali v enomesečnih razmakih. Po drugi meritvi *K* (03.08.2011) smo posejali deteljo (0,625 g na kolono), ter dosejali 21.08.2011.

Pogostnost zalivanja je bila odvisna od temperatur v steklenjaku in okolici. V toplejših mesecih (juliju, avgustu, septembru in oktobru) smo povprečno zalivali vsak drugi dan s 100 ml na kolono, v zimskih mesecih dvakrat na teden, po 100 ml. 30 ur pred vsako meritvijo *K* smo izmerili robove suhih tal ter kolone nasičili (poglavje 3.2.3). Deteljo smo prvič porezali 30.09.2011, kar je bilo en teden pred četrto meritvijo hidravlične prevodnosti nasičenih tal (07.10.2011). Zadnjič smo *K* pomerili 20.01.2012. Poskus smo zaključili 14.03.2012, ko smo kolone razdrli ter vzeli vzorce tal za analize.

3.2 MERITVE

3.2.1 Meritve in izračun gostote tal ter poroznosti

Gostota tal ρ_{tal} je razmerje med maso suhih tal m_s in volumnom neporušenih tal V_t . Odvisna je predvsem od razmerja med količinama mineralnih in organskih talnih delcev izbranega vzorca tal. Izračunali smo jo po izrazu:

$$\rho_{tal} = m_s / V_t \quad \dots (2)$$

Za določevanje m_s smo vzorce tal sušili 24 ur pri 105°C.

V_t smo izračunali po izrazu:

$$V_t = \pi \cdot r^2 \cdot h_{tal} \quad \dots (3)$$

kjer smo uporabili dimenzije kolone, in sicer polmer r (7,5 cm) ter višino tal v posamezni koloni h_{tal} . Za izračun te smo upoštevali višino kolone (20 cm), od katere smo odšteli višino nasutega peska za drenažo (2 cm) ter višino roba od tal do vrha kolone za posamezno kolono. Višino med zgornjim robom kolone in površino tal smo merili pred nasičevanjem ter po meritvah hidravlične prevodnosti, ko tla niso bila več nasičena z vodo.

Poroznost P izračunamo iz razmerja med ρ_{tal} in gostoto talnih delcev ρ_s .

$$P = 1 - \rho_{tal} / \rho_s \quad \dots (4)$$

V izračunu poroznosti smo predpostavili, da je gostota talnih delcev mineralnih tal 2,65 g/m³.

3.2.2 Določanje strukturnih agregatov (wet sieving)

Vzorce smo presejali skozi 8 mm sito, ter jih dali v posodice ter agregate stabilizirali. Čez noč smo jih postavili v digestorij, da so se lahko posušili. Sita smo v naslednjem vrstnem redu razporedili enega na drugega: 4 mm, 2 mm, 1 mm in 0,5 mm. Skozi vsa 4 sita smo naenkrat presejali posušen vzorec. Vzorce ločene po frakcijah smo nato shranili v posodice (za en vzorec 5 posodic; ostanek na sitih 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm in pladnju). Najprej smo stehali posodice, nato pa še posodice z vzorcem.

Za mokro sejanje smo uporabili frakciji 2–4 mm (ostanek na situ 2 mm) in 1–2 mm (ostanek na 1 mm situ). Zatehtali smo 4 g vzorca. Najprej smo stehali spodnje in zgornje posodice na aparaturi. V stehane zgornje posodice smo dali 4 g vzorca in zapisali skupno težo. V spodnje posodice pa smo nalili ca. 75 ml destilirane vode oz. toliko, da je bil

vzorec ves čas med namakanjem, potopljen v vodo. S puhalko smo agregate rahlo navlažili. Pri tem smo pazili, da jih nismo uničili ter jih pustili 5–10 minut. Zgornje posodice smo postavili v aparaturo ter jih namakali 3 minute, nato smo jih dvignili iz vode. Ko voda ni več kapljala iz zgornjih posodic, smo spodnje posodice odstranili ter jih zamenjali z novimi, v katerih je bilo ca. 75 ml 2 g/l NaOH. Vzorec smo namakali 8 minut. Nato smo s stekleno palčko rahlo pritisnili, da so šli delci skozi, rahlo premešali in nadaljevali z namakanjem še 17 minut. Spodnje posodice z vodo in NaOH smo postavili v sušilnik na 110 °C dokler voda ni izparela. Potem smo stekali posodice. V posodicah z NaOH smo od skupne mase odšteli še 0,2 g, ki predstavlja težo NaOH.

3.2.3 Meritve hidravlične prevodnosti nasičenih tal

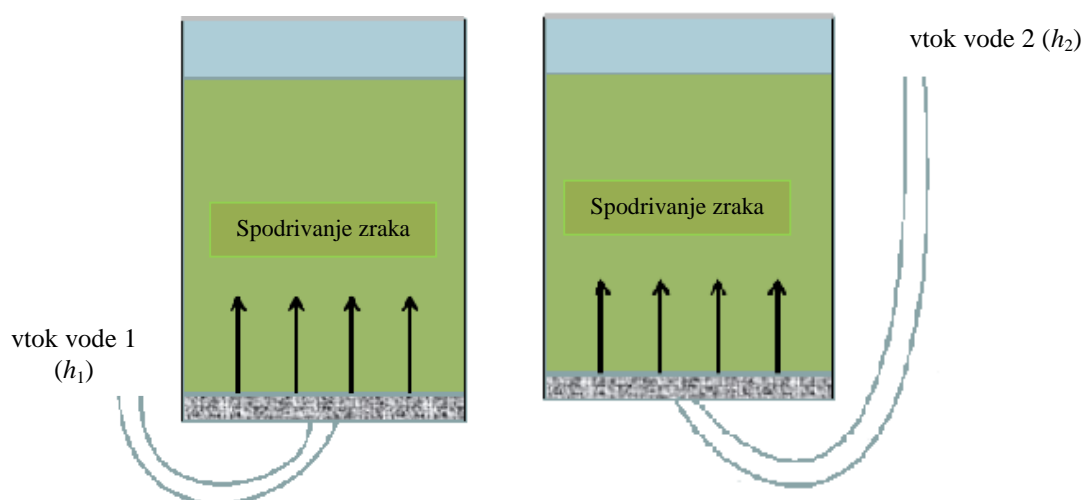
Nasičene pogoje smo dosegli tako, da smo kolone z vodo napolnili od spodaj ter s tem postopoma izpodrivali zrak (slika 4). S postopkom nasičevanja smo začeli 30 ur pred meritvami. Najprej smo kolone nasičili preko kapilarnega dviga (h_1), nato smo nivo nasičenega območja postopoma dvigovali do zgornjega roba kolone (h_2).

Meritve hidravlične prevodnosti nasičenih tal smo izvajali enkrat mesečno, ob merjenju smo meritev K na posamezni koloni petkrat ponovili. Pred meritvami smo izvedli rez detelje. K smo izračunali po formuli za spremenljiv pritisk:

$$K = (h_{tal} / \Delta t) \cdot \ln(h_1 / h_2) \quad \dots (5)$$

$$\Delta t = t_1 - t_0 \quad \dots (6)$$

kjer h_{tal} predstavlja višino tal v koloni, h_1 višino vode v času t_0 (začetek meritve), h_2 pa višino vode v času t_1 (zaključek meritve).



Slika 4: Prikaz postopka nasičevanja iz dveh različnih višin, najprej preko kapilarnega dviga (h_1), nato pa še v višini zgornjega roba tal v koloni (h_2)

3.2.4 Meritve vodnozadrževalnih lastnosti tal

Določali smo tudi vodno zadrževalne lastnosti tal posameznih obravnavanj. Pri določanju pF vrednosti simuliramo pogoje desorpcije oz. osuševanja tal. Za izdelavo pF krivulje potrebujemo Richardove tlačne membrane, vzorce tal ter izvor pritiska.

Vzorec tal smo vzeli od vsake kolone, spodnjega in zgornjega dela. Vzorce smo nato posušili, zdrobili, nato pa nasuli ter nasičili z vodo, dokler se površina ni zasvetila. Nasičene vzorce smo izpostavili nadtlaku 0,33 bar in 15 bar do ravnovesja ter gravimetrično določili količino vode, ki jo je vzorec zadržal.

Količini zadržane vode v vzorcu (masni %) pri 0,33 bar (privzeta vrednost za poljsko kapaciteto) in pri 15 bar (točka venenja) smo odšteli ter dobili interval rastlinam dostopne vode.

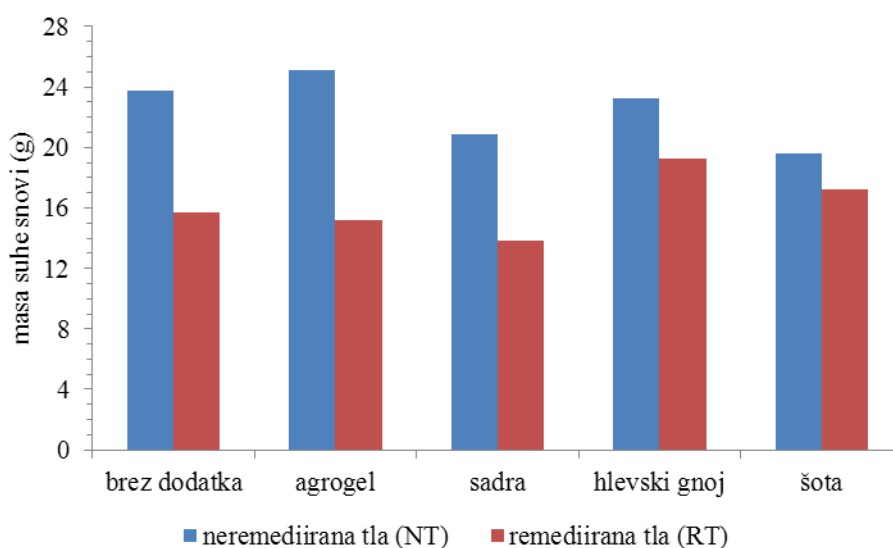
3.3 STATISTIČNA ANALIZA

Rezultate smo prikazali tabelarično in grafično. Podatke smo obdelali z enostavnimi statističnimi metodami s programom Microsoft Office Excel 2007. Izračunali smo povprečno vrednost ter določili minimum in maksimum.

4 REZULTATI Z RAZPRAVO

4.1 PRIDELEK DETELJE

Pridelki detelje so bili pri remediiranih tleh manjši kot pri neremediiranih. Pri neremediiranih tleh je bil pridelek največji pri obravnavanju z dodatkom agrogela (25,1 g) ter pri obravnavanju brez vseh dodatkov (23,7 g, slika 5). Hlevski gnoj in šota sta imela pozitiven vpliv na pridelek, saj je bila pri teh dveh dodatkih razlika v pridelku, v primerjavi z neremediiranimi tlemi, najmanjša.



Slika 5: Prikaz suhe snovi bele detelje (*Trifolium repens* L.) za neremediirana in remediirana tla

4.2 GOSTOTA TAL IN POROZNOST

V preglednicah 3 in 4 so po mesecih prikazana obravnavanja za neremediirana in remediirana tla, njihova povprečna, maksimalna in minimalna gostota ter poroznost (P). Na začetku smo kolone napolnili s tlemi z gostoto blizu $1,1 \text{ g/cm}^3$. Iz rezultatov meritev je razvidno, da se gostota tal in poroznost tekom poskusa nista bistveno spreminjali, ne pri remediiranih kot tudi ne pri neremediiranih tleh.

Preglednica 3: Povprečna (povp), maksimalna (max), minimalna (min) gostota tal in poroznost (*P*) posameznih obravnavanj po mesecih za neremediirana tla

Obravnavanja		avg	sept	okt	nov	dec	jan
NT	povp (g/cm ³)	1,10	1,11	1,10	1,09	1,09	1,09
	max (g/cm ³)	1,16	1,18	1,16	1,16	1,15	1,15
	min (g/cm ³)	1,08	1,07	1,06	1,07	1,07	1,06
	<i>P</i> (%)	58,39	58,23	58,67	58,74	58,82	58,96
NTAG	povp (g/cm ³)	1,11	1,08	1,08	1,09	1,08	1,08
	max (g/cm ³)	1,16	1,14	1,14	1,13	1,13	1,13
	min (g/cm ³)	1,08	1,05	1,05	1,07	1,07	1,06
	<i>P</i> (%)	58,21	59,20	59,13	59,00	59,07	59,27
NTCaSO ₄	povp (g/cm ³)	1,13	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
	max (g/cm ³)	1,18	1,18	1,17	1,16	1,18	1,18
	min (g/cm ³)	1,09	1,08	1,07	1,07	1,07	1,07
	<i>P</i> (%)	57,41	58,06	57,99	58,14	57,99	57,99
NTHG	povp (g/cm ³)	1,10	1,07	1,08	1,08	1,09	1,08
	max (g/cm ³)	1,15	1,13	1,14	1,14	1,12	1,12
	min (g/cm ³)	1,07	1,04	1,04	1,06	1,07	1,06
	<i>P</i> (%)	58,65	59,49	59,21	59,28	59,01	59,29
NTR	povp (g/cm ³)	1,12	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
	max (g/cm ³)	1,16	1,16	1,16	1,15	1,16	1,15
	min (g/cm ³)	1,08	1,06	1,05	1,06	1,06	1,07
	<i>P</i> (%)	57,59	58,01	58,30	58,17	58,09	58,17
NTŠ	povp (g/cm ³)	1,12	1,10	1,10	1,09	1,09	1,09
	max (g/cm ³)	1,18	1,12	1,11	1,12	1,12	1,13
	min (g/cm ³)	1,08	1,08	1,08	1,08	1,06	1,07
	<i>P</i> (%)	57,83	58,58	58,65	58,79	59,00	58,86

Preglednica 4: Povprečna (povp), maksimalna (max), minimalna (min) gostota tal in poroznost (*P*) posameznih obravnavanj po mesecih za remediirana tla

Obravnavanja		avg	sept	okt	nov	dec	jan
RT	povp (g/cm ³)	1,10	1,11	1,09	1,10	1,10	1,09
	max (g/cm ³)	1,16	1,16	1,14	1,16	1,15	1,14
	min (g/cm ³)	1,08	1,08	1,08	1,06	1,08	1,07
	<i>P</i> (%)	58,33	58,26	58,69	58,61	58,62	58,90
RTAG	povp (g/cm ³)	1,12	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
	max (g/cm ³)	1,16	1,14	1,15	1,15	1,16	1,16
	min (g/cm ³)	1,08	1,07	1,07	1,06	1,06	1,07
	<i>P</i> (%)	57,56	58,21	58,13	58,13	58,27	58,21
RTCaso ₄	povp (g/cm ³)	1,10	1,09	1,09	1,09	1,08	1,08
	max (g/cm ³)	1,15	1,14	1,14	1,12	1,14	1,14
	min (g/cm ³)	1,08	1,06	1,07	1,07	1,06	1,06
	<i>P</i> (%)	58,50	59,00	58,86	58,93	59,13	59,20
RTHG	povp (g/cm ³)	1,13	1,11	1,10	1,11	1,10	1,10
	max (g/cm ³)	1,16	1,14	1,15	1,14	1,15	1,15
	min (g/cm ³)	1,09	1,06	1,06	1,08	1,06	1,06
	<i>P</i> (%)	57,45	58,25	58,32	58,11	58,39	58,32
RTR	povp (g/cm ³)	1,12	1,10	1,10	1,10	1,11	1,10
	max (g/cm ³)	1,16	1,13	1,16	1,15	1,16	1,16
	min (g/cm ³)	1,09	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
	<i>P</i> (%)	57,90	58,55	58,40	58,41	58,26	58,47
RTŠ	povp (g/cm ³)	1,10	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09
	max (g/cm ³)	1,14	1,11	1,11	1,11	1,13	1,12
	min (g/cm ³)	1,09	1,07	1,08	1,07	1,08	1,08
	<i>P</i> (%)	58,32	58,97	58,82	59,03	58,68	58,89

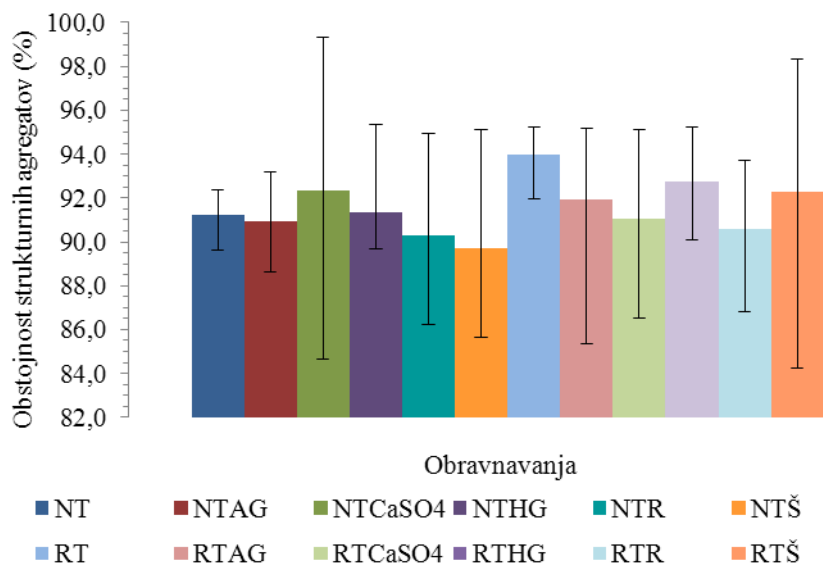
4.3 OBSTOJNOST STRUKTURNIH AGREGATOV

Tako pri frakciji 1–2 mm kot tudi pri 2–4 mm je bila visoka obstojnost strukturnih agregatov (nad 90 %, slika 6,7), vendar je iz dobljenih rezultatov razvidno, da so bili vzorci 2–4 mm bolj obstojni, vendar med samimi obravnavanji ni bilo večjih razlik.

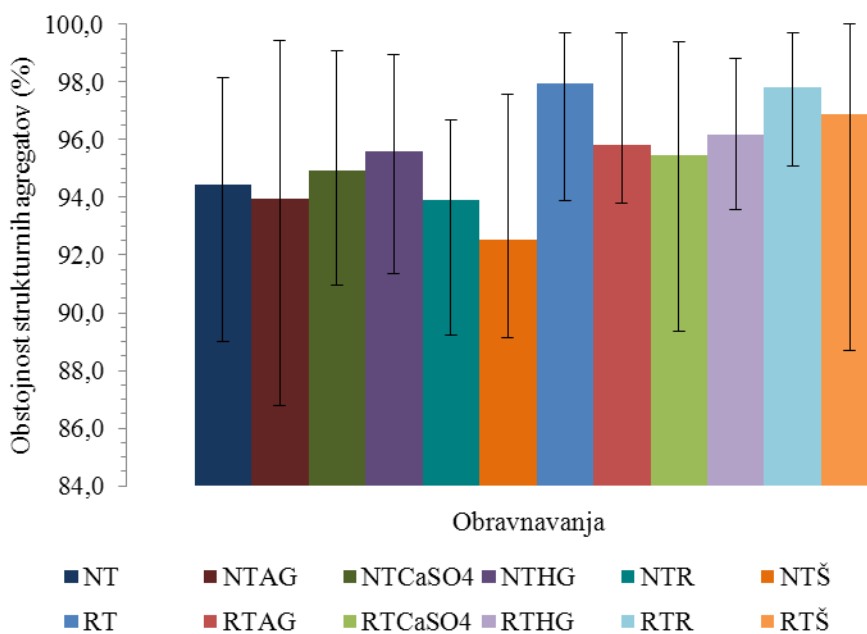
Slika 6 nam prikazuje majhne razlike v obstojnosti strukturnih agregatov remediiranih in neremediiranih tal pri velikosti vzorca 1–2 mm. Najbolj obstojna so bila remediirana tla brez dodatkov in brez rastline (RT), najmanj pa neremediirana tla z dodatkom šote (NTŠ). Opazna so velika odstopanja meritev pri neremediiranih tleh z dodatkom sadre (NTCaSO₄) in remediiranih tleh z dodatkom šote (RTŠ).

Pri frakciji 2–4 mm so razlike v obstojnosti strukturnih agregatov med remediiranimi in neremediiranimi tlemi še bolj izrazite (slika 7). Vzorci neremediiranih tal so imeli povprečno obstojnost večjo kot vzorci remediiranih tal. Najmanjše razlike so se pokazale pri dodatkih sadre in hlevskega gnoja, kjer je bila razlika v obstojnosti manjša od 1 %. Pri tem se je struktura najbolj obdržala pri remediiranih tleh z rastlino (RTR) in brez rastline

(RT), najslabše pa pri neremediiranih tleh z dodatkom šote (NTŠ). Kažejo se velika odstopanja pri neremediiranih tleh z dodatkom agrogela in remediiranih tleh z dodatkom šote (slika 7).



Slika 6: Povprečje ter minimalna in maksimalna vrednost obstojnosti strukturnih agregatov po obravnavanjih za velikost agregatov 1-2 mm



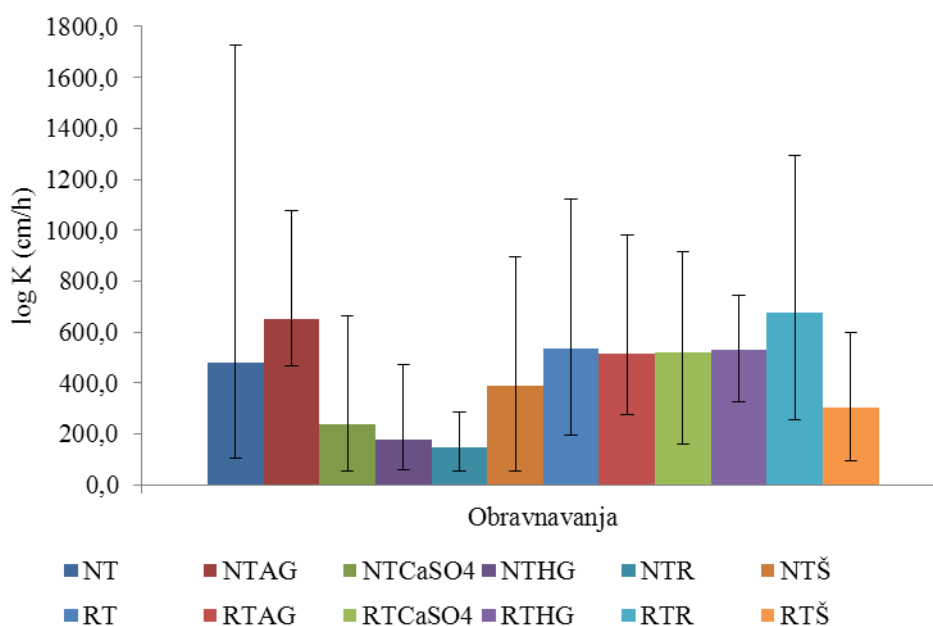
Slika 7: Povprečje ter minimalna in maksimalna vrednost obstojnosti strukturnih agregatov po obravnavanjih za velikost agregatov 2-4 mm

4.4 HIDRAVLIČNA PREVODNOST NASIČENIH TAL

Meritve K smo opravljali v sedmih terminih. Pri vseh obravnavanjih je bila dobra prevodnost, nekoliko manjša je bila le pri neremediiranih tleh z dodatkom hlevskega gnoja, sadre ter brez vseh dodatkov.

Hidravlična prevodnost nasičenih tal je bila pri remediiranih tleh med samimi obravnavanji bolj konstanta, le pri obravnavanju remediiranih tal z dodatkom šote je bila občutno manjša. Največjo prevodnost so imela remediirana tla z dodatkom rastline, $0,68 \cdot 10^3$ cm/h, najmanjšo pa neremediirana tla z rastlino in brez dodatkov, $0,15 \cdot 10^3$ cm/h. Velika odstopanja so bila pri neremediiranih tleh brez dodatkov in brez rastline, kjer je bila maksimalna prevodnost $1,7 \cdot 10^3$ cm/h, povprečna pa $0,48 \cdot 10^3$ cm/h (slika 8). Remediirana tla so imela na splošno večjo prevodnost, torej so bila bolj prepustna.

Zanimivo je, da med meritvami nasičene hidravlične prevodnosti ni velikih razlik, saj bi bilo za pričakovati, da se bo pretok v remediiranih tleh povečal zaradi formacije makropor. Slednje smo pričakovali zaradi dobro obstojnih strukturnih agregatov, katerih osnovno velikost smo določili s sejanjem po pranju z EDTA.



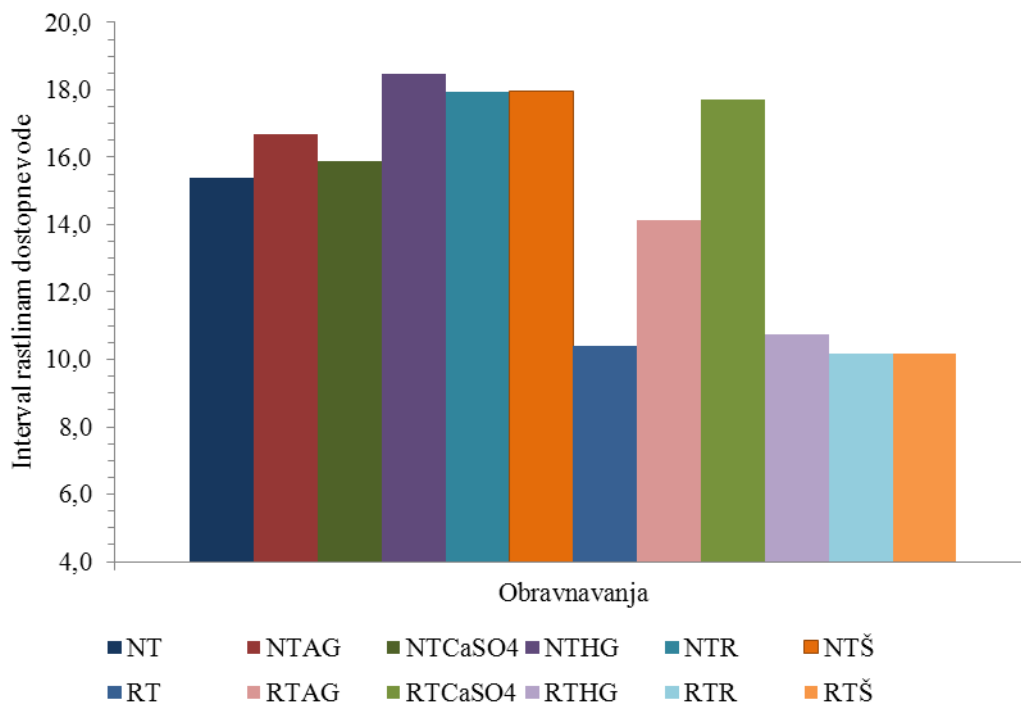
Slika 8: Povprečje ter minimalna in maksimalna vrednost koeficienta hidravlične prevodnosti tal v cm/h za vsa obravnavanja

Rezultati kažejo, da je imelo na gostoto tal in poroznost ter hidravlično prevodnost nasičenih tal vpliv polnjenje kolon. Predvidevamo lahko, da če bi remediirana tla ponovno uporabili, bi tako na gostoto tal kot tudi na hidravlično prevodnost vplivalo ravnanje z zemljinami in pri tem uporabljena težka mehanizacija, kar se je v praksi že pokazalo (Krümmelbein in sod., 2010)

4.5 VODNOZADRŽEVALNE LASTNOSTI TAL

Iz rezultatov, prikazanih na sliki 9 je razvidno, da so vsebovala neremediirana tla pri poljski kapaciteti (0,33 bar) več vode ter pri točki venenja (0,15 bar) manj vode kot remediirana tla. S tem je v neremediiranih tleh rastlinam na voljo širši interval dostopne vode. Obravnavanja z neremediiranimi tlemi so imela tako interval širok med 15 in 18 %, pri čemer so imela najširšega neremediirana tla z dodatkom hlevskega gnoja 18,5 %, najožjega pa neremediirana tla brez dodatkov in brez rastline, 15,4 %. Pri remediiranih tleh pa se je gibal med 10 in 14 %, izjema je bilo le obravnavanje remediiranih tal z dodatkom sadre, ki so imela 17,7%. Tako je naslednji najširši pretok 14,2 % pri remediiranih tleh z dodatkom šote, najožjega pa remediirana tla z rastlino, vendar brez dodatkov 10,2 %. V remediiranih tleh so imele rastline na razpolago manj vode, s tem pa tudi manj v njej raztopljenih hranil, kar je najverjetneje vplivalo na količino pridelka. Le pri remediiranih tleh z dodatkom sadre je imela rastlina na razpolago primerljivo količino vode kot pri neremediiranih tleh (slika 9).

Tekstura tal in poroznost neremediiranih in remediiranih tal, ki v največji meri vplivata na vodnozadrževalne lastnosti tal, se nista bistveno razlikovali. To pomeni, da se s postopkom pranja tal nista bistveno spremenili in lahko razlike v količini rastlinam dostopne vode pripišemo predvsem sposobnosti strukturnih agregatov za vezavo vode. Predvidevamo, da strukturni agregati v remediiranih tleh močnejše vežejo vodo oz. jo slabše izmenjujejo z rastlinami.



Slika 9: Interval rastlinam dostopne vode (RDV) v neremediiranih in remediiranih tleh po obravnavanjih

5 SKLEPI

Pridelki bele detelje so bili na remediiranih tleh izrazito manjši kot na neremediiranih tleh. Dodatek hlevskega gnoja in šote je imel pozitiven vpliv na pridelek pri remediiranih tleh ter nekoliko negativnega pri neremediiranih tleh.

Pranje tal z EDTA vpliva na fizikalne lastnosti, vendar ne na vse enako. Pri gostoti tal in poroznosti ter hidravlični prevodnosti nasičenih tal, večjih razlik med remediiranimi in neremediiranimi tlemi nismo ugotovili, razlike so bile pri vodnozadrževalnih lastnostih tal. Izmed dodatkov sta se pri vodnozadrževalnih lastnostih izkazala sadra in agrogel. Dodatek sadre je v največji meri povečal količino rastlinam dostopne vode pri remediiranih tleh, celo bolj kot agrogel, ki pa je očitno premočno vezal vodo.

Pomembna je ugotovitev, da so tla po postopku remediacije spremenjena ter so za obnovitev do polne rodovitnosti potrebni meliorativni ukrepi.

Fizikalne lastnosti remediiranih tal v dosedanjih raziskavah niso bile zadostno raziskane, zato bo diplomska naloga pomembno prispevala k poznavanju lastnosti remediiranih tal in oceni primernosti izbrane metode remediacije tal za uporabo v praksi.

6 POVZETEK

V raziskavi smo želeli ugotoviti ali pranje onesnaženih tal vpliva na same fizikalne lastnosti tal, torej gostoto tal in poroznost, obstojnost strukturnih agregatov, hidravlično prevodnost nasičenih tal ter vodnozadrževalne lastnosti tal. Poleg razlik med samimi neremediiranimi in remediiranimi tlemi smo opazovali tudi vpliv različnih organskih in anorganskih dodatkov (agrogel, uležan hlevski gnoj, sadra in šota) na izbrane fizikalne lastnosti tal.

Za ta namen smo zasnovali kolonski poskus s testno rastlino belo deteljo (*Trifolium repens* L.), v štirih ponovitvah. Uporabili smo s svincem onesnažena tla iz Mežice, ki so bila oprana z EDTA. Onesnažena tla ter z EDTA oprana tla smo pomešali z dodatki, za katere smo predvideli, da bodo imeli vpliv na fizikalne lastnosti tal. Kot dodatke smo uporabili sadro, agrogel, hlevski gnoj in šoto. Pred in po poskusu smo izmerili osnovne pedološke lastnosti, med poskusom smo merili hidravlično prevodnost tal, gostoto in pridelek posameznih rezi bele detelje, ob koncu poskusa smo merili obstojnost strukturnih agregatov, prekoreninjenost in vodnozadrževalne lastnosti tal. Rezultate smo obdelali z osnovnimi statističnimi analizami.

Raziskava je pokazala, da pranje tal z EDTA ne vpliva na gostoto tal in poroznost. Gostota tal ter poroznost se od začetnih vrednosti, določenih s polnjenjem kolon, tekom poskusa nista bistveno spreminjali, ne pri neremediiranih kot tudi ne pri remediiranih tleh.

Preverili smo obstojnost strukturnih agregatov. Tukaj se kaže višja obstojnost strukturnih agregatov remediiranih tal. Pri obeh obravnavanih frakcijah, t.j. 1-2 mm ter 2-4 mm, je bila visoka obstojnost strukturnih agregatov (nad 90 %), tako pri neremediiranih kot tudi pri remediiranih tleh. Frakcija 2-4 mm je bila bolj obstojna kot frakcija 1-2 mm, vendar med samimi obravnavanji med neremediiranimi in remediiranimi tlemi ni bilo opaziti večjih razlik. Vpliva dodatkov na obstojnost strukturnih agregatov nismo ugotovili.

Tudi pri merjenju hidravlične prevodnosti nasičenih tal med vzorci obravnavanih tal ni bilo opaznih razlik. Tako neremediirana kot tudi remediirana tla so imela veliko hidravlično prevodnost nasičenih tal, nekoliko manjša je bila le pri izjemah (neremediirana tla z dodatkom hlevskega gnoja, sadre ter brez vseh dodatkov).

Velike razlike med neremediiranimi in remediiranimi tlemi smo ugotovili pri vodnozadrževalnih lastnostih tal, t.j. pri količini rastlinam dostopne vode. Neremediirana tla so imela širši interval rastlinam dostopne vode, kar pomeni, da lahko rastline v takšnih tleh tudi porabijo več vode. Glede na to, da se tekstura tal in poroznost, ki v največji meri vplivata na vodnozadrževalne lastnosti tal, s postopkom pranja tal nista bistveno spremenili, lahko razlike v količini rastlinam dostopne vode pripišemo predvsem sposobnosti strukturnih agregatov za vezavo vode. Predvidevamo, da strukturni agregati v remediiranih tleh vodo močnejše vežejo oz. jo slabše izmenjujejo z rastlinami.

7 VIRI

- Bear J. 1972. Dynamics of fluids in porous media. New York, Elsevier: 764 str.
- Deviren Saygin S., Cornelis W. M., Erpul G., Gabriels D. 2012. Comparison of different aggregate stability approaches for loamy sand soils. *Applied Soil Ecology*, 54: 1-6
- Kos B., Grčman H., Leštan D. 2003: Phytoextraction of lead, zinc and cadmium from soil by selected plants. *Plant, Soil and Environment*, 49, 12: 548-553
- Krümmelbein J., Horn R., Raab T., Bens O., Hüttl R.F. 2010: Soil physical parameters of a recently established agricultural recultivation site after brown coal mining in Eastern Germany. *Soil & Tillage Research*, 111:19-25
- Le Bissonnais Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 47: 425-437
- Leskošek M. 1993. Gnojenje. Ljubljana, Kmečki glas: 197 str.
- Leštan D., Luo C., Li X. 2008. The use of chelating agents in the remediation of metal-contaminated soils: a review. *Environmental Pollution*, 153, 1: 3-13
- Mihelič R., Čop J., Jakše M., Štampar F., Majer D., Tojnko S., Vršič S. 2010. Smernice za strokovno utemeljeno gnojenje. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano: 182 str.
- Romih N., Grabner B., Ribarič Lasnik C. 2010. Snovna in energijska izraba oljne ogrščice. Celje, Inštitut za okolje in prostor: 76 str.
- Seliškar A., Wraber T. 1986. Travniske rastline na slovenskem. Ljubljana, Prešernova Družba: 100 str.
- Schachtschabel P., Blume H., Hartge K. H., Schwertmann U. 1976. Lehrbuch der Bodenkunde. 9. Auflage neubearbeitet. Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag: 394 str.
- Suhadolc M., Ruprecht J., Zupan M. 2008. Študijsko gradivo za vaje pri predmetu nauk o tleh. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Center za pedologijo in varstvo okolja: 50 str.
- Udovič M., Finžgar N. 2010. Kako rešiti onesnažena tla. *Gea*, 6: 26-31
- Udovič M., Leštan D. 2012. EDTA and HCl leaching of calcareous and acidic soils polluted with potentially toxic metals: Remediation efficiency and soil impact. Elsevier, *Chemosphere* 88: 718-724

Uredba o ugotavljanju onesnaženosti kmetijskih zemljišč in gozda. 1996. Ur.l. RS. št. 68/96

Zupanc V., Glavan M., Pintar M. 2012. Učno gradivo za vaje pri predmetu Urejanje zemljišč. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 83 str.

ZAHVALA

Najbolj bi se rada zahvalila svoji družini, ki me je skozi vsa šolska leta podpirala in spodbujala. Posebna zahvala gre mami, ki je bila z menoj od začetka do konca, za njene nauke in modrosti, ki jih imam vedno v srcu.

Zahvaljujem se Žigi, ki mi vsa leta izkazuje podporo ter mi stoji ob strani. Hvala, ker si z menoj ob vikendih izvajal meritve, mi nosil malico in se ukvarjal z oblikovanjem besedila, ko sem sama že obupala.

Zahvalila bi se svoji mentorici,izr. prof. dr. Heleni Grčman, ki mi je omogočila samo izdelovalo diplomske naloge in možnost širitve obzorja, ter somentorici asist. dr. Vesni Zupanc, ki se je z menoj prebijala skozi težke začetke proti boljšemu koncu.

Zahvala gre tudi tehničnim sodelavcem in kolektivu Katedre za pedologijo, ki so mi ponudili pomoč.

Poleg tega, bi se zahvalila tudi vsem profesorjem in asistentom za vso predano znanje skozi celoten študij.

Nazadnje, gre zahvala prijateljem, ki so mi pomagali tekom poskusa ter me spravljali v dobro voljo.