

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Aljaž GOLMAJER

**NARAVNI APNENCI ZA IZBOLJŠANJE FIZIKALNIH
LASTNOSTI TAL**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Aljaž GOLMAJER

**NARAVNI APNENCI ZA IZBOLJŠANJE FIZIKALNIH
LASTNOSTI TAL**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**NATURAL LIMESTONE FOR IMPROVING THE PHYSICAL
PROPERTIES OF SOIL**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija agronomije. Opravljeno je bilo na Centru za pedologijo in varstvo okolja Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani in na laboratorijskem polju Biotehniške fakultete v Ljubljani.

Komisija za študijska in študentska vprašanja Oddelka za agronomijo BF je dne 27.5.2010 sprejela temo in za mentorja diplomskega dela imenovala doc. dr. Rok Miheliča, za recenzenta pa prof. dr. Heleno Grčman.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Gregor OSTERC
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Rok MIHELIČ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Helena GRČMAN
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Podpisani izjavljam, da je naloga rezultat lastnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Aljaž GOLMAJER

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 631.432:631.821(043.2)
KG	fizikalne lastnosti tal/apnjenje/naravni apnenci/strukturna obstojnost/vodno-retenzijske lastnosti
AV	GOLMAJER, Aljaž
SA	MIHELIČ, Rok (mentor)
KZ	SI - 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI	2016
IN	NARAVNI APNENCI ZA IZBOLJŠANJE FIZIKALNIH LASTNOSTI TAL
TD	Diplomsko delo (Univerzitetni študij)
OP	XII, 45, [13] str., 11 pregl., 28 sl., 12 pril., 28 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Analizirali smo tri naravne apnence iz slovenskih kamnolomov, dva granulacije 0–6 mm: geološko »mladega« iz obdobja litotamnij, »starega« iz triasa; apnenčasto blato iz Lipice na Krasu, ki nastaja pri mehanskem rezanju marmornih blokov in lesni pepel, ter jih primerjali s hidratiziranim apnom. Izmerili smo vsebnost Ca, Mg, naredili sejhalno analizo, ter jim določili reaktivnost. Izbrali smo tri vrste kislih tal (lahka, srednje težka in težka) ter preizkušali učinek apnjenja, v stopnjevanih odmerkih, na fizikalne lastnosti tal: obstojnost strukturnih agregatov po Sekeri, ter vodno retenzijske lastnosti s tlačnim aparatom. Testna tla, vzorčena s treh lokacij, smo dali v 5 l lonce in jih zasadil z lucerno (<i>Medicago sativa</i> L.). Lončni poizkus v rastlinjaku je trajal šest mesecev, v tem času smo lucerno dognojili z NPK 8-26-26 in opravili tri rezi. Z meritvijo reaktivnosti (SIST EN 13971, 2008) smo ugotovili, da je »mladi« naravni apnenec bolj reaktiven kot »stari« enake granulacije, ter da se z apnjenjem izboljša strukturna obstojnost talnih agregatov (ob dodatku najbolj reaktivnega Lipiškega apnenca na lahkih tleh celo za dva razreda po Sekeri), povezavo med reaktivnostjo in obstojnostjo agregatov smo preverili z modelom linearne regresije in ugotovili, da je v vseh primerih z reaktivnostjo pojasnjenih več kot 90 % variabilnosti odvisne spremenljivke. Tlom, katerim smo dodali apnilno sredstvo, pa se je pri vseh merjenih tlakih (0,33 bar, 5 bar, 15 bar), predvsem pa pri poljski kapaciteti, povečala sposobnost za zadrževanje vode.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Dn
DC	UDC 631.432:631.821(043.2)
CX	physical properties of soil/liming/natural limestone/structural stability/water-retention properties
AU	GOLMAJER, Aljaž
AA	MIHELIČ, Rok (supervisor)
PP	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB	University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
PY	2016
TI	NATURAL LIMESTONE FOR IMPROVING THE PHYSICAL PROPERTIES OF SOIL
DT	Graduation Thesis (University studies)
NO	XII, 45, [13] p., 11 tab., 28 fig., 12 ann., 28 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	We analyzed three Slovenian natural limestones from quarries, two with granulation of 0–6 mm: the geologically "young" from the period lithothamnium, and the "old" one from triassic; calcareous mud from Lipica in the Karst region, which is produced from mechanical cutting of marble blocks and wood ashes, and compared them with hydrated lime. We measured the content of Ca, Mg, did sieve analysis and determined the reactivity of liming materials. We selected three types of acidic soil and tested the effect of liming on the physical properties of the soil: stability of structural aggregates was measured with Sekera's method and water-retention properties using Richards pressure plate. Test soil samples from three locations were placed in a 5 liter pots and planted with alfaalfa (<i>Medicago sativa</i> L.). Greenhouse experiment lasted six months, during that period NPK 8-26-26 fertilizer was applied and three harvests were made. By measuring reactivity (SIST EN 13971, 2008), we found that the »young« natural limestone is more reactive than the »old« one with same grit, and that the liming improves the structural stability of soil aggregates (with the addition of most reactive Lipica limestone structural stability on light soil improved by two classes measured with Sekera's method). The link between the reactivity of liming materials and stability of structural aggregates was analyzed with a linear regression model; in all cases the reactivity explained more than 90 % of the variation of the dependent variable. Soils with added liming agent showed, by all applied pressures (0,33 bar, 5 bar, 15 bar) and especially at field capacity, increased ability to retain water.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO SLIK	IX
KAZALO PRILOG	XI
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XII
1 UVOD	1
1.1 POVOD ZA IZDELAVO NALOGE	1
1.2 NAMEN NALOGE	1
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 LASTNOSTI TAL	2
2.1.1 Tla kot trifazni sistem	2
2.1.2 Tekstura tal	2
2.1.3 Struktura tal	4
2.1.3.1 Strukturna stanja in oblike strukturnih agregatov v tleh	4
2.1.3.2 Obstočnost strukturnih agregatov	5
2.1.3.3 Kislost (pH) tal	6
2.1.3.4 Viri zakisovanja tal	8
2.1.3.5 Apnilna sredstva, nevtralizacija kislosti in določanje potreb po apnjenju	9
2.2 VODA V TLEH	10
2.3 POROZNOST	10
2.4 POTENCIAL VODE V TLEH	11
2.4.1 Gravitacijski potencial	11
2.4.2 Matrični potencial	11
2.4.3 Osmotski potencial	12
2.4.4 Vsebnost vode v tleh in hidrološke konstante	12
2.4.5 Desorpcijska krivulja	14

3 MATERIALI IN METODE DELA	15
3.1 IZBIRA LOKACIJ IN ODVZEM TALNIH VZORCEV	15
3.1.1 Moškanjci	16
3.1.2 Polica pri Naklem	17
3.1.3 Bistrica pri Tržiču	18
3.2 IZBIRA APNILNIH SREDSTEV	19
3.2.1 Apnenec IGM	19
3.2.2 Apnenec SIA	20
3.2.3 Lipiški apnenec	20
3.2.4 Lesni pepel	21
3.3 LONČNI POIZKUS	21
3.4 ANALITSKE METODE	24
3.4.1 Fizikalno kemijske analize tal	24
3.4.2 Vodno-retenzijske lastnosti tal	25
3.4.3 Nevtralizacijska vrednost materialov za apnjenje	26
3.4.4 Reaktivnost karbonatnih sredstev za apnjenje	26
3.4.5 Masa lucerne	27
3.4.6 Izračun odmerkov	27
3.5 STATISTIČNE METODE	28
 4 REZULTATI	 29
4.1 REAKTIVNOST KARBONATNIH SREDSTEV	29
4.2 MERITVE OBSTOJNOSTI STRUKTURNIH AGREGATOV Z METODO PO SEKERI	29
4.2.1 Obstočnost strukturnih agregatov: Lahka tla	30
4.2.2 Obstočnost strukturnih agregatov: Srednje težka tla	31
4.2.3 Obstočnost strukturnih agregatov: Težka tla	31
4.3 PRIMERJAVA OBSTOJNOSTI STRUKTURNIH AGREGATOV V ODVISNOSTI OD TIPA TAL IN UPORABLJENEGA APNILNEGA SREDSTVA	32
4.4 POVEZAVA MED REAKTIVNOSTJO APNENIH MATERIALOV IN UČINKOVITOSTJO TVORBE STRUKTURNIH AGREGATOV	32
4.5 SPOSOBNOST IZBRANIH TAL ZA ZADRŽEVANJE VODE	33

4.6	MASA LUCERNE	35
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	38
5.1	RAZPRAVA	38
5.2	SKLEPI	40
6	POVZETEK	41
7	VIRI	43
	ZAHVALA	
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Teksturni razredi ameriške teksturne klasifikacije (Grčman in Zupan, 2008)	3
Preglednica 2: Oblike strukturnih agregatov (Grčman in Zupan, 2008)	5
Preglednica 3: Stopnje obstojnosti strukturnih agregatov (Grčman in Zupan, 2008)	6
Preglednica 4: Razvrstitev tal glede na pH območje (Leskošek in Mihelič, 1998)	7
Preglednica 5: Fizikalne lastnosti talnega profila poskusnega polja v Moškanjcih	16
Preglednica 6: Fizikalne lastnosti talnega profila v Polici pri Naklem	17
Preglednica 7: Fizikalne lastnosti profila v Bistrici pri Trziču	18
Preglednica 8: Kemijske lastnosti lesnega pepela	21
Preglednica 9: Prikaz obravnavanj pri lončnem poizkusu	22
Preglednica 10: Potreba po apnu (CaO) iz tabel VDLUFA in preračunani odmerki v dt/ha in g/lonec	27
Preglednica 11: Reaktivnost karbonatnih sredstev	29

KAZALO SLIK

Slika 1: Teksturni trikotnik ameriške teksturne klasifikacije (Grčman in Zupan, 2008)	3
Slika 2: Oblike strukturnih agregatov (Suhadolc in sod., 2005)	6
Slika 3: Povprečna kislost tal zgornjega horizonta v Sloveniji (ICPVO, 2016)	8
Slika 4: Vodne konstante v tleh (Tomič, 1988)	13
Slika 5: Desorpcijska krivulja za različne tipe tal (Stritar, 1991)	14
Slika 6: Karta Slovenije in na njej označene lokacije odvzema vzorcev (L1 – Bistrica pri Tržiču, L2 – Polica pri Naklem, L3 – Moškanjci) (Atlas okolja, 2016)	15
Slika 7: Moškanjci (Atlas okolja, 2016)	16
Slika 8: Polica pri Naklem (Atlas okolja, 2016)	17
Slika 9: Bistrica pri Tržiču (Atlas okolja, 2016)	18
Slika 10: Mehki apnenec IGM	19
Slika 11: Trdi apnenec SIA	20
Slika 12: Kamnolom Lipica I	25
Slika 13: Apnenčasto blato	20
Slika 14: Pepel iz bukovega lesa	21
Slika 15: Lončni poizkus v rastlinjaku Biotehniške fakultete	23
Slika 16: Pečica za sušenje vzorcev	23
Slika 17 : Visokotlačna komora (Richardova posoda) za določevanje vodno-retenzijskih lastnosti talnih vzorcev	25
Slika 18: Lucerna po opravljeni rezi	27
Slika 19 : Test obstojnosti strukturnih agregatov z metodo po Sekeri	30
Slika 20: Obstojnost strukturnih agregatov za vsa obravnavanja na lahkih tleh	30
Slika 21: Obstojnost strukturnih agregatov za vsa obravnavanja na srednje težkih tleh	31
Slika 22: Obstojnost strukturnih agregatov za vsa obravnavanja na težkih tleh	31

Slika 23: Zadrževanje vode (masni %) v vzorcih na lahkih tleh	33
Slika 24: Zadrževanje vode (masni %) v vzorcih na srednje težkih tleh	34
Slika 25: Zadrževanje vode (masni %) v vzorcih na težkih tleh	34
Slika 26: Masa lucerne (g zračno ss/lonec) v primerjavi s kontrolno (Kontr.) skupino za vse tri tipe tal	36
Slika 27: Povprečni pridelek glede na obravnavanje (ročice predstavljajo najmanjšo značilno razliko, LSD, pri 95 % stopnji zaupanja)	37
Slika 28: Povprečni pridelek (g ss/lonec) glede na tip tal (ročice predstavljajo najmanjšo značilno razliko, LSD, pri 95 % stopnji zaupanja)	37

KAZALO PRILOG

- PRILOGA A: Masni % vode v posameznih tleh glede na izbrano apnilno sredstvo, merjeno pri 0,33 bar
- PRILOGA B: Masni % vode v posameznih tleh glede na izbrano apnilno sredstvo, merjeno pri 5 bar
- PRILOGA C: Masni % vode v posameznih tleh glede na izbrano apnilno sredstvo, merjeno pri 15 bar
- PRILOGA D: Rastlinam dostopna voda (masni %) ločeno glede na tip tal in za vsa obravnavanja
- PRILOGA E1: Rezultati določanja obstojnosti strukturnih agregatov z razredi po Sekeri in standardno deviacijo na lahkih tleh
- PRILOGA E2: Rezultati določanja obstojnosti strukturnih agregatov z razredi po Sekeri in standardno deviacijo na srednje težkih tleh
- PRILOGA E3: Rezultati določanja obstojnosti strukturnih agregatov z razredi po Sekeri in standardno deviacijo na težkih tleh
- PRILOGA F: Rezultati merjenja mase suhe snovi testne rastline lucerne (g suhe snovi/lonec). Prikazane so absolutne vrednosti
- PRILOGA F1: Rezultati merjenja mase suhe snovi testne rastline lucerne. Prikazane so relativne (%) vrednosti glede na kontrolno skupino
- PRILOGA G1: Analiza linearne regresije in variance za ugotavljanje povezave med reaktivnostjo apnilnih sredstev in obstojnostjo strukturnih agregatov za vzorce na lahkih tleh
- PRILOGA G2: Analiza linearne regresije in variance za ugotavljanje povezave med reaktivnostjo apnilnih sredstev in obstojnostjo strukturnih agregatov za vzorce na srednje težkih tleh
- PRILOGA G3: Analiza linearne regresije in variance za ugotavljanje povezave med reaktivnostjo apnilnih sredstev in obstojnostjo strukturnih agregatov za vzorce na težkih tleh
- PRILOGA H: Najmanjša značilna razlika, LSD, pri 95 % stopnji zaupanja in homogene skupine

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Okrajšava	Pomen
°C	stopinj Celzija
pH	stopnja kislosti/bazičnosti
PK	poljska kapaciteta
EPK	efektivna poljska kapaciteta
TV	točka venenja
p_{vol}	volumska gostota tal
pF	logaritem višine vodnega stolpca v cm
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

1 UVOD

Pomanjkanje bazičnih kationov, predvsem kalcija, je lahko vzrok za slabšo strukturno obstojnost talnih agregatov in, posledično, za slabše vodno-zračne lastnosti ter predvsem sposobnosti tal za zadrževanje vode (Pérez-de-los-Reyes in sod., 2015). Tla se lahko površinsko zablatijo in kasneje zaskorjijo. Padavinska voda težje pronica v tla in zato površinsko odteka. Posledično se v takih tleh prej pojavi suša (Strawn in sod., 2015). V Sloveniji imamo mnogo poljedelskih območij, kjer so tla izrazito prekisla (Mihelič, 2012). Za zmanjšanje kislosti in izboljšanje fizikalnih lastnosti tal najpogosteje uporabljamo sredstva na osnovi apnenca oz. izdelke iz njega: apno in hidratizirano apno. Naravni apneneci lahko vsebujejo različne količine kalcija, magnezija in drugih elementov (npr. Si).

1.1 POVOD ZA IZDELAVO NALOGE

Statistični podatki kažejo, da je pri nas dobra tretjina kmetijskih zemljišč izrazito prekislih. V ravninskih področjih severovzhodne Slovenije, na potencialno najboljših poljedelskih površinah, je prekislih celo 70 % zemljišč (ICPVO, 2016).

Količina rastlinam dostopnih hranil je neposredno odvisna od reakcije tal, nizek pH pa posledično preko slabše strukture tal vpliva tudi na sposobnost le teh za zadrževanje vode.

1.2 NAMEN NALOGE

Namen naloge je ugotoviti, kako lahko z apnjenjem povečamo obstojnost strukturnih agregatov ter kako se pri tem spreminjajo vodno retenzijske lastnosti tal.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

- Reaktivnost apnenih materialov po Suerbecku (EN 13971, 2008) je v tesni zvezi z učinkovitostjo tvorbe strukturnih agregatov tal.
- »Mladi« naravni apnenec je bolj reaktiven kot »stari« apnenec enake granulacije in bolj učinkovit pri tvorbi obstojnih strukturnih agregatov tal.
- Apnjenje poveča vsebnost rastlinam dostopne vode v tleh.

2 PREGLED OBJAV

2.1 LASTNOSTI TAL

2.1.1 Tla kot trifazni sistem

Tla so trifazni sistem, sestavljena iz trdne, tekoče in plinaste faze. Trdno fazo tvorijo s preperevanjem kamnin nastale mineralne snovi, odmrla organska snov in živi organizmi. Od skupne mase zemlje predstavlja trdna faza tal približno 50 %, ostalo so pore (Ćirić, 1986). V porah se nahajata zrak in talna raztopina, ki pa variirata glede na talne lastnosti, strukturo in vremenske razmere. Zrak in voda sta torej v obratnem sorazmerju (Pintar, 2003). Tla nudijo oporo rastlinam, v sebi zadržujejo vodo ter mineralne snovi, nujne za rast in razvoj tako rastlin kot talnih organizmov.

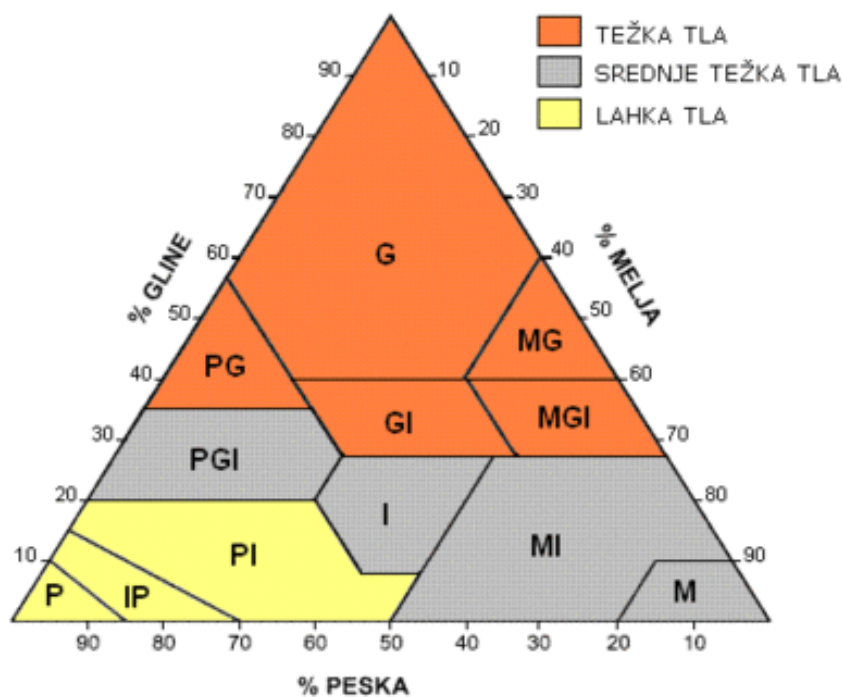
V nadaljevanju bomo opisali tiste lastnosti tal, ki pomembno vplivajo na strukturo in sposobnost zadrževanja vode.

2.1.2 Tekstura tal

Trdno fazo tal sestavljajo mineralni delci različnih velikostnih razredov (pesek, melj, glina) ter organska snov. Tekstura tal je sestava tal glede na delež mineralnih delcev različnih velikostnih skupin. (Grčman in Zupan, 2008). Velikost mineralnih delcev je v neposredni povezavi z njihovo specifično površino, kar vpliva na velikost por v tleh (med majhnimi delci je por več kot med velikimi, le te so tudi manjše, kot tiste med velikimi delci). To ima velik vpliv na zračnost, gibanje vode in kationsko izmenjalno kapaciteto tal.

Tako so tla, kjer prevladujejo glinasti delci, zbita, gosta in slabo prezračena, imajo pa veliko sposobnost zadrževanja vode in hranil oz. dobro kationsko izmenjalno kapaciteto. Na drugi strani pa imajo zračna tla s prevladujočim deležem peščenih delcev majhno kationsko izmenjalno kapaciteto. Najugodnejši so torej teksturni razredi, v katerih so vse velikostne frakcije zastopane v dovolj velikem deležu. Tekstura tal tako v veliki meri pogojuje fizikalne lastnosti in vodno-zračni režim tal, od nje so v dobršni meri odvisne mehansko fizične lastnosti in sposobnost adsorpcije; usmerja torej vse elemente rodovitnosti tal (Ćirić, 1986).

Na osnovi deleža posamezne frakcije lahko določimo teksturni razred (Preglednica 1) s pomočjo teksturnega trikotnika (Slika 1).



Slika 1: Teksturni trikotnik ameriške teksturne klasifikacije (Grčman in Zupan, 2008)

Preglednica 1: Teksturni razredi ameriške teksturne klasifikacije (Grčman in Zupan, 2008)

Oznaka	Teksturni razred
P	pesek
IP	ilovnat pesek
PI	peščena ilovica
PGI	peščeno glinasta ilovica
PG	peščena glina
M	melj
MI	meljasta ilovica
MGI	meljasto glinasta ilovica
MG	meljasta glina
I	ilovica
GI	glinasta ilovica
G	glina

2.1.3 Struktura tal

Osnovni talni delci se med seboj povezujejo v večje skupke oz. agregate. Če se med seboj povežejo do takšne stopnje, da nastanejo enote z jasno določenimi mejami, govorimo o strukturnih agregatih. Struktura tal je način razporeditve ali zlepljanja talnih delcev (peska, melja, glin in organske snovi) v agregate različnih oblik in velikosti (Grčman in Zupan, 2008). Struktura tal je torej prostorska ureditev med talnimi delci, agregati in praznim prostorom.

Struktura je pomembna lastnost tal, saj vpliva na dostopnost rastlinskih hranil, delovanje mikroorganizmov, poroznost tal, razmerje med makro- in mikro porami ter razvoj in rast korenin. Poudariti je potrebno, da imajo vsaka tla naravno strukturo, ki je posledica mineralne sestave tal, teksture (velikost in delež posameznih delcev) ter vpliva talne flore in favne (Mrhar, 2002).

2.1.3.1 Strukturna stanja in oblike strukturnih agregatov v tleh

Ugodna struktura z dobro obstojnostjo strukturnih agregatov je pomemben dejavnik za izboljšanje rodovitnosti tal. Struktura tal vpliva na gibanje in zadrževanje vode v tleh, erozijo, mehansko upornost tal, kroženje in dostopnost rastlinskih hranil (Suhadolc in sod., 2005). Pomembna lastnost strukturno dobro obstojnih tal je, da lahko vpijajo vodo ter jo zadržujejo in tako pomembno vplivajo na vodno zadrževalne lastnosti tal (Keršič, 2012).

Glede na pojavnost strukturnih agregatov se v tleh pojavljajo štiri strukturna stanja:

- brezstrukturno stanje v sipkih in nevezanih peščenih tleh, kjer strukturni agregati niso oblikovani,
- nestrukturno stanje v težkih in zbitih glinenih tleh, kjer strukturni agregati še niso formirani,
- koherentno stanje, kjer so delci že nekoliko zlepljeni, vendar se pravi strukturni agregati še niso formirali,
- agregatno stanje, kjer pa so strukturni agregati že formirani in dobro izraženi (Grčman in Zupan, 2008).

Oblike strukturnih agregatov in z njimi povezano strukturo tal ločimo glede na obliko (Preglednica 2).

Preglednica 2: Oblike strukturnih agregatov (Grčman in Zupan, 2008)

	Strukturni agregati (oblika)	Struktura
sferični		mrvičasta (do 5 mm)
		grudičasta (do 10 mm)
		oreškasta (do 30 mm)
poliedrični		poliedrična
prizmatični		prizmatična (10–50 mm)
		stebričasta (150 mm)
lističasti		lističasta

2.1.3.2 Obstoynost strukturnih agregatov

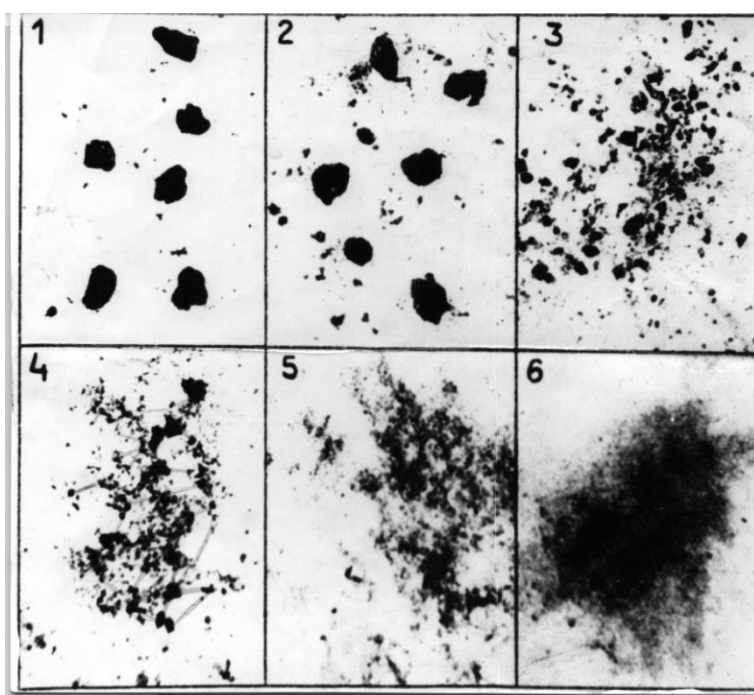
Ugodna struktura nam zagotavlja dobre fizikalne lastnosti tal, pri čemer je pomembna obstojnost strukturnih agregatov. Najpomembnejši dejavnik pri razpadu strukturnih agregatov je voda, saj zmanjšuje kohezivnost med glinenimi delci ter povzroča mikro-eksplozije, ki so posledica ujetja zraka v določenih porah. V tleh se torej odvija dinamični proces neprestanega rušenja in ponovne tvorbe strukturnih agregatov (Grčman in Zupan 2008). Neobstoyni agregati tako razpadejo zaradi vpliva vode kot tudi zaradi antropogenega delovanja, tj. nepravilne in prekomerne uporabe kmetijske mehanizacije in strojev, preintenzivne paše ter prekomernega siromašenja tal organske snovi z izključno uporabo mineralnih gnojil.

Strukturo tal lahko izboljšamo z organskim gnojenjem, pri nekarbonatnih tleh pa z dodajanjem Ca (Mrhar, 2002) in s sintetičnimi stabilizatorji; npr. krilium – umetna organska snov s številnimi aktivnimi skupinami (COOH, OH, NH₂), ki povezujejo delce med seboj (Stritar, 1991).

Stopnje obstojnosti strukturnih agregatov določamo z metodo po Sekeri (Preglednica 3), (Slika 2), kjer predstavljajo prvi trije razredi dobro, drugi trije pa slabo strukturo.

Preglednica 3: Stopnje obstojnosti strukturnih agregatov (Grčman in Zupan, 2008)

Stopnja	Opis
1	strukturni agregati so v glavnem nerazpadli
2	razpadlo je manj kot 50 % strukturnih agregatov
3	razpadlo je 50 % strukturnih agregatov
4	razpadlo je več kot 50 % strukturnih agregatov
5	večina agregatov je razpadla
6	vsi agregati so razpadli, nastala je suspenzija



Slika 2: Oblike strukturnih agregatov (Suhadolc in sod., 2005)

2.1.3.3 Kislost (pH) tal

Kislost tal je ena bistvenih lastnosti tal, ki jih moramo poznati, da zagotovimo rastlinam optimalne razmere za rast in razvoj. pH vpliva tako na fizikalno kemične procese v tleh (dostopnost rastlinskih hranil, kopičenje toksičnih snovi v rastlini), kot tudi na fiziološke procese v rastlinah. pH- vrednost je s koncentracijo disociiranih vodikovih ionov izražena reakcija talne raztopine (Brady in Weil, 2008).

Kisla tla nastanejo na kameninah, ki vsebujejo malo bazičnih kationov, npr. na granitih, gnajsih, glinastih skrilavcih, kremenovih peskih in drugih, medtem ko na bazičnih in

karbonatnih kameninah, na primer laporju in flišu, nastanejo tla s slabo kislo do nevtralno reakcijo. Tekom pedogeneze se jim spreminja tudi reakcija; starejša, sprana in degradirana tla so navadno tudi bolj kisla (Suhadolc in sod., 2005).

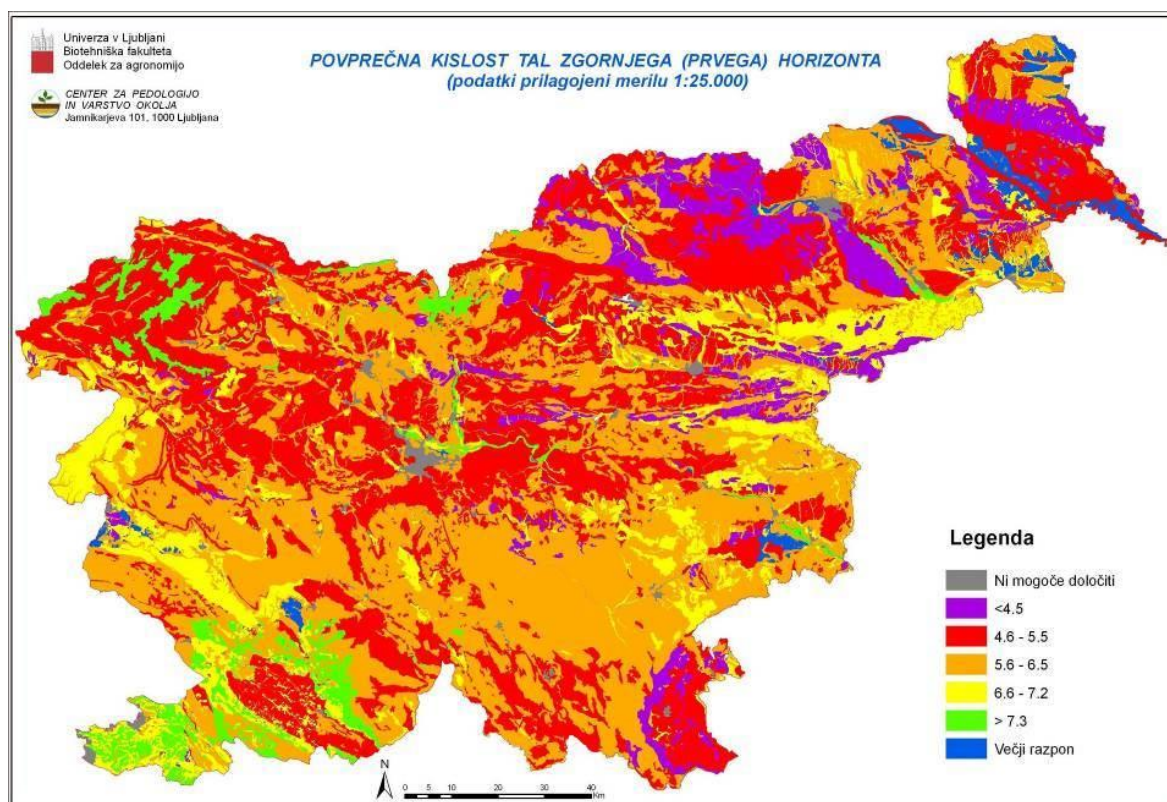
Talni pH je posledica številnih procesov, ki se odvijajo v tleh, najpomembnejša med njimi sta vsebnost bazičnih kationov v matični podlagi in proces pedogeneze, ko se kalcijev karbonat oz. Ca^{2+} ioni izpirajo iz talnega profila in na sorptivnem delu tal izmenjujejo s kislimi vodikovimi (H^+) ioni. V takem okolju se začnejo razkrajati tudi glineni minerali, pri čemer se sprošča Al^{3+} ion, kislost se še poveča, struktura in ostale fizikalne lastnosti tal pa poslabšajo, kar ima neugoden vpliv na rast rastlin. Na reakcijo tal oz. razvoj pH talne raztopine pa poleg matične podlage vplivajo tudi vsebnost organske snovi v tleh, talna favna, vpliv rastlinskih korenin ter gnojenje (Grčman in Zupan, 2008).

Optimalna reakcija tal je odvisna predvsem od teksture in vsebnosti humusa in je obenem zelo pomembna za ohranjanje stabilne strukture tal (Leskošek in Mihelič, 1998).

Glede na kislost (pH) razdelimo tla v več razredov (Preglednica 4). Povprečno kislost zgornjega talnega horizonta v Sloveniji prikazuje Slika 3, iz katere lahko razberemo, da je večina tal v Sloveniji, z izjemo nevtralnih tal in bazičnih tal na flišu, zmerno kislih.

Preglednica 4: Razvrstitev tal glede na pH območje (Leskošek in Mihelič, 1998)

Tla	pH območje
alkalna (bazična)	> 7,2
nevtralna	6,8-7,2
zmerno kisla	5,6-6,7
izrecno kisla	4,5-5,5
močno kisla	< 4,5



Slika 3: Povprečna kislost tal zgornjega horizonta v Sloveniji (ICPVO, 2016)

2.1.3.4 Viri zakisovanja tal

Viri zakisovanja tal (Mihelič, 2012):

- bazična kationa Mg in Ca se iz tal izpirata pogosto v povezavi z izpiranjem nitrata (NO_3^-),
- tvorba organskih in anorganskih kislin, ki nastajajo pri razkroju organskih ostankov v tleh,
- z rastlinskimi pridelki odvajamo iz tal poglavitna bazična kationa, Ca in Mg. (Kot posledica izmenjave kationov med rastlino in talno raztopino izločajo rastline v tla kisle vodikove ione),
- kisel dež (dušikova in žveplena kislina), kot produkt izgorevanja fosilnih goriv,
- fiziološko kisla gnojila z amonijskim dušikom, saj se pri nitrifikaciji amonija sproščajo kisli vodikovi protoni,
- ogljikova kislina kot produkt raztapljanja z dihanjem talnih organizmov proizvedenega CO_2 .

Izpiranje bazičnih kationov je naraven pedogenetski proces in glavni vir zakisovanja tal v okolju z veliko padavinami, kot je Slovenija. Poleg tega pa se zaradi vedno večje uporabe mineralnih, še posebej pa koncentriranih NPK gnojil in tudi povišanih koncentracij žveplene kisline, kot posledica onesnaženosti zraka z žveplovim dioksidom (v zadnjem času se zaradi vse pogostejše uporabe čistilnih naprav na izpušnih sistemih koncentracija le te zmanjšuje), baze (kalcij in magnezij) pospešeno izpirajo iz tal. Obenem je naš cilj pridelati velike pridelke, ki potrebujejo veliko bazičnih kationov ter kakovostna, strukturna tla. Potrebe po apnjenju oz. gnojenju s Ca in Mg so zato vse pogostejše in bolj izražene.

2.1.3.5 Apnilna sredstva, nevtralizacija kislosti in določanje potreb po apnjenju

Tla lahko izboljšamo z apnjenjem, tj. z bazami in solmi, ki delujejo bazično oz. z dodajanjem Ca^{2+} ionov. Za določevanje apnilnih potreb in izračun primernih odmerkov moramo poleg pH poznati tudi teksturo (peščena tla imajo optimalen pH nekoliko nižji kot težja tla), kationsko izmenjalno kapaciteto (CEC) tal, vsebnost organske snovi tal (humusa) ter upoštevati, katero apnilno sredstvo bomo uporabili. Apnjenje se razlikuje tudi glede na kulturo (travnik ali njiva). Na travnju je optimalen pH za 0,5 do 1 enote pH nižji kot pa na njivah. Težja tla prenesejo večje enkratne odmerke apnilnih sredstev, lažja pa manjše (Leskošek, 1993). Apnilna sredstva je za optimalen učinek priporočeno plitvo zadeliti v tla.

Apnimo lahko z apnom, še bolje pa z manj agresivnim apnencem (CaCO_3) in dolomitom (MgCO_3), ki v tla poleg Ca^{+2} ionov vrača tudi Mg^{2+} , kar je še posebej ugodno pri peščenih tleh. pH talne raztopine se pri njuni uporabi poveča le malo nad nevtralno vrednostjo, tudi v primeru velikih odmerkov. Za apnjenje so najbolj primerni mladi (npr. litavski) apnenci fine granulacije, saj so bolj topni ter hitreje prepravajo. Načeloma velja tudi, da je delovanje hitrejše, bolj kot so delci drobni. Uporabimo pa lahko tudi pepel in žgano apno (CaO) ter hidratizirano apno - Ca(OH)_2 . Slednja imata v tleh hitrejše delovanje, vendar sta zelo agresivna za žive organizme v tleh, zato ju smemo odmerjati le malo na enkrat in še to najboljše jeseni oz. pozimi, ko talni organizmi niso tako aktivni (Leskošek in Mihelič, 1998).

Potrebne odmerke apnenca oz. apna lahko izračunamo z upoštevanjem njune molske mase ter dejanskega in željenega pH. V določenih primerih (uporaba različnih kalcijevih surovin) pa je potrebno upoštevati tudi čistost le teh.

V dolgoletnih poljskih poskusih je bilo ugotovljeno, da za sprotno nevtralizacijo v tleh nastajajočih kislin potrebujemo do 1000 kg apnenca - CaCO_3 /ha letno (Leskošek in Mihelič, 1998).

2.2 VODA V TLEH

Voda v tleh se nahaja v sistemu talnih por in ima poleg temperature poglobiten vpliv na večino talnih fizikalnih, bioloških in kemičnih procesov. V tleh se lahko nahaja v treh različnih agregatnih stanjih (tekoča, trdna in plinasta faza). Primarni vir vode v tleh predstavljajo padavine, podtalna voda in v manjši meri vodni hlapi. Del te vode se iz tal odcedi v podtalje, del pa jo tla zadržijo z notranjimi silami (Stritar, 1991), ki jo vežejo na talne delce (kristalna, higroskopična, rastlinam dostopna in nedostopna kapilarna voda, gravitacijska voda, poplavna voda.) Količino in stanje vode v tleh opišemo z njenim volumskim odstotkom v tleh in z matričnim potencialom oz. pritiskom (Grčman in Zupan, 2008).

2.3 POROZNOST

Tla kot trifazni sistem sestavljajo trdni delci, talna raztopina in zrak v tleh. Talne pore so prazni prostorčki, ki se nahajajo med trdimi talnimi delci in so lahko različnih oblik in velikosti. V njih se lahko zadržujeta voda, zrak ali oboje. Po velikosti jih delimo na makropore ($> 10 \mu\text{m}$), ki jim pravimo tudi nekapilarne pore, in pa mikropore ($< 10 \mu\text{m}$) oziroma kapilarne pore (Brady in Weil, 2008).

Vodno-zračni režim v veliki meri pogojuje rodovitnost tal, velikost in oblika por pa močno vplivata na sposobnost tal za zadrževanje vode (Hillel, 1998).

Poroznost je določena z razmerjem med volumnom talnih por in skupnim volumnom neporušenega vzorca.

Za izračun poroznosti tal moramo poznati gostoto trde faze tal (p_t) in volumsko gostoto tal

$$(p_{\text{vol}}): P\% = (1 - p_{\text{vol}} / p_t) * 100 \quad \dots (1)$$

Volumska gostota (p_{vol}) je razmerje med maso trdne faze tal in celotnim volumnom neporušenega talnega vzorca. Odvisna je od razporeditve in količinskega deleža osnovnih talnih delcev (peska, melja, glina, organske snovi) in od vpliva mnogih dejavnikov (obdelava tal, intenzivne padavine, gaženje živali, uporaba kmetijske mehanizacije).

Večja kot je volumska gostota tj. bolj kot so tla zbita, manj je v tleh pornega prostora, kar ima neposredni vpliv na gibanje vode v tleh, rast korenin in razvoj rastlin (Suhadolc in sod., 2005).

2.4 POTENCIAL VODE V TLEH

Vodni potencial je poleg vsebnosti vode najpomembnejša lastnost tal. Od njega je odvisna gibljivost vode v tleh in njena dostopnost za rastline (Stephens, 1995). Definiran je kot vsota matričnega, osmotskega in potencialnega pritiska. Skupni vodni potencial pa je vsota vodnega in gravitacijskega potenciala. (Brady in Weil, 2002). Pri določanju potenciala in premikih vode v tleh je najpomembnejša potencialna energija. Vsaka energija ima namreč težnjo, da se premika iz stanja z večjo energijo k stanju z manjšo, medtem ko je za rastline najpomembnejši matrični potencial vode.

2.4.1 Gravitacijski potencial

Težnostne sile na vodo delujejo enako kot na druga telesa, silijo jo torej proti Zemljinemu središču.

Čas zadrževanja gravitacijske vode v tleh, preden le ta odteče v nižje horizonte, je odvisen od števila, deleža in velikosti makropor, ter od višine vodnega stolpca – globlja tla imajo večji vodni stolpec ob času nasičenja, zato je gravitacijska sila večja in odtok vode hitrejši in večji. Gravitacija ne vpliva na to, koliko vode so tla sposobna zadržati, ima pa pomemben vpliv na odstranjevanje vode iz vrhnjih horizontov ter polnitev podtalnice (Brady in Weil, 2002).

2.4.2 Matrični potencial

Povezava med vsebnostjo vode v tleh in matričnim potencialom je temelj ugotavljanja vodnih lastnosti tal (Dane in Hopmans, 2002). Matričnemu potencialu pravimo tudi tenzija vode. Prisoten je v nenasičenih tleh nad vodno mejo in je vedno negativen, saj ima voda, ki jo talni matriks privlači, manjšo energijo kot prosta voda. Med vsemi vodnimi potenciali je za zadrževanje vode v tleh matrični potencial najpomembnejši. Nanj v največji meri vpliva velikost mikro- in makropor. Manjši je delež vode v tleh, večja je moč vezave (Hillel, 1998). Odvisen je od adhezivnih in kapilarnih sil, s katerimi je voda vezana na talne delce, ter vpliva tako na talno vlago kot na gibanje vode v tleh (iz področij z večjo proti področjem z manjšo koncentracijo). Čeprav je takšno gibanje počasno, pa je izrednega pomena kot zaloga rastlinam dostopne vode (Brady in Weil, 2002).

Izrazimo ga lahko v enotah pritiska (Pa), kot enoto višine vodnega stolpca (m) ali pa s pF vrednostmi. Merimo ga s tenziometri.

2.4.3 Osmotski potencial

Imenovan tudi potencial raztopine, nastane s prisotnostjo različnih snovi v raztopini. Taka voda z zmanjšano potencialno energijo kot čista voda težje prehaja skozi osmotsko membrano iz območij z visoko v območja z nizko osmotsko koncentracijo. V tleh ima majhen pomen, saj območja v le teh niso ločena z membranami, ima pa zato toliko večji vpliv na sposobnost korenin za srkanje vode, celice le teh so namreč od vodne raztopine ločene s polprepustnimi membranami (Brady in Weil, 2002).

2.4.4 Vsebnost vode v tleh in hidrološke konstante

Dostopnost vode za rastline je pogojena predvsem s fizikalno vodnimi lastnostmi tal. Vodne konstante pa so definirane kot značilna vlažnostna stanja tal glede na količino rastlinam oz. njihovim koreninam dostopne vode (Ćirić, 1986).

Za opis, reguliranje in razumevanje vodnega režima v tleh so pomembne naslednje konstante (Slika 4).

Maksimalna vodna kapaciteta oz. nasičeno stanje

Je maksimalna količina vode, ki so jo tla sposobna sprejeti, vse pore so napolnjene z vodo ($p_F=0$).

Poljska kapaciteta (PK)

Je stanje v tleh, ko iz njih odteče vsa gravitacijska voda, ostaneta le kapilarna in higroskopsko vezana voda. Je količina vode, ki jo tla zadržijo oz. zgornja meja optimalne vlažnosti tal. V kmetijstvu je najpomembnejša vrednost. Matrični potencial takih tal je približno 0,3 bar oz. ima p_F med 1,8 in 2,5.

Rastlinam dostopna voda (EPK)

Efektivna poljska kapaciteta je stanje vode v tleh, ki jo rastline lahko srkajo. Matrični potencial je med poljsko kapaciteto ($p_F=2,5$) in točko venenja ($p_F=4,2$).

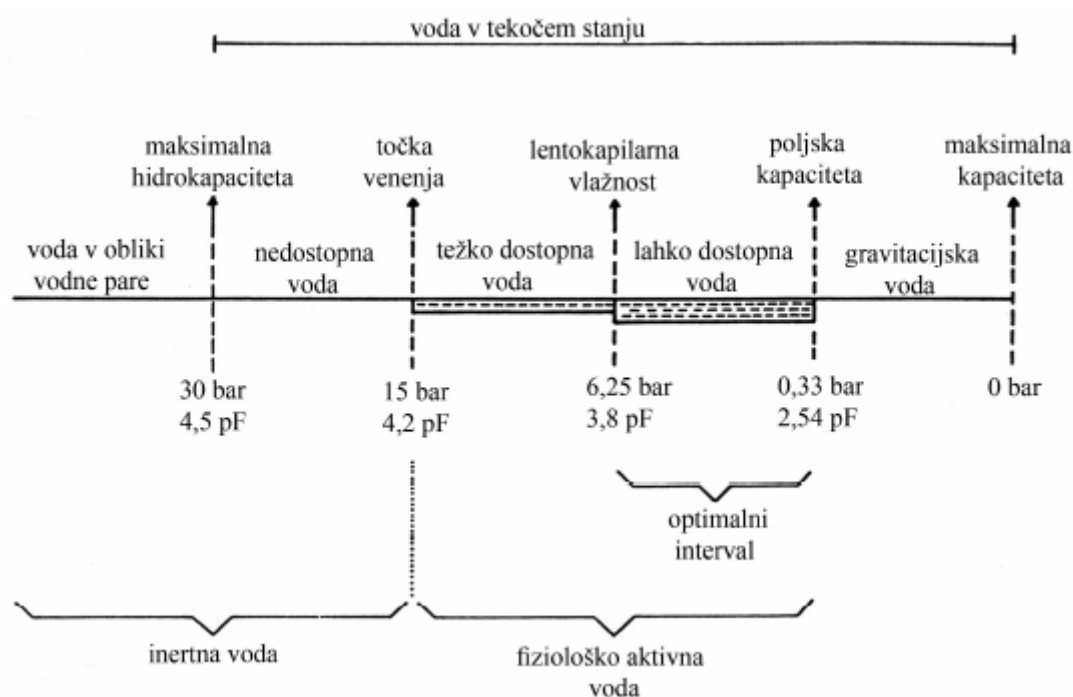
Lentokapilarna vlažnost

Je meja med prosto gibljivo in vezano vodo oz. količina vode, ki jo tla zadržujejo s tlakom 6,25 bar. Znaša 60–70 % vrednosti poljske kapacitete tal in je spodnja meja optimalne vlažnosti (Tomič, 1988).

Točka venenja (TV)

Je določena glede na možnost preskrbljenosti rastlin z vodo. Od tu dalje so sile, s katero je voda povezana s trdno fazo, večje, kot sposobnost korenin, da jo črpajo.

Matrični potencial vode v točki venenja je približno 15 bar oz. $pF=4,2$ (Zupanc in Pintar, 2005).

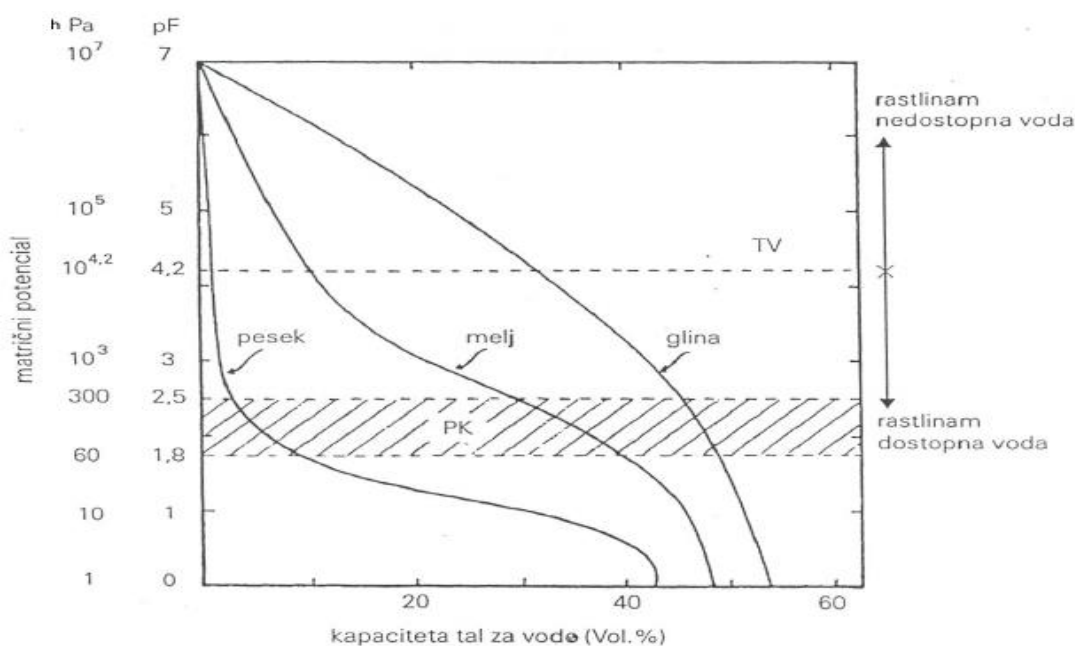


Slika 4: Vodne konstante v tleh (Tomič, 1988)

2.4.5 Desorpcijska krivulja

Z desorpcijsko krivuljo (Slika 5) grafično prikažemo matrični potencial vode v določenih tleh pri izbranih vsebnostih vode. Pove nam, s kakšno silo je voda vezana na talne delce in prikazuje dostopnost vode rastlinam. Silo, s katero je voda vezana v zemlji, nanese pri grafičnem prikazu na y os, ustrezní volumski odstotek vode pa na x os (Zupanc in Pintar, 2005).

Oblika desorpcijske krivulje je v največji meri odvisna od teksture in strukture tal. Določena je z najmanj štirimi točkami (npr. stanje nasičenosti, poljska kapaciteta, lentokapilarna točka, točka venenja). Klasična metoda izdelave desorpcijske krivulje, ki smo se jo poslužili tudi v našem primeru, je uporaba Richardove tlačne posode, kjer izpostavimo vzorec tal različnim pritiskom (0,1, 0,33, 1, 3, 5, in 15 bar) in na ta način določimo količino zadržane vode v tleh.

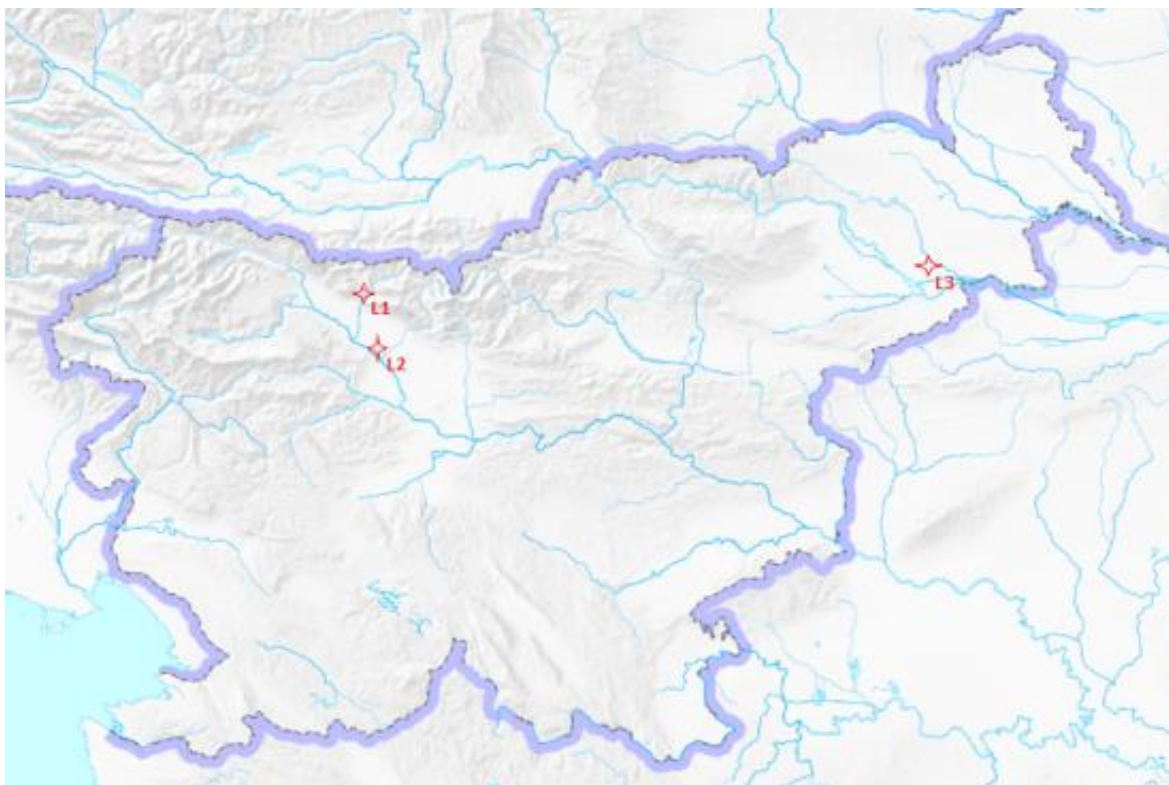


Slika 5: Desorpcijska krivulja za različne tipe tal (Stritar, 1991)

3 MATERIALI IN METODE DELA

3.1 IZBIRA LOKACIJ IN ODVZEM TALNIH VZORCEV

Za raziskovalno delo smo zbrali teksturno različna tla (lahka, srednje težka in težka), ki se med seboj razlikujejo po matični podlagi, globini in drugih lastnostih, skupna pa jim je kislja reakcija oz. nizek pH: Rjava lahka tla na produ in pesku dravskega aluvija v Moškanjcih, distrična srednje težka rjava tla na Polici pri Naklem ter izprana in težka distrična rjava tla v bližini Bistrice pri Trziču. Iz profila globine 0–30 cm smo na vseh lokacijah odvzeli porušene vzorce tal in jih prepeljali na Biotehniško fakulteto za nadaljnje analize in lončni poizkus. Lokacije izkopov talnih vzorcev prikazuje Slika 6.



Slika 6: Karta Slovenije in na njej označene lokacije odvzema vzorcev (L1 – Bistrica pri Trziču, L2 – Polica pri Naklem, L3 – Moškanjci) (Atlas okolja, 2016)

3.1.1 Moškanjci



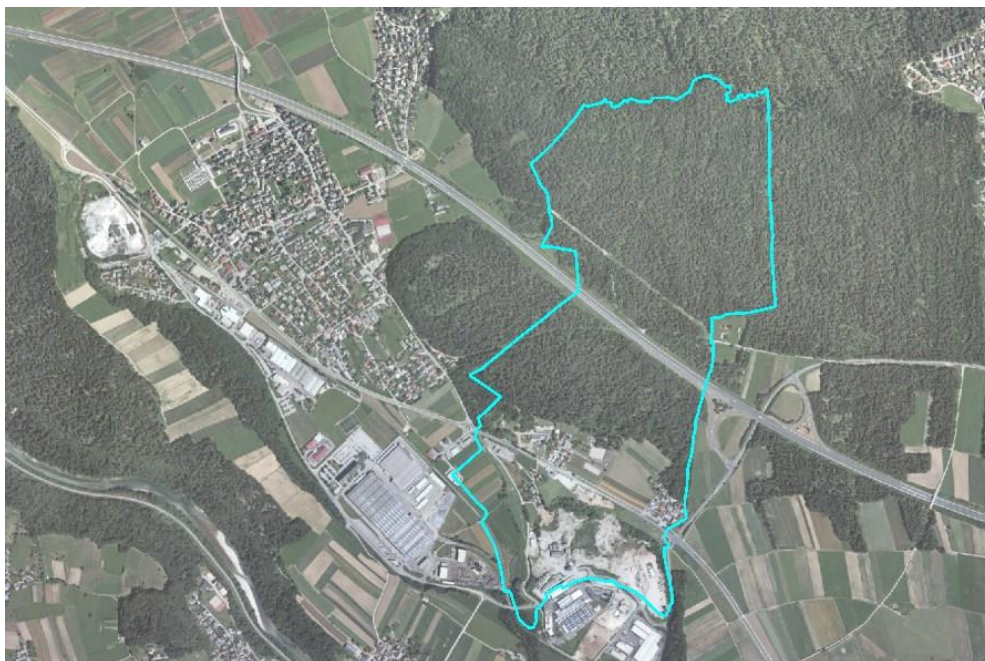
Slika 7: Moškanjci (Atlas okolja, 2016)

Distrična rjava lahka tla (p_{vol} 1,2) na nekarbonatnem produ in pesku dravskega ledenodobnega aluvija (Slika 7). So izrazito kislja (pH 4,1), srednje humozna, z bazičnimi kationi nezasičena tla z velikim deležem peščenih in meljastih delcev ter ugodno grudičasto strukturo. Fizikalne lastnosti talnega profila so prikazane v Preglednici 5.

Preglednica 5: Fizikalne lastnosti talnega profila poskusnega polja v Moškanjcih

pH (v 0,01 M CaCl ₂)	Pesek (%)	Melj (%)	Glina (%)	Teksturni razred	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	Na (%)	H (%)
4,1	31,5	48,2	20,3	I	45,2	2,7	6,2	0,3	45,5

3.1.2 Polica pri Naklem



Slika 8: Polica pri Naklem (Atlas okolja, 2016)

Izprana (luvisol) eluvialno–iluvialna srednje težka tla (p_{vol} 1,4), nastala na terasah ledenodobnega peska in proda (konglomeratna podlaga z vložki peščenega proda in gline) (Slika 8). Tla imajo slabo izraženo poliedrično strukturo in močno kislo reakcijo (pH 4,2), ter opazen značilen svetlejši eluvialni srednje do slabo humozen horizont, iz katerega se snovi izpirajo v nižje iluvialne plasti. V tleh prevladujejo meljasti in glineni delci, zaradi močne izpranosti pa je delež bazičnih kationov nizek (Preglednica 6).

Preglednica 6: Fizikalne lastnosti talnega profila v Polici pri Naklem

pH (v 0,01 M CaCl ₂)	Pesek (%)	Melj (%)	Glina (%)	Teksturni razred	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	Na (%)	H (%)
4,2	15	55,8	29,2	MGI	0,9	0,5	0,25	0,1	98,2

3.1.3 Bistrica pri Trziču



Slika 9: Bistrica pri Trziču (Atlas okolja, 2016)

Izprana, težka in gosta ($p_{vol} 1,5$) distrična rjava tla na pleistocenski glini (včasih imenovana tudi kislja rjava tla) (Slika 9). Strukturni agregati tal so poliedrični, struktura pa neobstoječa. Stopnja nasičenosti z bazičnimi kationi je nizka ($V < 50 \%$), izmerjeni pH odvzetega vzorca pa 5,3. V močno zbitem in srednje humoznem horizontu (vzorec je bil odvzet na robu pretežno iglastega gozda) prevladujejo meljasti in glineni delci. Preglednica 7 prikazuje fizikalne lastnosti profila.

Preglednica 7: Fizikalne lastnosti profila v Bistrici pri Trziču

pH (v 0,01 M CaCl ₂)	Pesek (%)	Melj (%)	Glina (%)	Teksturni razred	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	Na (%)	H (%)
5,3	9,8	60,7	29,5	MGI	4,6	0,8	0,4		94

3.2 IZBIRA APNILNIH SREDSTEV

3.2.1 Apnenec IGM

Litavski oz. iz geološkega obdobja litotamnij (20–30 mio let star) je »mladi« apnenec v primerjavi s triasnimi apnenci, ki so stari do 300 mio let. Gre za nekoliko bolj mikro porozen apnenec, ki hitreje prepereva, zato ga imenujejo tudi »mehki« apnenec. Litavski apnenec je kemijsko čist in zato odličen za izdelavo apna ter hidriranega apna, njegova mehanska čvrstost pa ne ustreza za gradbene namene (npr. gradnjo škarp, kamnitih ograj, skulptur ...). Uporabili smo Apnenec IGM (IGM Zagorje, d. o. o.), granulacije 0–6 mm (Slika 10). Vsebuje > 92% CaCO_3 , nekaj odstotkov MgCO_3 in SiO_2 . Zelo je krhek, dobro vodotopen in visoko higroskopičen, kar pomeni, da nase veže vlago in se pri trošenju ne praši. Zrnca mehkih apnencev imajo večjo specifično površino kot tista pri trdih, zaradi tega so tudi bolj primerni za apnjenje (Mihelič, 2012).



Slika 10: Mehki apnenec IGM

3.2.2 Apnenec SIA

Gre za triasni (248–202 miliona let star) (»stari« apnenec, granulacije 0–6mm), proizveden v Solkanski industriji apna (SIA) (Slika 11). Na ozemlju kamnoloma Solkan so razviti skladi snežno belega, drobnozrnatega apnenca, ki se ponekod menjajo s temno sivim gostim apnencem (Agregati iz kamnoloma Solkan, 2012).



Slika 11: Trdi apnenec SIA

3.2.3 Lipiški apnenec

Apnenčasto fino blato nastaja kot stranski produkt ob mokrem rezanju naravnega kraškega kamna v kamnolomu Lipica I, ki je v lasti podjetja Marmor Sežana d. d. (Slika 12 in 13). Po mineralni sestavi je skoraj v celoti iz kalcita. Gre za triasni apnenec, ki ima čvrsto kristalično strukturo, zaradi finosti mletja pa je reaktivna površina delcev relativno velika.



Slika 12: Kamnolom Lipica I



Slika 13: Apnenčasto blato

3.2.4 Lesni pepel

Poleg naravnih apnencev smo kot apnilno sredstvo izbrali še pepel iz bukovega lesa (Slika 14), ki poleg tega, da ima izrazito bazično reakcijo, vsebuje tudi veliko fosforja, kalija in magnezija (Preglednica 8).

Preglednica 8: Kemijske lastnosti lesnega pepela

Lesni pepel	
Makroelementi	Koncentracija v % (v SS)
Ca	25,3
K	2,87
Mg	2,24
P	1,01
N	0,08



Slika 14: Pepel iz bukovega lesa

3.3 LONČNI POIZKUS

Lončni poizkus je potekal v plastenjaku laboratorijskega polja Biotehniške fakultete.

Vzorci tal smo najprej presejali skozi grobo 1 cm sito in z njimi napolnili ter označili 5 l lonce. Nato smo vmešali predhodno izračunane polne in za primerjavo tudi polovične (/2) odmerke izbranih apnilnih sredstev ter zasejali s testno rastlino lucerno. 5 l lonce smo na mize v plastenjaku razporedili naključno. Vzporedno smo vodili tudi kontrolno obravnavanje (Kont.) brez dodanega apnilnega sredstva. Vsako obravnavanje (v polovičnih in polnih odmerkih ter kontrolno skupino) smo na izbranem tipu tal (lahka, srednje težka in težka tla) testirali v treh ponovitvah (Preglednica 9).

Številke v Preglednici 9 ponazarjajo število ponovitev; za lončni poizkus smo tako uporabili skupno 81 loncev.

Preglednica 9: Prikaz obravnavanj pri lončnem poizkusu

Apnilno sredstvo	Tip tal		
	L	S	T
IGM	3	3	3
IGM/2	3	3	3
SIA	3	3	3
SIA/2	3	3	3
LIP	3	3	3
LIP/2	3	3	3
PEP	3	3	3
PEP/2	3	3	3
KONT.	3	3	3

Poizkus v rastlinjaku je potekal 6 mesecev (Slika 15), v tem času smo redno in v enakomernih odmerkih zalivali, dognajili z NPK 8-26-26 ter opravili tri rezi testne rastline lucerne.

Po končanem poizkusu smo za nadaljnjo analizo z uporabo Kopeckijevih cilindrov odvzeli neporušene vzorce tal iz loncev in jih v pečici za sušenje 24 h sušili na 105 °C (Slika 16). Vzorce smo shranili v plastične vrečke in ohladili na sobno temperaturo (18–22 °C). Isto pečico smo uporabili tudi za sušenje testne rastline lucerne.



Slika 15: Lončni poizkus v rastlinjaku Biotehniške fakultete



Slika 16: Pečica za sušenje vzorcev

3.4 ANALITSKE METODE

Vse analize so bile opravljene v laboratoriju Centra za pedologijo in varstvo okolja Biotehniške fakultete v Ljubljani.

3.4.1 Fizikalno kemijske analize tal

- BG (skupina tal) smo določilo po VDLUFA (VDLUFA, 2000).
- Kislost (pH) tal smo določali po standardu (ISO 10390, 1994).
- Obstočnost strukturnih agregatov smo določali z metodo po Sekeri. Po zadnji rezi lucerne smo z uporabo Kopeckijevega cilindra iz loncev odvzeli neporušene vzorce in jih povsem narahlo presejali skozi 6 mm sito. Enak postopek smo uporabili tudi pri kontrolnem obravnavanju. V petrijevko smo položili 10 strukturnih agregatov velikih (premer) približno od 3 do 6 mm, jih previdno prelili z deionizirano vodo ter pustili stati 10 min. Vmes smo petrijevko nekajkrat narahlo krožno zavrteli in tako vzorce premešali. Po 10 min smo s pomočjo preglednice 3 določili obstočnost strukturnih agregatov.
- Vodno-retenzijske lastnosti smo določali po standardu ISO 11274, 1998.

3.4.2 Vodno-retenzijske lastnosti tal

Za določevanje vodno-zadrževanih lastnosti smo uporabili visokotlačno komoro imenovano tudi Richardova posoda (Slika 17). Za potrebe našega poizkusa smo vzorce izpostavili tlakom med poljsko kapaciteto (0,33 bar) in točko venenja (15 bar). Porušene vzorce smo presegali skozi 2 mm sito in z njimi napolnili obročke postavljene na porozno keramično ploščo primerno za izbran tlak. Vzorce smo nato nasičili z destilirano vodo do točke, ko se je na površini nabral tanek film vode. Poizkus je potekal tako, da smo keramično ploščo z vodo nasičenimi vzorci tal postavili v visokotlačno posodo. Ploščo smo povezali z odtočno cevko za vodo, posodo nato neprodušno zaprli ter vzorce podvrgli izbranim pritiskom. Vzorci pri izbranih tlakih v visokotlačni posodi dosežejo ravnotežno stanje, tj. ko iz odtočne cevke preneha iztekati voda. Na tej točki smo vzorce vzeli iz posode, jih stehali in dali v pečico ter pri temperaturi 105 °C sušili 24 h. Posušene vzorce smo ponovno stehali ter iz dobljenih podatkov izračunali masni odstotek vode (m %) v vzorcu pri izbranem tlaku; razlika v masi je količina vode v vzorcu.



Slika 17 : Visokotlačna komora (Richardova posoda) za določevanje vodno-retenzijskih lastnosti talnih vzorcev

3.4.3 Nevtralizacijska vrednost materialov za apnjenje

Nevtralizacijsko vrednost izbranih materialov za apnjenje smo določali po standardu SIST EN 12945, 2008.

Postopek

Vzorec smo čez noč sušili na 105 °C do konstantne mase, ter zabeležili maso svežega ter maso suhega vzorca. Vzorec smo nato zdrobili in presejali skozi 250 µm sito, ga homogenizirali in shranili v desikatorju. V 250 ml erlenmajerico smo zatehtali 0,5 g (na 0,001 g natančno) hidratiziranega apna oz. 1 g v primeru apnenca in lesnega pepela.

Titracija

Dodali smo 50 ml standardne raztopine 0,5 mol/l HCl in ob konstantnem mešanju ter z uporabo vrelnih kroglic kuhali 10 min. Nato smo raztopino ohladili na sobno temperaturo in kvantitativno prenesli v 250 ml čašo ter namestili pH elektrodo in magnetno mešalo.

Ob zmernem mešanju smo titrirali s standardno raztopino 0,25 mol/l NaOH toliko časa, da se je pH ustalil pri vrednosti 7 in ob sočasnem mešanju ostal stabilen vsaj še 1 min. Odčitali smo porabo NaOH in meritve trikrat ponovili.

3.4.4 Reaktivnost karbonatnih sredstev za apnjenje

Reaktivnost izbranih karbonatnih sredstev smo določali po standardu SIST EN 13971, 2008.

Vzorec smo posušili na 105 °C do konstantne mase in si zabeležili maso suhega in svežega vzorca. Za meritve smo vzorec presejali skozi 6,3 mm sito, ga homogenizirali in shranili v desikatorju. V 250 ml čašo smo nato zatehtali 5 g (na 0,001 g natančno).

Ročna titracija

Po kalibraciji pH metra z dvema standardnima pufrnima raztopinama pH 2,0 in pH 4,0 smo v čašo nalili 100 ml vode, vstavili magnetno ploščico in vse skupaj postavili na magnetni mešalec nastavljen na 500–600 min⁻¹. V čašo smo nato vstavili pH merilno elektrodo in bireto, napolnjeno s 5 mol/l HCl. Zagnali smo magnetno mešalo in dodali 5 g apnilnega sredstva ter začeli s titracijo (postopnim dodajanjem HCl) in pri tem pazili, da HCl ni prišel v direktni kontakt z elektrodo.

Pri hitro (30 sek) doseženem pH 2,5 smo začeli s počasnejšim (60 sek) dodajanjem HCl, dokler nismo dosegli stabilne vrednosti pri pH 2,0. Po 10 min smo odčitali porabo kisline in meritev ponovili trikrat.

3.4.5 Masa lucerne

Po opravljeni rezi lucerne (višina rezi pri vseh vzorcih je bila na 3 cm) (Slika 18) smo vzorce shranili v papirnate vrečke in jih v pečici za sušenje vzorcev (Slika 16) 24 h sušili pri temperaturi 105 °C. Maso zračne suhe snovi (g/lonec) smo določili v laboratoriju Centra za pedologijo in varstvo okolja.



Slika 18: Lucerna po opravljeni rezi

3.4.6 Izračun odmerkov

Potrebo (t/ha) po apnjenju (CaO) smo glede na reaktivnost apnilnih sredstev izračunali s pomočjo tabel VDLUFA (VDLUFA, 2000) (Preglednica 10) in nato preračunali (g) za aplikacijo potrebnih odmerkov v 5 l loncih, ki smo jih uporabili pri poizkusu v rastlinjaku.

Preglednica 10: Potreba po apnu (CaO) iz tabel VDLUFA in preračunani odmerki v dt/ha in g/lonec

potreba po apnu (CaO) iz tabel VDLUFA		potrebe po apnjenju (dt/ha)					
		73	115	98	potrebni odmerki sredstva na lonec (g)		
Apnilno sredstvo	Tip tal	L	S	T	L	S	T
Čisti apnenec		130	205	175	25	30	29
IGM		165	260	221	32	38	36
SIA		317	500	426	61	73	70
Lipiški apnenec		132	208	177	25	30	29
Lesni pepel		230	362	308	44	53	50

3.5 STATISTIČNE METODE

Za statistične analize smo uporabili računalniški program STATGRAPHICS Centurion.

Povezavo med reaktivnostjo apnilnih materialov po Suerbecku (EN 13971, 2008) in učinkovitostjo tvorbe strukturnih agregatov smo testirali z uporabo linearne regresije in izračunali model, s katerim smo pojasnili zvezo med reaktivnostjo apnilnih materialov in obstojnostjo strukturnih agregatov.

Analizo variance (ANOVA) smo uporabili za ugotavljanje vpliva različnih faktorjev (tip tal, vrsta apnilnega sredstva) na pridelek testne rastline lucerne.

4 REZULTATI

4.1 REAKTIVNOST KARBONATNIH SREDSTEV

V Preglednici 11 so rezultati laboratorijskega merjenja reaktivnosti karbonatnih sredstev po standardu SIST EN 13971, 2008.

Preglednica 11: Reaktivnost karbonatnih sredstev

Reaktivnost		
	Absolutno	relativno
Čisti apnenec	19,5	1
IGM	15,4	0,79
SIA	8	0,41
Lipiški apnenec	19,2	0,98
Lesni pepel	11,05	0,57

Pri meritvah smo privzeli, da je reaktivnost (čas trajanja apnilnega delovanja določenega sredstva pri kontroliranih razmerah) čistega apnenca 100 % in glede na to preračunali vrednosti za ostala štiri uporabljena sredstva.

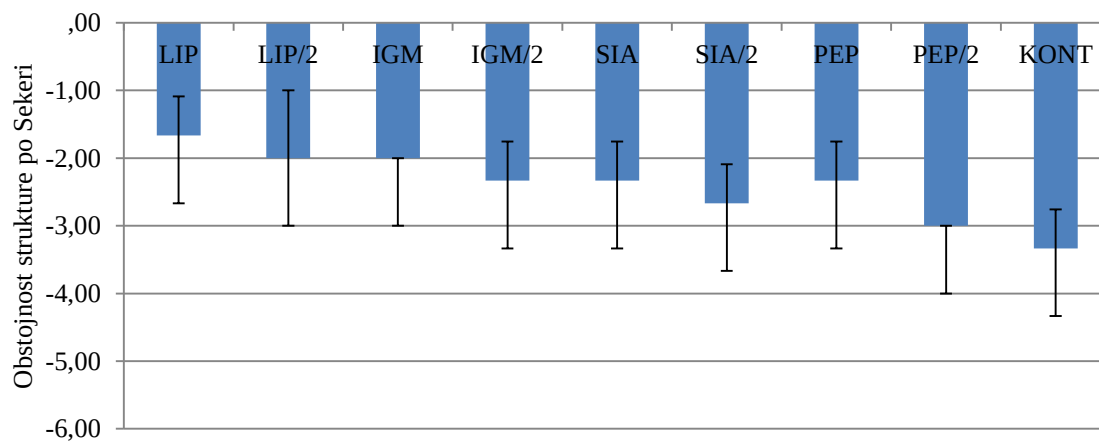
4.2 MERITVE OBSTOJNOSTI STRUKTURNIH AGREGATOV Z METODO PO SEKERI

Obstojnost strukturnih agregatov v izbranih vzorcih tal smo določili z metodo po Sekeri (Slika 19). Vzorce smo glede na stopnjo razpadlosti strukturnih agregatov razvrstili v šest razredov. Obstojnost strukturnih agregatov (Slika 20–22) je prikazana negativno oz. padajoče po strukturnih razredih, kjer ima razred 0 najboljšo in razred -6 najslabšo strukturo. Na slikah smo prikazali povprečja treh ponovitev ter standardno deviacijo v odvisnosti od tipa tal in za vsa uporabljena apnilna sredstva v polnih ter polovičnih (/2) odmerkih ter kontrolno (KONT.) obravnavanje. PRILOGA E1–E3 vsebuje preglednice z rezultati določanja obstojnosti strukturnih agregatov.



Slika 19 : Test obstojnosti strukturnih agregatov z metodo po Sekeri

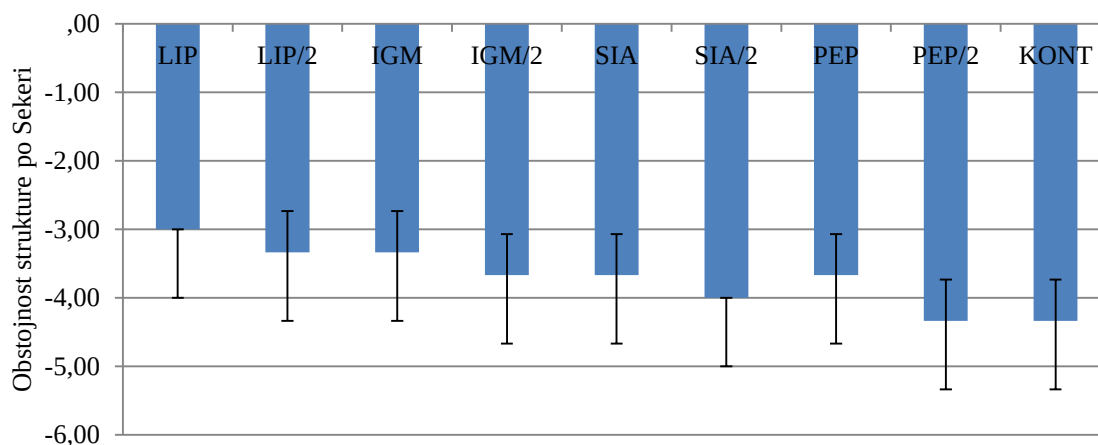
4.2.1 Obstojnost strukturnih agregatov: Lahka tla



Slika 20: Obstojnost strukturnih agregatov za vsa obravnavanja na lahkih tleh

Največjo obstojnost strukturnih agregatov v primerjavi s kontrolno skupino smo na lahkih tleh (Slika 20) dosegli z dodatkom lipiškega apnenca in mladega litavskega apnenca IGM. Tudi obstojnost strukturnih agregatov kontrolnih vzorcev je na lahkih tleh največja.

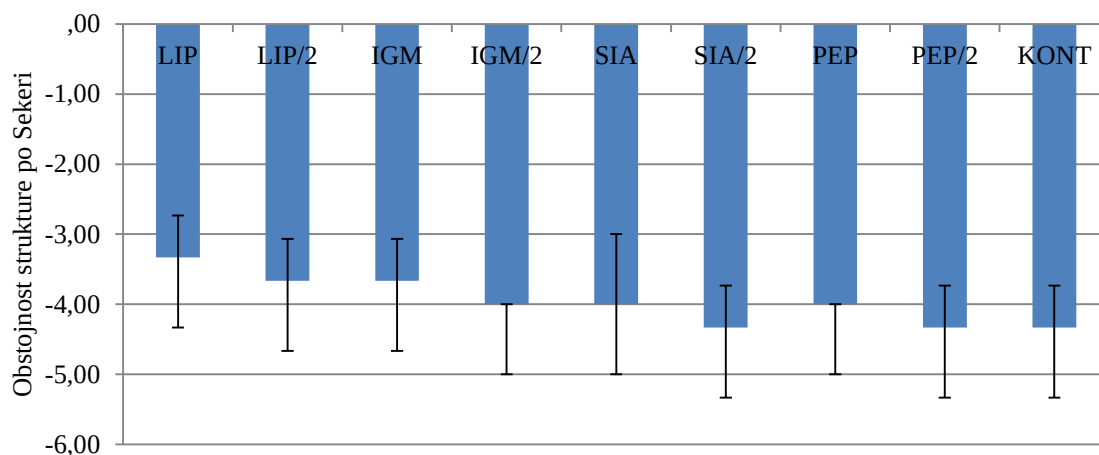
4.2.2 Obstočnost strukturnih agregatov: Srednje težka tla



Slika 21: Obstočnost strukturnih agregatov za vsa obravnavanja na srednje težkih tleh

Tudi na srednje težkih tleh (Slika 21) so bili strukturni agregati najbolj obstojni ob dodatku lipiškega apnenca in mladega apnenca IGM. Apnenec SIA in lesni pepel sta bila pri tvorbi agregatov primerljivo, a manj učinkovita.

4.2.3 Obstočnost strukturnih agregatov: Težka tla



Slika 22: Obstočnost strukturnih agregatov za vsa obravnavanja na težkih tleh

Na težkih tleh (Slika 22) je izboljšanje obstojnosti strukturnih agregatov v primerjavi s kontrolno skupino najmanjše, tudi tu pa smo najboljše rezultate dosegli z uporabo, med vsemi apnilnimi sredstvi najbolj reaktivnega, lipiškega apnenca.

4.3 PRIMERJAVA OBSTOJNOSTI STRUKTURNIH AGREGATOV V ODVISNOSTI OD TIPA TAL IN UPORABLJENEGA APNILNEGA SREDSTVA

Največjo obstojnost strukturnih agregatov (v poizkusu se je večina vzorcev uvrstila v drugi razred po Sekeri, kar pomeni, da je razpadlo manj kot 50 % strukturnih agregatov) so prikazala lahka tla, predvsem zaradi peščeno meljaste teksture in ugodne grudičaste strukture izkopanega vzorca (Slika 7) (Preglednica 5). Sledila so jim srednje težka tla, kjer je kot posledica povečanega deleža meljastih in glinenih delcev v kombinaciji z nizkim deležem bazičnih kationov na sorptivnem delu tal in slabo izraženo poliedrično strukturo razpadla približno polovica vseh strukturnih agregatov v poizkusu (Slika 8) (Preglednica 6). Najslabšo obstojnost strukturnih agregatov pa smo zaradi močne zbitosti in praktično neobstoječe strukture izkopanega vzorca ter nizkega deleža bazičnih kationov zgornjega izpranega horizonta v kombinaciji z velikim deležem melja in gline, določili na težkih tleh (Slika 9) (Preglednica 7). Tu je v petrijevkah razpadla več kot polovica vseh strukturnih agregatov.

Teza, da se kislim tlem z dodatkom apnilnega sredstva izboljša struktura, se nam je, kot je razvidno iz Slik 20–22, potrdila v vseh primerih. Apnjenje oz. vpliv Ca^{2+} kationov na koagulacijo (- nabitih) koloidnih delcev in glinenih mineralov, na način, da se med seboj pogosteje povezujejo z Van der Waalsovimi silami in posledično na tvorbo strukturnih agregatov, ter vpliv apnenca kot cementnega sredstva (sposobnost vezanja talnih delcev) sta imela pozitiven učinek na izboljšanje strukture testnih tal. Največjemu izboljšanju smo bili priča ob dodatku lipiškega apnenca (kateremu smo izmed vseh karbonatnih sredstev izmerili tudi največjo reaktivnost), kar je bilo še posebej očitno na lahkih in srednje težkih tleh. Struktura se nam je občutno izboljšala tudi ob dodatku »mladega« apnenca IGM, sledi mu »stari« apnenec SIA, najslabše rezultate pa smo dobili ob dodatku lesnega pepela.

4.4 POVEZAVA MED REAKTIVNOSTJO APNENIH MATERIALOV IN UČINKOVITOSTJO TVORBE STRUKTURNIH AGREGATOV

Želeli smo ugotoviti, ali obstaja direktna povezava med reaktivnostjo izbranih apnilnih materialov in povečano učinkovitostjo tvorbe strukturnih agregatov na testnih tleh. Da bi dobili model, s katerim bi lahko dokazali povezavo med reaktivnostjo in izboljšano strukturo, smo v programu STATGRAPHICS Centurion uporabili funkcijo linearne regresije, kjer smo kot neodvisno spremenljivko določili obstojnost agregatov in kot odvisno reaktivnost apnilnega sredstva. Analize smo opravili na štirih točkah (obravnavanjih) ločeno za vsak tip tal posebej.

Kot razvidno iz prilog G1–G3 je na lahkih tleh P-vrednost (0,041) manjša kot 0,05, kar pomeni, da pri 95 % ali višji stopnji zaupanja obstaja statistično značilna povezava med reaktivnostjo materialov in obstojnostjo strukturnih agregatov. Glede na izračunano R–

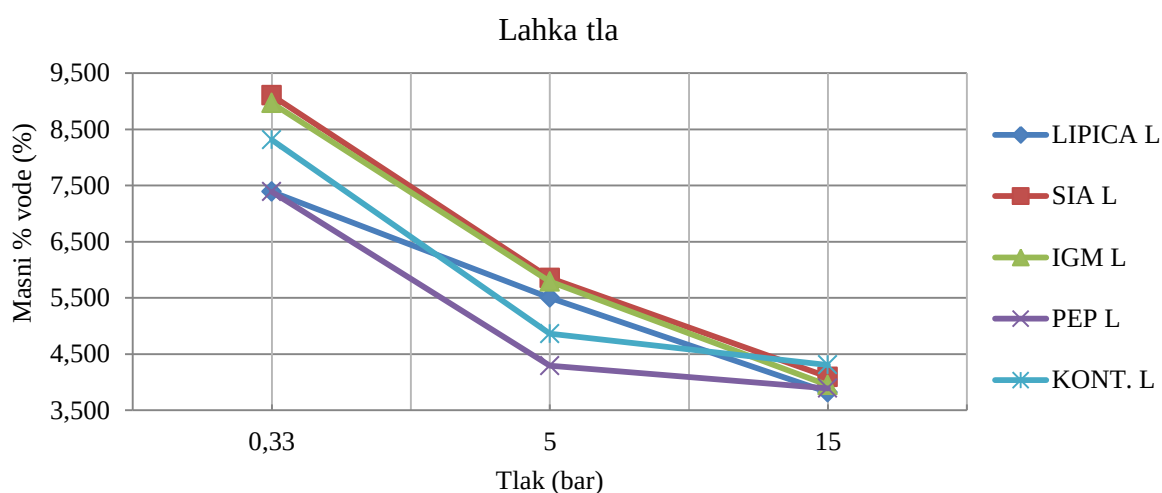
kvadrat vrednost je s tem linearnim modelom pojasnjene 91,973 % variabilnosti odvisne spremenljivke. Korelacijski koeficient (0,959) pa nam nakazuje na relativno močno povezavo med reaktivnostjo apnilnih sredstev in obstojnostjo strukturnih agregatov.

Na srednje težkih tleh znaša P-vrednost 0,0356, tako da lahko z 95 % ali višjo stopnjo zaupanja trdimo, da obstaja statistično pomembna povezava med reaktivnostjo apnilnih materialov in obstojnostjo strukturnih agregatov. Z R-kvadrat vrednostjo je tu pojasnjene 92,99 % variabilnosti odvisne spremenljivke in korelacijski koeficient (0,964) nam nakazuje na relativno močno povezavo med spremenljivkama.

Tudi na težkih tleh lahko s 95 % ali višjo stopnjo zaupanja ($P=0,0356$) trdimo, da obstaja statistično značilna povezava med reaktivnostjo apnilnih sredstev in obstojnostjo strukturnih agregatov. Izračunani model pa pojasni 92,99 % variabilnosti odvisne spremenljivke. Korelacijski koeficient (0,964) tudi tu nakazuje na močno povezavo med obema spremenljivkama.

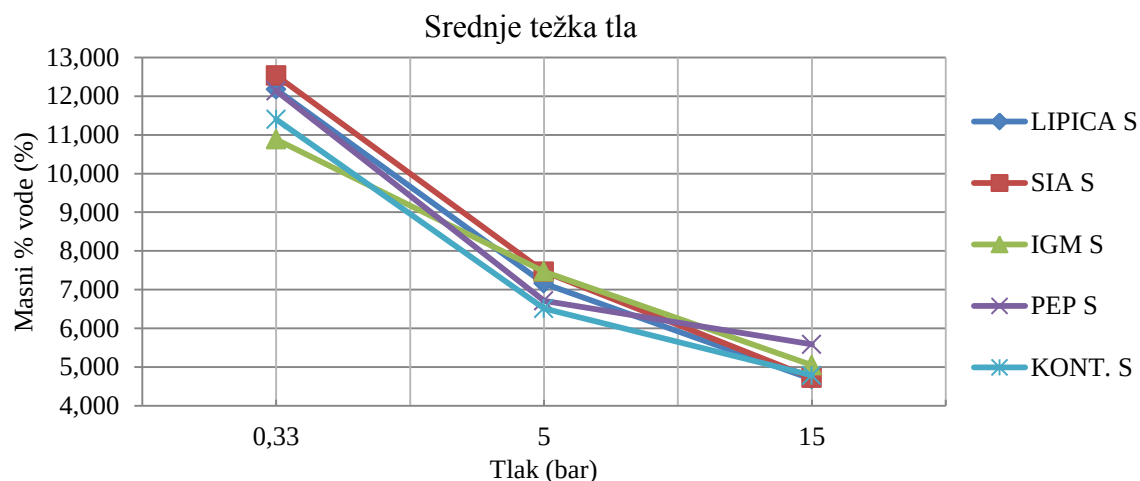
4.5 SPOSOBNOST IZBRANIH TAL ZA ZADRŽEVANJE VODE

Sposobnost izbranih tal za zadrževanje vode smo merili z visokotlačno komoro. Vzorce smo izpostavili tlakom, ki ustrezajo poljski kapaciteti (0,33 bar), točki venenja (15 bar) in vmesni točki (5 bar). Slike 23–25 prikazujejo zmanjševanje vsebnosti vode (masni %) v tleh glede na povečani tlak (0,33 bar, 5 bar, 15 bar) na izbranem tipu tal. Na slikah 23–25 so naenkrat prikazana vsa obravnavanja in kontrolno obravnavanje (KONT.), količina rastlinam dostopne vode (območje med poljsko kapaciteto in točko venenja) pa v PRILOGI D.



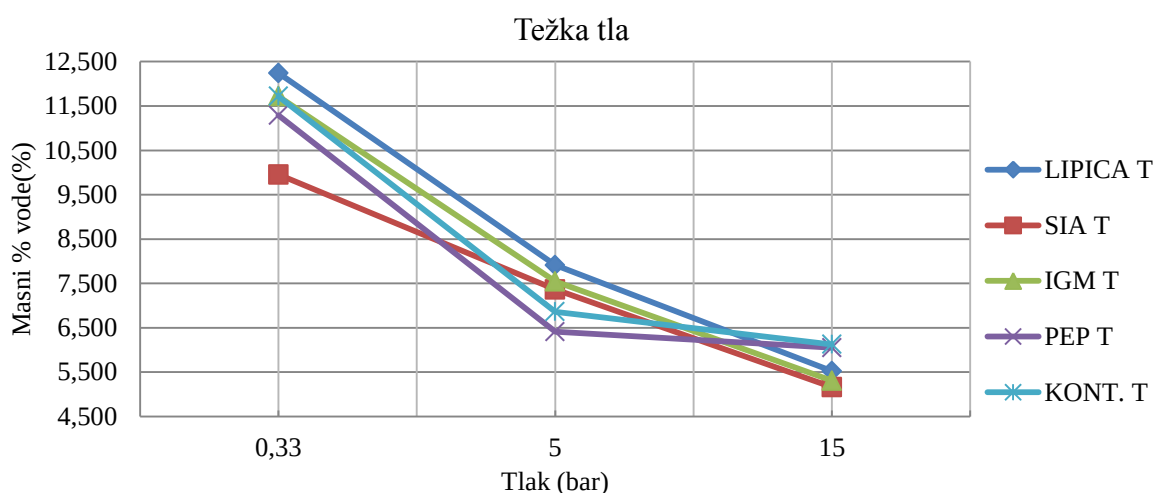
Slika 23: Zadrževanje vode (masni %) v vzorcih na lahkih tleh

Izmed vseh testnih tal so lahka tla (Slika 23) pri vseh tlakih sposobna zadržati najmanj vode (posledica teksture, poroznosti in volumnske gostote). Na povečanje rastlinam dostopne vode je najbolj vplival dodatek apnencev IGM in SIA.



Slika 24: Zadrževanje vode (masni %) v vzorcih na srednje težkih tleh

Sposobnost za zadrževanje vode se na srednje težkih tleh (Slika 24) poveča predvsem na račun ugodne meljasto glinene teksture in povečanega deleža mikropor. Količina rastlinam dostopne vode se poveča ob dodatkih SIA, lipiškega apnenca in lesnega pepela. Razlike med njima so majhne.



Slika 25: Zadrževanje vode (masni %) v vzorcih na težkih tleh

Težka in zbita meljasto glinena tla (Slika 25) so zaradi svoje visoke volumnske gostote (1,5) in prevladujočega deleža glinenih delcev sposobna zadržati največ vode. Pri tlaku 0,33 bar smo največje izboljšanje dosegli z lipiškim apnencem. Razlike med obravnavanji se z naraščajočim tlakom zmanjšujejo.

Kot je razvidno iz (Slika 23–25) (PRILOGA A–C), so dodatki apnencev v večini primerov povečali količino rastlinam dostopne vode, vendar niso bili enako učinkoviti glede na teksturo tal. Pepel ni imel nobenega učinka na izboljšanje vodno-zadrževalnih lastnosti, vrednosti so v večini primerov primerljive s kontrolnim obravnavanjem. Testna tla so bila po dodatku apnilnih sredstev predvsem pri tlaku 0,33 bar (poljska kapaciteta) in 5 bar večinoma sposobna zadržati več vode, obenem pa se je na lahkih in težkih tleh zmanjšala tudi sposobnost zadrževanja vode pri tlaku 15 bar oz. v točki venenja, zaradi česar se je povečala količina rastlinam dostopne vode. Skupno količino rastlinam dostopne vode (območje med poljsko kapaciteto in točko venenja) prikazuje PRILOGA D; iz rezultatov je razvidno, da so jo srednje težka tla sposobna zadržati največ, sledijo jim težka in lahka tla.

Pričakovano so zaradi svoje ugodne teksture oz. relativno velikega deleža peščenih in meljastih delcev (Preglednica 5), večje poroznosti ter relativno majhne volumnske gostote lahka tla (Slika 23) sposobna zadržati najmanj vode v poljski kapaciteti in v točki venenja. Količina rastlinam dostopne vode je tu med vsemi testnimi tlemi najmanjša. Sposobnost lahkih tal za zadrževanje vode (poljska kapaciteta) se je najbolj povečala ob dodatku apnencev IGM in SIA, presenetljivo pa med vsemi uporabljenimi sredstvi najbolj reaktiven lipiški apnenec ni dal najboljših rezultatov; odstotek zadržane vode je bil primerljiv z vzorci, katerim je bil dodan lesni pepel, in pri poljski kapaciteti celo nekaj manjši od kontrolnih vzorcev. Pri stopnjevanem tlaku se trend izboljšanih vodno-retenzijskih lastnosti tal z dodatkom apnilnega sredstva sicer ohrani, so pa razlike med obravnavanji in kontrolo pri 15 bar (točka venenja) majhne.

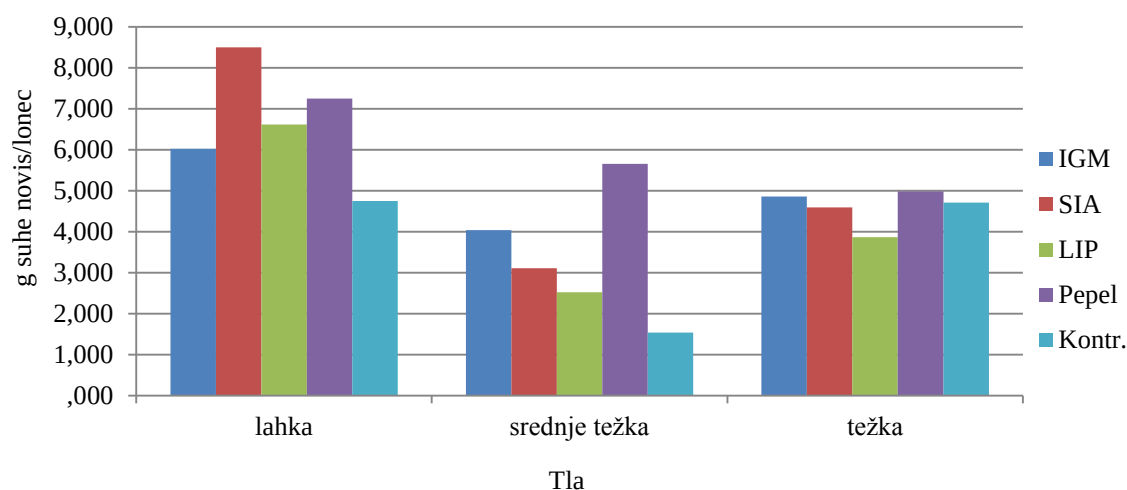
Na srednje težkih tleh je predvsem zaradi ugodnega razmerja med meljastimi in glinenimi delci, večje volumnske gostote tal ter večjega deleža mikropor, večja sposobnost zadrževanja vode. Tla imajo največjo količino rastlinam dostopne vode, saj je zadržijo največ v poljski kapaciteti in hkrati ne zadržijo največ v točki venenja. V primerjavi z lahkimi tlemi (ki v kontrolnem obravnavanju zadržijo 8,3 % masnega odstotka vode pri tlaku 0,33 bar) se ta vrednost pri poljski kapaciteti na srednje težkih tleh poveča na 11,4 %. Vodno retenzijske sposobnosti srednje težkih tal (Slika 24) so se ob dodatku apnilnih sredstev SIA in lipiškega apnenca ter lesnega pepela izboljšale.

Pri teksturno težkih tleh (Slika 25) opazimo, da so zaradi zbitosti (oz. majhnega skupnega volumna por – majhna poroznost) in največjega deleža meljastih in glinenih delcev sposobna zadržati največjo količino vode v poljski kapaciteti (11,7 %), vendar ostane tudi največ vode vezane v točki venenja. Z dodatkom apnilnih sredstev se sposobnost tal za zadrževanje rastlinam dostopne vode poveča v primeru lipiškega blata in IGM apnenca.

Rezultatov merjenja vodno-retenzijskih lastnosti ne moremo statistično vrednotiti; poizkus temelji le na eni ponovitvi, saj nam je za nadaljne ponovitve žal zmanjkalo vzorca.

4.6 MASA LUCERNE

Maso suhe snovi (g/lonec) testne rastline lucerne v odvisnosti glede na kontrolne (Kontr.) vzorce za vsa apnilna sredstva na izbranih tipih tal prikazuje Slika 26. Rezultat meritev je povprečje treh ponovitev.



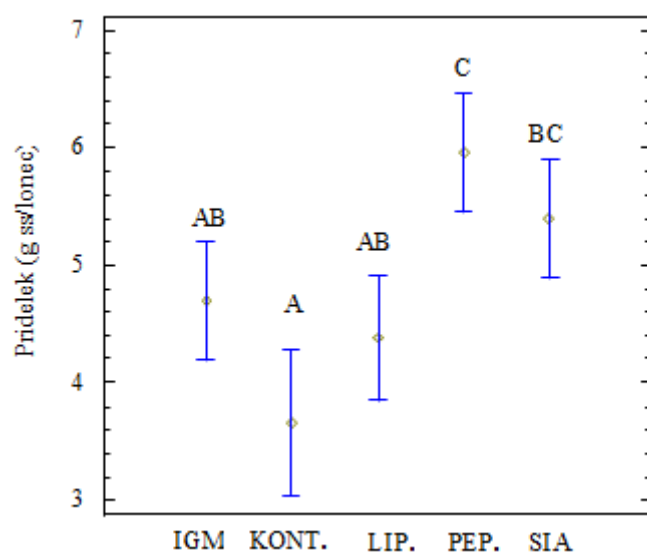
Slika 26: Masa lucerne (g zračno ss/lonec) v primerjavi s kontrolno (Kontr.) skupino za vse tri tipe tal

Pridelek suhe snovi lucerne (Slika 26) (PRILOGA F) se je v primerjavi s kontrolnim obravnavanjem najbolj povečal na srednje težkih tleh (zaradi večjega deleža glinastih delcev so tla sposobna zadržati precej več vode od lahkih, obenem pa so zaradi nižje volumnske gostote in že omenjene teksture tudi manj zbita in bolj zračna kot težka tla, na katerih je bilo povečanje pridelka najmanjše). Največje pridelke (g ss/lonec) smo dosegli na lahkih tleh, ki so očitno zaradi največjega izboljšanja v obstojnosti strukturnih agregatov (poleg že tako ugodne grudičaste strukture) in posledično sposobnosti za zadrževanje vode nudila najbolj ugodne pogoje za razvoj in rast lucerne.

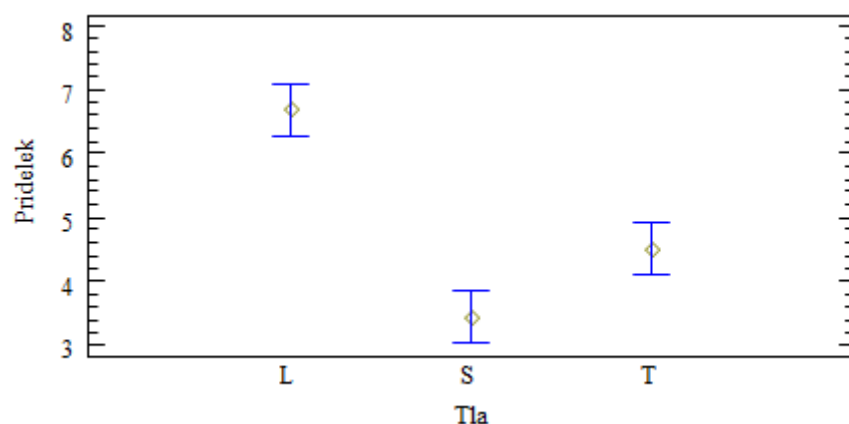
Glede na kontrolno obravnavanje se nam je pridelek (g suhe snovi/lonec) ob dodatku apnilnega sredstva povečal v praktično vseh primerih (izjema sta sredstvi SIA in lipiški apnenec na težkih tleh, kjer pa so razlike med sredstvi zaradi močno zbitih in manj zračnih tal, tudi najmanj očitne). Povečan pridelek na lahkih in srednje težkih tleh je verjetno posledica zvišanega pH in boljše dostopnosti rastlinskih hranil ter izboljšane strukture tal (pozitiven vpliv na gibanje in zadrževanje vode v tleh kot tudi na rast in razvoj korenin) ter v primerjavi z lahkimi tlemi, z večjo sposobnostjo srednje težkih tal za zadrževanje vode. Majhno izboljšanje na zbitih težkih tleh pa bi lahko pojasnili z njihovo visoko volumnsko gostoto, ki ima neposreden vpliv na količino pornega prostora, gibanje vode v tleh, penetracijo in rast korenin, privzem in kroženje hranil ter nenazadnje na kalitev semena. Vzorci z lesnim pepelom so imeli na rast testne rastline največji vpliv (na srednje težkih in

težkih tleh smo ob dodatku slednjega dosegli največje pridelke), kar pa gre pripisati predvsem deležu hranil (Preglednica 8), ki jih le ta vsebuje in ki so najverjetneje pripomogla k bujnejši rasti.

Vpliv preučevanih faktorjev (tip tal, vrsta apnilnega sredstva) na pridelek testne rastline smo testirali še z uporabo analize variance (Slika 27 in 28), PRILOGA H. Iz dobljenih P-vrednosti analitičnega modela lahko z več kot 95 % stopnjo zaupanja trdimo, da obstaja statistično značilen učinek obeh faktorjev (tip tal, apnilno sredstvo) na količino pridelka.



Slika 27: Povprečni pridelek glede na obravnavanje (ročice predstavljajo najmanjšo značilno razliko, LSD, pri 95 % stopnji zaupanja)



Slika 28: Povprečni pridelek (g ss/lonec) glede na tip tal (ročice predstavljajo najmanjšo značilno razliko, LSD, pri 95 % stopnji zaupanja)

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

Rezultati meritev obstojnosti strukturnih agregatov so pokazali, da imajo lahka, dobro strukturirana ter porozna tla (p_{vol} 1,2) odvzeta v Moškanjcih na Dravskem polju, predvsem zaradi grudičaste strukture in ugodnega razmerja med deležem peščenih in meljastih delcev in navkljub najbolj kisli reakciji (pH 4,1) ter nizki kationski izmenjalni kapaciteti najboljšo obstojnost strukturnih agregatov. Po obstojnosti agregatov jim sledijo srednje težka tla iz Police pri Naklem (ta imajo predvsem na račun večjega deleža finega melja in gline močno povečano sposobnost zadrževanja vode, vendar tudi slabšo poroznost, na kar vplivajo predvsem slabše obstojni strukturni agregati, ki ob nasičenosti z vodo prej razpadejo in zamašijo pore). Vzorec težkih (p_{vol} 1,5) tal, odvzet v Bistrici pri Trziču, v katerem prevladujejo meljasti ter glinasti delci z veliko specifično površino, je imel zaradi majhnega deleža Ca na sorptivnem delu tal (večina bazičnih kationov se je tekom pedogeneze izprala v nižje horizonte), relativno majhnega deleža humusa ter močne zbitosti in posledično praktično neobstoječe strukture ter obenem nizkega pH (5,3), najslabše obstojne strukturne agregate. Po dodatku apnilnih sredstev smo največje izboljšanje strukture zabeležili na dobro strukturiranih lahkah tleh, kjer se je le ta ob dodatku lipiškega apnenca glede na kontrolno obravnavanje izboljšala skoraj za dva razreda po Sekeri (Slika 20). Na splošno se je struktura na vseh tipih tal najbolj izboljšala z dodatkom lipiškega apnenca, kar lahko pripišemo izmerjeni reaktivnosti (Preglednica 11), ki je bila največja med vsemi uporabljenimi sredstvi in cementnemu delovanju apnenca, ki se z dehidracijo veže na površino primarnih delcev in mikroagregatov in tako pridobi možnost vezave v suhih tleh (Stritar, 1991), predvsem pa vplivu Ca^{2+} kationov na koagulacijo negativno (kislata tla imajo velik delež kislinskih H^+ ionov) nabitih koloidnih delcev in glinenih mineralov oz. na povečano tvorbo Van der Waalsovih vezi med mineralnimi delci in s tem tvorbo strukturnih agregatov v tleh (Haynes in Naidu, 1998).

Po učinkovitosti tvorbe strukturnih agregatov sledijo lipiškemu apnenecu manj reaktivni »mladi« apnenec IGM, »stari« apnenec SIA in lesni pepel, v tem vrstnem redu na vseh treh tipih testnih tal. Tu se nam je potrdila tudi teza, da je bolj reaktiven mladi apnenec bolj učinkovit pri tvorbi strukturnih agregatov kot stari apnenec iste granulacije, saj je bolj topen in hitreje prepreva (Mihelič, 2012).

S programom STATGRAPHICS Centurion smo izračunali model linearne regresije in tako preverili domnevo da je reaktivnost apnilnih sredstev v neposredni povezavi z učinkovitostjo tvorbe strukturnih agregatov. Domneva se nam je potrdila na vseh treh tipih tal. V vseh treh primerih smo namreč z več kot 95 % verjetnostjo potrdili, da obstaja statistično značilna povezava med reaktivnostjo izbranih apnilnih sredstev in obstojnostjo strukturnih agregatov. Z visokimi vrednostmi tako R–kvadrat statistike, kot tudi korelacijskega koeficienta pa lahko v vseh primerih pojasnimo več kot 90 % variabilnosti

odvisne spremenljivke in obenem trdimo, da obstaja relativno močna povezava med reaktivnostjo apnilnih materialov in obstojnostjo strukturnih agregatov.

Iz rezultatov meritev vodno retenzijskih lastnosti izbranih tipov tal v odvisnosti od apnilnega sredstva (Slika 23–25) (PRILOGA A–C) lahko zaključimo, da apnjenje poveča količino rastlinam dostopne vode (Pérez-de-los-Reyes in sod., 2015), kar se nam je pokazalo na vseh tipih testnih tal in z dodatkom vseh apnilnih sredstev z izjemo lesnega pepela, čigar vrednosti so bile primerljive s kontrolnimi vzorci.

Največje izboljšanje vodno-retenzijskih sposobnosti na testnih tleh je bilo izmerjeno pri tlakih 0,33 bar in 5 bar. Povečanje količine vode v točki venenja (15 bar) smo izmerili le na srednje težkih tleh, a so bile razlike med obravnavanji tako majhne, da težko trdimo da se je na račun tega zmanjšala količina rastlinam dostopne vode; največ rastlinam dostopne vode (območje med poljsko kapaciteto in točko venenja) smo izmerili na srednje težkih tleh, sledijo jim težka in lahka tla (PRILOGA D).

Pravtako je CaCO_3 ugodno vplival na tvorbo strukturnih agregatov, kar je izboljšalo vodno-zračne (nastalo je ugodnejše razmerje med mikro- in makroporami; tenzija vode v tleh se je na ta način povečala) lastnosti preučevanih tal.

Pričakovano so imela lahka tla zaradi svoje peščeno meljaste teksture, večje poroznosti ter najnižje izmerjene volumnske gostote med vsemi testnimi tlemi najmanjšo količino rastlinam dostopne vode. Tako v točki venenja, kot v poljski kapaciteti so bila lahka tla sposobna zadržati najmanj vode. Vodno retenzijske lastnosti so se tu najbolj izboljšale ob dodatku apnencev IGM in SIA (Slika 23).

Srednje težka in težka tla imajo zaradi povečanega deleža finih meljastih in glinenih delcev, večje volumnske gostote ter večjega deleža mikropor visoko sposobnost vezave vode. Srednje težka (Slika 24) tla imajo največjo količino rastlinam dostopne vode, saj zadržijo največ vode v poljski kapaciteti in hkrati ne zadržijo največ v točki venenja. Pri zadrževanju vode sta tu najbolj učinkovita apnenec SIA in lipiški apnenec. Težka tla (Slika 25) so zaradi večjega deleža gline pri tlaku 0,33 bar (PK) sposobna zadržati največ vode med vsemi vzorci, vendar pa je imajo tudi največ nedostopno vezane v točki venenja. Tudi tu je bil najučinkovitejši lipiški apnenec.

Z apnjenjem zvišan pH in posledično boljša dostopnost rastlinskih hranil ter izboljšana struktura tal (pozitiven vpliv na gibanje in zadrževanje vode v tleh ter na rast in razvoj korenin) so glavni razlogi za povečanje pridelka testne rastline lucerne (Slika 26). Največje pridelke smo dosegli na zračnih in zelo dobro strukturiranih lahkih tleh, v primeru srednje težkih tal (kjer se je v primerjavi s kontrolnimi vzorci pridelek najbolj povečal) igra pomembno vlogo tudi njihova povečana sposobnost zadrževanja vode. Majhno količino pridelka na zbitih težkih tleh pa bi lahko pojasnili z njihovo visoko volumnsko gostoto, ki

vpliva na količino pornega prostora, gibanje vode v tleh, penetracijo in rast korenin, privzem in kroženje hranil ter na kalitev semena. Na tleh z dodatkom lesnega pepela smo v večini primerov pridelali največ pridelka, kar pa gre pripisati predvsem deležu makrohranil (N, P, K, Mg), ki jih le ta vsebuje (Preglednica 8), in ki so najverjetneje pripomogla k bujnejši rasti.

Vpliv preučevanih faktorjev (tip tal, vrsta apnilnega sredstva) na pridelek testne rastline smo testirali še z uporabo analize variance (Slika 27 in 28), PRILOGA H. Iz dobljenih P-vrednosti analitičnega modela lahko z več kot 95 % stopnjo zaupanja trdimo, da obstaja statistično značilen učinek obeh faktorjev (tip tal, apnilno sredstvo) na količino pridelka

5.2 SKLEPI

Na osnovi naše raziskave ugotavljamo, da lahko z apnjenjem povečamo obstojnost strukturnih agregatov in s tem izboljšamo strukturo tal.

»Mladi« naravni apnenec je bolj reaktiven kot »stari« apnenec enake granulacije, in kot tak bolj učinkovit pri tvorbi obstojnih strukturnih agregatov tal; hipoteza se nam je potrdila z laboratorijsko analizo reaktivnosti in z določitvijo obstojnosti strukturnih agregatov z metodo po Sekeri.

Z uporabo modela linearne regresije smo dokazali, da je reaktivnost apnilnih sredstev v tesni povezavi z obstojnostjo strukturnih agregatov v testnih tleh..

Meritve v visokotlačni komori nakazujejo, da apnjenje v splošnem poveča tudi vsebnost rastlinam dostopne vode v tleh, vendar so učinki različnih apnilnih sredstev različni glede na tip tal.

V skladu s hipotezo se je količina pridelka povečala pri praktično vseh vzorcih, katerim smo dodali apnilno sredstvo. S statističnim modelom analize variance smo tudi dokazali, da obstaja statistično značilen učinek faktorjev (tip tal, apnilno sredstvo) na količino pridelka.

6 POVZETEK

V diplomski nalogi smo ugotavljali, kako lahko z apnjenjem povečamo obstojnost strukturnih agregatov in s tem tlom izboljšamo strukturo ter kako se pri tem spreminjajo vodno-retenzijske lastnosti tal. Naloga zajema izbor tal, odvzem talnih vzorcev ter njihov pedološki opis. Preizkušali smo učinkovitost različnih apnilnih sredstev; tri naravne apnenice in lesni pepel ter vrednotili njihov vpliv na fizikalne lastnosti izbranih tal.

Izbrali smo tri različne tipe tal, ki jim je bila skupna kisla reakcija oz. nizek pH: distrična rjava lahka tla na produ in pesku dravskega ledenodobnega aluvija (Moškanjci), izprana eluvialno-iluvialna srednje težka tla, nastala na terasah ledenodobnega peska in proda (Polica pri Naklem) ter izprana in težka distrična rjava tla na pleistocenski glini (Bistrica pri Trziču).

Kot apnilna sredstva smo uporabili tri apnenice iz slovenskih kamnolomov (»mladi« apnenec IGM (Igm Zagorje d. o. o.), granulacije 0–6 mm, »stari« apnenec, granulacije 0–6 mm, proizveden v Solkanski industriji apna (SIA), lipiško apnenčasto blato, ki nastaja kot stranski produkt pri mehanskem rezanju marmornatih blokov iz kamnoloma Lipica, ter lesni bukov pepel.

Lončni poizkus je potekal v rastlinjaku poskusnega polja Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer smo s testnimi tlemi napolnili 5 l lonce, v njih aplicirali preračunane odmerke apnilnih sredstev ter zasadili s testno rastlino lucerno. V 6-ih mesecih, kolikor je potekal poizkus, smo redno zalivali, enkrat dognojili z NPK 8-26-26 in opravili tri rezi.

Vse analize so bile izvedene v laboratoriju Centra za pedologijo in varstvo okolja. Kislost (pH) tal smo določali po standardu (ISO 10390, 1994), za določanje obstojnosti strukturnih agregatov smo uporabili metodo po Sekeri, reaktivnost karbonatnih sredstev za apnjenje smo izmerili po standardu SIST EN 13971, 2008 in nevtralizacijsko vrednost po standardu SIST EN 12945, 2008. Desorpcijske lastnosti tal za vodo smo določili z uporabo visokotlačne komore, kjer smo vzorce izpostavili tlakom 0,33 bar (poljska kapaciteta), 5 bar in 15 bar (točka venenja).

Rezultati so pokazali, da se tlom ob dodatku apnilnega sredstva obstojnost strukturnih agregatov poveča (do največjega izboljšanja strukture je prišlo na lahkah tleh), kot najbolj učinkovito sredstvo se nam je izkazalo lipiško apnenčasto blato, ki smo mu izmerili tudi največjo reaktivnost. Sledijo mu »mladi« apnenec IGM, »stari« apnenec SIA in lesni pepel. Z uporabo statističnih analitskih metod smo tudi dokazali, da obstaja neposredna povezava med reaktivnostjo apnilnih sredstev in obstojnostjo strukturnih agregatov v preučevanih tleh.

Tlom, katerim je bilo dodano apnilno sredstvo, se je povečala tudi sposobnost za zadrževanje vode. Največje povečanje smo izmerili pri tlaku 0,33 bar oz. poljski kapaciteti. Pri stopnjevanem tlaku (5 bar) so razlike manjše, medtem ko so razlike med obravnavanji v točki venenja (15 bar) minimalne. Količina rastlinam dostopne vode je bila najmanjša na lahkih tleh, le ta so bila zaradi svoje teksture v poljski kapaciteti, kot tudi točki venenja, sposobna zadržati najmanj vode. Največjo količino rastlinam dostopne vode smo izmerili na srednjih tleh, saj je zadržijo največ v poljski kapaciteti in obenem ne zadržijo največ v točki venenja. Težka tla so zaradi večjega deleža gline sposobna zadržati največ vode v poljski kapaciteti, vendar je na račun teksture ostane tudi največ nedostopno vezane v točki venenja. Najboljše rezultate glede rastlinam dostopne vode smo na lahkih tleh dobili s SIA in IGM apnencem, na srednje težkih tleh z lipiškimi in SIA apnencem, na težkih tleh z lipiškimi in IGM apnencem.

Analiza količine pridelka testne rastline lucerne nam tezo o z apnjenjem izboljšani strukturi tal in boljši sposobnosti le teh za zadrževanje vode potrdi, saj se je masa suhe snovi (g/lonec) glede na kontrolno obravnavanje povečala v praktično vseh primerih; izboljšana struktura in povečana sposobnost zadrževanja vode sta imeli ugoden vpliv na rast in razvoj testne rastline. Največje pridelke smo dosegli ob dodatku lesnega pepela, kar pa gre najbrž pripisati količini hranil, ki jih le ta vsebuje. Tezo smo preverili še z analizo variance in ugotovili, da obstaja statistično značilna povezava med testnimi tlemi in uporabljenim apnilnim sredstvom ter količino pridelka.

7 VIRI

- Agregati iz kamnoloma Solkan. 2012. Salonit Anhovo d.d.
https://www.salonit.si/proizvodi_in_storitve/kamnolomski_agregati/2012030611503776/ (11.6. 2016)
- Atlas okolja. Agencija RS za okolje. 2016.
http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso (11.6. 2016)
- Brady N. C., Weil R. R. 2002. The nature and properties of soils. Upper Saddle River, New Jersey, Pearson education: 960 str.
- Ćirić M. 1986. Pedologija. 2. izdanje. Sarajevo, SOUR »Svjetlost«, OOUR Zavod za udžbenike i nastavna sredstva: 312 str.
- Dane J. H., Hopmans J. W. Water retention and storage. V: Methods of soil analysis. Part 4. Physical Methods. Wisconsin, Madison, Soil Science Society of America: 671–673
- Grčman H., Zupan M. 2008. Navodila za vaje iz pedologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 46 str.
- Haynes R., Naidu R. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure application on soil organic matter content and soil physical conditions. Nutrient Cycling in Agroecosystem, 51: 123-137
- Hillel D. 1998. Environmental soil physics. San Diego, Academic press: 771 str.
- ICPVO, Infrastrukturni center za pedologijo in varstvo okolja. 2016.
<http://soil.bf.uni-lj.si/index.php> (23. 6. 2016)
- ISO 10390. Soil Quality – Determination of pH. 1994: 5 str.
- ISO 11274. Soil Quality – Determination of the water–retention characteristic – Laboratory methods. 1998: 11 str.
- Keršič P. 2012. Vpliv organske snovi na vodno retenzijske lastnosti tal. Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo: 31 str.
- Leskošek M. 1993. Gnojenje. Ljubljana. ČZP Kmečki glas: 197 str.

- Leskošek M., Mihelič R. 1998. Smernice za strokovno utemeljeno gnojenje. 1. del poljedelstvo in travništvo. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS: 51 str.
- Mihelič R. 2012. pH tal, apnjenje in dostopnost hranil na njivah. Pivola, Lombergarjevi dnevi, 2. poljedelski posvet: 37 str.
- Mrhar M. 2002. Tlom prijazna obdelava, 1. izd. Slovenj Gradec, Kmetijska založba: 124 str.
- Pérez-de-los-Reyes C., Amorós Ortíz-Villajos J. A., García Navarro F. J., Bravo Martín-Consuegra S., Jiménez Ballesta R. 2015. Effects of sugar foam liming on the water-retention properties of soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 6, 10: 1299-1308
- Pintar M. 2003. Osnove namakanja: s poudarkom na vrtninah in sadnih vrstah v severovzhodni Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS: 49 str.
- SIST EN 12945. Liming materials. Determination of neutralizing value. Titrimetric methods 2008: 14 str.
- SIST EN 13971. Carbonate liming materials. Determination of reactivity. Potentiometric titration method with hydrochloric acid. 2008: 16 str.
- Strawn D.G., Bohn H.L., O'Connor G.A. 2015. *Soil Chemistry*. 4th Edition. Hoboken, Wiley-Blackwell: 392 str.
- Stritar A. 1991. Pedologija. Kompedij. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 126 str.
- Stephens D.B. 1995. *Vadose zone hydrology*. Florida, CRC Press, Lewis publishers: 347 str.
- Suhadolc M., Ruprecht J., Zupan M. 2005. Priročnik za vaje iz pedologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Center za pedologijo in varstvo okolja: 38 str.
- TIS/ICPVO - Infrastrukturni center za pedologijo in varstvo okolja. 1999-2016. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta. <http://soil.bf.uni-lj.si/> (18.6.2016)

Tomič F. 1988. Navodnjavanje. Zagreb, Savez poljoprivrednih inženjera, tehničara Hrvatske, fakultet poljoprivrednih znanosti sveučilišta u Zagrebu: 154 str.

VDLUFA. 2000. Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden, Richtwerte für das Rahmenschema zur Kalkbedarfsermittlung in Deutschland, Darmstadt 2000. <http://www.vdlufa.de> (24.6.2016)

Zupanc V., Pintar M. 2005. Melioracije in urejanje kmetijskih zemljišč. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 49 str.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju doc. dr. Rok Miheliču za pomoč in vodenje pri izdelavi diplomskega dela, ter recenzentki prof. dr. Heleni Grčman za podroben pregled in koristne popravke.

Prav tako hvala tehničnima sodelavcema Viliju Šijancu in Rozaliji Ilc za pomoč in nasvete pri laboratorijskem delu.

Nenazadnje pa gre zahvala moji družini za podporo v vseh teh študijskih letih, predvsem pa puncu Nini, da je verjela vame in me v ključnih trenutkih znala motivirati za nadaljevanje in končanje študija. Brez nje danes zagotovo ne bi brali teh vrstic.

PRILOGA A

Masni % vode v posameznih tleh glede na izbrano apnilno sredstvo, merjeno pri 0,33 bar

0,33 bar								
apnilno sredstvo	tip tal	ozn. vzor.	masa vlaz. vz. +tara g	masa suh. vz. +tara g	masa tara g	masa suh vz. g	masa vode g	masni % vode
LIPICA	L	8	37,63	34,85	19,8	15,05	2,78	7,39
LIPICA	S	24	33,51	29,43	14,2	15,23	4,08	12,18
LIPICA	T	32	32,92	28,89	13,72	15,17	4,03	12,24
SIA	L	10	31,96	29,05	13,57	15,48	2,91	9,11
SIA	S	14	32,95	28,82	13,64	15,18	4,13	12,53
SIA	T	30	39,38	35,46	20,19	15,27	3,92	9,95
IGM	L	9	33,12	30,15	14,74	15,41	2,97	8,97
IGM	S	21	38,86	34,63	19,24	15,39	4,23	10,89
IGM	T	25	32,77	28,93	13,65	15,28	3,84	11,72
PEP	L	7	38,16	35,34	19,99	15,35	2,82	7,39
PEP	S	23	33,04	29,03	13,67	15,36	4,01	12,14
PEP	T	85	35,79	31,75	16,52	15,23	4,04	11,29
KONT.	L	38	32,84	30,11	14,51	15,6	2,73	8,31
KONT.	S	53	36,31	32,17	16,79	15,38	4,14	11,40
KONT.	T	45	32,68	28,85	13,7	15,15	3,83	11,72

PRILOGA B

Masni % vode v posameznih tleh glede na izbrano apnilno sredstvo, merjeno pri 5 bar

5bar								
apnilno sredstvo	tip tal	ozn. vzor.	masa vlaz. vz. +tara g	masa suh. vz. +tara g	masa tara g	masa suh vz. g	masa vode g	masni % vode
LIPICA	L	8	29,81	28,17	14,49	13,68	1,64	5,50
LIPICA	S	24	31,15	28,92	13,9	15,02	2,23	7,16
LIPICA	T	32	32,11	29,57	13,64	15,93	2,54	7,91
SIA	L	10	31,26	29,43	14,46	14,97	1,83	5,85
SIA	S	14	30,96	28,65	14,14	14,51	2,31	7,46
SIA	T	30	31,65	29,32	13,97	15,35	2,33	7,36
IGM	L	9	30,92	29,13	14,14	14,99	1,79	5,79
IGM	S	21	30,81	28,51	13,79	14,72	2,3	7,47
IGM	T	25	31,81	29,41	14,13	15,28	2,4	7,54
PEP	L	7	32,63	31,23	18,81	12,42	1,4	4,29
PEP	S	23	36,23	33,8	18,57	15,23	2,43	6,71
PEP	T	85	35,87	33,57	18,6	14,97	2,3	6,41
KONT.	L	38	33,11	31,5	18,44	13,06	1,61	4,86
KONT.	S	53	35,32	33,02	18,3	14,72	2,3	6,51
KONT.	T	45	36,14	33,66	18,35	15,31	2,48	6,86

PRILOGA C

Masni % vode v posameznih tleh glede na izbrano apnilno sredstvo, merjeno pri 15 bar

15 bar								
apnilno sredstvo	tip tal	ozn. vzor.	masa vlaz. vz. +tara g	masa suh. vz. +tara g	masa tara g	masa suh vz. g	masa vode g	masni % vode
LIPICA	L	8	33,68	32,37	17,4	14,97	1,31	3,89
LIPICA	S	24	30,63	28,92	13,69	15,23	1,71	5,58
LIPICA	T	32	31,73	29,81	14,46	15,35	1,92	6,05
SIA	L	10	32,04	30,66	15,24	15,42	1,38	4,31
SIA	S	14	33,67	32,06	16,97	15,09	1,61	4,78
SIA	T	30	31,68	29,74	14,47	15,27	1,94	6,12
IGM	L	9	31	29,68	14,53	15,15	1,32	4,26
IGM	S	21	30,48	28,82	13,69	15,13	1,66	5,45
IGM	T	25	31,11	29,12	13,93	15,19	1,99	6,40
PEP	L	7	33	31,74	16,72	15,02	1,26	3,82
PEP	S	23	32,85	31,31	16,29	15,02	1,54	4,69
PEP	T	85	34,22	32,33	17,02	15,31	1,89	5,52
KONT.	L	38	31,28	30	14,51	15,49	1,28	4,09
KONT.	S	53	34,32	32,7	17,22	15,48	1,62	4,72
KONT.	T	45	33,71	31,97	16,63	15,34	1,74	5,16

PRILOGA D

Rastlinam dostopna voda (masni %) ločeno glede na tip tal in za vsa obravnavanja

		Količina vode (masni %)			
Apnilno sredstvo	Tip tal	Poljska kapaciteta 0,33 bar	5 bar	Točka venenja 15 bar	Rastlinam dostopna voda
LIPICA	L	7,39	5,5	3,82	3,57
SIA	L	9,11	5,85	4,09	5,02
IGM	L	8,97	5,79	3,95	5,02
PEP	L	7,39	4,29	3,89	3,5
KONT.	L	8,31	4,86	4,31	4
LIPICA	S	12,18	7,16	4,69	7,49
SIA	S	12,53	7,46	4,72	7,81
IGM	S	10,89	7,47	5,05	5,84
PEP	S	12,14	6,71	5,58	6,56
KONT.	S	11,4	6,51	4,78	6,62
LIPICA	T	12,24	7,91	5,52	6,72
SIA	T	9,95	7,36	5,16	4,79
IGM	T	11,72	7,54	5,31	6,41
PEP	T	11,29	6,41	6,05	5,24
KONT.	T	11,72	6,86	6,12	5,6

PRILOGA E1

Rezultati določanja obstojnosti strukturnih agregatov z razredi po Sekeri in standardno deviacijo na lahkih tleh

RAZREDI PO SEKERI - lahka tla								
	R1	R2	R3	R4	R5	R6		stdev
LIP	1	2					-1,7	0,6
LIP/2	1	1	1				-2,0	1,0
IGM		3					-2,0	0,0
IGM/2		2	1				-2,3	0,6
SIA		2	1				-2,3	0,6
SIA/2		1	2				-2,7	0,6
PEP		1	2				-2,7	0,6
PEP/2			3				-3,0	0,0
KONT			2	1			-3,3	0,6

PRILOGA E2

Rezultati določanja obstojnosti strukturnih agregatov z razredi po Sekeri in standardno deviacijo na srednje težkih tleh

RAZREDI PO SEKERI - srednje težka tla							
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	stdev
LIP			3				-3,0 0
LIP/2			2	1			-3,3 0,6
IGM			2	1			-3,33333 0,6
IGM/2			1	2			-3,66667 0,6
SIA			1	2			-3,7 0,6
SIA/2				3			-4,0 0
PEP			1	2			-3,7 0,6
PEP/2				2	1		-4,3 0,6
KONT				2	1		-4,33333 0,6

PRILOGA E3

Rezultati določanja obstojnosti strukturnih agregatov z razredi po Sekeri in standardno deviacijo na težkih tleh

RAZREDI PO SEKERI - težka tla								
	R1	R2	R3	R4	R5	R6		stdev
LIP			2	1			-3,3	0,6
LIP/2			1	2			-3,7	0,6
IGM			1	2			-3,7	0,6
IGM/2				3			-4,0	0
SIA			1	1	1		-4,0	1
SIA/2				2	1		-4,3	0,6
PEP				2	1		-4,3	0,6
PEP/2				2	1		-4,3	0,6
KONT				2	1		-4,3	0,6

PRILOGA F

**Rezultati merjenja mase suhe snovi testne rastline lucerne (g suhe snovi/lonec).
Prikazane so absolutne vrednosti**

	IGM	SIA	LIP	Pepel	Kontr.
lahka	6,02	8,49	6,61	7,24	4,75
srednje težka	4,04	3,10	2,52	5,66	1,54
težka	4,85	4,59	3,87	4,98	4,71

PRILOGA F1

**Rezultati merjenja mase suhe snovi testne rastline lucerne. Prikazane so relativne
(%) vrednosti glede na kontrolno skupino**

	IGM	SIA	LIP	Pepel	Kontr.
lahka	127	179	139	152	100
srednje težka	263	202	164	369	100
težka	103	97	82	106	100

PRILOGA G1

Analiza linearne regresije in variance za ugotavljanje povezave med reaktivnostjo apnilnih sredstev in obstojnostjo strukturnih agregatov za vzorce na lahkih tleh

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	0,171875	1	0,171875	22,92	0,0410
Residual	0,015	2	0,0075		
Total (Corr.)	0,186875	3			

Correlation Coefficient = 0,959027

R-squared = 91,9732 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 87,9599 percent

Standard Error of Est. = 0,0866025

PRILOGA G2

Analiza linearne regresije in variance za ugotavljanje povezave med reaktivnostjo apnilnih sredstev in obstojnostjo strukturnih agregatov za vzorce na srednje težkih tleh

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	0,173793	1	0,173793	26,57	0,0356
Residual	0,013082	2	0,00654101		
Total (Corr.)	0,186875	3			

Correlation Coefficient = 0,964363

R-squared = 92,9996 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 89,4994 percent

PRILOGA G3

Analiza linearne regresije in variance za ugotavljanje povezave med reaktivnostjo apnilnih sredstev in obstojnostjo strukturnih agregatov za vzorce na težkih tleh

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	0,168061	1	0,168061	17,87	0,0517
Residual	0,0188136	2	0,00940682		
Total (Corr.)	0,186875	3			

Correlation Coefficient = 0,948327

R-squared = 89,9325 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 84,8988 percent

PRILOGA H

Najmanjša značilna razlika, LSD, pri 95 % stopnji zaupanja in homogene skupine

<i>Obravnavanje</i>	<i>Count</i>	<i>LS Mean</i>	<i>LS Sigma</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
KONT.	6	3,665	0,4289	A
LIP.	8	4,38918	0,372605	AB
IGM	9	4,69889	0,350195	AB
SIA	9	5,39556	0,350195	BC
PEP.	9	5,96111	0,350195	C

Analiza variance za pridelek – Vsota kvadratov (Tip III)

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A:Obravnavanje	23,4406	4	5,86014	5,48	0,0016
B:Tla	73,3134	2	36,6567	34,28	0,0000
RESIDUAL	36,3534	34	1,06922		
TOTAL (CORRECTED)	131,635	40			