

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Peter Dolšak

VODOODBOJNOST IZBRANIH TAL V SLOVENIJI

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2006

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Peter Dolšak

VODOODBOJNOST IZBRANIH TAL V SLOVENIJI

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

WATER REPELLENCY OF SELECTED SOIL IN SLOVENIA

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2006

Diplomsko delo je zaključek Univerziteznega študija agronomije. Opravljeno je bilo na katedri za urejanje kmetijskega prostora in agrohidrologijo. Poizkus je bil izveden v laboratoriju katedre. Analiza organske snovi je bila opravljena na Kmetijskem inštitutu Slovenije.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorja diplomskega dela imenovala doc. dr. Marino Pintar.

Komisija za oceno in zagovor:

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

Član: prof. dr. Lučka Kajfež-Bogataj
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: doc. dr. Marina Pintar
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Peter Dolšak

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dn
DK UDK 631.432(497.4)(043.2)
KG tla/lastnosti tal/vodoodbojnost/hidrofobnost/čas vpijanja vodne kapljice/organska snov
KK AGRIS P33
AV DOLŠAK, Peter
SA PINTAR, Marina (mentor)
KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI 2006
IN VODOODBOJNOST IZBRANIH TAL V SLOVENIJI
TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP VII, 30 str., 15 pregl., 12 sl., 16 vir.
IJ sl
JI sl/en
- AI Vodoodbojnost je pomembna lastnost nekaterih tal. Povzroča, da se voda neenakomerno porazdeli v tleh kot preferenčni tok, hranila se hitreje izpirajo v podtalnico kakor pri enakomerni porazdelitvi vode. Tla s hidrofobnimi lastnostmi oziroma vodoodbojna tla lahko omejujejo ali zavirajo infiltracijo vode v tla. Za določevanje vodoodbojnosti tal smo uporabili WDPT test (čas vpijanja vodne kapljice). Vodoodbojnost tal smo merili z vzorci, ki so predhodno bili posušeni pri 105 °C 24 ur. Tla se smatrajo za vodoodbojna, če čas WDPT testa presega 5 sekund. Rezultati so pokazali, da vodoodbojna tla vsebujejo veliko organske snovi (30-60 %). Vodoodbojnost je v veliki meri odvisna od vsebnosti organskih snovi in količine vode v tleh.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- DN Dn
DC UDC 631.432(497.4)(043.2)
CX soils/soils properties/water repellency/hidrofobicity/water drop penetration time/organic matter
CC AGRIS P33
AU DOLŠAK, Peter
AA PINTAR, Marina (supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
PY 2006
TI WATER REPELLENCY OF SELECTED SOIL IN SLOVENIA
DT Graduation Thesis (University studies)
NO VII, 30 p., 15 tab., 12 fig., 16 ref.
LA sl
AL sl/en
- AB Water repellency is an important property of many soils. It causes rainwater to penetrate into the soil as preferential flow paths, and solutes can reach the groundwater more rapidly than in the case of a homogeneous wetting. Soils which have hydrophobic properties can resist or retard surface water infiltration. The water drop penetration time (WDPT) test was used to measure the actual water repellency of soil. We measured the potential water repellency after drying samples at 105 °C for 24 hours. Soil is considered to be water repellent if the WDPT test exceeds 5 s. The results show that water repellent soils contain quite a lot of organic substances (30-60 %). A content of organic substances and water quantity has a large effect on water repellent soils.

KAZALO VSEBINE

	Ključna dokumentacijska informacija	str. III
	Key words documentation	IV
	Kazalo vsebine	V
	Kazalo preglednic	VI
	Kazalo slik	VII
1	UVOD	1
2	PREGLED OBJAV	2
2.1	IZVOR VODOODBOJNOSTI TAL	2
2.2	VODOODBOJNOST TAL	3
2.3	IZVOR IN KARAKTERISTIKA HIDROFOBNIH SNOVI	4
2.3.1	Snovi, ki povzročajo vodoodbojnost	4
2.3.2	Biološki viri hidrofobnih substanc	5
2.3.2.1	Rastlinstvo	5
2.3.2.2	Mikroorganizmi in glive v tleh	5
2.3.2.3	Organska snov in humus	6
2.3.3	Nebiološki viri vodoodbojnosti tal	6
2.3.3.1	Ogenj in temperatura tal	6
2.3.3.2	Tekstura tal in vsebnost gline	7
2.4	LASTNOSTI IN POSLEDICE VODOODBOJNIH TAL	7
2.4.1	Preferenčni ali prstasti tok	7
2.4.2	Površinski odtok in erozija	8
2.5	OBSEG VODOODBOJNOSTI TAL	8
2.6	KLASIFIKACIJA VODOODBOJNOSTI TAL	9
2.7	ODPRAVLJANJE VODOODBOJNOSTI	10
3	MATERIALI IN METODE	11
3.1	MERJENJE POTENCIALNE VODOODBOJNOSTI V LABORATORIJU	11
3.2	DOLOČEVANJE KRITIČNE KOLIČINE VODE	16
3.3	MERJENJE DEJANSKE VODOODBOJNOSTI NA TERENU	16
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	17
4.1	REZULTATI IN RAZPRAVA MERITVE POTENCIALNE VODOODBOJNOSTI TAL	17
4.2	REZULTATI IN RAZPRAVA DOLOČEVANJA KRITIČNE KOLIČINE VODE V TLEH	25
4.3	REZULTATI IN RAZPRAVA MERJENJA DEJANSKE VODOODBOJNOSTI NA TERENU	26
5	SKLEPI	27
6	POVZETEK	28
7	VIRI	29

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1	Hidrofobne substance v naravi in njihov izvor (Horn in sod., 1963)	4
Preglednica 2	Razredi WDPT testa (test vpijanja vodne kapljice v tla) po Bisdom in sodelavci (1993)	9
Preglednica 3	Rezultati meritve potencialne vodoodbojnosti za vse izbrane vzorce merjene z WDPT testom (test vpijanja vodne kapljice v tla)	17
Preglednica 4	Količina suhe snovi (g/kg), vlage (g/kg), surovega pepela (g/kg) in organske snovi (%) za talni vzorec Ljubljansko barje	18
Preglednica 5	Količina suhe snovi (g/kg), vlage (g/kg), surovega pepela (g/kg) in organske snovi (%) za talni vzorec Radovna dolinca	18
Preglednica 6	Količina suhe snovi (g/kg), vlage (g/kg), surovega pepela (g/kg) in organske snovi (%) za talni vzorec Radovna hrib	18
Preglednica 7	Količina suhe snovi (g/kg), vlage (g/kg), surovega pepela (g/kg) in organske snovi (%) za talni vzorec Velike Lašče	18
Preglednica 8	Količina suhe snovi (g/kg), vlage (g/kg), surovega pepela (g/kg) in organske snovi (%) za talni vzorec Bohinj	19
Preglednica 9	Meritve potencialne vodoodbojnosti tal za vzorec Bohinj	19
Preglednica 10	Meritve potencialne vodoodbojnosti tal za vzorec Velike Lašče	21
Preglednica 11	Meritve potencialne vodoodbojnosti tal za vzorec Radovna hrib	22
Preglednica 12	Meritve potencialne vodoodbojnosti tal za vzorec Radovna dolinca	23
Preglednica 13	Meritve potencialne vodoodbojnosti tal za vzorec Ljubljansko barje	24
Preglednica 14	Vsebnost organske snovi (%), kritične količine vode (%) in stopnje potencialne vodoodbojnosti pri 0 % vode pri petih vodoodbojnih vzorcih tal	25
Preglednica 15	Rezultati meritve dejanske vodoodbojnosti opravljene na Ljubljanskem barju	26

KAZALO SLIK

Slika 1	Voda na hidrofobni površini	3
Slika 2	Voda na hidrofilni površini	3
Slika 3	Vodne kapljice oblikovane v lebdeče kroglice na vodoodbojni površini tal iz Ljubljanskega barja (čas posnetka 10 min po aplikaciji)	12
Slika 4	Vodne kapljice aplicirane na nevodoodbojno površino (čas posnetka takoj po aplikaciji)	13
Slika 5	WDPT test z vodnimi kapljicami s šestimi ponovitvami	14
Slika 6	Vodna kapljica na vodoodbojni površini (čas posnetka 90 min po aplikaciji)	15
Slika 7	Graf odvisnost potencialne vodoodbojnosti od masnih odstotkov vode (%) za vzorec Bohinj	20
Slika 8	Graf odvisnost potencialne vodoodbojnosti od masnih odstotkov vode (%) za vzorec Velike Lašče	21
Slika 9	Graf odvisnost potencialne vodoodbojnosti od masnih odstotkov vode (%) za vzorec Radovna hrib	22
Slika 10	Graf odvisnost potencialne vodoodbojnosti od masnih odstotkov vode (%) za vzorec Radovna dolinca	23
Slika 11	Graf odvisnost potencialne vodoodbojnosti od masnih odstotkov vode (%) za vzorec Ljubljansko barje	24
Slika 12	Odvisnost kritične količine vode (%) za vodoodbojnost tal od količine organske snovi (%) v tleh	26

1 UVOD

Vodoodbojnost tal zmanjšuje sposobnost sprejemanja vode v tla v taki meri, da preprečuje omočevanje tal za določeno obdobje. Takšno obdobje lahko traja od nekaj sekund, ur in celo do nekaj dni.

Vodoodbojnost tal lahko škodljivo vpliva na rast rastlin in ima velik pomen za geomorfne lastnosti tal. Zaradi hidrofobnih lastnosti tal namreč prvotno suha tla ne sprejemajo vode (padavinske vode) in voda tako ne pronica v zemljo. Voda se zadrži na površini tal in odteče po površju ali po makroporah v podtalnico. To povzroča zmanjšano infiltracijsko sposobnost tal, pojavijo se površinski odtoki vode ter s tem pospešena erozija tal, neenakomerno razporeditev vode v tleh, ustvarjanje preferenčnega toka vode v tleh in zaradi tega pospešeno izpiranje hranil.

Razmejitev med vodoodbojnimi tlemi in tlemi, ki sprejemajo vodo se določi na podlagi t.i. kritične količine vode. Če je vode v tleh nad kritično mejo, imajo taka tla lastnosti omočljivih tal. V kolikor je količina vode v tleh pod kritično mejo, se takšna tla štejejo za vodoodbojna.

Kritična količina vode v tleh je odvisna od tipa tal, strukture tal in vsebnosti gline. Pogoji za vodoodbojnost se ustvarijo takrat, ko se tla tako izsušijo in količina vode v tleh pade pod kritično. Posledice vodoodbojnosti tal lahko preprečimo z učinkovitim namakanjem in z vzdrževanjem vlažnosti tal nad kritično mejo količino vode.

Vzrok vodoodbojnosti lahko največkrat povežemo z visoko vsebnostjo organskih snovi v tleh. Organska tla lahko bolje zadržuje vodo v sušnih obdobjih, vendar po drugi strani slabše sprejemajo vodo, če so predhodno suha. V poletnih nevihtah oziroma ob krajšem trajanju močnejših padavin se tako tla ne omočijo, odvečna voda pa odteče po površini.

Prvič je bila vodoodbojnost zabeležena v Evropi že v letu 1917, resneje so se s tem začeli ukvarjati v šestdesetih letih. Med letom 1960 in 1970 se je obseg raziskave vodoodbojnosti tal povečal, predvsem z namenom izvajanja melioracij na območjih pojavljanja vodoodbojnosti. Izkazalo se je, da je takih tal veliko več, kot so mislili prvotno. Problemu vodoodbojnosti tal so veliko pozornosti posvetili na Nizozemskem, v Veliki Britaniji in v Grčiji, kjer vodoodbojnost postaja velik problem v kmetijstvu.

V Sloveniji zaenkrat še niso opravili raziskave, katere namen bi bil ugotoviti, ali obstajajo vodoodbojna tla tudi v Sloveniji. Glede na to, da iz raziskav, opravljenih v drugih državah (npr. na Nizozemskem, v Veliki Britaniji in v Grčiji) izhaja, da zaradi vodoodbojnosti tal nastaja škoda, smo se odločili, da izvedemo raziskavo o vodoodbojnosti izbranih tal tudi v Sloveniji. Predvidevali smo, da bomo našli vodoodbojnost tal tudi v Sloveniji. Raziskavo smo začeli na predpostavki, da se vodoodbojnost nahaja v tleh z veliko vsebnostjo organskih snovi, kot so barjanska tla, pašniki in travniki. Prav tako smo pričakovali, da se kritična vsebnost vode v tleh povečuje s stopnjo vodoodbojnosti.

2 PREGLED OBJAV

2.1 IZVOR VODOODBOJNOSTI TAL

Vodoodbojnost tal je relativen pojem, saj tla dejansko ne odbijajo vode. Vedno je neka privlačnost med tekočino in trdimi delci. V praksi popolna hidrofobnost ne obstaja (Tschapek, 1984, cit. po Doerr in sod., 1998).

Razlika med vodoodbojnimi in omočljivimi tlemi je v načinu sprejemanja in distribucije vode v tleh. Hidrofilna površina dovoljuje vodi, da se veže na površino, medtem ko se voda na hidrofobnih površinah ne veže na površino in se oblikuje v kroglico, ki lebdi na površini (Adam, 1963, cit. po Doerr in sod., 1998). Za vodoodbojna tla je značilno, da v tleh z majhnimi porami vodoodbojnost preprečuje infiltracijo, v tleh z veliki porami pa voda steče skozi. Zaradi hidrofobnih lastnosti organskih snovi se voda ne veže na posamezne talne delce (koloide), medtem ko se na hidrofilnih površinah ustvari vodni film, ki se veže na talne delce (Anderson, 1986, cit. po Doerr in sod., 1998).

Privlačnost ali odbojnost med vodo in trdimi delci izvira iz skupne privlačne sile (adhezija) in privlačnosti med molekulami vode (kohezije) (Doerr, 1998). Za razumevanje teh sil lahko izhajamo iz značilnosti vode:

Molekula vode (H_2O) vsebuje atom kisika (O), ki ima negativen naboj in dva atoma vodika (H) s pozitivnim nabojem. Kot vezi med kisikom in vodikoma je 105° , kar daje molekuli vode dipolarno strukturo. Privlačnost med pozitivnimi in negativnimi konci povzroča, da molekule vode formirajo agregate, ki jih skupaj držijo vodikove vezi. Voda se prilepi na večino naravnih površin, ker vsebujejo pozitivne in negativne ione, ki privlačijo negativne ali pozitivne konce molekule vode. Dipolna lastnost molekule vode povzroči, da se privlači na nabito površino s sorazmerno močno silo. Znotraj tekočine se sile izničijo, ker je obkrožena z drugimi molekulami. Na površini tekočine, kjer ne obstajajo druge molekule, ki bi delovale z nasprotno silo, privlačnost (sila) deluje navznoter in teži k čim manjši površini tekočine, tako da molekule tekočine prevzamejo obliko sfere (krogle).

Za povečanje (oz. preoblikovanje) površine tekočin je potrebno delo. Delo je povezano s površinsko napetostjo ali površinsko prosto energijo in jo izražamo v Newton na meter (N/m). Večina tekočin ima površinsko napetost med 20 in 40×10^{-3} N/m pri $20^\circ C$. Voda ima zaradi svojih specifičnih značilnosti visoko površinsko napetost $72,75 \times 10^{-3}$ N/m pri $20^\circ C$. Z večanjem temperature se površinska napetost znižuje (Parker, 1987, cit. po Doerr in sod., 1998).

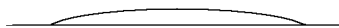
Enaka načela veljajo tudi za trdne površine, čeprav njihova trdnost preprečuje deformacijo v sferično obliko. Površinska napetost trdnih površin vodi k stranskim silam na površini. Trdna telesa imajo površinsko napetost med 500 in 5000×10^{-3} N/m odvisno od trdote in točke taljenja. Da se voda razporedi po trdni površini, morajo biti adhezivne sile med vodo in površino večje od kohezivnih sil med molekulami vode. Površine s prosto površinsko napetostjo večjo od vodne, privlačijo vodo in so tako hidrofilni. Večja kot je površinska

napetost, močnejša je privlačnost. Vsi glavni minerali v tleh imajo veliko večjo prosto energijo od vode in so tako hidrofilni. Medtem ko organske snovi kot so voski in organski polimeri dosežejo prosto površinsko napetost pod $72,75 \times 10^{-3}$ N/m pri 20 °C in so hidrofobni, torej ne privlačijo vode (Zisman, 1964, cit. po Doerr in sod., 1998).

Voda se na hidrofobnih površinah obnaša drugače kot na hidrofilnih površinah. Oblikuje se v kroglico, ki lebdi na površini (slika 1). Medtem ko se voda na hidrofilnih površinah razporedi po površini (slika 2).



Slika 1: Voda na hidrofobni površini



Slika 2: Voda na hidrofilni površini

2.2 VODOODBOJNOST TAL

Vodoodbojnost tal je večinoma sezonski pojav, močnejše je izražena v sušnih obdobjih, medtem ko je manj opazna v deževnih obdobjih. Vzpostavi se po izsušitvi tal. Polarni konci amfiličnih sestavin se v suhih tleh povezujejo z vodikovimi vezmi, kar je osnovni mehanizem za vzpostavitev vodoodbojnosti. Sile prisilijo molekule, da se s polarnimi konci pritrdijo na mineralno površino tal, nepolarni del pa gleda ven. Ponavadi je potrebno šest do devet dni suhega in toplega vremena, da se tla tako izsušijo, da postanejo optimalno vodoodbojna (Burch in sod., 1989).

V teoriji lahko že ena plast hidrofobnih molekul spremeni hidrofilne mineralne površine v hidrofobne (Zisman, 1964, cit. po Doerr in sod., 1998). Hidrofobne substance se absorbirajo kot majhne kepice ali se oblikujejo v plast, ki prekriva talne mineralne delce. Tako ponavadi talne delce prekriva več plasti hidrofobnih molekul. Vendar je količina hidrofobnih snovi v primerjavi s količino tal majhna. Močno vodoodbojnost lahko

povzroči na primer že 0,35 g hidrofobnih snovi na 1000 g srednje velikih talnih delcev (Doerr, 1998). Iskanje hidrofobnih prevlek z uporabo mikroskopa ne prinaša zanesljivih rezultatov, ker so talni delci prekriti z različnimi delci organske snovi različnega izvora, ki vsi niso povezani z vodoodbojnostjo in ker majhne delce hidrofobnih plasti ne zaznamo niti pod elektronskim mikroskopom.

Vodoodbojnost nastane zaradi prisotnosti hidrofobnih snovi, ki lahko prekrivajo mineralne delce ali se nahajajo samostojno v globularni obliki. Vodoodbojnost tal najpogosteje nastane prav zaradi organskih prevlek na mineralnih delcih. Če se te snovi nahajajo v porah hidrofilne matrice, zmanjšujejo omočitev. Močna vodoodbojnost je lahko prisotna v zmesi, ki vsebuje pet odstotkov organske snovi ali več. Za naravno hidrofobna tla je značilno, da delno vodoodbojnost povzroči prisotnost hidrofobnih delcev v tleh, močna vodoodbojnost pa je posledica prekrivanja talnih delcev z hidrofobno plastjo (Bisdom in sod., 1993).

2.3 IZVOR IN KARAKTERISTIKA HIDROFOBNIH SNOVI

2.3.1 Snovi, ki povzročajo vodoodbojnost

Snovi, ki povzročajo vodoodbojnost, so organske komponente, ki so derivati živih ali odmrlih razpadajočih rastlin in mikroorganizmov (Doerr in sod., 1998). Vodoodbojnost se pojavi zaradi akumulacije hidrofobnih snovi, ki jih oddajajo korenine ali kot stranski produkt gliv in mikrobov (Doerr in sod., 2005). Hidrofobne substance se pojavljajo v različnih oblikah iz različnih izvorov (preglednica 1).

Preglednica 1: Hidrofobne substance v naravi in njihov izvor (Horn in sod., 1963)

Hidrofobne substance	Izvor
n-alakni	bakterije, glive, alge, višje rastline
Olefini	bakterije, glive, alge, višje rastline
Terpenoidi	v mnogih rastlinskih voskih
Monoketoni	bakterije, višje rastline
β -diketoni	višje rastline (npr. evkalipi, trave)
Poliestri hidroksi maščobnih kislin	višje rastline (npr. bor)

Vnos hidrofobne substance iz rastlin v tla lahko poteka na naslednji način. Rastlinski voski, ki jih rastlina vsebuje za obrambo proti zmrzali ali obrambo proti sušnem stresu, lahko prispevajo tudi za zvišanje samoočiševalne sposobnosti listne površine. Po odmrtnju takih rastlin se voski vežejo na talne delce, kar potem povzroča vodoodbojnost tal (Neinhus in Barthlott, 1997).

Snovi, ki povzročajo vodoodbojnost tal, se delijo na dve glavni skupini. V prvo skupino spadajo alifatski ogljikovodiki. To so substance sestavljene iz vodika in ogljika, kjer so ogljikovi atomi razporejeni v razpotegnjeno verigo. So nepolarni (nimajo pozitivnega ali negativnega konca) in se ne raztapljajo v vodi.

Drugo skupino predstavljajo polarne amfilične strukture, ki vsebujejo ogljikovodikove vezi z funkcionalno skupino na enem koncu, ki je lahko pozitivna ali negativna. Na eni strani je hidrofilni del na drugi hidrofobni. Amfilične molekule so razgradljive v vodi, kljub temu pa z vezavo polarnih delcev na površino talnih delcev ustvarijo hidrofobni plašč, ki odbija vodo. V vodoodbojnih tleh najpogosteje najdemo prav sestavine iz te skupine in sicer: maščobne kisline, voski (estri) in soli maščobnih kislin (Hudson in sod., 1994).

2.3.2 Biološki viri hidrofobnih substanc

2.3.2.1 Rastlinstvo

V nekaterih raziskavah so pojav vodoodbojnosti povezovali z različnimi rastlinami, oziroma z razgradnjo rastlinskih ostankov. V večini so jih povezovali predvsem z zimzelenimi rastlinami, še posebno z rastlinami, ki vsebujejo veliko voskov, smol in aromatskih olj. Značilna predstavnik sta evkalipt in bor (Mallik in Rahman, 1985).

Tla pod travniki tudi lahko postanejo vodoodbojna, kar se še posebno v praksi pojavlja na igriščih za golf. Značilno je, da na takih površinah ostajajo suhi predeli, ki dolgo ostajajo suhi tudi po zalivanju.

Vodoodbojna tla se pogostokrat najde tudi na pašnikih. Pojavi se tudi na kmetijsko intenzivnih površinah, kjer gojijo rastline, ki povečujejo vodoodbojnost tal npr. modra lupina (*Lupinus costei* L.). Nekatere rastline izločajo hidrofobne substance v tla in si s tem omogočajo preživetje (alelopatija), saj rastlina zavira kalitev konkurenčnih rastlin ali povzroči zadrževanje vode v tleh s preprečevanjem izhlapevanjem vode iz površine tal (Doerr in sod., 1998).

2.3.2.2 Mikroorganizmi in glive v tleh

Vodoodbojnost povezujemo tudi z rastjo gliv in talnih mikroorganizmov, s katero je povezana tudi specifična rast vegetacije. Nekatere vrst gliv lahko inducirajo ali reducirajo hidrofobnost. Veliko vrst gliv ali alg izločajo hidrofobne snovi kot so alkani, olefini, itd. (York, 1993, cit. po Doerr in sod., 1998). Z vodoodbojnostjo povezujemo vrste mikroorganizmov in gliv, kot na primer *Penicillium nigricans* in *Aspargillus sydowi*, *Actinomyces* (mikroorganizmi z lastnosti glive in bakterije) (Jex in sod., 1985).

2.3.2.3 Organska snov in humus

Povezavo med vodoodbojnostjo in določeno vegetacijo ali delovanjem mikrobov in gliv v tleh težko določimo, medtem ko lahko korelacijo med organsko snovjo v tleh in vodoodbojnostjo dokažemo bolj neposredno. Čeprav to vedno ne drži za vse tipe tal, saj količina hidrofobnih snovi v tleh, ki povzroči vodoodbojnost ni vedno proporcionalna dejanski količini organskih snovi v tleh, še posebno v različnih plasteh tal. Zaradi tega je primernejše vodoodbojnost tal povezati s tipom tal kot s količino organske snovi. Močnejšo vodoodbojnost najdemo pod plastjo organskih ostankov (Doerr in sod., 1998).

Koncentracija lipidov, ki so hidrofobni, se zmanjšuje z razkrajanjem organskih ostankov (Valat in sod., 1991). Razkrajanje in prekomerna akumulacija hidrofobnih snovi je pomemben faktor vodoodbojnosti. Identificirane organske substance v hidrofobnih tleh vsebujejo dolgoverižne organske molekule, kot so karboksilna kislina (C_{16} - C_{24}), amidi (C_{14} - C_{24}), alkani (C_{25} - C_{31}), aldehidi, ketoni (C_{25} - C_{29}) in ostale kompleksne organske molekule (Morley in sod., 2005).

2.3.3 Nebiološki viri vodoodbojnosti tal

2.3.3.1 Ogenj in temperatura tal

DeBano (1991) je s sežiganjem in segrevanjem talnih organskih ostankov ugotovil, da ogenj lahko inducira ali zmanjša hidrofobnost tal glede na temperaturo sežiga, količino organskih snovi in vlage tal. Vročina, ki jo povzroči ogenj, lahko poveča povezanost hidrofobnih sestavin in jih naredi še bolj hidrofobne. Tako tlom, ki imajo več kot 2-3 % organskih snovi, ogenj poveča vodoodbojnost. Običajno se spremeni samo zgornji površinski sloj tal do višine, do katere se kaže vpliv visoke temperature na hidrofobne substance. Vzpostavljena vodoodbojnost se obdrži od nekaj mesecev do nekaj let preden preide v stanje pred ognjem, kar je odvisno od intenzitete vpliva visokih temperatur, tipov organskih sestavin, tipov tal in klime (DeBano, 1991, cit. po Doerr in sod., 1998).

Vodoodbojnost se okrepi pri temperaturi med 175-200 °C, pri temperaturi nad 270-300 °C pa se hidrofobne substance uničijo. Pri tem je pomemben tudi čas izpostavljenosti, saj se vodoodbojnost lahko poveča pri daljši izpostavljenosti tudi pri manjši temperaturi od 175 °C (Doerr in sod., 1998). Dekker in sodelavci (1998) so ugotovili, da sušenje vzorcev pri temperaturi 43 °C ali 70 °C povečuje vodoodbojnost tal zaradi formacije hidrofobnih molekul in možnega migriranja voskov iz organskih snovi na površino talnih delcev med samim segrevanjem vzorcev.

2.3.3.2 Tekstura tal in vsebnost gline

Vodoodbojnost so večinoma povezovali s tlemi, ki imajo grobo teksturo oziroma s peščenimi tlemi, ker imajo manjšo površino na enoto volumna kot fina tekstura. Srednja groba struktura peščenih tal ima površino talnih delcev $0,0077 \text{ m}^2/\text{g}$, glinena tla pa imajo površino $900 \text{ m}^2/\text{g}$. Hidrofobne substance prej prekrijejo manjšo površino v grobih tleh in prej ustvarijo vodoodbojnost.

Vodoodbojnost se pojavlja v tleh, ki vsebuje manj kot 10 % gline. Tako lahko z dodajanjem gline znižujemo efekt vodoodbojnosti v peščenih tleh (Doerr in sod., 1998). Kljub temu so našli vodoodbojnost tudi v tleh, ki so vsebovala več kot 25 % gline.

2.4 LASTNOSTI IN POSLEDICE VODOODBOJNIH TAL

Najbolj pogosti posledici vodoodbojnosti tal sta zmanjšana infiltracija vode in povečan površinski odtok. Tako imajo vodoodbojna tla tudi do 25 krat manjšo infiltracijsko sposobnost kot podobna hidrofilna tla. Vodoodbojna površinska plast povzroči, da se na površini tal deževnica zbira v jezerčka (luže) in če so padavine obilne, prihaja do površinskega odtoka. Površinski odtok povzroča izgubo zaščitne vegetacijske prevleke, erozijo propustne vrhnje plasti in izgubo organskih snovi (Doerr in sod., 1998).

Vodoodbojna plast se lahko nahaja tudi pod površjem, pod hidrofilno plastjo. Infiltrirana deževnica se zbira v lužo nad vodoodbojno plastjo, kar povzroči da:

- 1.se voda lahko shrani v hidrofilni plasti in lahko izhlapi ali se uporabi pri transpiraciji rastline,
- 2.odvečna voda odteče po površini, če so tla zasičena z vodo,
- 3.se pojavijo preferenčni tokovi v razpokah in luknjah vodoodbojne plasti.

2.4.1 Preferenčni ali prstasti tok

Preferenčni tok je povečan vertikalni pretok vode po najbolj ugodni poti skozi talno matrico. To je lahko posledica razpok, makropor, različne teksture tal, mešanja hidrofobnih in hidrofilnih tal (Ritsema in Dekker, 1994). Preferenčni tok je opazen kot nepravilna omočenost tal, pokaže se neenakomeren profil omočitve. Rezultat tega je, da tla niso v celoti preskrbljena z vodo. Voda odteče po makroporah in kanalih in je za vegetacijo neuporabna. Tvorijo se t.i. prstasti tok.

Prstasti tok se imenuje zato, ker se na profilu tal opazijo mokre sledi, ki spominjajo na iztegnjene prste. Nastane zaradi večjih makropor, preko katerih voda odteka, tla niso uniformna in so na nekaterih delih bolj vodoodbojna. Pri tem se manj vodoodbojni deli

prej omočijo in nastanejo vzorci prstastega toka. Prstasti tok se pojavlja večinoma na istih mestih (Ritsema in Dekker, 1994).

Glavna razlika med hidrofilnimi in hidrofobnimi tlemi je v obliki omočitve tal. Infiltracija vode v hidrofobnih tleh je neenakomerna in se kaže v obliki prstastega toka. V hidrofilnih tleh se voda enakomerno porazdeli po horizontih.

Tla s hidrofobnimi lastnosti oz. vodoodbojna tla lahko omejujejo ali zavirajo infiltracijo vode. V takih tleh se lahko pojavi tudi preferenčni tok, ki povzroča neenakomerno porazdelitev vode. Slednje pa vpliva na rast rastlin. Preferenčni tok prav tako povzroča hitrejši transport vode skozi tla in s tem tudi hranil ter poveča nevarnost onesnaževanja podtalnice.

2.4.2 Površinski odtok in erozija

Zaradi zmanjšane infiltracije in povečanega površinskega odtoka je povišana tudi stopnja erodibilnosti, erozije, pojavljanja kanalov in potočkov na površini zemljišč. Erozija tal je toliko večja, če imajo tla manj vegetacije. Zaradi zadrževanja vode na površini tal po večjih intenzivnih padavinah se pojavijo odtočni kanali, kjer voda pospešeno odnaša talne delce in hranila (Doerr in sod., 1998).

Ogenj lahko neposredno vpliva na erodibilnost tal z odstranitvijo zaščitne vegetacije in rastlinskih ostankov, izgubo organske snovi in razbitja agregatov na manjše talne delce. Vodoodbojnost nosi tudi posredne posledice na proces erozije. Odnešeni material se akumulira na določenem območju. S tem se lahko akumulirajo tudi hidrofobne organske substance, kar povzroča, da se na tem območju pojavi vodoodbojnost tal (Doerr in sod., 1998).

2.5 OBSEG VODOODBOJNOSTI TAL

Večina vodoodbojnih tal se nahaja v semi aridnem oziroma mediteranskem klimatu. Vodoodbojnost tal so zabeležili v južni in zahodni Avstraliji, v jugozahodni in v severni Ameriki, v suhih predelih Afrike in v mediteranu. V Avstraliji je tako prizadetih 5 milijonov ha zemlje, kar pomeni 80% izgube v kmetijstvu. Vodoodbojna tla se v večjem obsegu nahajajo na Nizozemskem, kjer ocenjujejo, da je kar 75% kmetijskih obdelovalnih tal vodoodbojnih (Doerr in sod., 1998).

2.6 KLASIFIKACIJA VODOODBOJNOSTI TAL

Najbolj pogosti metodi za določevanje vodoodbojnosti tal sta metoda WDPT ('water droplet penetration time') in metoda MED ('Molarity of an Ethanol Droplet'). Pri metodi WDPT se meri čas vpivanja vodne kapljice v tla, medtem ko se pri metodi MED meri površinska tenzija tal. WDPT test je pokazatelj stabilnosti oziroma vztrajnosti vodoodbojnosti tal. Zaradi različne narave obeh metod, njuni rezultati niso medsebojno primerljivi (Dekker in sod., 1998).

Za metodo WDPT raziskovalci navajajo različen čas vpivanja kapljice vode v tla, ki je potreben za opredelitev določenih tal kot hidrofilnih oz. hidrofobnih. Tako je npr. čas vpojnosti kapljice hidrofilnih tal po Robertsu in Carbonu 1 sekunda, po Bisdomu 5 sekund in po Walshu 60 sekund (Doerr in sod., 1998). Rezultati med različnimi študijami niso povsem primerljivi, ker so nekateri avtorji poizkuse končali po šestih urah (3600 sekund), še preden se je vodna kapljica vpila v tla, drugi so poizkus opravljali dlje časa. Meritev z molarno metodo ni toliko razširjena, zato imamo na voljo med seboj malo primerjalnih podatkov.

V kolikor se vodna kapljica v tla vpije po več kot eni uri (WDPT > 1 h), ali če je rezultat merjenja površinske napetosti tal MED več kot 20%, se taka tla opredelijo kot ekstremno vodoodbojna tla (Dekker in Ritsema, 1994). Testi nam sicer pomagajo določevati klasifikacijo in stopnjo vodoodbojnosti, vendar niso vedno povsem povezani z dejanskim obnašanjem vode v tleh (Dekker in sod. 2001). Najbolj uveljavljena skala za določanje vodoodbojnosti, ki jo uporabljamo za klasifikacijo vodoodbojnih tal, je predstavljena v tabeli 2.

Preglednica 2: Razredi WDPT testa (test vpivanja vodne kapljice v tla) po Bisdom in sodelavci (1993)

Razredi	0	1	2	3	4	5	6
WDPT	<5 s	5-60 s	1-10 min	10-60 min	1-3 h	3-6 h	>6 h
	Močljiva tla	Zmerno vodoodbojna tla	Močno vodoodbojna tla	Zelo izrazito vodoodbojna tla	Ekstremno vodoodbojna tla		

Tlem lahko določimo potencialno ali dejansko vodoodbojnost. Potencialna vodoodbojnost tal nam pove, kakšna je stopnja vodoodbojnosti tal pri 0 % vode v tleh (popolnoma suha tla). Potencialno vodoodbojnost merimo v laboratoriju s predhodnim obdelovanjem in sušenjem vzorcev tal.

Dejanska vodoodbojnost tal nam pove, kakšna je stopnja vodoodbojnosti pri določeni količini vode v tleh. Dejansko vodoodbojnost tal določimo v naravi na terenu, kjer s hitrim testom določimo vodoodbojna tla. Za določevanje stopnje vodoodbojnosti tal najpogosteje uporabljamo WDPT test.

Parameter kritične količine vode v vodoodbojnih tleh se uporablja za določitev meje med vodoodbojnimi in omočljivimi tlemi. Pod kritično količino vode se tla štejejo kot vodoodbojna, nad to količino pa kot omočljiva. Kritična količina vode predstavlja pomemben parameter za tok in model transporta vode in snovi v vodoodbojnih tleh (Doerr in sod., 1998).

2.7 ODPRAVLJANJE VODOODBOJNOSTI

Hidrofobnost se ohrani do spremembe organske plasti tal. Spremembo lahko povzroči že kontakt z vodo, ki lahko sčasoma zmanjša hidrofobnost. Kjer je vodoodbojnost pogojena z prekrivanjem amfiličnih molekul na talnih delcih, voda znižuje molekulske povezave polarnih molekul, kar vodi do premestitve organske snovi od talnega delca in tako znižuje vodoodbojnost.

Vodoodbojnost tal se lahko zmanjša tudi, če površinske aktivne substance migrirajo s talnih delcev v vodo, dokler se površinska tenzija vode ne zniža tako, da se lahko infiltrira v tla (Doerr, 1998). Površinske aktivne substance lahko izhajajo iz huminske in fulvične kisline, ki se nahajata v tleh. Huminske kisline se lahko v večjih količinah raztapljajo v območju pH nad 6,5 (bazično okolje), fulvične kisline se raztapljajo v kislem in bazičnem okolju. Zato so fulvične kisline bolj pomembne pri zniževanju površinske tenzije vode. Če se spremeni (zmanjša) tenzija vode, pomeni, da lahko voda omoči tudi zmerne vodoodbojne tla, v močno vodoodbojnih tleh pa tega učinka ni (Tschapek, 1984, cit. po Doerr in sod. 1998)

Pri melioracijskih tehnikah za zniževanje učinka vodoodbojnosti tal se npr. tla kultivirajo z ustreznimi rastlinskimi vrstami, seje se v dolinice, kjer se voda zbira, tla se zmeša s hidrofilnimi tlemi, vnaša se glina itd. Najbolj uspešna metoda za zmanjšanje negativnih posledic vodoodbojnosti tal je vnašanje gline v tla, saj poveča zadrževanje vlage in hranil v tleh, vendar je precej draga (Doerr in sod., 1998).

3 MATERIALI IN METODE

Vzorci tal so bili izbrani na različnih lokacijah po celotni Sloveniji. Izbrali smo 15 vzorcev tal in sicer iz Bohinja, Velikih Lašč, Pod Stolom (2 vzorca), v Ormožu, pri Kovinarski Koči (2 vzorca), v Radovni (2 vzorca), na Ljubljanskem barju in na laboratorijskem polju Biotehniške fakultete v Ljubljani.

Vzorke smo jemali tudi na takih lokacijah, kjer smo predvidevali, da bodo rezultati pokazali vodoodbojnost. Predvidevali smo, da se bo vodoodbojnost pokazala v tleh z visoko vsebnostjo organskih snovi. Na podlagi takšne ocene smo vzorce pobrali na barju (Ljubljansko barje), na pašniku (Bohinj) in v bližini starih gnojišč (Velike Lašče). Vzorce smo pobirali na površini tal, vegetacijo in ostanke rastlin smo odstranili. Vzorce smo v nadaljnjem postopku posušili v pečici in nato zmleli ter presejali skozi sito na 2 mm.

V raziskavi smo uporabili naslednje materiale:

- Pečica za sušenje vzorcev tal
- Higrograf;
Proizvajalec: VEB FEINGERÄTEBAU
9362 DREBACH/ERZG. GDR
Tip 405 8432418 W 36547
Številka certifikata 162/99
- Plastični cilindri premera 5 cm in globoki 1 cm
- Destilirana voda
- Pipeta.

Pri študiji smo uporabili WDPT test. WDPT test smo uporabili tako na terenu za merjenje dejanske vodoodbojnosti, kot tudi pri posušeni vzorcih za merjenje potencialne vodoodbojnosti v laboratoriju. S to metodo smo ločili vodoodbojno tla od omočljivih tal.

Presejane vzorce smo uporabili za meritve potencialne vodoodbojnosti. Najprej smo določili stopnjo potencialne vodoodbojnosti pri popolnoma suhem vzorcu, nato smo določevali kritično vsebnost vode s postopnim dodajanjem vode v talni vzorec.

3.1 MERJENJE POTENCIALNE VODOODBOJNOSTI V LABORATORIJU

Za meritve potencialne vodoodbojnosti smo vzorce tal 24 ur sušili v sušilni pečici pri 105 °C. Po sušenju smo vzorce shranili v neprodušno zaprte plastične vrečke in jih pustili nadaljnjih 24 ur, da so se ohladili na sobno temperaturo (22-24 °C). Vzorce tal smo nato razporedili v plastične cilindre in nanje nanesli po tri kapljice destilirane vode (približno 80 µl). Merili smo čas vpijanja posamezne vodne kapljice v tla. Meritve smo opravili pri sobni temperaturi 22-24 °C ter pri relativni zračni vlagi 45-55 %.

Test WDPT poteka tako, da tri kapljice vode položimo s pipeto na površino vzorca in merimo čas pronicanja kapljice vode od trenutka položitve kapljice na površino do usedanja kapljice v tla (slika 3 in 4). Za posamezen vzorec smo porabili okoli 8 g tal, ki so bili razporejeni in poravnani v cilindru s premerom 5 cm in globine 1 cm. Pri vsaki meritvi smo imeli 6 ponovitev za posamezen tip tal (slika 5). Potencialno vodoodbojnost smo merili na istih vzorcih tal, ki smo jih po vsakem merjenju za 24 ur dali v pečico na 105 °C.

Merjenje kritične količine vode v tleh za vodoodbojnost smo izvedli tako, da smo vzorcu postopoma dodajali določen odstotek vode. Vzorec smo po merjenju ponovno posušili. Slika 6 prikazuje kapljico vode aplicirano na vodoodbojno površino po daljšem času, kjer se zaradi različnih sil majhni organski delci tal kopičijo na kapljici in potujejo po kapljici navzgor. Ti delci lahko sčasoma popolnoma prekrijejo kapljico vode, ki se lahko nato zaradi teže počasi pogreza v tla.



Slika 3: Vodne kapljice oblikovane v lebdeče kroglice na vodoodbojni površini tal iz Ljubljanskega barja (čas posnetka 10 min po aplikaciji)



Slika 4: Vodne kapljice aplicirane na nevoodbojno površino (čas posnetka takoj po aplikaciji)



Slika 5: WDPT test z vodnimi kapljicami s šestimi ponovitvami



Slika 6: Vodna kapljica na vodoodbojni površini (čas posnetka 90 min po aplikaciji)

3.2 DOLOČEVANJE KRITIČNE KOLIČINE VODE

Kritično količino vode, pri kateri se pojavi vodoodbojnost, smo določevali tako, da smo vzorčnim tlem, ki so pokazala potencialno vodoodbojnost, postopoma zviševali vsebnost vode. Tla smo najprej osušili, nato pa smo jim postopoma zviševali vsebnost vode do stopnje, pri kateri je vzorec pokazal konec vodoodbojnosti. Vodoodbojnost tal smo merili pri 2, 4, 6, 10, 15, 20, 25, 30, 35 in 40 masnih odstotkih vode. Masni odstotek vode nam pove, kakšno je razmerje med maso vode glede na maso suhih tal.

Maso vode, ki smo jo dodali, da smo dosegli želeni masni odstotek, smo določili na podlagi naslednje formule:

$$\omega = \frac{M_w}{M_s} \cdot 100\% \Rightarrow M_w = \omega \cdot M_s \quad \dots(1)$$

ω masni odstotek vode (%)

M_w masa vode (g)

M_s masa suhih tal (g)

Vzorec tal z dodano vodo smo pustili v neprodušno zaprti plastični vrečki najmanj 24 ur, da so se tla enakomerno navlažila. Predpostavili smo namreč, da se tudi najbolj vodoodbojna tla enakomerno navlažijo v 24 urah, če je vzorec majhen in če so tla dobro premešana.

3.3 MERJENJE DEJANSKE VODOODBOJNOSTI NA TERENU

Dejanska vodoodbojnost nam v primerjavi s potencialno vodoodbojnostjo pokaže dejansko stanje v naravi. Dejansko vodoodbojnost smo merili na Ljubljanskem barju. Meritve smo opravili z WDPT testom na treh različnih nivojih tal in sicer na površini tal, v globini 1 cm in v globini 3 cm.

Pri meritvi vodoodbojnosti tal smo na površino tal aplicirali tri kapljice destilirane vode. Nato smo spremljali čas vpivanja vode v tla. Ko so se vse kapljice vode vpila v tla, smo odgrnili zemljo do globine 1 cm in ponovili postopek (ponovno smo aplicirali nove kapljice vode in merili čas pronicanja vseh treh kapljic vode). Po pronicanju tudi teh treh kapljic vode, smo odgrnili zemljo do globine 3 cm in ponovili postopek. V neposredni okolici aplikacije vode smo predhodno vzeli vzorec tal za določanje trenutne vlage v tleh.

Vzorcem, ki so pokazali visoko vodoodbojnost, smo določili količino organskih snovi. Analizo so opravili v laboratorijih Kmetijskega inštituta Slovenije. Rezultati analize organske snovi s sežigom so pokazali relativno zelo visoko vsebnosti organske snovi. Vrednosti so se gibale od 30-61 % organske snovi (preglednice 4-8).

Preglednica 4: Količina suhe snovi (g/kg), vlage (g/kg), surovega pepela (g/kg) in organske snovi (%) za talni vzorec Ljubljansko barje

Parameter	Enota	V vzorcu
Suha snov	g/kg	850
Vlaga	g/kg	150
Surovi pepel	g/kg	256
Organska snov	%	59,4

Preglednica 5: Količina suhe snovi (g/kg), vlage (g/kg), surovega pepela (g/kg) in organske snovi (%) za talni vzorec Radovna dolinica

Parameter	Enota	V vzorcu
Suha snov	g/kg	914
Vlaga	g/kg	86
Surovi pepel	g/kg	576
Organska snov	%	33,8

Preglednica 6: Količina suhe snovi (g/kg), vlage (g/kg), surovega pepela (g/kg) in organske snovi (%) za talni vzorec Radovna hrib

Parameter	Enota	V vzorcu
Suha snov	g/kg	926
Vlaga	g/kg	74
Surovi pepel	g/kg	625
Organska snov	%	30,1

Preglednica 7: Količina suhe snovi (g/kg), vlage (g/kg), surovega pepela (g/kg) in organske snovi (%) za talni vzorec Velike Lašče

Parameter	Enota	V vzorcu
Suha snov	g/kg	832
Vlaga	g/kg	168
Surovi pepel	g/kg	389
Organska snov	%	44,3

Preglednica 8: Količina suhe snovi (g/kg), vlage (g/kg), surovega pepela (g/kg) in organske snovi (%) za talni vzorec Bohinj

Parameter	Enota	V vzorcu
Suha snov	g/kg	871
Vlaga	g/kg	129
Surovi pepel	g/kg	260
Organska snov	%	61,1

V nadaljnji analizi smo izločili tla, ki so se izkazala kot omočljiva (WDPT čas manj kot 5 sekund). Nato smo merili čas vpijanja vode v posamezni vzorec tal. Čas vpijanja vode smo merili v vzorcu, kateremu smo spreminjali masni odstotek vode, kot to izhaja iz preglednic v nadaljevanju. Meritve smo opravili v vzorcih, pridobljenih v Bohinju, v Velikih Laščah, v Radovni dolinci, v Radovni hribu in na Ljubljanskem barju.

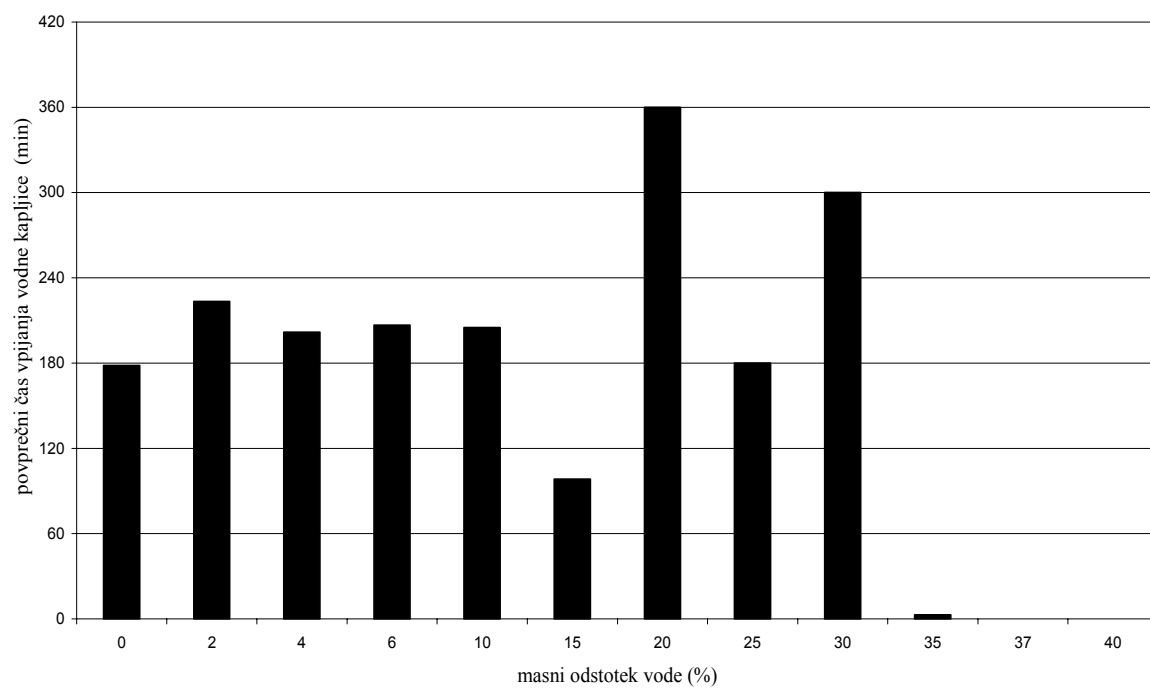
Iz preglednice 9 je razvidna stopnja potencialne vodoodbojnosti tal pri različnih masnih odstotkih vode za vzorec Bohinj.

Preglednica 9: Meritve potencialne vodoodbojnosti tal za vzorec Bohinj

Masni odstotek vode [%]	Čas vpijanja vodne kapljice [min]						Povprečje
	Ponovitve						
	1	2	3	4	5	6	
0	180	180	170	180	180	180	178,3
2	220	220	240	220	220	220	223,3
4	190	180	160	180	240	260	201,7
6	200	200	200	200	200	240	206,7
10	200	240	270	200	200	120	205,0
15	90	120	100	100	90	90	98,3
20	360*	360*	360*	360*	360*	360*	360,0
25	180	180	180	180	180	180	180,0
30	300	300	300	300	300	300	300,0
35	1,5	2	4	4	2	3,5	2,8
37	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s
40	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s

* čas trajanja poskusa smo ustavili, saj se kapljica po šestih urah ni vpila v zemljo. Za nadaljevanje poskusa čas WDPT nad 6 ur ni več pomemben.

Stopnja potencialne vodoodbojnosti tal za vzorce Bohinj je z večanjem masnega odstotka vode do stopnje 30 % ostala ekstremna. Ob 20 % vode v tleh je celo močno narasla. Ko je količina vode v vzorcu dosegla kritično količino je vodoodbojnost močno padla (slika 7). Tako izhaja iz preglednice, da je bila kritična vsebnost vode v tleh iz Bohinja med 35 % in 37 % vode.



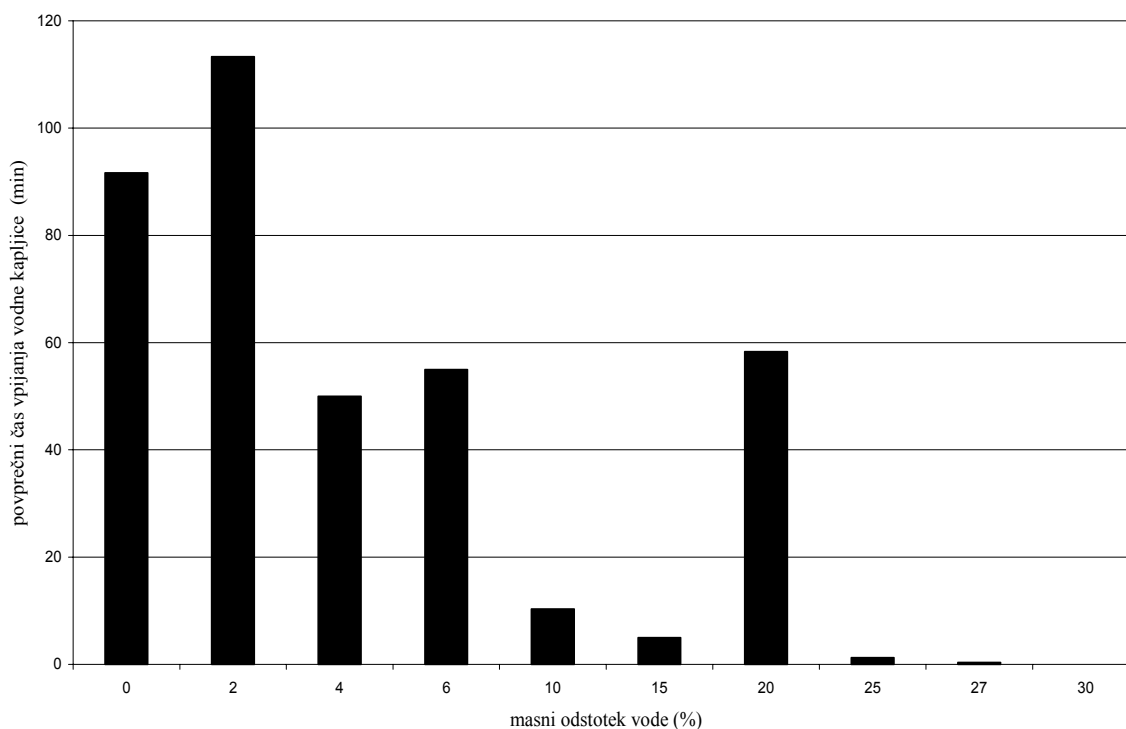
Slika 7: Graf odvisnosti potencialne vodoodbojnosti od masnih odstotkov vode (%) za vzorec Bohinj

Iz preglednice 10 je razvidna stopnja potencialne vodoodbojnosti tal pri različnih masnih odstotkih vode za vzorec Velike Lašče.

Preglednica 10: Meritve potencialne vodoodbojnosti tal za vzorec Velike Lašče

Masni odstotek vode [%]	Čas vpijanja vodne kapljice [min]						Povprečje
	Ponovitve						
	1	2	3	4	5	6	
0	90	90	90	90	90	100	91,7
2	90	110	120	120	120	120	113,3
4	50	50	50	50	50	50	50,0
6	60	50	50	60	50	60	55,0
10	11	11	11	11	8	10	10,3
15	5	5	6	5	5	4	5,0
20	60	70	30	50	60	80	58,3
25	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,2
27	0,3	0,3	0,5	0,5	0,3	0,3	0,4
30	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s	<5s

Stopnja potencialne vodoodbojnosti pri 0 % in 2 % vode v tleh je bila ekstremna. Vendar je pri večji količini vode v tleh stopnja vodoodbojnosti upadla. Pri 20 % vode v tleh opazimo močno porast vodoodbojnosti (slika 8). Kritična vsebnost vode v vzorcu tal iz Velikih Lašč je med 27 in 30 % vode.



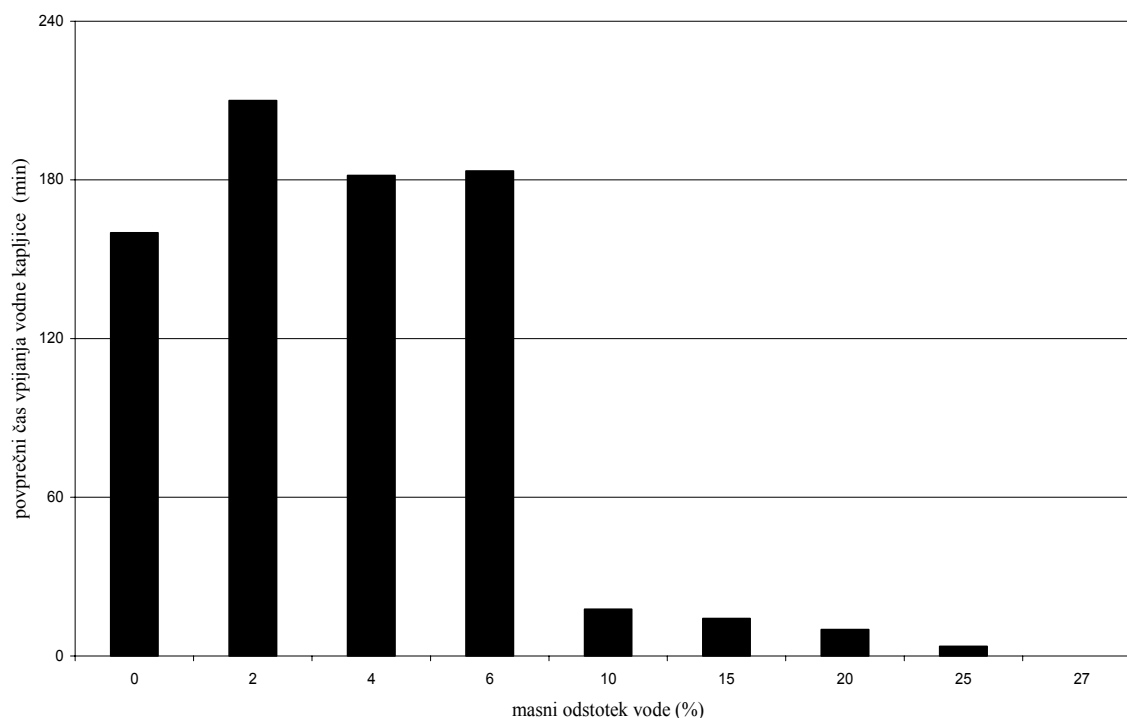
Slika 8: Graf odvisnosti potencialne vodoodbojnosti od masnih odstotkov vode (%) za vzorec Velike Lašče

Iz preglednice 11 je razvidna stopnja potencialne vodoodbojnosti tal pri različnih masnih odstotkih vode za vzorec Radovna hrib.

Preglednica 11: Meritve potencialne vodoodbojnosti tal za vzorec Radovna hrib

Masni odstotek vode [%]	Čas vpijanja vodne kapljice [min]						Povprečje
	Ponovitve						
	1	2	3	4	5	6	
0	170	150	150	110	210	170	160,0
2	220	220	140	220	220	240	210,0
4	200	160	150	200	180	200	181,7
6	100	200	200	200	200	200	183,3
10	17	20	20	17	15	17	17,7
15	15	15	15	15	15	10	14,2
20	3	10	15	10	10	12	10,0
25	3	5	0,5	5	3	5	3,6
27	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s	<5s

Stopnja potencialne vodoodbojnosti tal za vzorec Radovna hrib je bila ekstremna in se pri prvih 6 % vode v tleh ni bistveno spreminjala. V območju 10-20 % vode v tleh je bila v območju zelo izrazite vodoodbojnosti, ki se ni bistveno spreminjala. Kritična vsebnost vode v tleh iz Radovna hrib je med 25 in 27 % vode v tleh (slika 9).



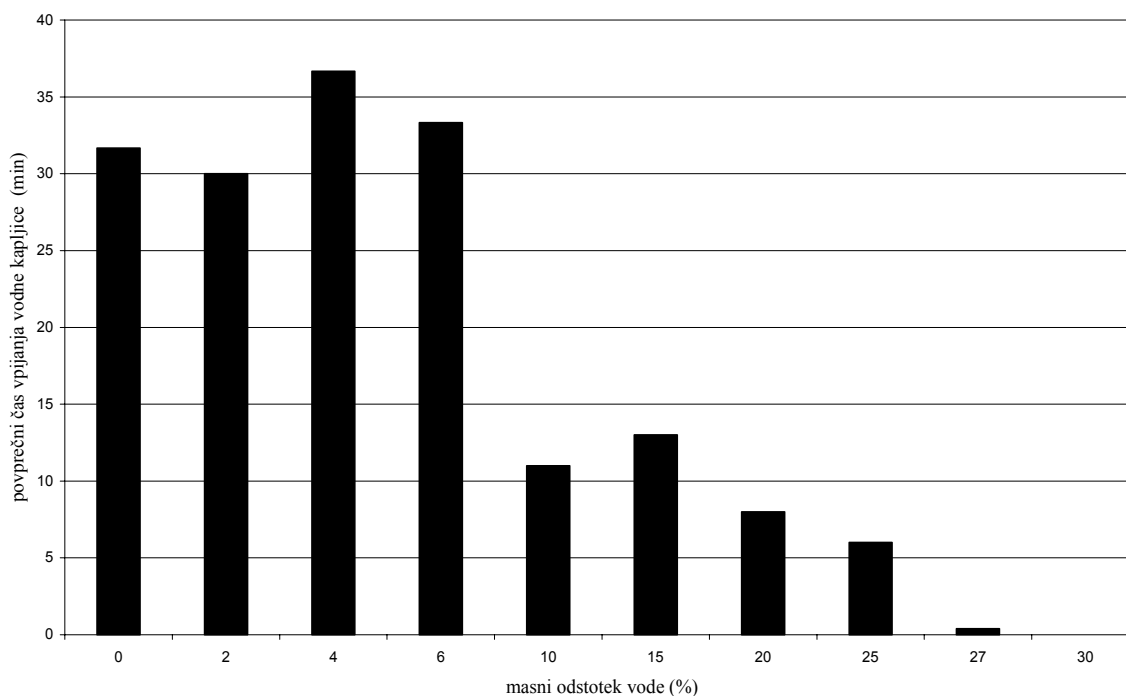
Slika 9: Graf odvisnosti potencialne vodoodbojnosti od masnih odstotkov vode (%) za vzorec Radovna hrib

Iz preglednice 12 je razvidna stopnja potencialne vodoodbojnosti tal pri različnih masnih odstotkih vode za vzorec Radovna dolinica.

Preglednica 12: Meritve potencialne vodoodbojnosti tal za vzorec Radovna dolinica

Masni odstotek vode [%]	Čas vpijanja vodne kapljice [min]						Povprečje
	Ponovitve						
	1	2	3	4	5	6	
0	30	30	30	30	30	40	31,7
2	30	30	30	30	30	30	30,0
4	40	30	30	40	40	40	36,7
6	30	40	30	40	30	30	33,3
10	12	12	10	12	10	10	11,0
15	15	15	3	15	15	15	13,0
20	8	3	11	10	8	8	8,0
25	5	8	8	2	8	5	6,0
27	0,3	0,5	0,5	0,3	0,3	0,5	0,4
30	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s

Stopnja potencialne vodoodbojnosti tal za vzorce Radovna dolinica je bila zelo izrazita. Najvišja stopnja potencialne vodoodbojnosti je bila podana pri 4 % vode v tleh. Kritična vsebnost vode v tleh iz Radovna dolinica je med 27 in 30 % vode. Iz slike 10 opazimo, da je nad 4 % vode v tleh vodoodbojnost padala.



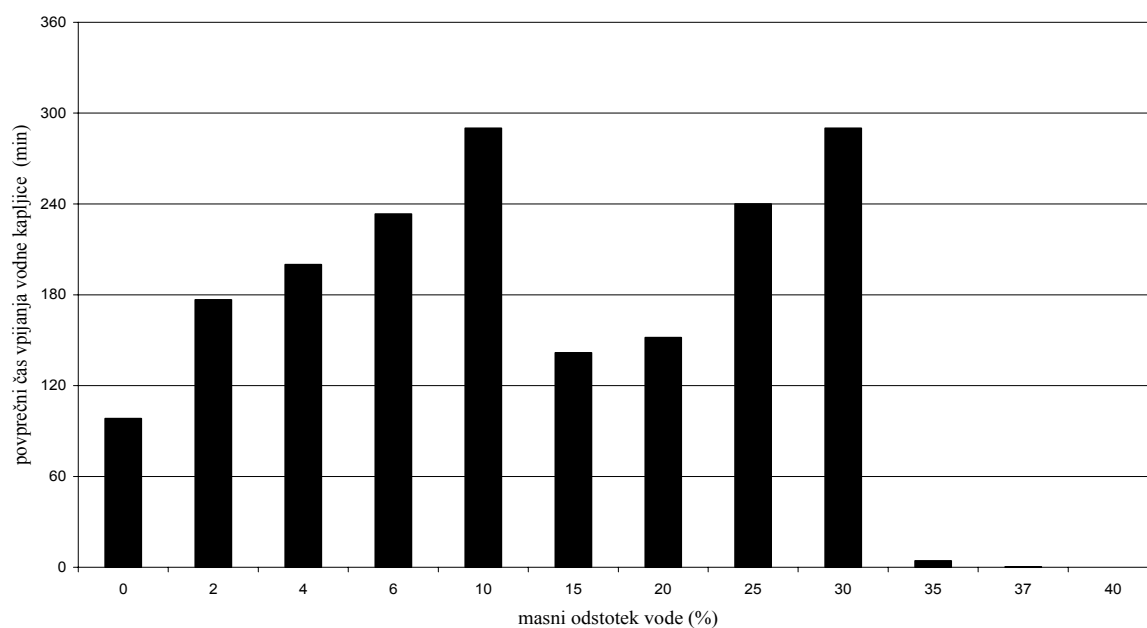
Slika 10: Graf odvisnosti potencialne vodoodbojnosti od masnih odstotkov vode (%) za vzorec Radovna dolinica

Iz preglednice 13 je razvidna stopnja potencialne vodoodbojnosti tal pri različnih masnih odstotkih vode za vzorec Ljubljansko barje.

Preglednica 13: Meritve potencialne vodoodbojnosti tal za vzorec Ljubljansko barje

Masni odstotek vode [%]	Čas vpijanja vodne kapljice [min]						Povprečje
	Ponovitve						
	1	2	3	4	5	6	
0	80	95	95	100	100	120	98,3
2	160	140	160	160	220	220	176,7
4	240	160	160	160	240	240	200,0
6	240	240	200	240	240	240	233,3
10	300	300	300	260	320	260	290,0
15	120	200	120	120	200	90	141,7
20	200	120	200	90	150	150	151,7
25	240	240	240	240	240	240	240,0
30	300	300	300	300	240	300	290,0
35	2	3	8	8	3	2	4,3
37	0,2	0,2	0,3	0,3	1	0,4	0,4
40	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s	<5 s

Stopnja potencialne vodoodbojnosti tal za vzorce iz Ljubljanskega barja je bila ekstremna. Za razliko od vzorca Radovna dolinica, ko je vodoodbojnost padala z dodajanjem vode, je v vzorcu iz Ljubljanskega barja vodoodbojnost naraščala z dodajanjem vode. Najmočnejša vodoodbojnost je bila, ko smo vzorcu dodali 30 % vode, potem pa je strmo padla. Kritična vsebnost vode v tleh iz Ljubljanskega barja je med 37 in 40% vode (slika 11).



Slika 11: Graf odvisnosti potencialne vodoodbojnosti od masnih odstotkov vode (%) za vzorec Ljubljansko barje

4.2 REZULTATI IN RAZPRAVA DOLOČEVANJA KRITIČNE KOLIČINE VODE V TLEH

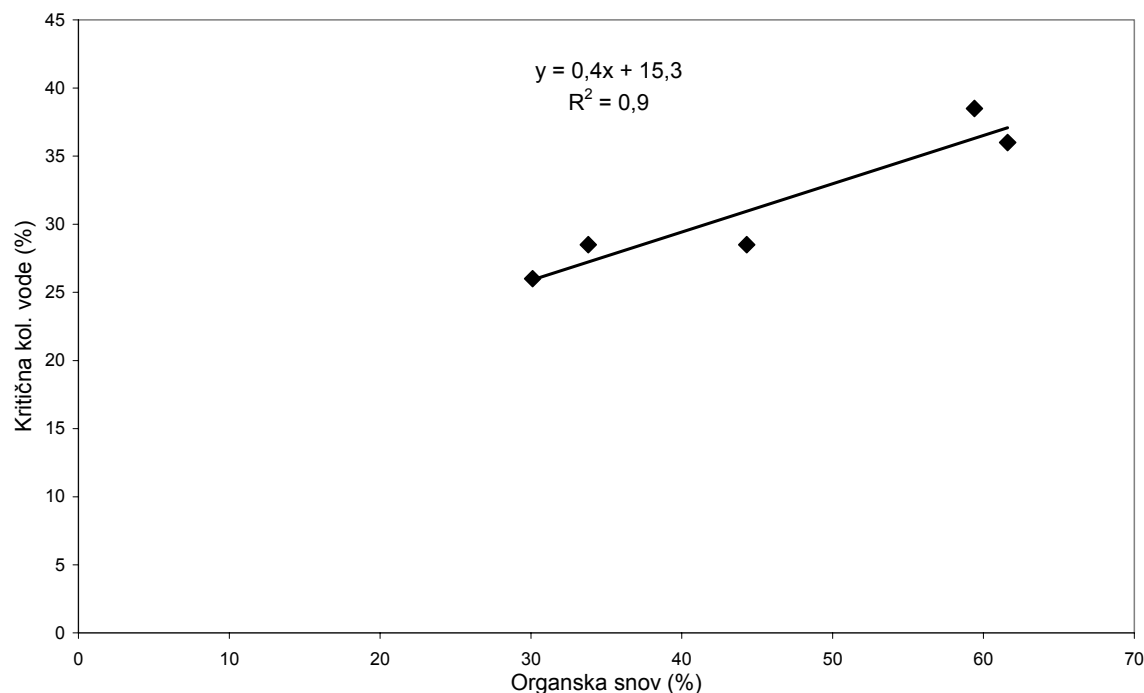
Rezultati meritev so pokazali, da so vzorci, ki so vsebovali visoko vsebnost organskih snovi (Bohinj, Ljubljansko barje, Velike Lašče, Radovna hrib in Radovna dolinica), pokazali zelo močno vodoodbojnost. Ti vzorci so imeli od 30 do 60 % organske snovi.

Stopnje potencialne vodoodbojnosti z vsebnostjo organske snovi pokaže, da lahko vzorci s podobno vsebnostjo organske snovi v tleh dosežejo različno stopnjo potencialne vodoodbojnosti (preglednica 14). Pri vzorcu Radovna dolinica, ki je vseboval 33,8 % organske snovi, je bila stopnja vodoodbojnosti mnogo nižja kot pri vzorcu Radovna hrib, ki je vseboval podobno vsebnost organske snovi (30,1 %). Stopnja potencialne vodoodbojnosti po WDPT testu v vzorcu Radovna dolinica je bila ekstremna, v vzorcu Radovna hrib pa razred nižja, zelo izrazita. Enako opazimo tudi pri primerjavi vzorca iz Bohinja in Ljubljanskega barje, ki sta imela podobno vsebnost organskih snovi, stopnja potencialne vodoodbojnosti pa je bila različna.

Preglednica 14: Vsebnost organske snovi (%), kritične količine vode (%) in stopnje potencialne vodoodbojnosti pri 0 % vode pri petih vodoodbojnih vzorcih tal

Vzorec	Organska snov [%]	Kritična količina vode [%]	Stopnja potencialne vodoodbojnosti (0 % vode) [min]
Bohinj	61,6	36	178
Ljubljansko barje	59,4	38,5	98
Velike Lašče	44,3	28,5	92
Radovna dolinica	33,8	28,5	32
Radovna hrib	30,1	26	160

Kritična količina vode v tleh, ko vodoodbojnost preneha, je v povprečju nad 26 % masnih odstotkov vode (Radovna hrib). Pri večjem odstotku organske snovi je bila tudi večja kritična količina vode v vzorcu tal. Kritična količina vode v tleh narašča z naraščanjem vsebnostjo organske snovi v tleh, kar prikazuje slika 12.



Slika 12: Odvisnost kritične količine vode (%) za vodoodbojnost tal od količine organske snovi (%) v tleh

Dodana trendna črta, ki ponazarja linearno naraščanje kritične količine vode (%) za vodoodbojnost tal glede na naraščanje količine organske snovi (%), je zelo zanesljiva saj je vrednost R-kvadrat 0,9. Ocenjena vrednost trendne črte je dokaj blizu dejanskim podatkom.

4.3 REZULTATI IN RAZPRAVA MERJENJA DEJANSKE VODOODBOJNOSTI NA TERENU

Za terensko merjenje dejanske vodoodbojnosti smo si izbrali lokacijo na Ljubljanskem barju. Meritve so bile opravljane tri dni po dežju, zato tla niso bila popolnoma suha. Meritve so bile opravljene na treh različnih globinah (preglednica 15). Rezultati prikazujejo močno dejansko vodoodbojnost tal pri masnem odstotku vode nad 44,8 %.

Tla v globini 3 cm pod površino niso pokazala vodoodbojnosti, ker je bila vsebnost vode nad kritično vsebnostjo. Po merjenju dejanske vodoodbojnosti na terenu lahko sklepamo, da se kritična količina vode nahaja med 45 in 90 % vode. Dejanska vodoodbojnost je bila višja od potencialne vodoodbojnosti, če gledamo po vsebnosti vode. Potencialna vodoodbojnost merjena v laboratoriju se je izničila pri 40 % vode, medtem ko merjenje na terenu pokaže vodoodbojnost nad 45 % vode.

Preglednica 15: Rezultati meritve dejanske vodoodbojnosti opravljene na Ljubljanskem barju

	WDPT test	Masni odstotek vode
Površina tal	1,5 min	46,5 %
1 cm pod površino tal	1 min	44,8 %
3 cm pod površino tal	<5s	90 %

5 SKLEPI

Raziskava je pokazala, da imamo tudi v Sloveniji vodoodbojna tla. Potencialno vodoodbojnost smo našli pri petih izbranih vzorcih (Ljubljansko barje, Bohinj, Velike Lašče, Radovna dolinica in Radovna hrib). Po pričakovanju so vsi vzorci, ki so pokazali potencialno vodoodbojnost, vsebovali visoko vsebnost organske snovi. Dejansko vodoodbojnost smo zabeležili tudi na terenu v naravi (Ljubljansko barje). Najvišjo stopnjo vodoodbojnosti (čas WDPT 178 min) je pokazal vzorec iz Bohinja, ki je vseboval tudi največ organskih snovi (61,6 %).

Pričakovanja, da so tla z večjo vsebnostjo organskih snovi tudi bolj vodoodbojna, se niso izkazala za pravilna. Stopnje vodoodbojnost ne moremo neposredno povezati z vsebnostjo organskih snovi. Kritična količina vode, ki je potrebna za izgubo vodoodbojnosti v tleh narašča z vsebnostjo organske snovi. Vendar povečevanje količine vode v tleh ne moremo povezovati z zmanjšanjem stopnje vodoodbojnosti, saj je iz rezultatov razvidno, da vodoodbojnost ne pada premosorazmerno z višanjem količine vode. Težko je tudi predvideti kritično količino vode v tleh, saj je preskok, kjer se pojavlja vodoodbojnost zelo oster in ga je težko predvideti. Stopnja vodoodbojnosti se je v nekaterih vzorcih (Bohinj, Ljubljansko barje, Velike Lašče) s povečanjem količine vode še povečala. Z dodajanjem vode vodoodbojnost ni padala, dokler se ni količina vode približala kritični količini vode, ko je vodoodbojnost strmo padla in izginila.

Za učinkovito določevanje vodoodbojnosti bi morali v raziskave vključiti več dejavnikov, predvsem določitev kemične zgradbe hidrofobnih organskih molekul, strukturo in teksturo tal za preučevanje preferenčnih tokov, vpliv vegetacije in koreninskega sistema, mikrobiološko sestavo, klimo in mikroklimo.

6 POVZETEK

Vodoodbojnost tal znižuje absorbcijo vode v tla v taki meri, da preprečuje omočitev tal za nekaj sekund ali tudi po nekaj ur. Posledica tega je slaba preskrba tal z vodo, neenakomerna porazdelitev vode v tleh, odtekanje vode po površini, erozija itd. Vodoodbojnost tal se vzpostavi takrat, ko so tla suha. Količina vode v tleh lahko znižuje stopnjo vodoodbojnosti. Stopnjo vodoodbojnosti največkrat povezujemo z veliko vsebnostjo organske snovi v tleh. Vendar na stopnjo vodoodbojnosti vplivajo tudi drugi dejavniki. Kritična količina vode v tleh predstavlja količino vode v tleh, pri kateri se vodoodbojnost izniči. Predstavlja mejo med vodoodbojnostjo in omočljivimi tlemi. V Sloveniji do sedaj še ni bila izpeljana nobena raziskava na temo vodoodbojnosti.

Za metodo dela smo si izbrali WDPT test. To je test vpijanja vodne kapljice v tla. Vzorce smo pobrali na različnih lokacijah po Sloveniji. Vzorce za določevanje potencialne vodoodbojnosti smo najprej pripravili tako, da smo jih presejali skozi sito (2 mm) in jih nato posušili v sušilni pečici pri 105 °C 24 ur. Ko so se ohladili, smo vzorce razporedili v cilindre in nanje položili kapljico vode. Nato smo merili čas vpijanja vodne kapljice. Dlje, ko kapljica vztraja na površini tal, večja je stopnja vodoodbojnosti. Vzorcem tal, ki so pokazali vodoodbojnost, smo nato določili kritično količino vode v tleh. To je potekalo tako, da smo postopoma dodajali določeno količino vode v tla. Količina vode pri kateri se vodoodbojnost izniči, imenujemo kritična količina vode. Meritev dejanske stopnje vodoodbojnosti je potekalo na terenu brez predhodne obdelave vzorcev.

Potencialno vodoodbojnost smo našli pri petih izbranih vzorcih (Ljubljansko barje, Bohinj, Velike Lašče, Radovna dolinica in Radovna hrib). Vzorec tal iz Radovne dolinice je pokazal zelo izrazito vodoodbojnost (čas WDPT 10-60 minut). Medtem ko so vzorci iz Ljubljanskega barja, Bohinja, Velikih Lašč in Radovne hrib pokazali ekstremno vodoodbojnost (čas WDPT 1-3 ure). Pri tleh, ki niso pokazala vodoodbojnosti, je bil čas WDPT pod petimi sekundami.

Vzorci, ki so pokazali določeno stopnjo vodoodbojnosti, so imeli tudi zelo veliko vsebnost organske snovi (30 -60 % organske snovi). Vendar vsebnost organske snovi ne vpliva na samo stopnjo vodoodbojnosti, saj stopnja vodoodbojnosti ni premosorazmerno naraščala z vsebnostjo organske snovi. Kritično vsebnost vode v tleh, ko vodoodbojnost izgine je v povprečju nad 26 % vode in narašča z vsebnostjo organskih snovi.

Vodoodbojnost je povezana z humoznimi tlemi, ki imajo visoko vsebnost organskih snovi. Kritična količina vode narašča z vsebnostjo organskih snovi v tleh. V preteklosti je v svetu za vodoodbojnost veljala prej za izjemo kot pravilo, v zadnjem desetletju pa je postalo jasno, da je vodoodbojnost vse pogostejši pojav v tleh.

Za učinkovito določevanje vodoodbojnosti bi morali v raziskave vključiti več dejavnikov, predvsem določitev kemične zgradbe hidrofobnih organskih molekul, strukturo in teksturo tal za preučevanje preferenčnih tokov, vpliv vegetacije in koreninskega sistema, mikrobiološko sestavo, klimo in mikroklimo.

7 VIRI

- Bisdom, E. B. A., Dekker, L. W. in Schoute, J. F. 1993. Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure. *Geoderma*, 56: 105–118.
- Burch, G. J., Moore, I. D. in Burns, J. 1989. Soil hydrophobic effects on infiltration and catchment runoff. *Hydrological Processes*, 3: 211–222
- Dekker, L. W. and Ritsema, C. J. 1994. How water moves in a water-repellent sandy soil: Potential and actual water-repellency. *Water Resources Research* 30: 2507–2517.
- Dekker, L. W., Ritsema, C. J., Oostindie, K. and Boersma, O. H. 1998. Effect of drying temperature on the severity of soil water repellency. *Soil Science*, 163 10: 780–796.
- Dekker, L. W., Doerr, S. H, Oostindie, K., Ziogas, A. K., Ritsema, C.J. 2001. Water repellency and critical soil water content in a dune sand. *Soil Science Society of America Journal*, 65: 1667-1674
- Doerr, S. H., Shakesby, R. A., Walsh, R. P. D. 1998. Soil water repellency: its characteristic, causes and hydro-geomorphological consequences. *Earth Science Reviews*, 51: 33-65.
- Doerr, S. H. 1998. On standardising the "Water Drop Penetration Time" and the "Molarity of an Ethanol Droplet" techniques to classify soil water repellency: a case study using medium textured soils. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23: 663–668.
- Doerr, S. H., Llewellyn, C. T., Douglas, P. 2005. Extraction of compounds associated with water repellency in sandy soils of different origin. *Australian Journal of Soil Research*, 43: 225-273
- Horn, D. H. S., Kranz, Z. H. in Lamberton, J. A. 1963. The composition of eucalyptus and other leaf waxes. *Australian Journal of Chemistry*, 17: 464–476.
- Hudson, R. A., Traina, S. J., Shane, W. W. 1994. Organic matter comparison of wettable and non-wettable soils from bentgrass sand greens. *Journal of the Soil Science Society of America*, 58: 361–367
- Jex, G. W., Bleakley, B. H., Hubbel, D. H., Munro, L. L. 1985. High humidity-induced increase in water-repellency in some sandy soils. *Journal of the Soil Science Society of America*, 49: 1177–1182.
- Mallik, A. U. in Rahman, A. A. 1985. Soil water repellency in regularly burned *Calluna* heathlands: comparison of three measuring techniques. *Environmental Management*, 20: 207–218.

Morley, C. P., Mainwaring, K. A., Doerr, S. H., Douglas, P., Llewellyn, C. T. in Dekker, L. W. 2005. Organic compounds at different depths in a sandy soil and their role in water repellency. *Australian Journal of Soil Research*, 43, 239-249.

Neinhuis, C. in Barthlott, W. 1997. Characterisation and distribution of water repellent, self-cleaning plant surfaces. *Annals of Botany*, 79: 667–677.

Ritsema, C. J. in Dekker, L. W. 1994. How water moves in a water repellent sandy soil: 2. Dynamics of fingered flow. *Water Resources Research*, 30: 2519–2531.

Valat, B., Jouany, C., Riviere, L. M. 1991. Characterisation of the wetting properties of air-dried peats and composts. *Soil Science*, 152: 100–107.