

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Žnidaršič, P., 2013. Meritve vodo-odbojnosti in infiltracije tal. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Šraj, M.): 35 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Žnidaršič, P., 2013. Meritve vodo-odbojnosti in infiltracije tal. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Šraj, M.): 35 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVA

MODUL HIDROTEHNIKA

Kandidatka:

PETRA ŽNIDARŠIČ

MERITVE VODOODBOJNOSTI IN INFILTRACIJE TAL

Diplomska naloga št.: 35/B-GR

MEASUREMENTS OF WATER REPELLENCY AND INFILTRATION OF THE SOIL

Graduation thesis No.: 35/B-GR

Mentorica:

doc. dr. Mojca Šraj

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Ljubljana, 12. 09. 2013

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisana **Petra Žnidaršič** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom »**Meritve vodoodbojnosti in infiltracije tal**«.

Izjavljam, da je elektronska različica povsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, september 2013

Petra Žnidaršič

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	556.536(043.2)
Avtor:	Petra Žnidaršič
Mentor:	doc. dr. Mojca Šraj
Naslov:	Meritve vodoodbojnosti in infiltracije tal
Tip dokumenta:	diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	35 str., 16 preg., 25 sl., 8 enačb
Ključne besede:	vodoodbojnost, infiltracija, količnik hidravlične prevodnosti, meritve, test vpijanja vodne kapljice v tla, mini disk infiltrimeter

Izvleček

Vodoodbojnost je zmanjšanje stopnje močenja tal, zaradi prisotnosti hidrofobnih delcev v tleh. Pojav vpijanja vode s površine tal v njeno notranjost imenujemo infiltracija. Tako vodoodbojnost kot infiltracija sta odvisna od več vplivov.

Vse meritve smo izvedli na treh različnih tipih tal, na vsakem v nivoju tal in v vkopu. Meritve vodoodbojnosti smo opravili z dvema metodama, in sicer s testom vpijanja vodne kapljice v tla (WDPT) ter z mini disk infiltrimetrom (MDI). Pri WDPT se meri čas, potreben da se kapljica vpije v tla, pri MDI metodi pa volumen infiltrirane vode v času 60 s ter pri srku -1 cm. Z MDI smo izvedli tudi meritve infiltracije, na podlagi katerih smo določili količnik hidravlične prevodnosti tal, ki je pomemben parameter prepustnosti zemljine.

Na podlagi rezultatov meritev smo ugotovili, da se tako vodoodbojnost kot tudi infiltracija z globino meritve spreminjata. Na vseh tipih tal je bilo namreč opaziti manjšo infiltracijo in večjo vodoodbojnost v vkopu kot v nivoju tal. Ugotovili smo močno korelacijo med obema meritvama vodoodbojnosti ter dobro korelacijo med meritvami vodoodbojnosti in infiltracije. Potrditev pravilnosti naših meritev smo poiskali v literaturi, saj so tudi drugi raziskovalci z meritvami pridobili rezultate primerljive našim.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 556.536(043.2)

Author: Petra Žnidaršič

Supervisor: Assist. Prof. Mojca Šraj, Ph.D.

Title: Measurements of water repellency and infiltration of the soil

Document type: Graduation Thesis – University studies

Scope and tools: 35 p., 16 tab., 25 fig., 8 eq.

Keywords: water repellency, infiltration, hydraulic conductivity, water drop penetration time, mini disk infiltrometer, measurements

Abstract

Soil water repellency is a reduction in the rate of wetting caused by the presence of hydrophobic coatings on soil particles. The occurrence of the absorption of water from the surface of the ground in its interior is called infiltration. Water resistance and infiltration are dependent on a number of influences.

All measurements were done on three different soil types at each at the ground level and in the trench. Water repellency measurements were performed by two methods, namely with water drop penetration time test (WDPT) and with mini disk infiltrometer (MDI). While performing WDPT we measured time that takes a drop of water to be absorbed into the ground, but with MDI we measured the volume of water which infiltrated in 60 s at suction -1 cm. We had also done measurements of infiltration with MDI and then we determined the ratio of soil hydraulic conductivity for each soil type. This ratio is an important parameter of permeability of the soil.

On the basis of the measurement results, we found out that the water repellency and infiltration change with depth. On all soil types has been observed less infiltration and increased water repellency in the trench than at ground level. We found a strong correlation between the WDPT and MDI measurements of water repellency and a good correlation between the measurements of water repellency and infiltration. Confirm the regularity of our measurements, we find in the literature, as well as other researchers obtained results comparable to our own.

ZAHVALA

Najprej bi se zahvalila mentorici doc. dr. Mojci Šraj za vso pomoč, popravke in uporabne nasvete pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvalila bi se družini in sorodnikom, ki so me v vseh letih študija spodbujali in podpirali. Posebna zahvala pa gre fantu Klemnu za pomoč pri nastajanju diplomske naloge.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	INFILTRACIJA	2
	2.1 Gibanje vode skozi zemljinu	2
	2.2 Določitev infiltracije	3
	2.2.1 Kapilarni dvig in srk	3
	2.2.2 Merjenje infiltracije z mini disk infiltrometrom (MDI)	4
	2.2.3 Izračun količnika hidravlične prevodnosti iz meritev z mini disk infiltrometrom	5
3	VODOODBOJNOST	8
	3.1 Pojav vodoodbojnosti	8
	3.2 Nastanek vodoodbojnosti	10
	3.3 Posledice in odprava vodoodbojnosti	11
	3.4 Merjenje vodoodbojnosti	12
	3.4.1 Test vpijanja vodne kapljice v tla (WDPT)	12
	3.4.2 Merjenje vodoodbojnosti z mini disk infiltrometrom (MDI)	13
4	MERITVE	14
	4.1 Opis območja meritev	14
	4.1.1 Podnebje in padavine	15
	4.1.2 Raba tal	16
	4.1.3 Geologija in pedologija območja	16
	4.2 Meritve	18
	4.2.1 Merilna mesta	18
	4.2.2 Določanje teksture tal	18

4.2.3 Meritve vodoodbojnosti	20
4.2.4 Meritve infiltracije	24
4.2.4.1 Primer izračuna količnika hidravlične prevodnosti	24
4.2.4.2 Rezultati meritev infiltracije.....	25
5 ANALIZA REZULTATOV MERITEV.....	26
5.1 Analiza rezultatov meritev vodoodbojnosti	26
5.2 Analiza rezultatov meritev infiltracije	29
5.3 Primerjava meritev	30
6 ZAKLJUČKI	32
VIRI	33

KAZALO SLIK

Slika 1: Nezasičena in zasičena cona tal (Prirejeno po USGS, 2013)	2
Slika 2: Dvig gladine vode v kapilarni cevki (Prirejeno po Hallett, 2007)	4
Slika 3: Sestavni deli MDI (Prirejeno po Decagon Devices, 2013).....	5
Slika 4: Kontaktni kot θ med kapljico vode in površino zemljine (Hallin in sod., 2011)	8
Slika 5: Oblike vodoodbojnosti glede na kontaktni kot med kapljico vode in zemljino (Prirejeno po Hallett, 2007)	9
Slika 6: Sprememba oblike spojine med sušenjem zemljine (Prirejeno po Hallett, 2007)	9
Slika 7: Nastanek hidrofobnih snovi v tleh (Prirejeno po Hallett, 2006).....	10
Slika 8: Sprememba retenzijske krivulje zaradi vodoodbojnosti (Prirejeno po Hallett, 2007)	11
Slika 9: Prikaz prevladujočih poti pretoka v tleh (Hallin in sod., 2011)	11
Slika 10: WDPT test (Hallin in sod., 2011)	12
Slika 11: Lega merilnega območja (vir podlage: Geopedia, 2013).....	14
Slika 12: Padavinsko območje potoka Globočec (vir podlage: Geopedia, 2013)	15
Slika 13: Povprečna mesečna količina padavin za postajo Sevno v obdobju 1961-1990 (vir podatkov: ARSO, 2013)	15
Slika 14: Raba tal eksperimentalnega območja (vir podlage: Geopedia, 2013)	16
Slika 15: Tipi prsti na eksperimentalnem območju z označenimi merilnimi mesti (vir podlage: Atlas okolja, 2013)	17
Slika 16: Prstni preizkus določanja teksture tal (Repe, 2006).....	19
Slika 17: Izvajanje meritev v nivoju tal (levo) in v vkopu (desno) na rendzini	20
Slika 18: Graf kumulativne infiltracije v odvisnosti od časa	25
Slika 19: Rezultati meritev vodoodbojnosti z WDPT in MDI v nivoju tal in v vkopu za vse tipe tal.....	26

Slika 20: Rezultati meritev vodoodbojnosti z WDPT in MDI v nivoju tal in v vkopu na rendzini	27
Slika 21: Rezultati meritev vodoodbojnosti z WDPT in MDI v nivoju tal in v vkopu na rjavih pokarbonatnih tleh	28
Slika 22: Rezultati meritev vodoodbojnosti z WDPT in MDI v nivoju tal in v vkopu na izpranih akričnih tleh	28
Slika 23: Primerjava vrednosti količnika K v vkopu in nivoju tal za različne tipe tal.....	29
Slika 24: Povezanost med meritvami vodoodbojnosti po metodah MDI in WDPT	30
Slika 25: Povezanost med vodoodbojnostjo po WDPT in infiltracijo (levo) ter med vodoodbojnostjo po MDI in infiltracijo (desno)	31

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Van Genuchtenovi parametri za 12 teksturnih razredov in vrednosti parametra <i>A</i> za radij diska 2.25 cm ter srk med 0.5 in 6 cm (Prirejeno po Decagon Devices, 2013)	6
Preglednica 2: Mejne vrednosti časov (v sekundah), ki jih različni avtorji uporabljajo za razvrščanje zemljin v različne razrede vodoodbojnosti (Prirejeno po Doerr, 1998)	13
Preglednica 3: Klasifikacija zemljin v 3 razrede vodoodbojnosti pri meritvah z MDI (Prirejeno po Robichaud in sod., 2008)	13
Preglednica 4: Merilna mesta z oznakami in koordinatami (določene z GPS)	18
Preglednica 5: Tekstura prsti, določena s prstnim preizkusom	19
Preglednica 6: Rezultati merjenja vodoodbojnosti na rendzini v nivoju tal	21
Preglednica 7: Rezultati merjenja vodoodbojnosti na rendzini v vkopu	21
Preglednica 8: Rezultati merjenja vodoodbojnosti na rjavih pokarbonatnih tleh v nivoju tal ..	22
Preglednica 9: Rezultati merjenja vodoodbojnosti na rjavih pokarbonatnih tleh v vkopu	22
Preglednica 10: Rezultati merjenja vodoodbojnosti na izpranih akričnih tleh v nivoju tal	23
Preglednica 11: Rezultati merjenja vodoodbojnosti na izpranih akričnih tleh v vkopu	23
Preglednica 12: Primer izračuna količnika hidravlične prevodnosti (rezultati 13. meritve na rendzini v nivoju tal)	24
Preglednica 13: Rezultati meritev infiltracije v nivoju tal in v vkopu na različnih tipih tal	25
Preglednica 14: Statistična analiza meritev vodoodbojnosti z WDPT za vse tri tipe tal	26
Preglednica 15: Statistična analiza meritev vodoodbojnosti z MDI za vse tri tipe tal	27
Preglednica 16: Vrednosti količnika hidravlične prevodnosti <i>K</i> razvrščene po velikosti	29

KRATICE

MDI mini disk infiltrometer

WDPT test časa vpivanja vodne kapljice v tla (angl. *Water Drop Penetration Time*)

ARSO Agencija Republike Slovenije za okolje

Ta stran je namenoma prazna.

1 UVOD

Voda je vir življenja na Zemlji, saj je poleg zraka najpomembnejša prvina za obstoj živih bitij. Čeprav je s kemijskega vidika to zelo enostavna spojina, sestavljena iz molekul z enim atomom kisika in dvema atomoma vodika, pa omogoča večino biokemijskih reakcij, ki so pomembne za življenje na tem planetu.

Približno tri četrtine površine našega planeta je prekrte z vodo, nekaj vode pa se skriva tudi v ozračju kot para, pod površjem kot podtalnica in v zemljini kot vlaga. Količina vode je na Zemlji že od njenega nastanka približno enaka, vendar pa se v njeni hidrosferi neprestano giblje. Ta proces kroženja vode, imenovan hidrološki krog, poganja energija, ki jo planet prejme od Sonca. Z Zemljine površine voda izhlapi v ozračje, se zbere v oblakih, tam kondenzira in spet pade na Zemljo v obliki padavin. Del teh padavin takoj spet izhlapi nazaj v atmosfero, del jih porabijo rastline za svoje življenje, del se je infiltrira v tla, preostanek pa odteče.

Infiltracija in površinski odtok sta torej pomembna dela vodnega kroga. S pronicanjem padlih padavin v zemljo se polni podtalnica, ki je pomemben vir pitne vode. Prav tako pa nekaj infiltrirane vode podpovršinsko odteče v vodotoke ali v morje, nekaj pa se je zadrži v zemljini in tako zagotavlja rastlinam pomembno tekočino za življenje. Če zemljina vsebuje hidrofobne snovi, pa se voda ne infiltrira, temveč površinsko odteče. Pojav imenujemo vodoodbojnost in že danes predstavlja velik problem za človeštvo.

Izkoriščanje vodnih virov v preteklosti je znatno osiromašilo svetovne zaloge vode, napovedi podnebnih sprememb pa kažejo, da se delež padavinske vode za kmetijstvo še zmanjšuje (Foster in Chilton, 2003). Poleg manjše količine uporabne vode pa problem predstavlja še naraščanje števila prebivalstva, s čimer bo narasla tudi potreba po pitni vodi ter potreba po vodi za namakanje.

V prvem delu diplomske naloge so predstavljene teoretične osnove infiltracije in vodoodbojnosti, v praktičnem delu pa rezultati meritev vodoodbojnosti z metodo vpijanja vodne kapljice v tla (WDPT) in mini disk infiltrimetrom (MDI) na različnih tipih tal. Z mini disk infiltrimetrom smo izvedli tudi meritve infiltracije. Vse meritve so izvedene v nivoju tal in v vkopu, tako da smo lahko analizirali tudi vpliv tega dejavnika na vodoodbojnost in infiltracijo. Glavni cilj naloge je analiza in primerjava rezultatov meritev ter določitev povezanosti med spremenljivkama.

2 INFILTRACIJA

Infiltracija je proces, pri katerem voda s površja tal pronica v zemljino (Lili in sod., 2008). Za razumevanje tega pojava pa moramo najprej obravnavati gibanje vode v tleh, kar je zajeto v sledečem poglavju.

2.1 Gibanje vode skozi zemljino

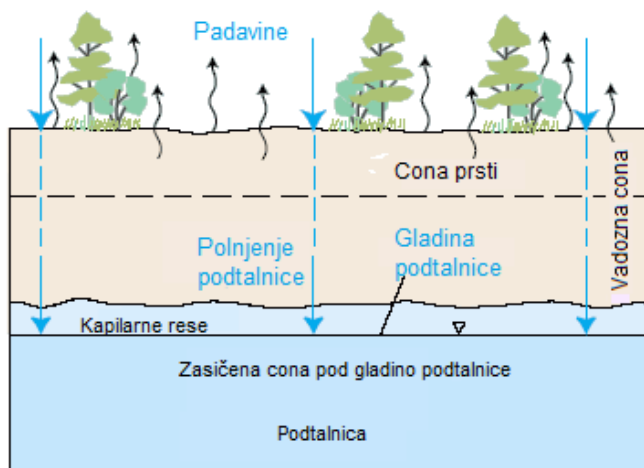
Tla so sestavljena iz delcev zemljine, vode in zraka. Gre torej za trifazni sistem, saj so tla sestavljena iz trdne, tekoče in plinaste snovi. Zrak, voda ali vodna para zapolnjujejo pore, to so prazni prostori med delci zemljine.

Gibanje vseh teles, tudi vode, poteka v smeri, kot to nakazuje rezultanta vseh sil na telo. Sile, ki delujejo na delec vode, so kapilarna sila, gravitacijska sila, sila zunanjega pritiska in sila hidrostatičnega pritiska (Soil Physics, 2013). Voda se giblje v zemljini zaradi razlik v vsebnosti vode ali zaradi gravitacije (Hallett, 2007).

Gravitacija je tista, zaradi katere se voda giblje navzdol, v nasprotno smer pa deluje na delec vode kapilarna sila. Pod pojmom kapilarna sila razumemo silo adhezijskega privlaka med delci zemljine in delci vode, ter silo kohezijskega privlaka med delci vode. Zaradi kohezije se oblikujejo kapljice na površini tal, adhezija pa je razlog, da se voda po določenem času vpije v tla.

Glede na pogoje zasičenosti, ki so prisotni v tleh, ločimo gibanje vode v zasičenih in nezasičenih pogojih. Količina infiltrirane vode je odvisna od predhodne vlažnosti tal, saj infiltracija poteka samo takrat, ko zemljina ni zasičena. Zasičeni pogoji so prisotni samo med padavinami in takoj po njih, pa tudi z globino se zasičenost spreminja.

Sloj tal delimo na zgornjo, vadozno cono in spodnjo, zasičeno cono, v kateri so vse pore zapolnjene le z vodo (slika 1). Meja med obema conama je gladina podtalnice. Zgornji del vadozne cone je območje, prepredeno z koreninami, odprtiniami in porami, ki omogočajo, da se voda infiltrira v zemljino (USGS, 2013). V zasičeni coni je gibanje odvisno le od gravitacije (Lili in sod., 2008).



Slika 1: Nezasičena in zasičena cona tal (Prirejeno po USGS, 2013)

2.2 Določitev infiltracije

Infiltracija je določena kot količina vode, ki prehaja skozi določeno površino tal v določenem času. Enačba, ki opisuje gibanje vode v tleh, izhaja iz Darcyjevega zakona. Spremembo vsebnosti vode v tleh s časom opišemo z enačbo za konvekcijsko razpršenost, ki pa je tako zapletena, da splošna analitična rešitev, ki bi omogočila njeno uporabo v praksi, ne obstaja (Hallett, 2007). Philip (1957) je opazil značilen potek infiltracije s časom in zanjo zapisal enačbo. Ker so infiltracijski časi majhni, se enačba lahko poenostavi in tako dobi končno obliko:

$$I = St^{1/2} + At. \quad (1)$$

Parameter S predstavlja sposobnost vpijanja tal, A pa je parameter, povezan s hidravlično prevodnostjo tal (Hallett, 2007). Oba parametra, A in S , sta odvisna od začetne stopnje vlažnosti tal.

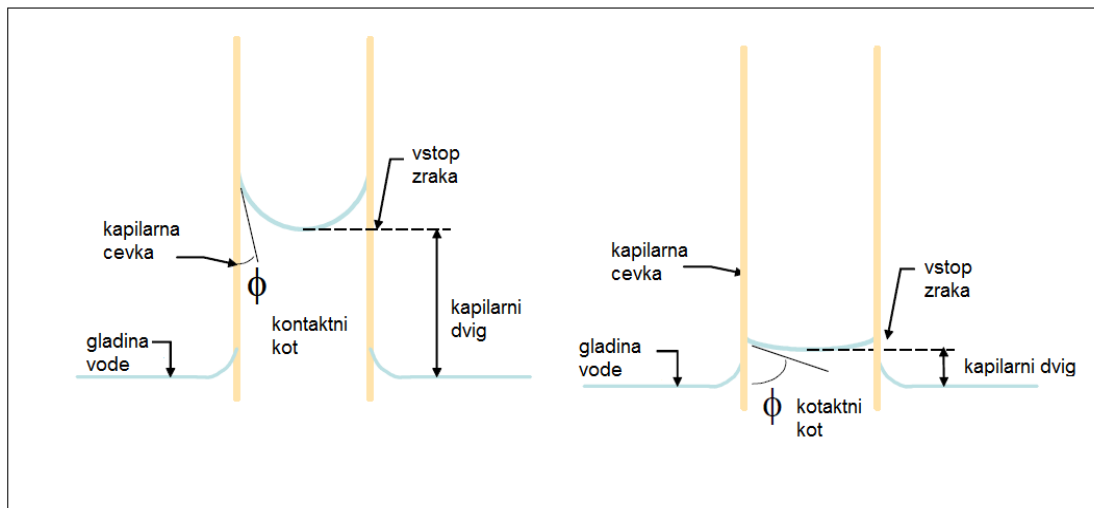
2.2.1 Kapilarni dvig in srk

Nad zasičeno cono se v tleh nahaja vadozna cona, kjer gibanje vode narekujejo kapilarne sile. Kapilarne sile delujejo v nasprotni smeri kot gravitacijske in nad gladino podtalnice ustvarjajo t.i. kapilarne rese. Pod vplivom kapilarnih sil se voda giblje iz bolj zasičenih v manj zasičene dele poroznega prostora (Brilly in Šraj, 2005).

Podoben pojav je dvig vode v kapilarni cevki, vendar pa je kapilarni dvig v naravi veliko bolj kompleksen. Kapilarni dvig je definiran kot dvig vode nad vodno gladino zaradi delovanja kapilarnih sil. Slika 2 prikazuje dvig gladine vode v kapilarni cevki. Opazimo lahko, da je za večji kontaktni kot dvig gladine manjši. Kapilarni dvig z je določen z razmerjem:

$$z = \frac{2\gamma}{r}, \quad (2)$$

pri čemer je γ površinska napetost in r radij por (Hallett, 2007). Sledi torej, da je za manjše pore kapilarni dvig večji.



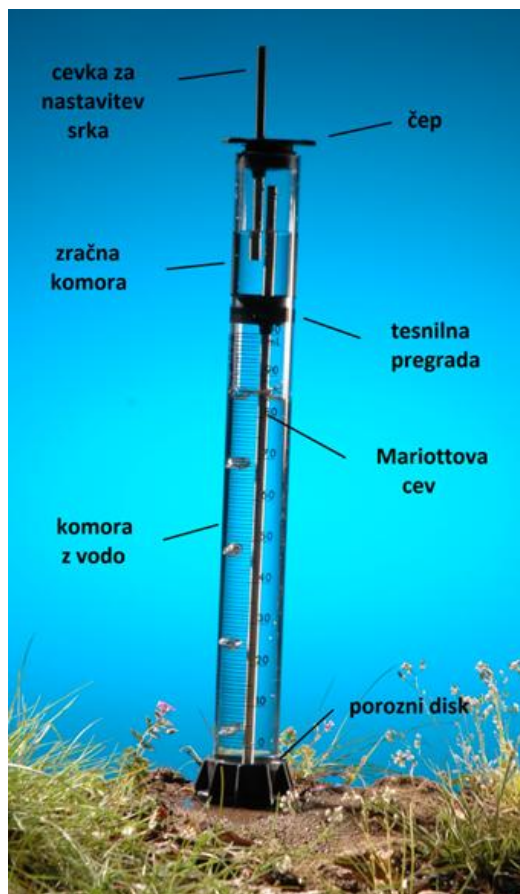
Slika 2: Dvig gladine vode v kapilarni cevki (Prirejeno po Hallett, 2007)

Srk je pojav, pri katerem je tekočina s tlakom, nižjim od atmosferskega tlaka, zaradi kapilarnosti vsrkana v porozno snov (Mikoš in sod., 2002). Odvisen je od volumske vsebnosti vode v zemljini, to odvisnost pa prikazuje t.i. retenzijska krivulja. Na podlagi retenzijske krivulje se določi pomemben parameter zemljine, tj. količnik hidravlične prevodnosti. Količnik, ki ga označujemo s K , je pomembna lastnost zemljine in določa zmožnost prevajanja vode skozi pore v tleh (Espinoza, 1999). Definiral ga je Henry Darcy leta 1856. Na količnik hidravlične prevodnosti vpliva viskoznost in gostota tekočine, ter lastnosti poroznega medija: oblika in velikost por, tekstura ter poroznost (Espinoza, 1999).

2.2.2 Merjenje infiltracije z mini disk infiltrimetrom (MDI)

Za merjenje infiltracije je na voljo več tipov infiltrimetrov, ki jih v grobem razdelimo na: cilindrične, razpršilne in tlačne infiltrimetre. Med slednje spada tudi mini disk infiltrimeter, s katerim smo izvedli meritve na terenu. Mini disk infiltrimeter (MDI) je idealen za meritve na terenu, saj je enostaven za prenašanje in uporabo.

Slika 3 prikazuje sestavne dele mini disk infiltrimetra. Zgornjo in spodnjo komoro se napolni z vodo. Na vrhu instrumenta je čep, skozenj pa poteka premična cevka, ki uravnava nastavitev srka ter s tem hitrost iztekanja vode. Med obema komorama je nepropustna pregrada, ki onemogoča prehod vode. V trenutku, ko se instrument dotakne tal, se začne skozi porozni disk na dnu infiltrimetra voda infiltrirati v tla. Zaradi srka vstopa zrak skozi cevko na vrhu instrumenta v zračno komoro, od tam pa skozi Mariottovo cev v spodnjo komoro, ter tako nadomesti infiltrirano količino vode. Na izbrane časovne intervale se odčita volumen vode v spodnji komori v ml. Iz izmerjenih podatkov o infiltrirani količini vode v izbranem času ter za določene lastnosti tal se izračuna količnik hidravlične prevodnosti.



Slika 3: Sestavni deli MDI (Prirejeno po Decagon Devices, 2013)

2.2.3 Izračun količnika hidravlične prevodnosti iz meritev z mini disk infiltrimetrom

Količnik hidravlične prevodnosti se določi na podlagi retenzijske krivulje tal. Van Genuchten je podal enačbo za opis te krivulje za nezasičena tla (van Genuchten, 1980). Na podlagi odvisnosti volumske vsebnosti vode od tlačne višine se lahko določi relativna hidravlična prevodnost. Van Genuchten je s poskusi določil parametre za različne teksture zemljin (preglednica 1), ki nastopajo v enačbi za izračun hidravlične prevodnosti.

Za določitev infiltracije je na voljo več različnih metod. Proizvajalec mini disk infiltrimetra predlaga za izračun uporabo Zahngove metode, ki je razmeroma enostavna in daje dobre rezultate za suha tla (Decagon Devices, 2013). Po tej metodi se določa kumulativna infiltracija v odvisnosti od časa, za izračun pa se uporabi naslednja enostavna enačba (Decagon Devices, 2013):

$$I = C_1 * t + C_2 * \sqrt{t}. \quad (3)$$

Parameter C_1 [m/s] je povezan s hidravlično prevodnostjo tal, parameter C_2 [m/s^{1/2}] pa je enak sorptivnosti tal.

Količnik hidravlične prevodnosti je določen z razmerjem:

$$k = \frac{C_1}{A}, \quad (4)$$

kjer je koeficient C_1 enak naklonu krivulje kumulativne infiltracije v odvisnosti od kvadratnega korena časa, koeficient A pa je vrednost, ki se nanaša na van Genuchtenove parametre za določeno zemljino, izbran srk in radij diska infiltrimetra (Decagon Devices, 2013). Parameter A se določi z enačbo:

$$A = \frac{11.65(n^{0.1}-1)\exp[7.5(n-1.9)ah_0]}{(ar_0)^{0.91}} \quad \text{za } n < 1.9 \quad \text{ozziroma} \quad (5)$$

$$A = \frac{11.65(n^{0.1}-1)\exp[2.92(n-1.9)ah_0]}{(ar_0)^{0.91}} \quad \text{za } n \geq 1.9, \quad (6)$$

pri čemer sta a in n van Genuchtenova parametra (preglednica 1), r_0 je radij diska MDI in h_0 srk na površini diska (Decagon Devices, 2013).

Preglednica 1: Van Genuchtenovi parametri za 12 teksturnih razredov in vrednosti parametra A za radij diska 2.25 cm ter srk med 0.5 in 6 cm (Prirejeno po Decagon Devices, 2013)

			h_0						
			-0.5	-1	-2	-3	-4	-5	-6
Tekstura	α	n	A						
Pesek	0.145	2.68	2.84	2.40	1.73	1.24	0.89	0.64	0.46
Ilovnati pesek	0.124	2.28	2.99	2.79	2.43	2.12	1.84	1.61	1.40
Peščena ilovica	0.075	1.89	3.88	3.89	3.91	3.93	3.95	3.98	4.00
Ilovica	0.036	1.56	5.46	5.72	6.27	6.87	7.53	8.25	9.05
Melj	0.016	1.37	7.92	8.18	8.71	9.29	9.90	10.55	11.24
Meljasta ilovica	0.020	1.41	7.10	7.37	7.93	8.53	9.19	9.89	10.64
Peščeno glinasta ilovica	0.059	1.48	3.21	3.52	4.24	5.11	6.15	7.41	8.92
Glinasta ilovica	0.019	1.31	5.86	6.11	6.64	7.23	7.86	8.55	9.30
Meljasto glinasta ilovica	0.010	1.23	7.89	8.09	8.51	8.95	9.41	9.90	10.41
Peščena glina	0.027	1.23	3.34	3.57	4.09	4.68	5.36	6.14	7.04
Meljasta glina	0.005	1.09	6.08	6.17	6.36	6.56	6.76	6.97	7.18
Glina	0.008	1.09	4.00	4.10	4.30	4.51	4.74	4.98	5.22

Če ima zemljina $n < 1.35$, kar je značilno za drobnozrnate, fine zemljine, Decagon Devices za izračun K namesto Zahngove enačbe predlaga Dohnalovo enačbo:

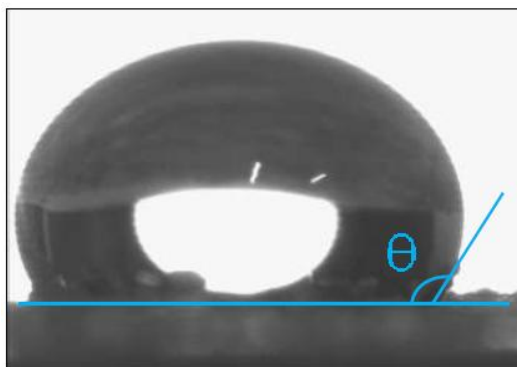
$$K = \frac{c_2 * (\alpha r_0)^{0.6}}{11.65(n^{0.82} - 1) \exp[34.65(n - 1.19)\alpha h_0]} \quad (7)$$

3 VODOODBOJNOST

Vodoodbojnost je pojav, pri katerem pride do odbijanja vodnih delcev od površine tal. Je relativen pojem, saj stooostotna vodoodbojnost ne obstaja, ker je privlak med delci zemljine in molekulami vode vedno prisoten. Vodoodbojnost zmanjšuje infiltracijo, njene posledice pa že v mnogih deželah sveta predstavljajo velik problem. Vzroki zanjo so tako naravni (razpadajoči organski materiali, izločki korenin, ipd.) kot tudi antropogeni (gozdni požari, onesnaženje z ogljikovodiki) (Hallin in sod., 2011).

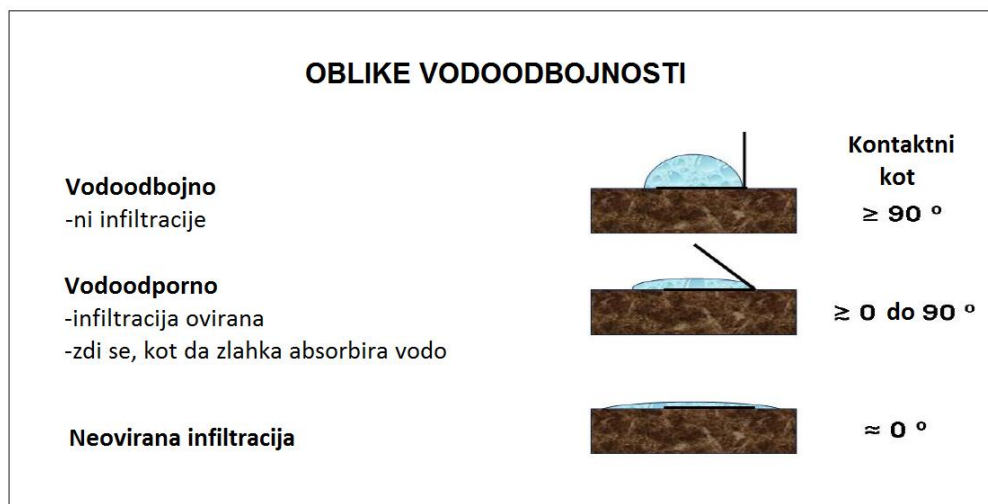
3.1 Pojav vodoodbojnosti

Vodoodbojnost je zmanjšanje stopnje močenja in zadrževanja vode v tleh zaradi prisotnosti hidrofobnih prevlek na talnih delcih (Hallett, 2007). Vodoodbojna oz. hidrofobna tla ne vpijajo vode, ampak se ta zadrži na površini zemljine kot kapljice sferične oblike, od koder lahko nato izhlapi, odteče ali pa se kasneje vpije v zemljino. Med kapljico vode in površino zemljine se formira značilni kontaktni kot θ , kar prikazuje slika 4. Kontaktni kot je za vodoodbojna tla večji od 90° (Hallett, 2007).



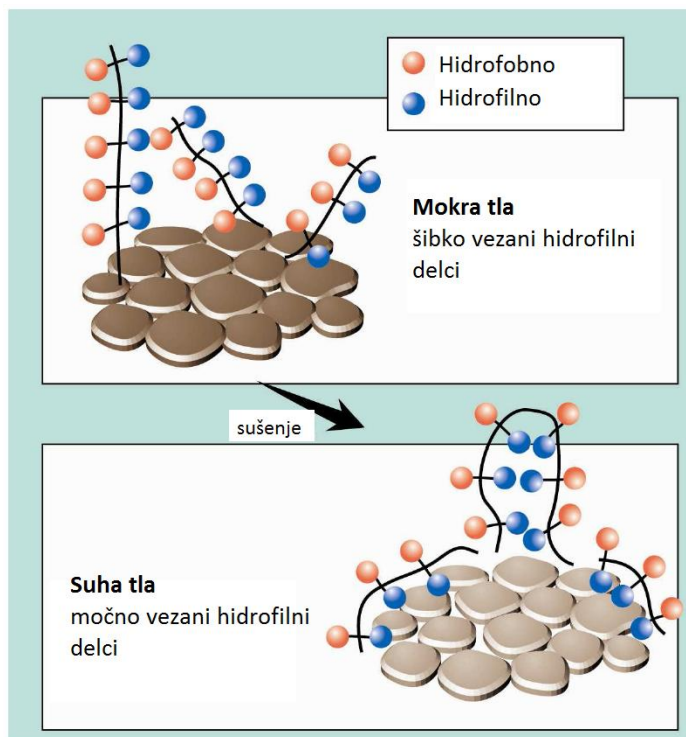
Slika 4: Kontaktni kot θ med kapljico vode in površino zemljine (Hallin in sod., 2011)

Fizikalne lastnosti vode lahko opišemo s kombinacijo dveh sil, ki ustvarjata površinsko napetost: adhezijska in kohezijska sila (opisano v poglavju 2.1). Zaradi kohezijske sile voda lahko tvori kapljice, adhezijska sila pa omogoča, da se delci vode razkropijo in vežejo na ostale delce. Torej fizikalno gledano se vodoodbojnost pojavi, ko adhezija prevladuje nad kohezijo. S kemijskega stališča pa so spojine, ki povzročajo vodoodbojnost, polarne s hidrofobnimi in hidrofilnimi konci (Poulter, 2006). Hidrofobni konci vodo odbijajo, nasprotno od teh pa hidrofilni konci vodo privlačijo. Kako vodoodbojna oz. hidrofobna je snov, določa kontaktni kot (slika 5).



Slika 5: Oblike vodoodbojnosti glede na kontakti kot med kapljico vode in zemljino (Prirejeno po Hallett, 2007)

S sušenjem se spremeni oblika spojine, tako da je hidrofobni konec izpostavljen zraku ali vodi v porah (Poulter, 2006). Zaradi manjše vlažnosti se spojina preoblikuje: hidrofilni delci se zdaj močno vežejo na delce zemljine, zato se voda težje veže nanje. Po sušenju so bolj izpostavljeni vodi hidrofobni delci, ki pa že v svojem bistvu odbijajo vodo. Tako se oblikuje hidrofobna plast, ki obdaja zrna, ter tako preprečuje vpijanje vode v tla. Slika 6 prikazuje spremembo spojine med dehidracijo.



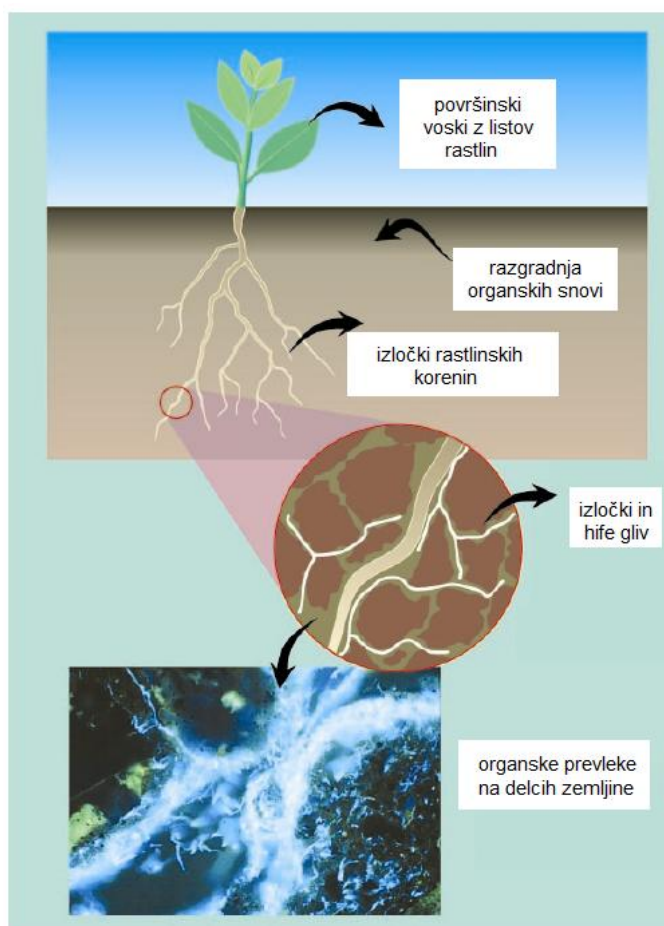
Slika 6: Sprememba oblike spojine med sušenjem zemljine (Prirejeno po Hallett, 2007)

Ko je vlažnost tal nad kritično vrednostjo, ki je za vsako zemljino drugačna, je vpliv vodoodbojnosti začasno odpravljen (Poulter, 2006). Vendar pa ob padcu vlažnosti pod to

vrednost, tla zopet postanejo hidrofobna in čas, potreben za infiltracijo vode, naraste. Pravimo, da omočljiva tla postanejo neomočljiva. Z dolgotrajnim vlaženjem lahko tla ohranimo omočljiva (Clothier in sod., 2000).

3.2 Nastanek vodoodbojnosti

Nastanek hidrofobnih organskih materialov povzročijo rastlinski koreninski izcedki, nekatere vrste gliv, površinski voski z listov rastlin in razpadajoče organske snovi v tleh, kar ilustrira slika 7 (Mainwaring in sod., 2004). Izločke proizvajajo korenine rastlin in nekateri mikrobi v zemlji za izboljšanje dostopnosti hranil in obrambo pred izsušitvijo (Hallett in sod., 2003). V mokrem so močno hidrofilni, ko pa vlažnost pade pod kritično vrednost, se hidrofilni delci močno vežejo med seboj in z ostalimi delci zemljine ter tako tvorijo hidrofobno površino, kot to prikazuje slika 6 (Dekker in sod., 1998). Že vsebnost od 3 do 6 % hidrofobnih snovi v zemljini povzroči težave pri močenju tal (Poulter, 2006).

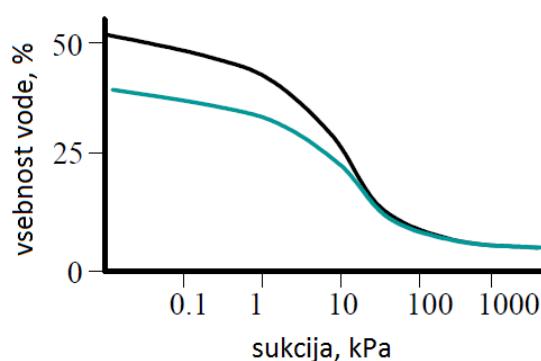


Slika 7: Nastanek hidrofobnih snovi v tleh (Prirejeno po Hallett, 2006)

Znanstveniki trdijo, da so peščena tla grobe teksture bolj dovzetna da postanejo vodoodbojna, saj imajo manjšo površino na enoto volumna v primerjavi z drobnozrnatimi (Poulter, 2006). Mnoge rekreacijske površine, zlasti golf igrišča, so urejene na peščenih tleh. Zaradi teksture tal so te površine bolj podvržene vplivu hidrofobnosti kot finejši materiali, poleg tega pa zaradi velike poroznosti ustvarjajo ugodno okolje za življenje gliv, s čimer se nastajanje vodoodbojnih snovi še poveča.

3.3 Posledice in odprava vodoodbojnosti

Vodoodbojnost ima več negativnih učinkov. V prvi vrsti povzroča večji površinski odtok. Posledica tega so manjše razpoložljive količine za rast rastlin, saj se voda ne vpije v zemljino, od koder bi jo rastline lahko preko korenin črpale, ampak površinsko odteče. Slika 8 prikazuje spremembo v vsebnosti vode v tleh zaradi vodoodbojnosti.



Slika 8: Sprememba retenzijske krivulje zaradi vodoodbojnosti (Prirejeno po Hallett, 2007)

Poleg tega pa se zaradi nehomogenosti zemljine pojavi tudi neenakomerna namočenost tal, kar se kaže predvsem na urejenih travnih površinah. Tam pride do pojava prevladujoče poti pretoka, ki ga imenujemo prstasti tok (slika 9). Posledica tega je izpiranje hranilnih snovi iz zemljine, pa tudi neenakomerna porazdeljenost kemikalij v tleh, vnešenih zaradi potreb kmetijstva. Na površini tal, pokritih s travno rušo, se pogosto oblikujejo tudi t.i. lokalne suhe zaplate (angl. *Localised Dry Spot- LDS*) (Poulter, 2006). To so suha območja nepravilnih oblik, kjer rastline trpijo zaradi pomanjkanja vode in hranil (slika 9).



Slika 9: Prikaz prevladujočih poti pretoka v tleh (Hallin in sod., 2011)

Vodoodbojnost je v svetu že zelo razširjen problem, proti kateremu se na nekaterih prizadetih območjih že borijo z dragimi ukrepi. Za zmanjšanje vodoodbojnosti tal obstajajo fizični, biološki in kemijski pristopi (Hallett, 2007). Fizična rešitev je obdelava tal, saj se na ta

način lahko odstranijo hidrofobne prevleke s površine delcev tal, lahko pa se zemljini tudi dodaja glino ter se s tem poveča površina delcev. Biološko rešitev predstavlja povečanje populacije bakterij, ki se prehranjujejo z hidrofobnimi snovmi. Najhitrejšo rešitev proti vodoodbojnosti predstavljajo kemična sredstva, ki povečujejo omočitev tal. Nekatere od teh spojin so detergenti, ki zmanjšujejo površinsko napetost vode za namakanje in imajo kratkoročne pozitivne učinke (Hallett, 2007). Dolgoročno pa imajo te spojine negativne posledice za okolje.

3.4 Merjenje vodoodbojnosti

Za merjenje vodoodbojnosti tal je bilo razvitih veliko različnih metod (Hallett, 2007). Najbolj razširjeni metodi sta test vpijanja vodne kapljice v tla oz. WDPT (angl. *Water Drop Penetration Time*) ter MED test (angl. *Molarity of an Ethanol Droplet*). Ker metodi temeljita na različnih standardih in klasifikacijah, sta medsebojno težko primerljivi (Doerr, 1998). Leta 2008 je prišla v uporabo nova metoda merjenja vodoodbojnosti, in sicer merjenje z MDI. Razvita je bila za potrebe analize pogorelih tal.

3.4.1 Test vpijanja vodne kapljice v tla (WDPT)

WDPT je enostaven test, ki pa kljub temu daje dobre rezultate. Uporablja se za merjenje vodoodbojnosti tako v laboratoriju (slika 10), kot tudi na terenu. Pri izvajanju tega testa je pomembna predhodna priprava površine, na katero bomo kanili kapljice vode. S površine je potrebno odstraniti liste, iglice, veje, večja zrna in ostale motnje, ki bi lahko vplivale na meritve. Pomembno je, da so kapljice približno enakih velikosti ter da jih ne kanemo z višine večje od 0.5 cm, saj bi kinetična energija kapljice lahko vplivala na rezultate meritev.



Slika 10: WDPT test (Hallin in sod., 2011)

Pri WDPT testu merimo čas, ki je potreben, da se kapljica vode, ki smo jo kanili na površino tal, vpije v zemljino. Če bi bila hidrofobnost neodvisna od trajanja stika vode z zemljino, bi se kapljica bodisi takoj vpila v tla (hidrofilna tla), bodisi bi ostala na površini tal, od koder bi kasneje odtekla ali izhlapela (hidrofobna tla). Pri tem testu merimo torej, koliko časa

hidrofobnost zemljine vztraja na površini tal ter tako preprečuje, da bi se voda vpila v zemljino. Glede na čas, potreben za infiltracijo, delimo zemljine v več razredov, od najbolj omočljivih pa vse do ekstremno vodoodbojnih. Različni avtorji navajajo različne čase, na podlagi katerih razvrščajo zemljine v različne razrede vodoodbojnosti (preglednica 2).

Preglednica 2: Mejne vrednosti časov (v sekundah), ki jih različni avtorji uporabljajo za razvrščanje zemljin v različne razrede vodoodbojnosti (Prirejeno po Doerr, 1998)

Klasifikacija	<i>Adams in sod. (1969)</i>	<i>Bisdorn in sod. (1993)</i>	<i>Doerr in sod. (1996)</i>	<i>Ma'shum & Farmer (1985)</i>	<i>McGhie & Carbon (1981)</i>	<i>Roberts & Carbon (1971)</i>
Hidrofilno	<10	<5	<60	<1	<60	<1
Malo hidrofobno	10–60	5–60	–	–	–	1–10
Hidrofobno	–	60–600	–	–	–	10–60
Zelo hidrofobno	>60	600-3600	–	–	–	>60
Ekstremno hidrofobno	–	>3600	>3600	–	–	–

3.4.2 Merjenje vodoodbojnosti z mini disk infiltrimetrom (MDI)

Leta 2008 so Robichaud in sodelavci za določitev vodoodbojnosti pogorelih tal v ZDA razvili novo metodo merjenja. Merjenje vodoodbojnosti z MDI je enostavnejše, hitrejše in manj subjektivno od WDPT (Robichaud in sod., 2008).

Mini disk infiltrimeter smo že opisali v poglavju 2.2.3. Pri meritvah na pogorelih tleh je bilo ugotovljeno, da je najbolj optimalen srk za določanje vodoodbojnosti -1 cm (Robichaud in sod., 2008). Ko je srk nastavljen in obe komori infiltrimetra napolnjeni z vodo, postavimo infiltrimeter na tla in pričnemo z merjenjem časa. Takoj ko postavimo infiltrimeter na površino tal, se zaradi srka prebije površinska napetost vode in voda začne iztekati skozi porozni disk v zemljino (Robichaud in sod., 2008). Ko preteče čas 60 sekund, odčitamo volumen vode, ki se je infiltriral v tem času. Preglednica 3 prikazuje razvrščanje zemljin na podlagi izmerjenega volumna v 3 razrede vodoodbojnosti.

Preglednica 3: Klasifikacija zemljin v 3 razrede vodoodbojnosti pri meritvah z MDI (Prirejeno po Robichaud in sod., 2008)

Stopnja vodoodbojnosti	Meritev z MDI v ml/min	Razred vodoodbojnosti
Brez	>8	0
Zmerno	3–8	1
Močno	<3	2

4 MERITVE

4.1 Opis območja meritev

Za območje meritev smo izbrali porečje manjšega vodotoka Globočec, ki se nahaja v severozahodnem delu Suhe krajine (slika 11). Ta potok se v Zagradcu izliva v reko Krko kot njen desni pritok. Kljub temu, da njegovo porečje meri skromnih 62 ha, pa je izvir Globočca pomemben vir pitne vode za večino prebivalcev Suhe krajine.



Slika 11: Lega merilnega območja (vir podlage: Geopedia, 2013)

To območje je kraški, rahlo gričevnat svet z vmesnimi dolinami. V tesni zatrepni dolini so trije kraški izviri Globočca, ki so jih leta 1937 zajezili in potok regulirali za suhokranjski vodovod (Pekolj, 2007). Blizu izvira so globoke kraške vrtače, najgloblja je Jerasova dolina. Ta dolina skupaj z Malo goro omejuje padavinsko območje Globočca na zahodu, na jugu pa je območje omejeno s Srednjim dolom. Meje območja od tod potekajo skozi vasi Malo Globoko in Grintovec, na vzhodu pa se območje konča z izlivom potoka v reko Krko (slika 12).

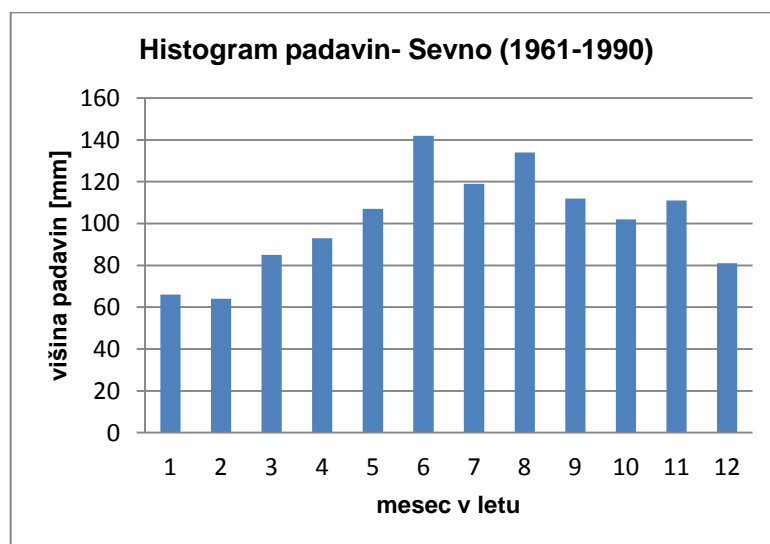
Izvir Globočca je najpomembnejši vodni vir za celotno Suho krajino, saj oskrbuje 67 % vseh prebivalcev (Pekolj, 2007). Omenjeni izvir je varovan z najožjim varstvenim pasom (območje 1) z najstrožjim režimom varovanja (Odlok o varstvu..., 1997). Srednji pretok Globočca znaša med 1.0 in 1.5 m³/s, najmanjši izmerjeni pa je bil 0.093 m³/s (Novak, 1985). Pretoki kažejo, da izvir napaja dokaj veliko ozemlje (Novak, 1985). Vendar pa gre tukaj v celoti kraško hidrografske zaledje z značilnim podzemeljskim vodnim pretakanjem, kjer so vodne poti še nejasne (Pekolj, 2007).



Slika 12: Padavinsko območje potoka Globočec (vir podlage: Geopedia, 2013)

V nadaljevanju so predstavljeni dejavniki, ki pomembno vplivajo na infiltracijo in vodoodbojnost izbranega območja in sicer: podnebje in padavine, raba tal, geologija ter pedologija.

4.1.1 Podnebje in padavine



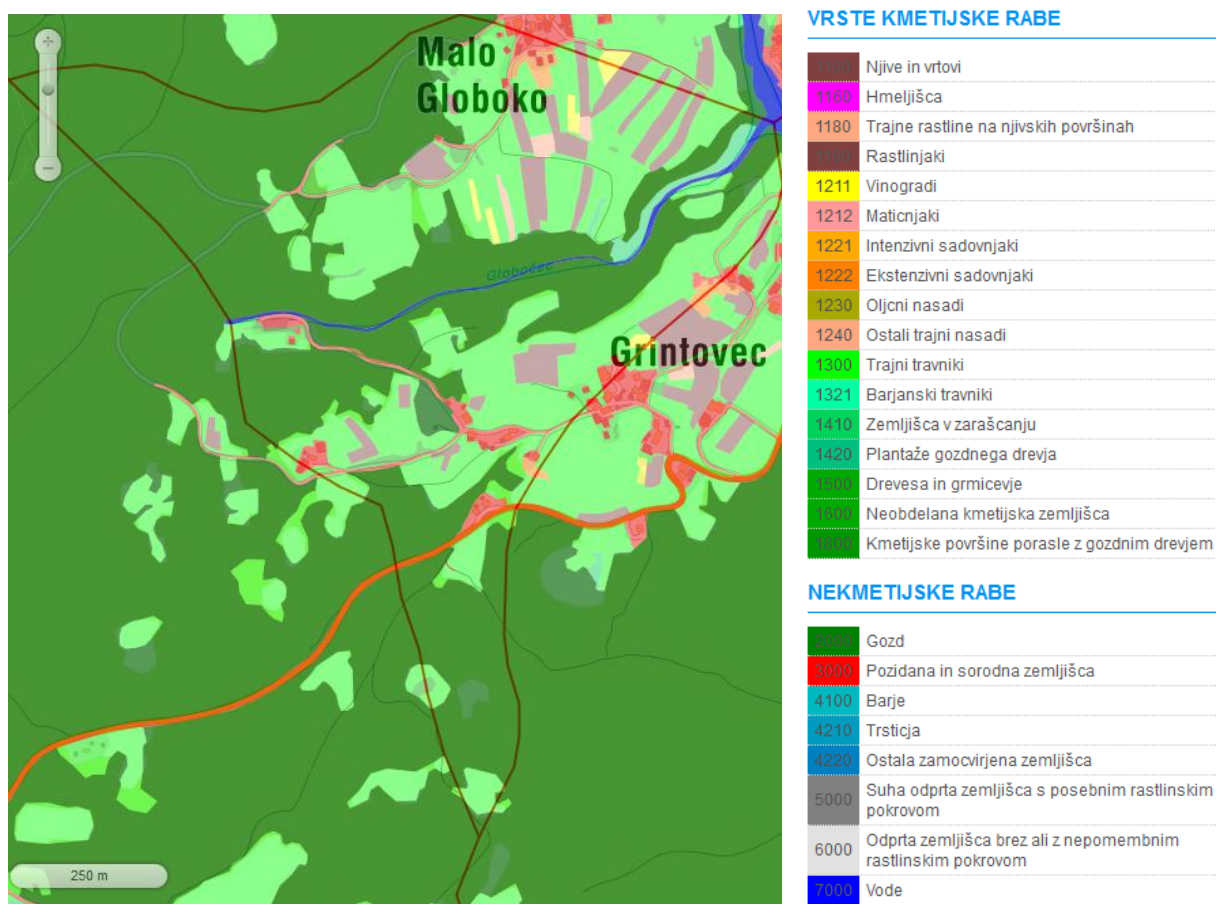
Slika 13: Povprečna mesečna količina padavin za postajo Sevno v obdobju 1961-1990 (vir podatkov: ARSO, 2013)

Padavinsko območje Globočca pripada zmernocelinskemu podnebju osrednje Slovenije. Najbližja klimatološka postaja je Sevno in je od območja oddaljena 15 km v severovzhodni

smeri. Na podlagi pridobljenih podatkov za 30-letno obdobje s spletne strani ARSO smo narisali histogram padavin, ki je prikazan na sliki 13. Na tem območju gre torej za subkontinentalni padavinski režim s prvim maksimumom v poletnih mesecih in drugim jeseni (november) ter z minimumom v zimskem času. Povprečna letna količina padavin za 30-letno obdobje znaša 1216 mm, povprečna letna temperatura pa 8.9°C (ARSO, 2013).

4.1.2 Raba tal

Kot prikazuje slika 14, na tem območju večinska raba tal pripada gozdovom, trajnim travnikom in njivskim površinam. Čeprav je to območje majhno, pa gre za zelo razgiban teren. Ob potoku, ki teče v ozki zatrepni dolini, večinoma raste listnati gozd z močno podrastjo. Na ravninah so nastala naselja s kmetijskimi površinami, med njimi večinoma travniki in njivske površine. Na pobočju na robu območja prevladuje listnati gozd, kjer večinoma rastejo bukve, gabri in hrasti, opazili pa smo tudi nekaj kostanjev in smrek.

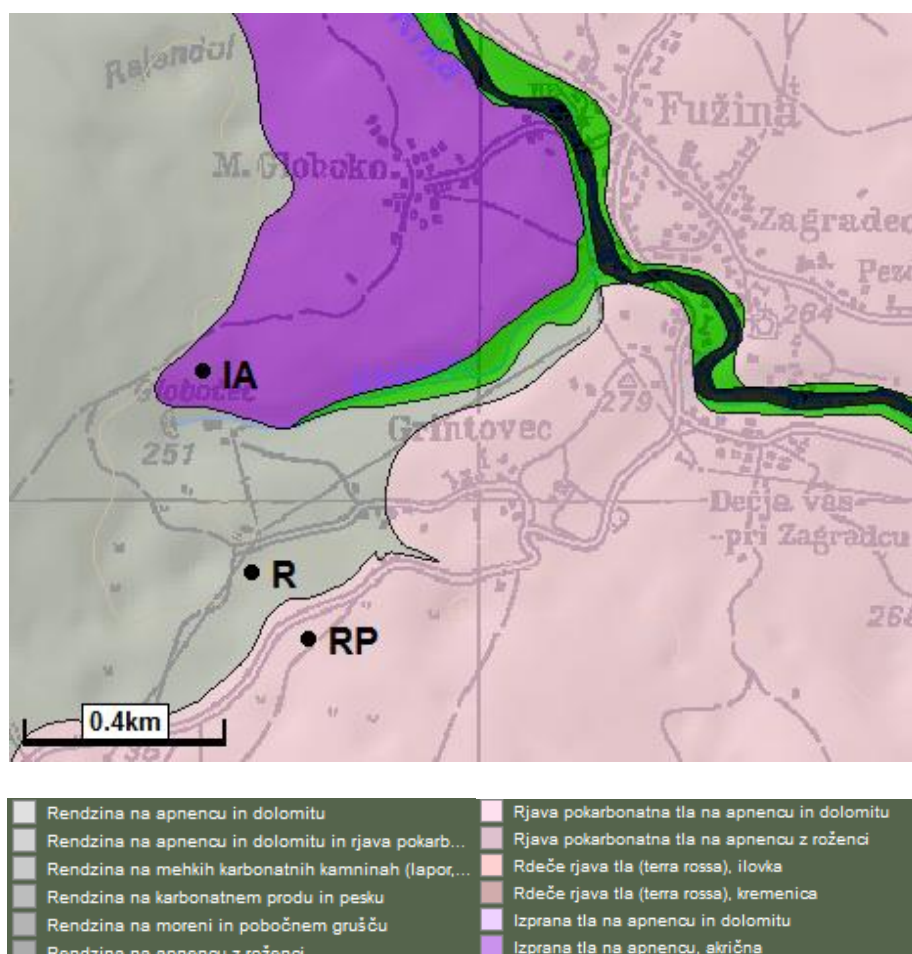


Slika 14: Raba tal eksperimentalnega območja (vir podlage: Geopedia, 2013)

4.1.3 Geologija in pedologija območja

Hidrografska zaledje Globočca pripada coni Zunanjih Dinaridov, ki se naprej deli na notranjsko in dolensko podcono. Tu so se razvili različni apnenci, ki se ponekod menjujejo s pasovitim dolomitom (Pekolj, 2007). Za kraško površje je značilno, da površinskih tokov praktično ni, zato smo pri meritvah pričakovali majhno vodoodbojnost in hitro infiltracijo.

Tipe prsti smo določili s pomočjo pedoloških kart v atlasu okolja (Atlas okolja, 2013) in geopediji (Geopedia, 2013). Na območju porečja Globočec lahko najdemo štiri različne skupine prsti, ki jih bomo natančneje opisali v naslednjih odstavkih.



Slika 15: Tipi prsti na eksperimentalnem območju z označenimi merilnimi mesti (vir podlage: Atlas okolja, 2013)

Prvo skupino prsti predstavljajo humusnoakumulativne prsti oziroma leptosoli. Gre za mlade, plitve prsti, ki se pojavijo največkrat na nagnjenem ali razgibanem terenu (Repe, 2010). Raba tal na teh območjih je zaradi plitvosti najpogosteje gozd ali travinja. V to skupino prsti spada tudi rendzina, ki je na sliki 15 obarvana s sivo barvo.

V drugo skupino spadajo kambisoli ali kambične prsti, ki so zrele in velikih debelin. Raba tal je izjemno pestra: od gozda in travnikov, kjer je največ poseljenih površin, v ta razred pa spadajo tudi naše najpomembnejše kmetijske prsti (Repe, 2010). Tudi rjava pokarbovatna tla (na sliki 15 obarvana z roza barvo) spadajo v to skupino prsti.

V tretjo skupino prsti spadajo izprane prsti ali luvisoli, ki se pojavijo na uravnanim površju, kar omogoča vertikalno pronicanje padavinske vode. Zaradi ravnega površja so pogosto kmetijske prsti, sicer pa na njih uspeva kisloljuben gozd (Repe, 2010). Pojavljajo se v debelih pasovih in spadajo med naše najstarejše prsti. Izprana akrična tla so na sliki 15 obarvana z vijolično barvo.

Zadnja skupina prsti, ki se pojavlja na tem območju, pa so obrečne prsti oziroma fluvisoli. Gre za mlade prsti aluvialnih in poplavnih ravnin, ki so pod stalnim vplivom premikajoče se vode in dvignjene podtalnice (Repe, 2010). Naravna vegetacija na tem območju je vlagoljubna (Repe, 2006). Bolj ko se spuščamo po vodotoku navzdol, bolj se širi vpliv vode, širši je pas teh prsti in bolj je površje ravno. Obrečna tla so na sliki 15 obarvana zeleno.

Zaradi slabih pogojev za izvajanje meritev na obrečnih tleh ob potoku, smo se odločili opraviti meritve le na ostalih treh tipih prsti (obarvani na sliki 15):

- rendzina na apnencu in dolomitu (siva barva)
- rjava pokarbonatna tla na apnencu in dolomitu (roza barva)
- izprana akrična tla na apnencu (vijolična barva)

4.2 Meritve

4.2.1 Merilna mesta

Na začetku je bila ideja izvesti meritve na travniku, kar pa se je predvsem zaradi testa vpivanja vodne kapljice v tla izkazalo kot zahtevna naloga. Za kraška tla je namreč značilno, da je vodoodbojnost zelo majhna, na splošno pa velja, da je za isti tip prsti vodoodbojnost na travniku manjša kot v gozdu. Rezultati prvih meritev časa vpivanja vodne kapljice v tla so bili zelo majhni, večinoma manjši od ene sekunde. Pri tako majhnih časih pa je vpliv človeškega faktorja zelo velik. Zato smo se odločili meritve izvajati v gozdu, kjer bi lahko pridobili primernejše rezultate za analizo.

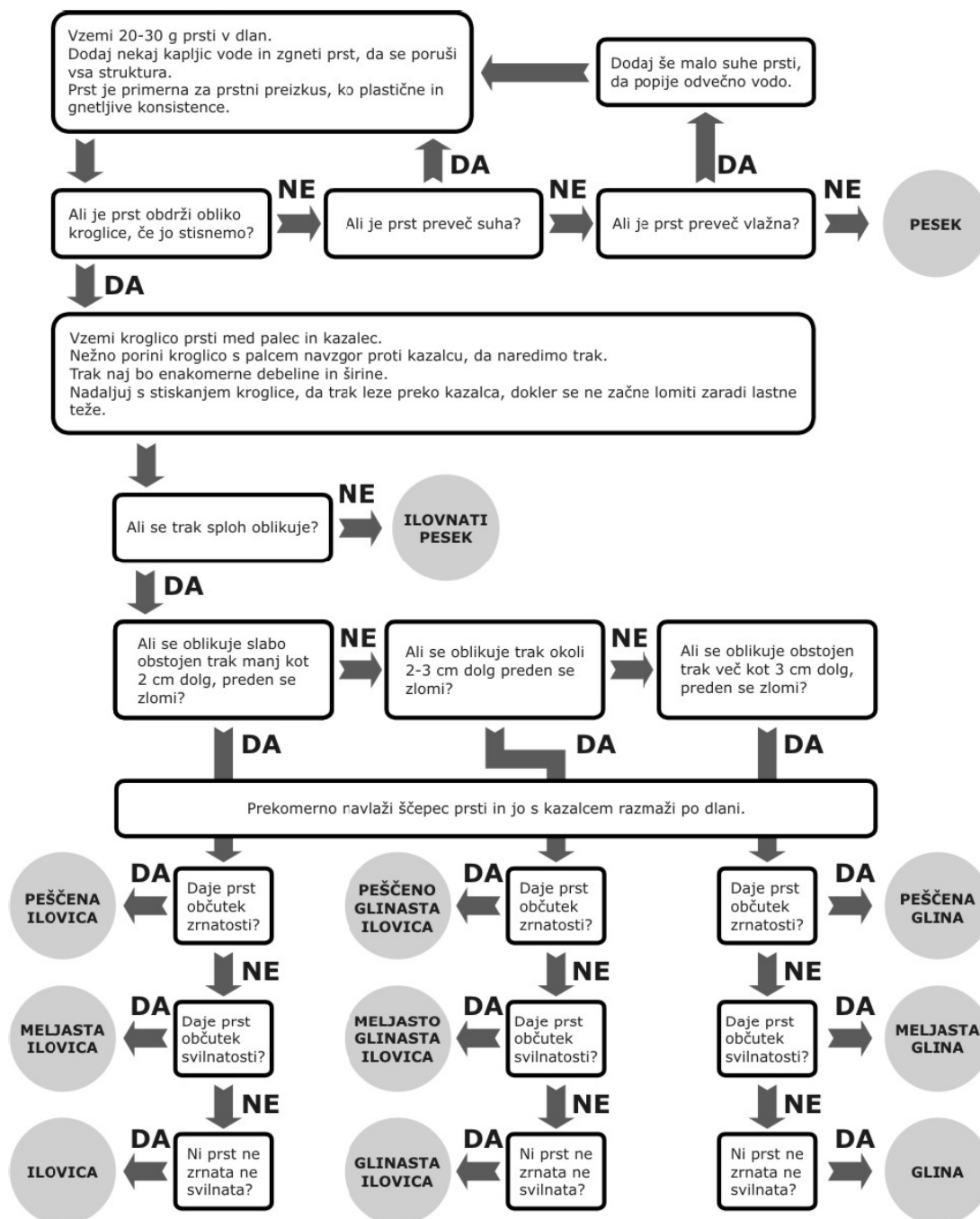
Meritve smo izvedli med 19. in 25. julijem, ko je temperatura zraka dosegla več kot 30°C. Tla so bila razmeroma suha in vreme večinoma jasno, brez padavin, ki bi lahko vplivale na rezultate meritev. Na vsakem tipu tal smo izvedli meritve v gozdu, in sicer v nivoju tal ter v vkopu. Lokacije merilnih mest so prikazane na sliki 15, koordinate pa so podane v preglednici 4. Skupaj smo izvedli 120 meritev vodoodbojnosti in 105 meritev infiltracije.

Preglednica 4: Merilna mesta z oznakami in koordinatami (določene z GPS)

Merilno mesto	Oznaka	Koordinate
rendzina	R	45°51'15.28"; 14°49'23.37"
rjava pokarbonatna tla	RP	45°51'9.81"; 14°49'25.57"
izprana akrična tla	IA	45°51'26.67"; 14°49'13.97"

4.2.2 Določanje teksture tal

Za vsak tip tal smo pred meritvami s prstnim preizkusom določili teksturo prsti. Postopek prstnega preizkusa je prikazan na sliki 16, rezultati prstnega preizkusa pa v preglednici 5.



Slika 16: Prstni preizkus določanja teksture tal (Repe, 2006)

Preglednica 5: Tekstura prsti, določena s prstnim preizkusom

Tip tal	Kroglica	Dolžina traku	Občutek	Tekstura
rendzina	da	do 2 cm	svilnat	meljasta ilovica
rjava pokarbonatna tla	da	od 2 do 3 cm	svilnato zrnat	glinasta ilovica
izprana akrična tla	da	do 2 cm	svilnat	meljasta ilovica

4.2.3 Meritve vodoodbojnosti

Meritve smo izvedli v gozdu, in sicer v nivoju tal ter v vkopu. Najprej je bilo potrebno odstraniti vso podrast, odpadle liste, veje, iglice in razne tujke, ki bi lahko vplivali na rezultate meritev. Odstranili smo tudi vrhnjo, humusno plast prsti, zato da smo meritve izvajali na čisti prsti. Veliko težavo je predstavljala izvedba 10-centimetrskih vkopov, saj so nam to oteževale drevesne korenine, ki so ponekod segale tudi več kot 10 m stran od dreves. Največ težav pri čiščenju terena smo imeli na rjavih pokarbonatnih tleh, saj je bila podrast zelo gosta, preplet korenin pa zelo močan.

Vodoodbojnost smo merili na dva različna načina, in sicer s testom vpivanja vodne kapljice v tla (WDPT) ter z mini disk infiltrometrom (MDI). Obe metodi merjenja smo že opisali v poglavjih 3.4.1 in 3.4.2. Na sliki 17 je prikazano merjenje z MDI v nivoju tal in v vkopu.



Slika 17: Izvajanje meritev v nivoju tal (levo) in v vkopu (desno) na rendzini

Glede na rezultate meritev smo te razvrstili v določene razrede. Klasifikacijo za meritve z WDPT smo opravili po Bisdomu in sod. (1993) (preglednica 2), ki za nevoodbojna tla (razred 0) navajajo čas infiltracije manjši od 5 s, za močno vodoodbojna pa čas večji od 60 s (razred 2). Meritve z MDI smo klasificirali v razrede, ki so prikazani v preglednici 3 (Robichaud in sod., 2008). Za volumen infiltrirane vode več kot 8 ml, smo razvrstili meritev v razred nevoodbojnih tal (razred 0), če pa je bil volumen manjši od 3 ml, smo klasificirali prst kot močno vodoodbojno (razred 2). V preglednicah 6, 7, 8 in 9 so predstavljeni rezultati obeh metod merjenja v nivoju tal in v vkopu, ločeno za vsak tip tal.

Preglednica 6: Rezultati merjenja vodoodbojnosti na rendzini v nivoju tal

Vzorčno mesto	čas, izmerjen z WDPT [s]					volumen, izmerjen z MDI [ml]			
	1	2	3	Povprečje	Razred	V _{začetni}	V _{končni}	Razlika	Razred
1	3	2	2	2,3	0	79	64	15,0	0
2	1	2	3	2,0	0	83	73	10,0	0
3	1	1	2	1,3	0	92,5	78	14,5	0
4	1	1	1	1,0	0	84	68,5	15,5	0
5	2	1	1	1,3	0	84	70	14,0	0
6	1	2	1	1,3	0	90,5	72,5	18,0	0
7	1	1	2	1,3	0	75	65	10,0	0
8	2	2	1	1,7	0	78	68	10,0	0
9	2	1	2	1,7	0	86	82	4,0	1
10	1	3	2	2,0	0	80	72	8,0	1
POVPREČJE				1,6	0			11,9	0,2

Preglednica 7: Rezultati merjenja vodoodbojnosti na rendzini v vkopu

Vzorčno mesto	čas, izmerjen z WDPT [s]					volumen, izmerjen z MDI [ml]			
	1	2	3	Povprečje	Razred	V _{začetni}	V _{končni}	Razlika	Razred
1	5	3	6	4,7	0	90	85	5,0	1
2	2	3	3	2,7	0	91	75	16,0	0
3	12	5	6	7,7	1	75	59	16,0	0
4	6	4	2	4,0	0	87	70	17,0	0
5	2	4	4	3,3	0	90	77	13,0	0
6	3	10	6	6,3	1	89	74	15,0	0
7	5	3	2	3,3	0	86	77,5	8,5	0
8	2	2	4	2,7	0	76	65	11,0	0
9	5	5	4	4,7	0	92	82	10,0	0
10	3	5	7	5,0	1	82	77	5,0	1
POVPREČJE				4,4	0,3			11,7	0,2

Preglednica 8: Rezultati merjenja vodoodbojnosti na rjavih pokarbonatnih tleh v nivoju tal

Vzorčno mesto	čas, izmerjen z WDPT [s]					volumen, izmerjen z MDI [ml]			
	1	2	3	Povprečje	Razred	V _{začetni}	V _{končni}	Razlika	Razred
1	2	2	1	1,7	0	90,5	71	19,5	0
2	1	1	2	1,3	0	87	72,5	14,5	0
3	1	0	1	0,7	0	89	68	21,0	0
4	1	1	2	1,3	0	75	60	15,0	0
5	0	1	1	0,7	0	86,5	69	17,5	0
6	1	1	0	0,7	0	89	75	14,0	0
7	1	1	2	1,3	0	83,5	63	20,5	0
8	1	1	1	1,0	0	74,5	58,5	16,0	0
9	2	1	1	1,3	0	84,5	72,5	12,0	0
10	1	2	1	1,3	0	71	53	18,0	0
POVPREČJE				1,1	0			16,8	0

Preglednica 9: Rezultati merjenja vodoodbojnosti na rjavih pokarbonatnih tleh v vkopu

Vzorčno mesto	čas, izmerjen z WDPT [s]					volumen, izmerjen z MDI [ml]			
	1	2	3	Povprečje	Razred	V _{začetni}	V _{končni}	Razlika	Razred
1	2	3	6	3,7	0	85	74	11,0	0
2	4	4	2	3,3	0	74	59	15,0	0
3	9	7	5	7,0	1	86	71	15,0	0
4	3	4	5	4,0	0	85	79	6,0	1
5	4	4	3	3,7	0	79	67,5	11,5	0
6	2	2	1	1,7	0	86	80,5	5,5	1
7	5	3	7	5,0	1	79,5	69,5	10,0	0
8	2	2	1	1,7	0	89	76,5	12,5	0
9	5	2	1	2,7	0	76	59	17,0	0
10	2	1	3	2,0	0	86	72	14,0	0
POVPREČJE				3,5	0,2			11,8	0,2

Preglednica 10: Rezultati merjenja vodoodbojnosti na izpranih akričnih tleh v nivoju tal

Vzorčno mesto	čas, izmerjen z WDPT [s]					volumen, izmerjen z MDI [ml]			
	1	2	3	Povprečje	Razred	V _{začetni}	V _{končni}	Razlika	Razred
1	1	1	1	1,0	0	87	68	19	0
2	2	1	2	1,7	0	84	66	18	0
3	1	1	2	1,3	0	89	80	9	0
4	1	2	2	1,7	0	85	71	14	0
5	1	2	1	1,3	0	89	74	15	0
6	3	2	1	2,0	0	75	63	12	0
7	1	2	1	1,3	0	88	71	17	0
8	1	1	1	1,0	0	81	63	18	0
9	2	1	1	1,3	0	79	67	12	0
10	1	2	1	1,3	0	80	65	15	0
POVPREČJE				1,4	0			14,9	0

Preglednica 11: Rezultati merjenja vodoodbojnosti na izpranih akričnih tleh v vkopu

Vzorčno mesto	čas, izmerjen z WDPT [s]					volumen, izmerjen z MDI [ml]			
	1	2	3	Povprečje	Razred	V _{začetni}	V _{končni}	Razlika	Razred
1	10	5	7	7,3	1	88	79	9,0	0
2	5	6	11	7,3	1	88	80,5	7,5	1
3	5	10	12	9,0	1	89	83	6,0	1
4	30	75	68	57,7	1	73	66	7,0	1
5	10	11	15	12,0	1	89	83,5	5,5	1
6	11	10	9	10,0	1	88	82,5	5,5	1
7	15	10	14	13,0	1	88	81	7,0	1
8	4	4	7	5,0	1	86	78	8,0	1
9	10	11	5	8,7	1	80	74,5	5,5	1
10	12	16	19	15,7	1	77	70,5	6,5	1
POVPREČJE				14,6	1			6,8	0,9

4.2.4 Meritve infiltracije

Meritve infiltracije smo opravili z mini disk infiltrimetrom, ki je opisan v poglavju 2.2.2. Merili smo na vseh treh tipih prsti, tako v nivoju tal, kot tudi v 10- centimetrskem vkopu.

Za srk smo na vseh tipih tal po navodilih proizvajalca izbrali vrednost -2 cm. Da je ta vrednost za meritve najbolj primerna, je potrdila tudi Jordan (Jordan, 2010). Avtorica navaja, da meritve pri srku -2 cm dajo zadovoljive rezultate povprečnih vrednosti med srkoma 0.5 in 6 cm (Jordan, 2010).

4.2.4.1 Primer izračuna količnika hidravlične prevodnosti

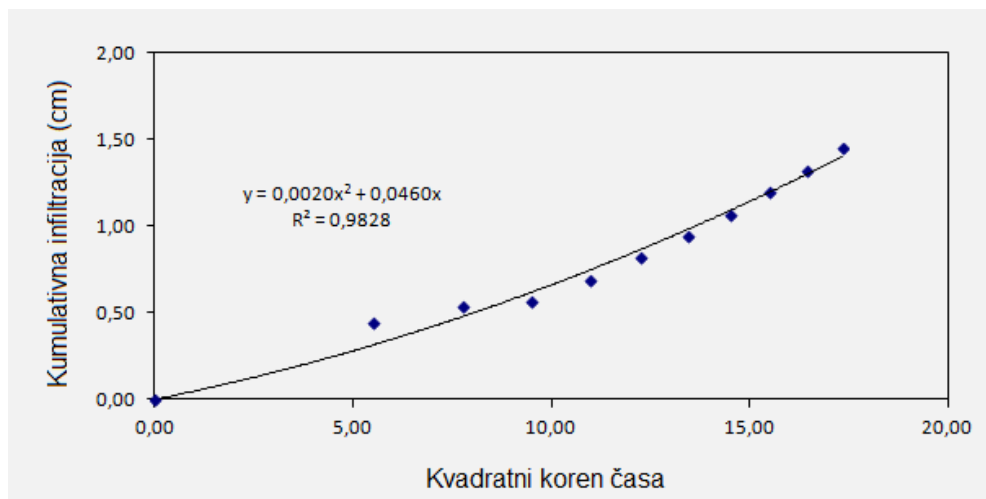
Po opravljeni meritvi na določenem merilnem mestu, smo odčitke z infiltrimetra vnesli v preglednico. V preglednici 12 so podani rezultati 13. meritve na rendzini v nivoju tal. Na tem primeru bomo opisali postopek izračuna količnika hidravlične prevodnosti. Ostale meritve s pripadajočimi grafi so zbrane v prilogah A (rendzina), B (rjava pokarbonatna tla) in C (izprana akrična tla).

Preglednica 12: Primer izračuna količnika hidravlične prevodnosti (rezultati 13. meritve na rendzini v nivoju tal)

t [s]	\sqrt{t}	V [ml]	I [cm]
0	0	74	0,00
30	5,48	69	0,31
60	7,75	65	0,57
90	9,49	61	0,82
120	10,95	58	1,01
150	12,25	56	1,13
180	13,42	55	1,20
210	14,49	54	1,26
240	15,49	53	1,32
270	16,43	52	1,38
300	17,32	51	1,45

Na podlagi odčitkov volumna v določenih časovnih intervalih smo izračunali kumulativno infiltracijo v določenem času. Izrisali smo raztreseni graf, na katerem smo na abciso vnesli korenške vrednosti časa, na ordinato pa kumulativno infiltracijo v centimetrih (slika 18). Nato smo določili takšno krivuljo 2. stopnje, ki se je točkam na grafu najbolj prilegala. Opiše jo enačba

$$y = a x^2 + b x. \quad (8)$$



Slika 18: Graf kumulativne infiltracije v odvisnosti od časa

Količnik hidravlične prevodnosti izračunamo po že znani enačbi 4.

Vrednost parametra C_1 je enaka vrednosti a na grafu kumulativne infiltracije, parameter A pa odčitamo iz van Genuchtenovih tabel (preglednica 1) za določeno teksturo in pri določenem srku. Za izbrani primer je torej vrednost C_1 enaka 0.00200 cm/s, vrednost parametra A pa je za teksturni razred meljasta ilovica in srk -2 cm enaka 7.9299. Količnik hidravlične prevodnosti tal za izbrani primer tako znaša 0.00025 cm/s.

4.2.4.2 Rezultati meritev infiltracije

V preglednicah v prilogi D so prikazani rezultati meritev infiltracije za vsak tip tal posebej. Na posameznem tipu tal smo najprej opravili 10 meritev, vendar se je nato izkazalo, da je bil izračunani količnik K velikokrat negativen. O enakem problemu poročajo tudi drugi avtorji (Angulo-Jaramillo in sod., 2000; Jordan, 2010; Lavrač, 2012; Wang in sod., 1999). Ker negativna vrednost količnika hidravlične prevodnosti tal fizikalno ni mogoča (Decagon Devices, 2013), smo te vrednosti izključili iz nadaljnje analize. Na ta način pa smo dobili premalo rezultatov za nadaljnjo analizo, zato smo morali za vsak tip tal določeno število meritev ponoviti.

V preglednici 13 so zbrane povprečne vrednosti količnikov hidravlične prevodnosti za posamezne tipe tal za opravljene meritve v nivoju tal in v vkopu.

Preglednica 13: Rezultati meritev infiltracije v nivoju tal in v vkopu na različnih tipih tal

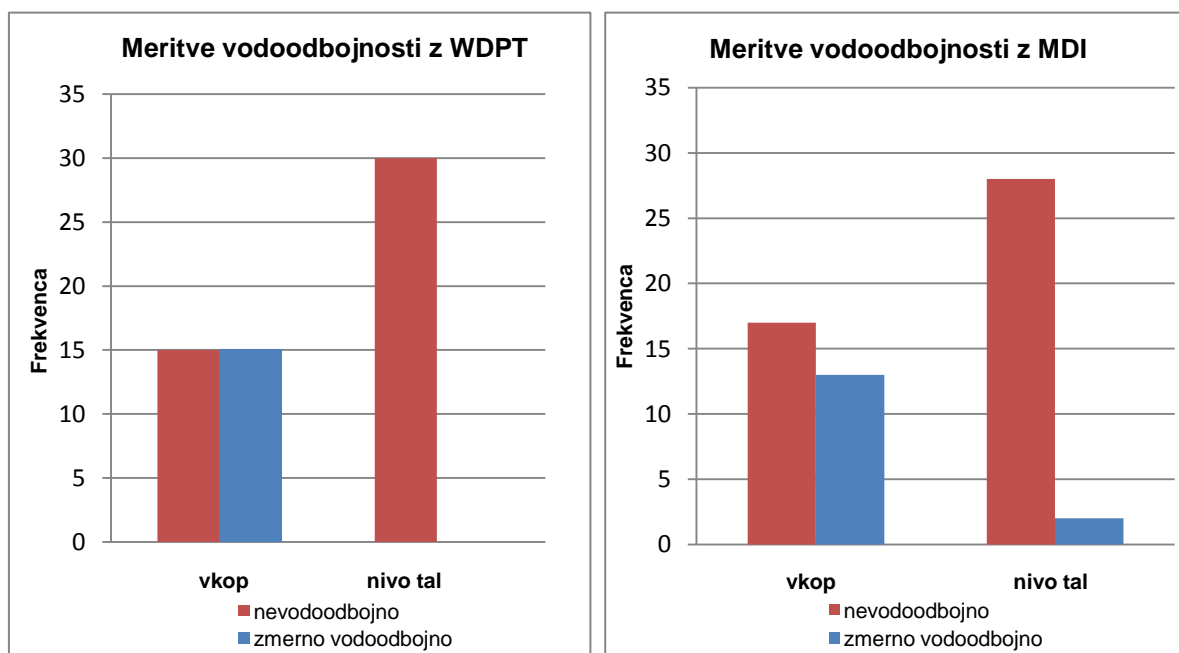
	rendzina		rjava pokarbonatna tla		izprana akrična tla	
	vkop	nivo tal	vkop	nivo tal	vkop	nivo tal
K [cm/s]	0,000092	0,000119	0,000066	0,000159	0,000054	0,000088
K [mm/h]	3,312	4,284	2,376	5,724	1,944	3,168

5 ANALIZA REZULTATOV MERITEV

5.1 Analiza rezultatov meritev vodoodbojnosti

Eden od ciljev naloge je bil izvesti meritve vodoodbojnosti na dva različna načina, ter rezultate primerjati med seboj. Na vseh tipih tal in za oba načina merjenja je bilo opaziti manjšo vodoodbojnost v vkopu kakor v nivoju tal (slika 19, preglednici 14 in 15). To so med svojimi raziskavami opazili tudi Dekker in sodelavci (Dekker in sod., 2009).

Pri WDPT v vkopu je vseh 30 meritev padlo v razred nevodoodbojnih tal, pri MDI pa je bil rezultat podoben, saj je 28 meritev spadalo v razred nevodoodbojnih tal in le dve v razred zmerno vodoodbojnih (slika 19). Vendar pa tudi merjenje v nivoju tal ni pokazalo izrazitejše vodoodbojnosti. Od skupno 60 meritev vodoodbojnosti v nivoju tal jih je le 28 spadalo v razred 1 (zmerno vodoodbojno) in kar 32 v razred 0 (nevodoodbojno). Nobena od meritev pa ni padla v razred močno vodoodbojnih tal, kar kaže na izrazito močljiva tla.



Slika 19: Rezultati meritev vodoodbojnosti z WDPT in MDI v nivoju tal in v vkopu za vse tipe tal

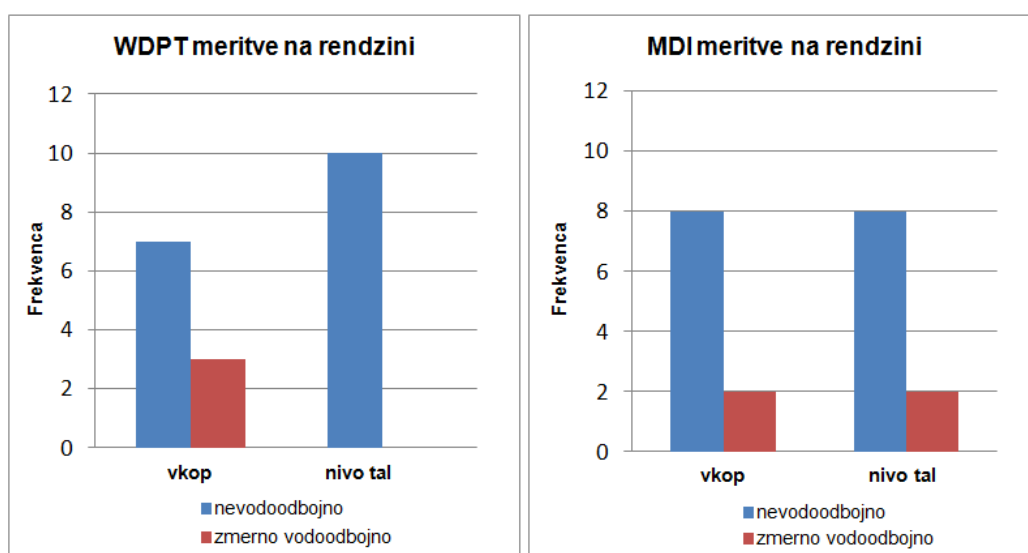
Preglednica 14: Statistična analiza meritev vodoodbojnosti z WDPT za vse tri tipe tal

WDPT [s]	rendzina		rjava pokarbonatna tla		izprana akrična tla	
	vkop	nivo tal	vkop	nivo tal	vkop	nivo tal
minimum	2,7	1,0	1,7	0,7	5,0	1,0
maksimum	7,7	2,3	7,0	1,7	57,7	2,0
povprečje	4,4	1,6	3,5	1,1	14,6	1,4
st. deviacija	1,5	0,4	1,6	0,3	14,7	0,3
povpr.razreda	0,3	0,0	0,2	0,0	1,0	0,0

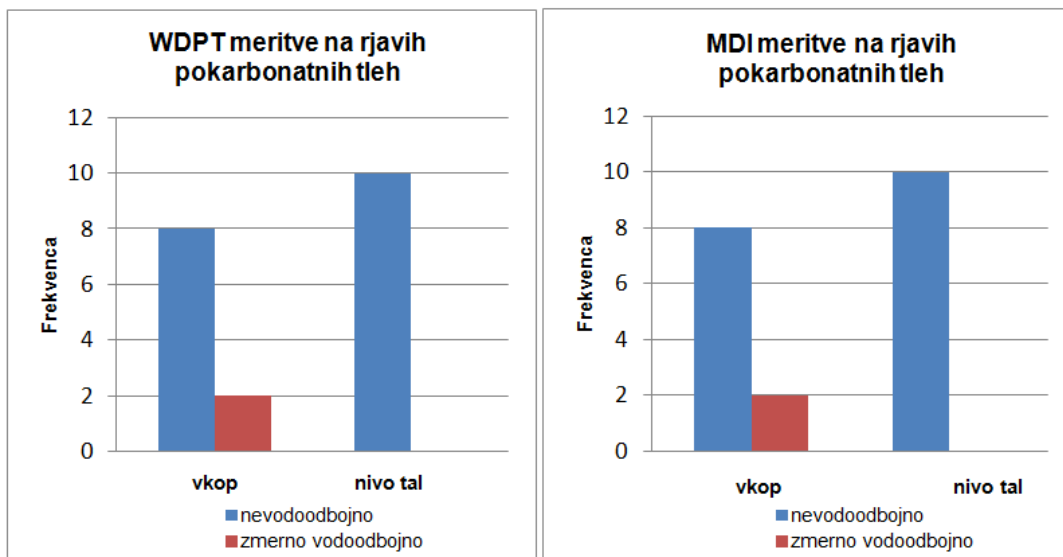
Preglednica 15: Statistična analiza meritev vodoodbojnosti z MDI za vse tri tipe tal

MDI [ml]	rendzina		rjava pokarbonatna tla		izprana akrična tla	
	vkop	nivo tal	vkop	nivo tal	vkop	nivo tal
minimum	5,0	4,0	5,5	12,0	5,5	9,0
maksimum	17,0	18,0	17,0	21,0	9,0	19,0
povprečje	11,7	11,9	11,8	16,8	6,8	14,9
st. deviacija	4,3	4,0	3,6	2,8	1,1	3,0
povpr.razreda	0,2	0,2	0,2	0,0	0,9	0,0

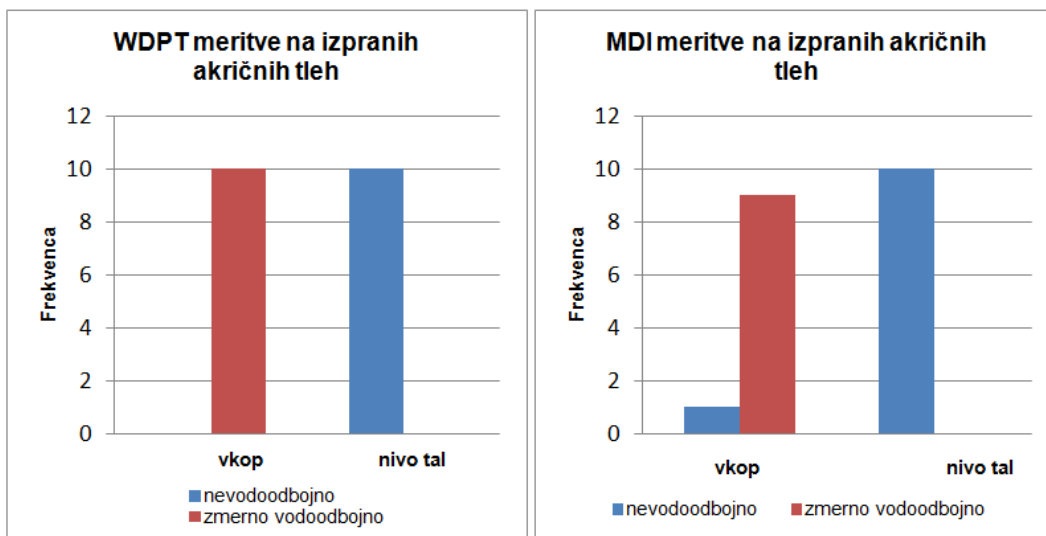
Slike 20, 21 in 22 prikazujejo primerjavo rezultatov meritev obeh metod za vsak tip tal posebej. Oba načina meritev potrjujeta maksimalno vodoodbojnost v vkopu na izpranih akričnih tleh, medtem ko je minimalna vodoodbojnost (povprečje razreda 0.0) prisotna na več merilnih mestih, kar nakazuje na izredno omočljiva tla.



Slika 20: Rezultati meritev vodoodbojnosti z WDPT in MDI v nivoju tal in v vkopu na rendzini



Slika 21: Rezultati meritev vodoodbojnosti z WDPT in MDI v nivoju tal in v vkopu na rjavih pokarbonatnih tleh



Slika 22: Rezultati meritev vodoodbojnosti z WDPT in MDI v nivoju tal in v vkopu na izpranih akričnih tleh

5.2 Analiza rezultatov meritev infiltracije

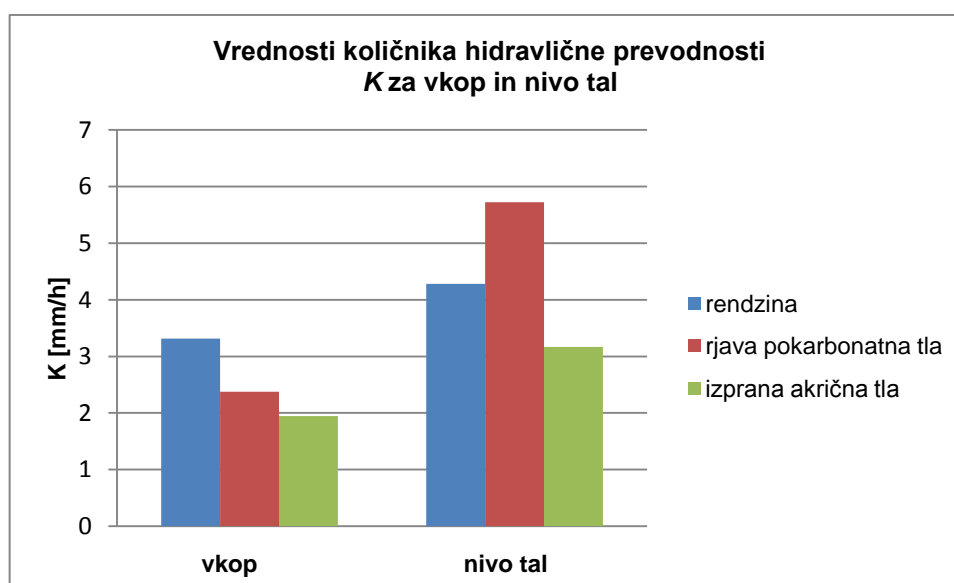
Povprečne vrednosti količnika hidravlične prevodnosti K smo za lažjo primerjavo razvrstili po velikosti (preglednica 16). Najvišja vrednost količnika hidravlične prevodnosti je 5.724 mm/h, ki smo jo določili na rjavih pokarbonatnih tleh v nivoju tal. Na izpranih akričnih tleh v vkopu smo izračunali najmanjšo vrednost K , ki znaša 1.944 mm/h.

Preglednica 16: Vrednosti količnika hidravlične prevodnosti K razvrščene po velikosti

meritev	K [mm/h]
RP nivo tal	5,724
R nivo tal	4,284
R vkop	3,312
IA nivo tal	3,168
RP vkop	2,376
IA vkop	1,944

Da so te vrednosti realne, smo se prepričali na podlagi podatkov iz literature. V prilogi Pravilnika o določitvi vodnih teles iz leta 2005 je za ta tip vodonosnika navedena vrednost propustnosti 10^{-6} m/s oz. 10^{-4} cm/s, kar se sklada z našimi rezultati. Za teksturni razred meljasta ilovica je leta 1988 raziskovalec Rockhold s sodelavci (Rockhold, 1988) določil vrednosti med 0.03 in 3.00 mm/h, primerljive vrednosti našim rezultatom pa navaja tudi Ameriška vojska v svojih raziskavah (USACE, 1994).

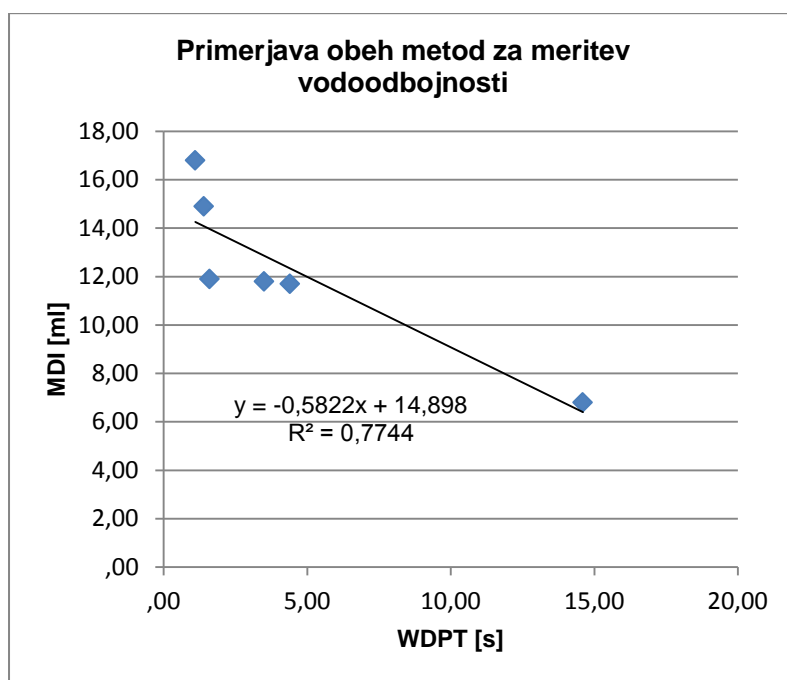
Pri rezultatih meritev infiltracije smo opazili razliko med vpojnostjo v nivoju tal in v vkopu. Meritve na vseh treh tipih tal kažejo, da je infiltracija v nivoju tal večja od tiste v vkopu (slika 23), kar so opazili tudi nekateri drugi avtorji (Jordan, 2010; Robichaud in sod., 2008).



Slika 23: Primerjava vrednosti količnika K v vkopu in nivoju tal za različne tipe tal

5.3 Primerjava meritev

Meritve vodoodbojnosti z WDPT in MDI so že na prvi pogled kazale na zelo dobro povezanost med metodama. Pri nadaljnji analizi smo določili koeficient korelacije, ki je razmeroma visok, saj znaša kar -0.88 in dokazuje dobro ujemanje obeh metod (slika 24). Čeprav MDI upošteva manj razredov kot WDPT, pa za slabo vodoodbojna tla to ni bistveno, saj nobena od meritev ni padla v razred močno vodoodbojnih tal. Negativen predznak koeficienta korelacije pomeni, da se z večanjem časa vpijanja vodne kapljice, volumen infiltrirane vode manjša, kar že nakazuje na povezanost obeh pojavov. Podobne vrednosti koeficienta korelacije so dobili tudi drugi raziskovalci (Robichaud, 2008).

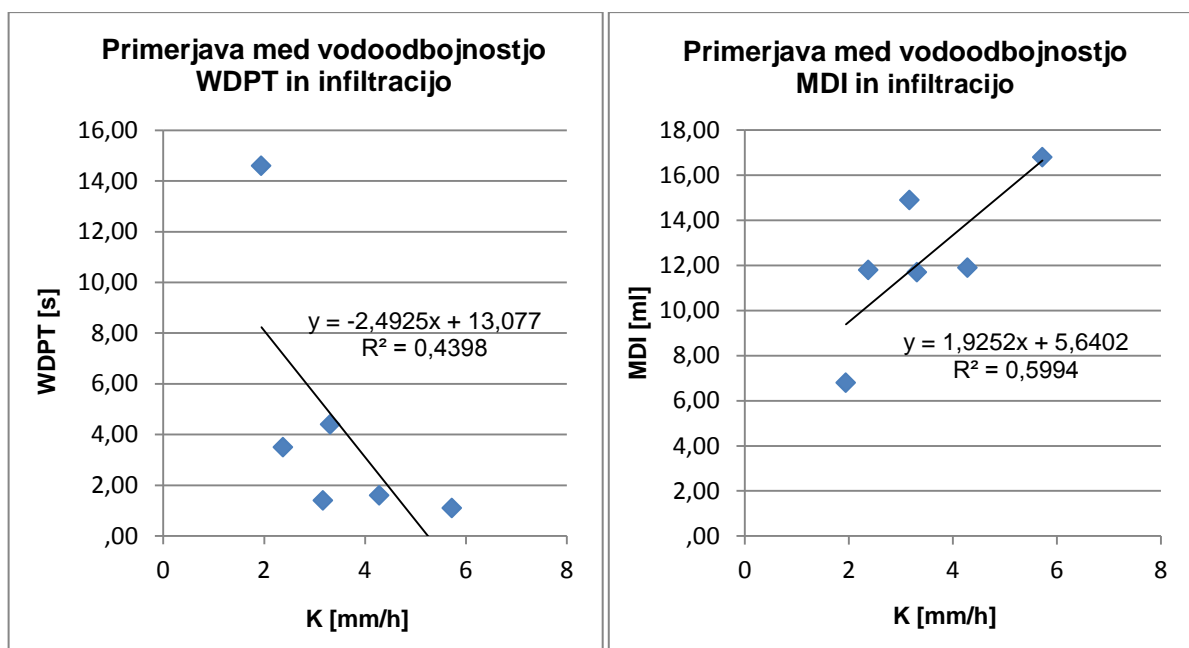


Slika 24: Povezanost med meritvami vodoodbojnosti po metodah MDI in WDPT

Najpomembnejša ugotovitev je, da se tako vodoodbojnost kot tudi infiltracija z globino spreminjata. Opazili smo značilno zmanjšanje infiltracije z globino meritve, ter večjo vodoodbojnost v vkopu kot v nivoju tal. Že na pogled smo opazili analogijo med obema pojavoma, nadaljnje analize meritev pa so domnevo le še potrdile. Maksimalen količnik hidravlične prevodnosti smo določili na izpranih akričnih tleh. Tudi meritve vodoodbojnosti z obema metodama potrjujejo, da so ta tla bolj omočljiva, saj so vse v nivoju tal opravljene meritve padle v razred nevoodbojnih tal. Minimalna vrednost K , izračunana za izprana akrična tla v vkopu, prav tako nakazuje na dobro povezavo s testom vodoodbojnosti. Na tem merilnem mestu smo opazili večjo vodoodbojnost kot drugje, saj je bilo od 20 opravljenih meritev 19 klasificiranih v razred zmerno vodoodbojnih tal.

Ob vseh naštetih dejstvih, ki kažejo dobro povezanost med infiltracijo in vodoodbojnostjo, smo se o tem prepričali še z izračunom koeficienta korelacije. Ta je bil za meritve vodoodbojnosti z MDI nekoliko večji kot tisti za WDPT. Koeficient korelacije je za primerjavo med WDPT in količnikom hidravlične prevodnosti znašal -0.66 , za MDI pa 0.77 . Čeprav merjenje infiltracije z MDI upošteva manj razredov vodoodbojnosti kot WDPT in bi bila lahko

po tej metodi napaka večja, se za naš primer izkaže ravno nasprotno. Večje ujemanje po MDI metodi meritev gre pripisati dejstvu, da je za primer izredno slabo vodoodbojnih tal, manj razredov te metode zanemarljivo. V našem primeru namreč ni nobena od meritev spadala v razred močno vodoodbojnih tal (razred 2), zato tudi razvrstitev v več razredov ne bi prinesla bistveno drugačnih rezultatov. Metoda MDI se je v našem primeru izkazala za primernejšo, saj je pri tej metodi napaka zaradi človeškega faktorja manjša. Za zelo močljiva tla, kjer infiltracija traja le nekaj sekund, se poveča napaka zaradi reakcijskega časa merilca, kar je slaba stran metode WDPT. Na sliki 25 je prikazana povezanost med WDPT in infiltracijo ter med vodoodbojnostjo po MDI in infiltracijo.



Slika 25: Povezanost med vodoodbojnostjo po WDPT in infiltracijo (levo) ter med vodoodbojnostjo po MDI in infiltracijo (desno)

6 ZAKLJUČKI

Vodoodbojnost in infiltracija sta pomembna procesa hidrološkega kroga, povezanost teh dveh pojavov pa je bila glavna tema te diplomske naloge. To sta pojava, do katerih pride, ko pade kaplja vode na površino tal. Če voda takoj ne izhlapi, lahko bodisi površinsko odteče bodisi se vpije v zemljo. Do površinskega otoka pride zaradi prisotnosti hidrofobnih delcev v zemljini, ki tvorijo tanek film na površini tal. Ta plast odbija vodo, zato pravimo da je vodoodbojna. Če pa v zemljini ni prisotnih vodoodbojnih snovi, se voda s površine tal vpije v zemljino, kar imenujemo infiltracija. V naravi se tako ekstremni pojavi največkrat ne pojavijo, večinoma se voda najprej zadrži na površini tal, po določenem času pa se vpije v zemljino. Čas, potreben za infiltracijo, je odvisen od količine vsebovanih hidrofobnih snovi in je osnovni kriterij za klasifikacijo posameznega tipa tal v določen razred vodoodbojnosti.

V diplomski nalogi smo opravili meritve vodoodbojnosti in infiltracije na treh različnih tipih tal, in sicer v nivoju tal ter v 10- centimetrskem vkopu. Vodoodbojnost smo merili z dvema različnima metodama, in sicer s pomočjo testa vpivanja vodne kapljice v tla (WDPT) ter s pomočjo nove metode, ki v zadnjem času nadomešča WDPT, to je metoda z mini disk infiltrimetrom (MDI). Na podlagi meritev smo posamezen tip tal klasificirali v razrede vodoodbojnosti. Skupaj smo izvedli 120 meritev vodoodbojnosti. Z mini disk infiltrimetrom (MDI) smo izvedli tudi meritve infiltracije in nato skušali najti povezave med obema pojavoma. Izvedenih je bilo 105 meritev infiltracije na treh različnih tipih tal v nivoju tal in v vkopu.

S primerjavo obeh metod merjenja vodoodbojnosti smo ugotovili močno korelacijo med WDPT in MDI meritvami, s korelacijskim koeficientom -0.88 . Negativna vrednost korelacijskega koeficienta je logična, saj ena metoda meri čas vpivanja kapljice druga pa volumen infiltrirane vode, ti dve količini pa sta obratno sorazmerni. Podobno povezanost so ugotovili tudi drugi raziskovalci (Robichaud in sod., 2008). V splošnem pa je bila izmerjena vodoodbojnost izredno nizka, kar je logična posledica dejstva, da smo meritve izvajali v gozdu in na kraških tleh. Metoda MDI se je v našem primeru izkazala za primernejšo, saj smo meritve izvajali na pretežno zelo omočljivih tleh, kar je imelo za posledico zelo kratke čase vpivanja kapljic vode v tla, s tem pa se poveča napaka meritve zaradi človeškega faktorja.

Statistična analiza je pokazala tudi dobro povezanost vodoodbojnosti in infiltracije. Koeficient korelacije med WDPT in infiltracijo je znašal -0.66 , za vodoodbojnost po MDI in infiltracijo pa 0.77 .

Ena najpomembnejših ugotovitev naloge je, da se tako vodoodbojnost kot tudi infiltracija z globino spreminjata. Tako pri rezultatih meritev vodoodbojnosti kot pri infiltraciji smo opazili razliko v vpivanju vode glede na globino izvedene meritve. Meritve na vseh treh tipih tal kažejo, da je infiltracija v nivoju tal večja od tiste v vkopu oz. vodoodbojnost manjša.

VIRI

Angulo-Jaramillo, R., Vandervaere, J.-P., Roulier, S., Thony, J.-L., Gaudet, J.-P., Vauclin, M. 2000. Field measurement of soil hydraulic properties by disc and ring infiltrometers. A review and recent developments. *Soil Tillage Research* 55: 1–29.

ARSO. 2013. Klimatski podatki za 30-letno obdobje.
<http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/sevno.htm> (Pridobljeno 7. 8. 2013.)

Atlas okolja. 2013. http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso
(Pridobljeno 11. 7. 2013.)

Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 234 str.

Clothier, B. E., Vogeler, I., Magesan, G. N. 2000. The breakdown of water repellency and solute transport through a hydrophobic soil. *Journal of Hydrology* 231–232: 255–264.

Decagon Devices. 2006. Mini Disk Infiltrometer, Users Manual version 9. Decagon Devices Pullman, WA 99163, Inc. <http://www.decagon.com/assets/Manuals/Manual-Infiltrometer.pdf>
(Pridobljeno 17. 5. 2013.)

Decagon Devices. 2013. Mini Disk Tension Infiltrometer.
<http://www.decagon.com/products/lysimeters-and-infiltrometers/mini-disk-tension-infiltrometer/> (Pridobljeno 16. 6. 2013.)

Dekker, L. W., Ritsema, C. J., Oostindie K., Moore, D., Wesseling, J. G. 2009. Methods for determining soil water repellency on field-moist samples. *Water Resources Research* 45, 3: 1–6.

Dekker, L. W., Ritsema, C. J., Oostindie, K., Boersma, O. H. 1998. Effect of drying temperature on the severity of soil water repellency. *Soil Science* 163, 10: 780–796.

Doerr, S. H. 1998. Short communication on standardizing the water drop penetration time and the molarity of an ethanol droplet techniques to classify soil hydrophobicity. *Earth Surface Processes and Landforms* 23: 663–668.

Espinoza, D. R. 1999. Infiltration. V: Dellur, J. W. (ur.). *The handbook of Groundwater Engineering*, Florida, USA. CRC Press LLC, poglavje 6: 35 str.

Foster, S. S. D. in Chilton, P. J. 2003. Groundwater: the processes and global significance of aquifer degradation. *Philosophical Transactions. Royal Society* 358: 1957–1972.

Geopedia. 2013. http://www.geopedia.si/#T105_x506368_y112072_s9_b4 (Pridobljeno 11. 7. 2013.)

Hallett, P. D. 2007. An introduction to soil water repellency. V: Gaskin R. (ur.) *An introduction to soil water repellency: Proceedings of the 8th International Symposium on Adjuvants for Agrochemicals*. Columbus, Ohio, USA, 6. do 9. avgust 2007. International Society for Agrochemical Adjuvants: 13 str.

Hallett, P. D., Gordon, D. C., Bengough, A. G. 2003. Plant influence on rhizosphere hydraulic properties: direct measurements using a miniaturised infiltrometer. *New Phytologist* 157: 597–603.

Hallett, P. D., White, N. A., Ritz, K. 2006. Impact of basidiomycete fungi on the wettability of soil contaminated with a hydrophobic polycyclic aromatic hydrocarbon. *Biologia* 61: S334–S338.

Hallin, I., Bryant, R., Doerr, S., Douglas, P. 2011. The Effect of Heterogeneity on Measuring Soil Water Repellency. Swansea University. BSSS Postgraduate Conference, marec 2011. http://www.soils.org.uk/media/uploads/conferences/post_graduate/2011_presentations/I_Hall_in.pdf (Pridobljeno 19. 5. 2013.)

Jordan, J. 2010. Poskusne meritve infiltracije na različnih tipih tal z mini disk infiltrometrom. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Jordan): 133 str.

Lavrač, R. 2012. Meritve infiltracije in vodoodbojnosti na različnih tipih tal. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba R. Lavrač): 63 str.

Lili, M., Bralts, V. F., Yinghua, P., Han, L., Tingwu, L. 2008. Methods for measuring soil infiltration: State of the art. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 1, 1: 22–30.

Mikoš, M., Kranjc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2002. Hidrološko izrazje = Terminology in hydrology. *Acta hydrotechnica* 20, 32: 324 str. <http://ksh.fgg.uni-lj.si/ksh/acta/> (Pridobljeno 15. 6. 2013.)

Novak, D. 1985. Izvir Globočec in njegovo zaledje. *Naše jame* 27: 5–9.

Odlok o varstvu virov pitne vode na območju Občine Ivančna Gorica. 1997. Uradni vestnik Občine Ivančna Gorica št. 5/97: 141–145.

Pekolj, P. 2007. Okoljevarstveni vidiki oskrbe z vodo v Suhi krajini. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, oddelek za geografijo (samozaložba P. Pekolj): 91 str.

Poulter, R. 2006. Soil Water Repellecy. Cleveland, Department of Primary Industries and Fisheries, Redlands Research Station. V: Carson, C. (ur.). *Healty soils for great turf: proceeding of workshop held at Cleveland, 20. februar 2006*: 41–46.

Pravilnik o določitvi vodnih teles podzemnih voda. 2005. Ur. I. RS št. 63/05: 6532.

Repe, B. 2006. Pedografska karta in njena uporabnost v geografiji. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, oddelek za geografijo (samozaložba B. Repe): 127 str.

Repe, B. 2010. Prepoznavanje osnovnih prsti slovenske klasifikacije. *Dela* 34: 143–166.

Repe, B. 2006. Svetovna klasifikacija prsti. Geografski obzornik 53, 1: 9–22.

Robichaud, P. R., Lewis, S. A., Ashmun, L. E. 2008. New Procedure for Sampling Infiltration to Assess Post-fire Soil Water Repellency. Rocky Mountain Research Station, USA, United States Department of Agriculture: 14 str.

Rockhold, M. L., Fayer, M. J., Gee, C. W. 1988. Characterization of Unsaturated Hydraulic Conductivity at the Hanford Site. Washington, Pacific Northwest Laboratory US, Department of Energy, Battelle Memorial Institute: 94 str.

Soil Physics. 2013. <http://soilphysics.okstate.edu/software/water/infil.html> (Pridobljeno 17. 5. 2013.)

USACE. 1994. Engineering and design: Flood-runoff analysis (EM 1110-2-1417): 214 str. <http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/em1110-2-1417/entire.pdf> (Pridobljeno 12. 8. 2013.)

USGS. 2013. The Water Cycle: Infiltration. <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleinfiltration.html> (Pridobljeno 16. 5. 2013.)

Van Genuchten, M. T. 1980. A close-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science of America Journal 44: 892–898.

Wang, Z., Wu, Q. J., Wu, L., Ritsema, C. J., Dekker, L. W., Feyen, J. 1999. Effect of soil repellency on infiltration rate and flow instability. Journal of Hydrology 231–232: 265–276.

Ta stran je namenoma prazna.

SEZNAM PRILOG

Priloga A: Rezultati meritev infiltracije z MDI na rendzini

Priloga B: Rezultati meritev infiltracije z MDI na rjavih pokarbonatnih tleh

Priloga C: Rezultati meritev infiltracije z MDI na izpranih akričnih tleh

Priloga D: Vrednosti količnika hidravlične prevodnosti za vse tipe tal