

ČASOPIS
STUDIA OECOLOGICA
Ročník VIII
Číslo 1/2014

Redakční rada:

doc. Ing. Pavel Janoš, CSc. – šéfredaktor
Ing. Martin Neruda, Ph.D. – výkonný redaktor
prof. RNDr. Olga Kontrišová, CSc.
doc. RNDr. Juraj Lesný, Ph.D.
doc. MVDr. Pavel Novák, CSc.
Ing. Jan Popelka, Ph.D.
prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.

Technický redaktor:

Mgr. Ing. Petr Novák

Recenzenti:

Ing. Jana Hubáčková, CSc., Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha
doc. Ing. Petr Kotlík, FCHT Vysoké školy chemicko-technologické v Praze
Ing. Jan Matkovič, FŽP Univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem
prof. Ing. Svatopluk Matula, CSc., FAPPZ České zemědělské univerzity v Praze
Mgr. Antonín Roušar, ZŠ Ekoškola Údlice, Chomutov
RNDr. Michal Řehoř, Ph.D., Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most
Mgr. Martin Šlachta, Ph.D., ZF Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích
Ing. Josef Trögl, Ph.D., FŽP Univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem

Foto obálky

Mgr. Diana Holcová, Ph.D.

Vydává: FŽP UJEP v Ústí nad Labem

Tisk: AZ Media Ústí n.L.

Toto číslo bylo dáno do tisku v prosinci 2014

ISSN 1802-212X

MK ČR E 17061

VPLYV ZÁKLADNÝCH FYZIKÁLNYCH A CHEMICKÝCH VLASTNOSTÍ NA VODOODPUDIVOSŤ PÔD NA HORSKOM ÚZEMÍ

THE EFFECT OF BASIC PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES ON WATER REPELLENCY OF SOILS OF UPLAND AREA

Lucia KOŘENKOVÁ, Peter MATÚŠ

Ústav laboratórneho výskumu geomateriálov, Prírodovedecká fakulta *Univerzity Komenského, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, Slovenská republika, e-mail: korenkova@fns.uniba.sk*

Abstrakt

Predložený príspevok sa zaoberá vzťahom medzi pôdnou vodoodpudivosťou a vybranými základnými fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami povrchových horizontov pôd územia Bielych Karpát a Myjavskej pahorkatiny. Stálosť pôdnej vodoodpudivosti bola stanovená metódou WDPT (Water Drop Penetration Time) a jej veľkosť metódou MED (Molarity of an Ethanol Droplet). Testovaný súbor obsahoval 210 vzoriek, z ktorých 46 bolo vyhodnotených ako vodoodpudivých. Všetky vzorky vykazujúce miernu až extrémnu vodoodpudivosť boli odobraté z lesných pôd, poľnohospodársky využívané pôdy a pôdy pod trvalým trávny porastom boli zmáčavé. Pôdy s vyšším obsahom ílu, nízkym obsahom organického uhlíka a vyšším pH boli menej náchylné na vodoodpudivosť. 83% vodoodpudivých pôd neobsahovalo uhličitan vápenatý.

Abstract

In this paper, the relationship between water repellency and some basic physical and chemical properties of soils' A horizons collected in the area of White Carpathian Mts. and Myjavská pahorkatina Upland was evaluated. Soil water repellency persistence was determined by the Water Drop Penetration Time (WDPT) method and its severity by the Molarity of an Ethanol Droplet (MED) method. The data set comprised of 210 samples, 46 of them were found water repellent. All samples exhibiting slight to extreme water repellency were collected from soils covered with forest, no repellency was observed in agricultural and grassland soils. Fine-textured soils, soils with low organic carbon content and alkaline soils were less prone to water repellency. 83% of water repellent soils contained no calcium carbonate.

Kľúčové slová: pôdna vodoodpudivosť, piesok, íl, Cox, CaCO₃, pH

Key words: soil water repellency, sand, clay, SOC, CaCO₃, pH

Úvod

Záujem o pôdnu vodoodpudivosť siaha ďaleko pred 20. storočie, a hoci tento termín neuvádza žiadna z vtedajších publikácií, je zrejmé, že mnohí z vedcov tej doby pozorovali jav vodoodpudivosti, akým sa zaoberáme aj v súčasnosti (DeBano, 2000). Počas nasledujúcich desaťročí sa záujem o pôdnu vodoodpudivosť a jej dôsledky prehĺbil, o čom svedčí aj exponenciálny nárast počtu súvisiacich článkov. Množstvo vedcov z celého sveta sa podieľa na výskumných štúdiách pokrývajúcich rôzne tematické oblasti a publikuje poznatky, ktoré prispievajú k lepšiemu chápaniu vodoodpudivých pôd. Priamo v teréne pôdna vodoodpudivosť často nie je dobre pozorovateľná, jednak kvôli prítomnosti vegetačného krytu, alebo v prípade ak pôda dosiahne určitý stupeň vlhkosti, hoci vodoodpudivosť sa prejavuje aj za vlhka (Jaramillo et al., 2000). Taktiež zadržiavanie dažďovej vody v lesnom opade (poľnohospodárske pôdy sú menej náchylné na vodoodpudivosť) môže zakryť fakt, že nedochádza k infiltrácii a priesaku. Kým nie je odstránený rastlinný pokryv, či už výrubom alebo v dôsledku požiaru, pôdna vodoodpudivosť nemusí znamenať problém. Akonáhle je však odstránený materiál

zadržávajúci vodu a nechránená pôda je vystavená vysúšaniu, územie je ohrozené zvýšeným povrchovým odtokom vyskytujúcim sa počas privalových dažďov, čo vedie k pôdnej erózii a zníženiu nasycovania pôdy vodou (Scott, 2000).

Obsah organickej hmoty, zrnitosť, pôdna reakcia a spôsob využitia zeme sú najdôležitejšími faktormi vplývajúcimi na zmáčavosť (Roberts a Carbon, 1971; McGhie a Posner, 1980; Dekker a Jungerius, 1990; Buczko et al., 2005; Hurraß a Schaumann, 2006; Jordán et al., 2009). Výsledky tejto štúdie poukazujú na rastúcu tendenciu pôdy odolávať prieniku vody so zvyšujúcim sa obsahom organického uhlíka (C_{ox}) a piesku a klesajúcou hodnotou pH a obsahu $CaCO_3$. Vodoodpudivosť je často spájaná so spôsobom hospodárenia s pôdou (González-Peñaloza et al., 2012; García-Moreno et al., 2013) a druhom vegetačného krytu (DeBano, 1981; Crockford et al., 1991; Doerr et al., 2000; Huffman et al., 2001; Buczko et al., 2005; Johnson et al., 2005). Lesné pôdy v záujmovej oblasti pokryli všetky stupne vodoodpudivosti (od zmáčavých až po extrémne vodoodpudivé), zatiaľ čo pôdy pod trvalým trávny porastom a orné pôdy boli výhradne zmáčavé. To potvrdzuje doterajšie zistenia, že obrábanie pôdy prispieva k zvyšovaniu jej zmáčavosti (Blanco-Canqui, 2011). Príčinou môže byť zmena v kvalite organickej hmoty a používanie hnojív. Je tiež pravdepodobné, že namiesto priameho vplyvu obsahu $CaCO_3$ na hodnoty WDPT alebo MED, sú v skutočnosti za vyššiu vodoodpudivosť zodpovedné rôzne iné aspekty súvisiace s vápenatými pôdami (častý nedostatok primeranej vlhkosti, vysoký obsah C_{ox} , ľahšia textúra).

Materiál a metódy

Odber pôdnych vzoriek

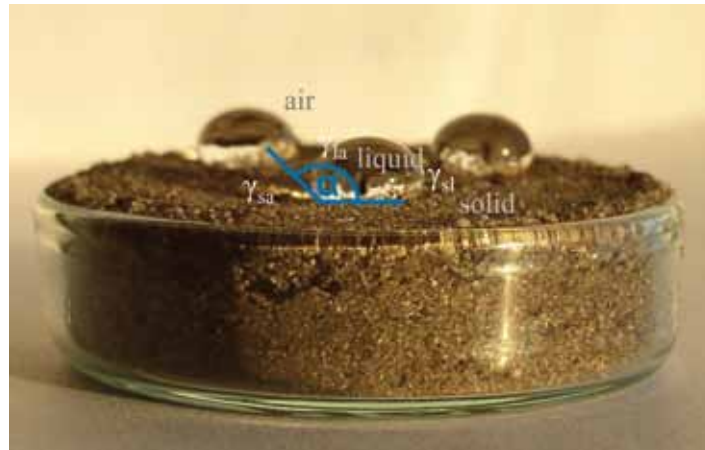
Hlavným kritériom pre výber reprezentatívnych vzoriek bol predpoklad výskytu pôdnej vodoodpudivosti. Výber vhodných pôdnych predstaviteľov bol uskutočnený na základe štúdia pôdnych máp a pôdny prieskum vykonaný podľa Príručky terénneho prieskumu a mapovania pôd (Čurlík a Šurina, 1998). Pre potreby tejto práce boli na záujmovom území odobraté z hĺbky 0 - 20cm vzorky rôznych typov pôdy. Vzhľadom k rôznorodému geomorfologickému a pedologickému charakteru Bielych Karpát nemohlo byť vzorkovanie vykonané v úplne pravidelnej mriežke, približný rozstup medzi jednotlivými sondami bol 5 km². Pôdy boli klasifikované podľa Morfogenetického klasifikačného systému pôd Slovenska (Kolektív, 2000).

Príprava a spracovanie pôdnych vzoriek

Pôdne vzorky boli sušené pri izbovej teplote po dobu jedného týždňa za účelom dosiahnutia konštantnej hmotnosti, následne podrvené, preosiate cez 2-mm sito, zbavené štrku a väčších rastlinných zvyškov. Takto pripravená jemnozerná bola opatrne premiešaná a uskladnená v tmavých polyetylénových vreckách pre potreby analýz.

Laboratórne analýzy vybraných fyzikálnych a chemických pôdnych vlastností

Stálosť vodoodpudivosti bola určená pomocou WDPT (*Water Drop Penetration Time*) testu, čo je asi najjednoduchšia, najbežnejšia a najpraktickejšia metóda používaná na vyhodnotenie tohto parametra. WDPT je mierou času, ktorý potrebuje uhol α na to, aby sa zmenil z jeho pôvodnej hodnoty väčšej ako 90° na hodnotu blížiacu sa 90° (Letey et al., 2000), Obr.1. Tento postup odlišuje vodoodpudivé pôdy ($\alpha > 90^\circ$) od zmáčavých ($\alpha < 90^\circ$).



Obr. 1 Kvapky vody na vodoodpudivom povrchu

α = uhol, ktorý zvierá dotyčnica k povrchu kvapaliny s pevným povrchom, γ_{sa} = povrchové napätie na rozhraní pevnej fázy a vzduchu, γ_{la} = povrchové napätie na rozhraní kvapaliny a vzduchu, γ_{sl} = povrchové napätie na rozhraní pevnej fázy a kvapaliny

Metóda spočíva v umiestnení niekoľkých kvapiek destilovanej vody na hladký povrch pôdy pomocou lekárskeho kvapátka a zaznamenaní času potrebného na ich kompletne vsiaknutie (Letey, 1969). Pôda sa považuje za vodoodpudivú, ak kvapka spontánne nevsiakne do pôdy (t.j. povrchové napätie povrchu pôdy je nižšie ako povrchové napätie kvapky) v určitom časovom intervale. Pre potreby tejto štúdie bolo na povrch každej pôdnej vzorky aplikovaných desať kvapiek destilovanej vody a pôda bola označená ako vodoodpudivá, ak čas priesaku prekročil 5 s (Bisdorn et al., 1993); v prípade rozdielnych časov bola vypočítaná priemerná hodnota času vsiaknutia kvapky. Objem vodnej kvapky bol cca 0,05 ml. Kvapky boli vypúšťané z približne 10 mm výšky z dôvodu minimalizácie porušenia pôdneho povrchu kvapkou (Wylie et al., 2001). Pri meraniach WDPT > 1 h boli vzorky pôdy prikryté viečkami, aby sa zabránilo vyparovaniu vody z kvapky. Na základe výsledkov WDPT testu boli pôdy zaradené do nasledovných tried: < 5s, zmáčavé; 5-60s, mierne; 60-600s, silne; 600-3600s, veľmi silne; > 3600s, extrémne vodoodpudivé pôdy (Dekker a Ritsema, 1995), Tab.1. Meranie WDPT vykonávané na suchých vzorkách je považované za najvhodnejšie, pretože eliminuje rozdiely v pôdnej vlhkosti (Moral Garcia, 1999).

Veľkosť vodoodpudivosti bola stanovená pomocou MED (*Molarity of an Ethanol Droplet*) testu, ktorý je nepriamou metódou merania povrchového napätia γ_{sa} na rozhraní pôdy a vzduchu a udáva, ako silno je kvapka vody odpudzovaná pôdou v čase jej aplikácie na pôdny povrch (Doerr, 1998). Výhodou testu je jeho rýchlosť, takže je veľmi vhodný pre terénne merania, kde dlhé časy stálosti vodoodpudivosti robia WDPT test príliš časovo náročným (Wallis et al, 1991). MED test využíva známe povrchové napätia štandardizovaných roztokov etanolu vo vode, kedy s klesajúcou koncentráciou (molaritou) etanolu rastie povrchové napätie roztoku; do úplne zmáčavej pôdy voda ľahko prenikne pri nulovej molarite etanolu. Kvapka s nižším povrchovým napätím γ_{la} (vyššou koncentráciou etanolu) ako je povrchové napätie γ_{sa} infiltruje do pôdy ľahšie než kvapka s vyšším povrchovým napätím (nižšou koncentráciou etanolu), ktorá ostane nejakú dobu ležať na povrchu pôdy. Kvapky sa aplikujú na hladký povrch pôdy pomocou kvapátok podobne ako pri WDPT teste, zvyčajne v poradí od vysokého povrchového napätia smerom ku klesajúcemu, až kým kvapka nezostane ležať na povrchu dlhšie, ako je čas stanovený na jej infiltráciu. Veľkosť vodoodpudivosti 46 pôdnych vzoriek, ktoré boli na základe výsledkov WDPT testu označené ako vodoodpudivé, bola stanovená pomocou 0,5, 1, 2, 3, ... 32 % roztokov etanolu. Objem roztoku v kvapke bol cca 0,05 ml. Výsledky MED testu môžu byť prezentované ako molarita - MED index (King, 1981; Harper a Gilkes, 1994), povrchové napätie na rozhraní pevná fáza/ vzduch γ_{sa} , povrchové napätie γ_{ND} kvapky etanolu, ktorá vsiakne do pôdy pod uhlom 90° (Carrillo et al. 1999) alebo koncentrácia kvapky etanolu, ktorá prenikne do pôdy v stanovenom časovom intervale (Dekker a Ritsema, 1994), ktorý bol pre potreby tejto práce zvolený na 3s (Doerr, 1998). V tak krátkom čase totiž ešte nedochádza k zmene (oslabeniu) vodoodpudivosti.

Na základe molarity etanolu (mol l^{-1}) boli rozlíšené nasledovné úrovne vodoodpudivosti pôd (Doerr, 1998): 0-0,85 M zmáčavé, 0,85-1,45 M slabo, 1,45-2,22 M stredne, 2,22-3,07 M silne, 3,07-6,14 M veľmi silne, $> 6,14$ M extrémne vodoodpudivé pôdy (Tab.1).

Výsledky MED testu boli použité na výpočet približných hodnôt povrchového napätia na rozhraní pevnej a plynnej fázy γ_{sa} , ktorými takisto môžeme charakterizovať zmáčavosť pôdnych vzoriek.

V prvom kroku bolo vypočítané 90° povrchové napätie γ_{ND} (mN m^{-1}):

$$\gamma_{\text{ND}} = 61,05 - 14,75 \ln (M + 0,5)$$

kde M je molarita, ktorej hodnota bola získaná pomocou MED testu. Následne boli vypočítané hodnoty γ_{sa} (mN m^{-1}) (Carrillo et al., 1999; Regalado a Ritter, 2005):

$$\gamma_{\text{sa}} = \gamma_{\text{ND}} / 4 \Theta^2$$

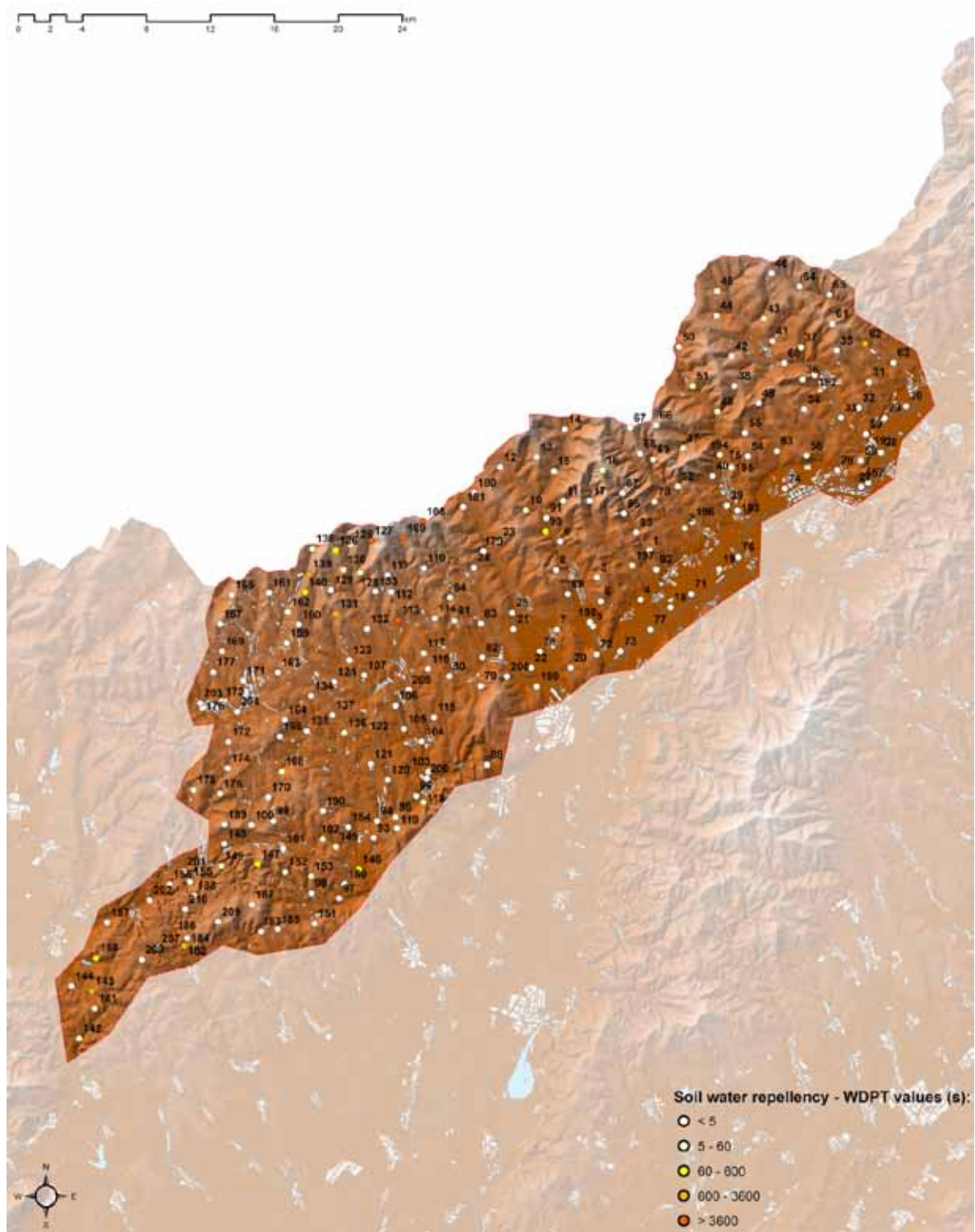
kde Θ je konštanta, ktorá sa mení s molekulárnymi vlastnosťami pevnej látky a kvapaliny. Jej hodnota pre pôdy je približne 0,6 (Regalado a Ritter, 2005).

Nakoľko teplota a relatívna vzdušná vlhkosť môžu ovplyvniť výsledky, pôdna vodoodpudivosť všetkých vzoriek bola v súlade s autormi Dekker a Ritsema (1994) meraná za kontrolovaných podmienok, pri konštantnej teplote ($22,5 \pm 2,5^\circ\text{C}$) a relatívnej vlhkosti vzduchu $< 50\%$.

Pôdne vzorky boli ďalej podrobené zrnitostnej analýze, stanoveniu pôdnej reakcie a percentuálneho obsahu CaCO_3 a C_{ox} . Percentuálny obsah piesku, prachu a ílu bol stanovený pipetovacou metódou podľa Fialu et al. (1999) a pôdny druh následne určený podľa USDA-FAO textúrneho trojuholníka. Pôdne pH bolo zmerané potenciometricky v deionizovanej vode a v 1M KCl v pomere pôda:roztok 1:2,5; obsah CaCO_3 pomocou Jankovho vápnomera (Fiala et al., 1999); a obsah C_{ox} oxidometricky, mokrou cestou (Walkley a Black, 1934).

Výsledky a diskusia

Z testovaného súboru 210 vzoriek (vz.) bolo 46 označených ako vodoodpudivých, čo predstavuje 22% všetkých pôd. Podľa nameraných hodnôt WDPT, 29 vz. bolo vyhodnotených ako mierne, 6 vz. silne, 5 vz. veľmi silne a 6 vz. extrémne vodoodpudivých (Obr.2). Pôdnou vodoodpudivosťou boli najviac postihnuté rankre (75%), regozeme (43%) a kambizeme (26%), hoci tieto výsledky sú podmienené rozdielnou mierou výskytu jednotlivých pôdnych typov na danom území a tým aj rôznym počtom vzoriek pri jednotlivých pôdach (Tab.2). Najdlhší čas potrebný na prienik vody do pôdy bol 78 756 s (kambizem modálna) a najvyššia použitá koncentrácia etanolu 32% (rendzina modálna). Užšia súvislosť medzi výsledkami WDPT a MED testu nebola preukázaná, najmä nie pre stredne vodoodpudivé pôdy. Povrchové napätie na rozhraní pevná fáza/vzduch sa u mierne vodoodpudivých pôd pohybovalo v rozmedzí 47,87-35,84 mN m^{-1} . Interval 34,08-30,04 mN m^{-1} zahŕňal mierne až extrémne vodoodpudivé pôdy, ale väčšina pôd v tejto kategórii sa vyznačovala silnou vodoodpudivosťou. γ_{sa} väčšiny veľmi silne až extrémne vodoodpudivých pôd bolo v rozpätí 29,49-23,40 mN m^{-1} (Tab. 1). Všetky vodoodpudivé pôdy boli pokryté lesmi s prevažným zastúpením hrabu, buka a duba. Zmäčavé pôdy sa vyskytovali v lesných oblastiach (32%), na lúkach (22%), a boli využívané aj na poľnohospodárske účely (46%). Rozdiely existujú aj medzi poľnohospodárskymi pôdami s odlišným spôsobom obrábania. Orané pôdy sa obvykle vyznačujú žiadnou alebo len veľmi slabou vodoodpudivosťou, kým bezorbové metódy hospodárenia môže vyvolať mierny nárast vodoodpudivosti v pôdach, čo možno pripísať zvýšeniu obsahu organického uhlíka (Blanco-Canqui a Lal, 2009).



Obr. 2 Mapa Bielych Karpát a Myjavskej pahorkatiny s vyznačenými pôdnymi sondami a prislúchajúcimi triedami pôdnej vodoodpudivosti podľa nameraných hodnôt WDPT

Tab. 1 Počet vodoodpudivých vzoriek v jednotlivých kategóriách WDPT (Water Drop Penetration Time) (Dekker a Ritsema, 1995), MED (Molarity of an Ethanol Droplet) (Doerr, 1998) a veľkosti povrchového napätia na rozhraní pevná fáza/vzduch (γ_{sa})

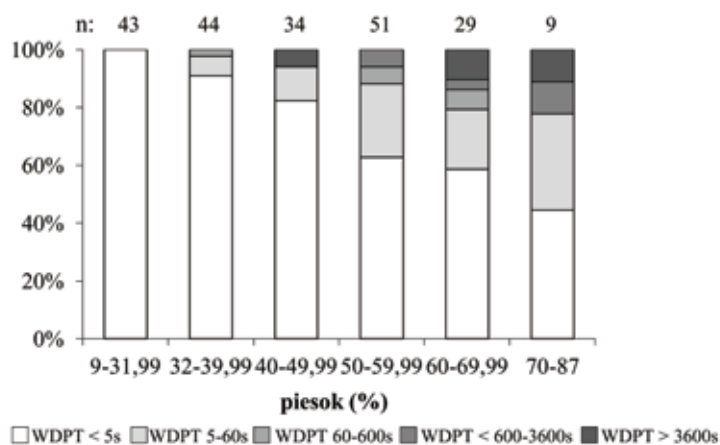
Pôdny typ		RM	FM	RN	RA	PR	HM	LM	KM	PG
WDPT (s) kategórie	5-60	-	1	3	2	2	1	4	16	-
	60-600	3	-	2	-	-	-	-	1	-
	600-3600	-	-	3	1	-	-	1	-	-
	> 3600	-	-	1	-	1	-	1	3	-
MED (mol l ⁻¹) kategórie	< 0,85	-	1	3	1	1	1	3	10	-
	0,85-1,45	-	-	-	1	1	-	1	5	-
	1,45-2,22	3	-	-	-	-	-	-	2	-
	2,22-3,07	-	-	3	-	-	-	1	1	-
MED (%) kategórie	0,5-8	-	1	3	2	2	1	4	15	-
	9-16	3	-	3	-	-	-	-	3	-
	17-21	-	-	3	-	-	-	2	-	-
	22-26	-	-	-	-	1	-	-	2	-
γ_{sa} (mN m ⁻¹) kategórie	27-32	-	-	-	1	1	-	-	-	-
	47,87-35,84	-	1	3	2	2	1	4	15	-
	34,08-30,04	3	-	3	-	-	-	-	3	-
	29,49-23,40	-	-	3	1	1	-	2	2	-

RM-Regozem, FM-Fluvizem, RN-Ranker, RA-Rendzina, PR-Pararendzina, HM-Hnedozem, LM-Luvizem, KM-Kambizem, PG-Pseudoglej

Tab. 2 Celkový počet vzoriek a počet vodoodpudivých vzoriek v pôdach

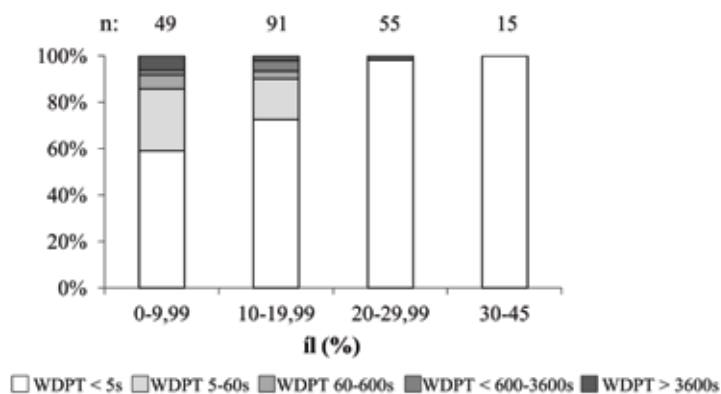
Pôdny typ	RM	FM	RN	RA	PR	HM	LM	KM	PG
Počet vzoriek	7	30	12	20	9	21	30	76	5
Počet vodoodp. vzoriek	3	1	9	3	3	1	6	20	0

Pôdy obsahovali 9,32-86,60% piesku a 0,82-44,36% ílu. Obsah častíc < 0,05 mm sa pohyboval medzi 13,40 - 90,68%. Všetky vzorky s obsahom piesku nižším ako 32,68% boli zmáčavé. Počet vodoodpudivých pôd začal narastať, keď obsah piesku vo vzorkách prekročil 40% (Obr. 3). Štyri zo šiestich extrémne vodoodpudivých vzoriek obsahovali > 60% piesku. Pôda (fluvizem modálna) s najvyšším obsahom pieskovej frakcie bola zmáčavá, pravdepodobne v dôsledku vysokého obsahu CaCO₃ (11%) a nízkeho obsahu C_{ox} (0,66%).

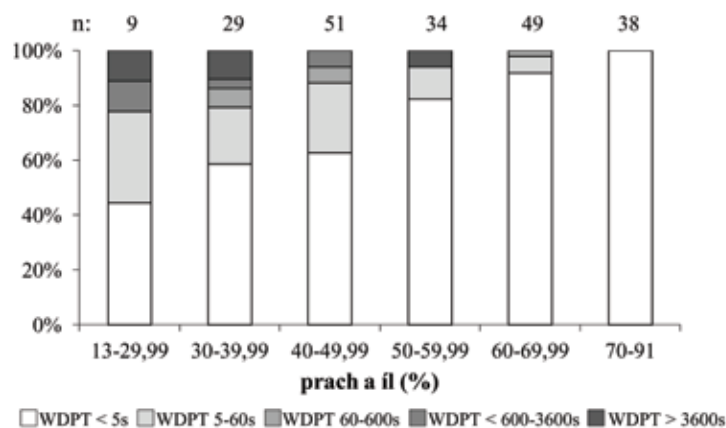


Obr. 3 Podiel vodoodpudivých a zmáčavých pôd podľa percentuálneho obsahu piesku; n = počet vzoriek

Väčšina vodoodpudivých pôd (30 vz.) obsahovala < 12,32% ílu. Pôdy s obsahom ílu > 22,28% boli všetky zmáčavé. Vzorka (kambizem modálna) vyznačujúca sa najvyššou vodoodpudivosťou obsahovala 14,76% ílu. Ďalšie dve extrémne vodoodpudivé vzorky obsahovali 18,16% (luzizem pseudoglejová) a 22,16% (ranker kambizemný) ílu, pričom obidve boli nekarbonátové, s veľmi kyslou pôdnou reakciou a veľmi vysokým obsahom C_{ox} . Niektoré zrnitostne stredne ťažké pôdy, hlinité a piesčito-ílovito-hlinité, sa vyznačovali vysokou vodoodpudivosťou. Získané výsledky potvrdzujú zistenia autorov ako Jamison (1946), Roberts a Carbon (1971), Bishay a Bakhati (1976), a Dekker (1988), že hrubozrnné pôdy s vyšším obsahom piesku sú náchylnejšie na vodoodpudivosť než ílovité pôdy v dôsledku nižšieho špecifického povrchu ich častíc (Obr. 3,4,5).

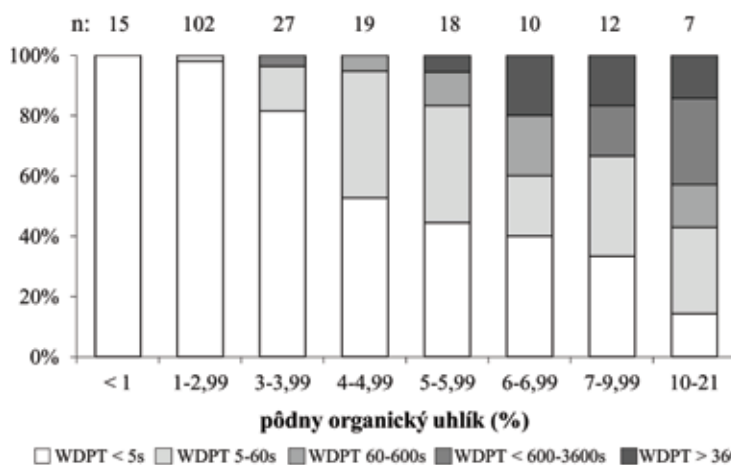


Obr. 4 Podiel vodoodpudivých a zmáčavých pôd podľa percentuálneho obsahu ílu; n = počet vzoriek



Obr. 5 Podiel vodoodpudivých a zmáčavých pôd podľa percentuálneho obsahu frakcie <math>< 0,05\text{ mm}</math>; n = počet vzoriek

Obsah C_{ox} v pôdach sa pohyboval v rozpätí 0,52-20,94%. Najvyššou variabilitou obsahu C_{ox} sa vyznačovali rankre (2,81-20,94%) a kambizeme (0,91-19,76%). Tieto pôdy zároveň patrili k najviac poznačeným pôdnou vodoodpudivosťou. Fluvizeme a pseudogleje mali veľmi úzky rozsah hodnôt obsahu C_{ox} (0,53-3,13% a 0,67-2,04%). Obsah C_{ox} sa v pôdach menil aj podľa spôsobu využívania krajiny; lesné pôdy vykazovali vyššie hodnoty (0,66-20,94%), obsah C_{ox} vo vzorkách odobratých z orných pôd a lúk bol v podobnom intervale, a to 0,52-4,55% a 0,53-4,17%. V pôdach s obsahom $C_{ox} < 3,1\%$ sa nachádzali iba dve vodoodpudivé vzorky. S výnimkou jednej vzorky (kambizem pararendzinová) boli všetky pôdy s obsahom $C_{ox} > 8,06\%$ vyhodnotené ako vodoodpudivé. Z výsledkov je zrejмый trend znižovania počtu zmáčavých pôd s rastúcim obsahom C_{ox} (Obr. 6).



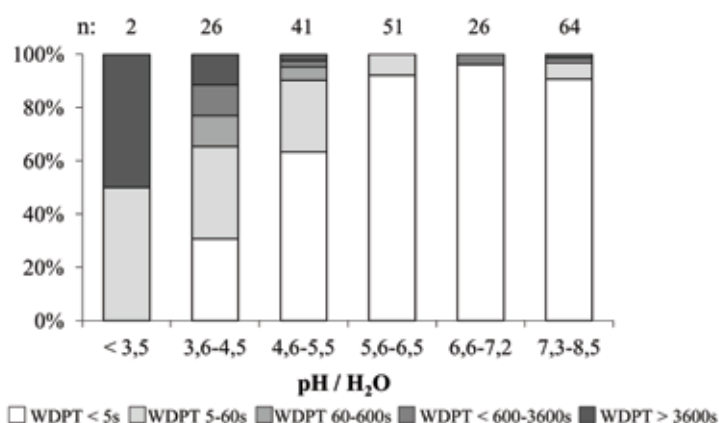
Obr. 6 Podiel vodoodpudivých a zmáčavých pôd podľa percentuálneho obsahu pôdneho organického uhlíka (C_{ox}); n = počet vzoriek

Obsah $CaCO_3$ sa pohyboval v rozmedzí 0-63%, väčšina pôd (62%) však bola nekarbonátová. 100% fluvizemí, 90% rankrov a 89% pararendzín bolo obohatených o $CaCO_3$. Dve vodoodpudivé vzorky sa vyznačovali vysokým obsahom $CaCO_3$ (50% a 51%), vodoodpudivosť bola v tomto prípade pravdepodobne zapríčinená vysokým obsahom C_{ox} a vysokým podielom pieskovej frakcie. Na rozdiel od autorov Dekker a Jungerius (1990) prezentujúcich nezávislosť veľkosti vodoodpudivosti od obsahu $CaCO_3$, 83% vodoodpudivých pôd neobsahovalo $CaCO_3$.

Pôdna reakcia bola veľmi silne kyslá (0,95% pôd) až mierne alkalická (30% pôd) podmienená typom materskej horniny (silikátový a karbonátový materiál), vegetačného krytu a pomerne vlhkými a chladnými klimatickými podmienkami. pH/ H_2O sa pohybovalo medzi 3,46 a 8,31 a pH/KCl medzi

2,92 a 7,96. Kambizeme sa vyznačovali najširším, fluvizeme a pseudogleje najužším rozsahom pH. Posledné spomenuté boli intenzívne poľnohospodársky využívané a zmáčavé. Väčšina kyslých pôd patrila zástupcom rankrov, ktoré boli zároveň najmenej poľnohospodársky atraktívne. Vodoodpudivé pôdy boli pozorované v pomerne širokom rozpätí pH (3,46-8,05). 72% vodoodpudivých pôd malo hodnoty $\text{pH}/\text{KCl} < 4,31$.

Na rozdiel od autorov Roberts a Carbon (1971) a Steenhuis et al. (2001), ktorí vo svojich prácach uvádzajú, že pôdna vodoodpudivosť sa neobjaví za alkalických podmienok, bola vodoodpudivosť zistená u 9% alkalických pôd. Jedna z extrémne vodoodpudivých vzoriek (pararendzina kambizemná) obsahovala až 19,8% CaCO_3 a bola mierne zásaditá. Dôležitú úlohu tu však pravdepodobne zohral vysoký (83,16%) obsah piesku. V súlade s autormi Ritsema a Dekker (1998) a Hurraß a Schaumann (2006), pri všetkých pôdnych typoch s výskytom vodoodpudivých pôd, nárast pH vo všeobecnosti znamenal lepšiu zmáčavosť (Obr. 7).



Obr. 7 Podiel vodoodpudivých a zmáčavých pôd v jednotlivých kategóriach pH/H₂O (podľa Čurlíka et al., 2003); n = počet vzoriek

Záver

Pre účely tejto práce bol testovaný súbor obsahujúci 210 pôdnych vzoriek vyznačujúcich sa rôznymi stupňami pôdnej vodoodpudivosti. Podľa výsledkov WDPT testu bolo 22% vzoriek vyhodnotených ako mierne až extrémne vodoodpudivých, všetky boli odobraté zo zalesnených plôch. Výsledky potvrdzujú výskyt vodoodpudivosti u rôznych subtypov kambizemí, regozemí, rankrov, v menšej miere tiež rendzín, pararendzín a luvizemí. Hodnoty WDPT sa pohybovali od 0 s po 22 hod. Vzorka kambizeme modálnej s obsahom piesku 60,72%, obsahom C_{ox} 9,05%, nulovým obsahom CaCO_3 a veľmi silne kyslou pôdnou reakciou bola vyhodnotená ako najvodoodpudivejšia. Obsah C_{ox} bol výrazne vyšší vo vodoodpudivých pôdach v porovnaní so zmáčavými. 38% pôd, predovšetkým fluvizemí, rendzín a pararendzín, obsahovalo CaCO_3 , a to až do hodnoty 63%; táto skupina obsahovala 17% vodoodpudivých pôd. Podľa hodnôt $\text{pH}/\text{H}_2\text{O}$ boli pôdy charakterizované ako veľmi silne kyslé až mierne zásadité. pH vodoodpudivých pôd pokrývalo takmer celý interval nameraných hodnôt, 3,46-8,31. Keďže sledované územie bolo rozľahlé a pomerne rôznorodé, aj jeho pôdy boli zrnitostne rozdielne. Čo sa týka pieskovej frakcie, viac ako polovica rankrov, rendzín, pararendzín a fluvizemí obsahovala viac než 50% piesku. Z tejto skupiny pôd s vysokým podielom piesku bola polovica vzoriek odobratých z rankrov vyhodnotená ako vodoodpudivá. Fluvizeme obsahovali iba jednu mierne vodoodpudivú vzorku. Zmäčavosť pôd sa významne zvyšovala s rastúcim obsahom ílu a klesajúcim obsahom piesku.

Literatúra

- BISDOM, E.B.A., DEKKER, L.W., SCHOUTE, J.F.T (1993) Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure. *Geoderma* 56: pp. 105-118.
- BISHAY, B.G., BAKHATI, H.K. (1976) Water repellency of soils under citrus trees in Egypt and means of improvement. *Agricultural Resources Review* 54: pp. 63-74.
- BLANCO-CANQUI, H. (2011) Does no-till farming induce water repellency to soils? *Soil Use and Management* 27: pp. 2-9.
- BLANCO-CANQUI, H., LAL, R. (2009) Extent of soil water repellency under long-term no-till soils. *Geoderma* 149(1-2): pp. 171-180.
- BUCZKO, U., BENS, O., HÜTTL, R.F. (2005) Variability of soil water repellency in sandy forest soils with different stand structure under Scots pine (*Pinus sylvestris*) and beech (*Fagus sylvatica*). *Geoderma* 126(3-4): pp. 317-336.
- CARRILLO, M.L.K., LETEY, J., YATES, S.R. (1999) Measurement of initial soil-water contact angle of water repellent soils. *Soil Science Society of America Journal* 63: pp. 433-436.
- CROCKFORD, H., TOPALIDIS, S., RICHARDSON, D.P. (1991) Water repellency in a dry sclerophyll eucalypt forest - measurements and processes. *Hydrological Processes* 5: pp. 405-420.
- ČURLÍK, J., BEDRNA, Z., HANES, J., HOLOBRADÝ, K., HRTÁNEK, B., KOTVAS, F., MASARYK, Š., PAULEN, J. (2003) Pôdna reakcia a jej úprava. Jaroslav Suchoň, Suma print, Bratislava, 250 str.
- ČURLÍK, J., ŠURINA, B. (1998) Príručka terénneho prieskumu a mapovania pôd. VÚPOP, Bratislava, 134 str.
- DEBANO, L.F. (1981) Water repellent soils: A state-of-the-art. USDA Forest Service General Technical Report PS W-46. Berkeley, California, 21 pp.
- DEBANO, L.F. (2000) Water repellency in soils: a historical overview. *Journal of Hydrology* 231-232: pp. 4-32.
- DEKKER, L.W. (1988) Verspreiding, oorzaken, gevolgen en verbeteringsmogelijkheden van waterafstotende gronden in Nederland. Rapport nr. 2046 Netherlands Soil Survey Institute, Wageningen, The Netherlands, 54 str.
- DEKKER, L.W., JUNGERIUS, P.D. (1990) Water repellency in the dunes with special reference to the Netherlands. *Catena* 18: pp. 173-183.
- DEKKER, L. W., RITSEMA, C.J. (1994) How water moves in a water repellent sandy soil 1. Potential and actual water repellency. *Water Resources Research* 30(9): pp. 2507-2517.
- DEKKER, L.W., RITSEMA, C.J. (1995) Fingerlike wetting patterns in two water-repellent loam soils. *Journal of Environmental Quality* 24: pp. 324-333.
- DOERR, S.H. (1998) On standardizing the 'Water Drop Penetration Time' and the 'Molarity of an Ethanol Droplet' techniques to classify soil hydrophobicity: a case study using medium textured soils. *Earth Surface Processes and Landforms* 23: pp. 663-668.
- DOERR, S.H., SHAKESBY, R.A., WALSH, R.P.D. (2000). Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth Science Review* 51: pp. 33-65.
- FIALA, K., KOBZA, J., MATÚŠKOVÁ, Ľ., BREČKOVÁ, V., MAKOVNÍKOVÁ, J., BARANČIKOVÁ, G., BÚRIK, V., LITAVEC, T., HOUŠKOVÁ, B., CHROMANIČOVÁ, A., VÁRADIOVÁ, D., PECHOVÁ, B. (1999) Závazné metódy rozboru pôd. Čiastkový monitorovací systém - pôda. VÚPOP, Bratislava, 142 str.

- GARCÍA-MORENO, J., GORDILLO-RIVERO, Á.J., ZAVALA, L.M., JORDÁN, A., PEREIRA, P. (2013) Mulch application in fruit orchards increases the persistence of soil water repellency during a 15-years period. *Soil and Tillage Research* 130: pp. 62-68.
- GONZÁLES-PEÑALOZA, F.A., CERDÀ, A., ZAVALA, L.M., JORDÁN, A., GIMENEZ-MORERA, A., ARCENEGUI, V. (2012) Do conservative agriculture practices increase soil water repellency?: A case study in citrus-cropped soils. *Soil and Tillage Research* 124: pp. 233-239.
- HARPER, R.J., GILKES, R.J. (1994) Soil attributes related to water repellency and the utility of soil survey for predicting its occurrence. *Australian Journal of Soil Research* 32: pp. 1109-1124.
- HUFFMAN, E.L., MACDONALD, L.H., STEDNICK, J.D. (2001) Strength and persistence of fire-induced soil hydrophobicity under ponderosa and lodgepole pine, Colorado Front Range. *Hydrological Processes* 15: pp. 2877-2892.
- HURRASS, J., SCHAUMANN, G.E. (2006) Properties of soil organic matter and aqueous extracts of actually water repellent and wettable soil samples. *Geoderma* 132(1-2): pp. 222-239.
- JAMISON, V.C. (1946) Resistance to wetting in the surface of sandy soils under citrus trees in central Florida and its effect upon penetration and the efficiency of irrigation. *Soil Science Society of America Proceedings* 11: pp. 103-109.
- JARAMILLO, D.F., DEKKER, L.W., RITSEMA, C.J., HENDRICKX, J.H.M. (2000) Occurrence of soil water repellency in arid and humid climates. *Journal of Hydrology* 231-232: pp. 105-111.
- JOHNSON, M.S., LEHMANN, J., STEENHUIS, T.S., DE OLIVEIRA, L.V., FERNANDES, E.C.M. (2005) Spatial and temporal variability of soil water repellency of Amazonian pastures. *Australian Journal of Soil Research* 43: pp. 319-326.
- JORDÁN, A., ZAVALA, L.M., NAVA, A.L., ALANÍS, N. (2009) Occurrence and hydrological effects of water repellency in different soil and land use types in Mexican volcanic highlands. *Catena* 79: pp. 60-71.
- KING, P.M. (1981) Comparison of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement. *Australian Journal of Soil Research* 19: pp. 275-285.
- KOLEKTÍV (2000) Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. VÚPOP, Bratislava, 76 str.
- LETEY, J. (1969) Measurement of contact angle, water drop penetration time, and critical surface tension. In: DeBano, L.F., Letey, J., (eds.), *Proceedings of a Symposium on water repellent soils*. May 6-10, 1968, Riverside, CA, 354 str.
- LETEY, J., CARRILLO, M.L.K., PANG, X.P. (2000) Approaches to characterize the degree of water repellency. *Journal of Hydrology* 231-232(1-4): pp. 61-65.
- MCGHIE, D.A., POSNER, A.M. (1981) The effect of plant top material on the water repellence of fired sands and water repellent soils. *Australian Journal of Agricultural Research* 32: pp. 609-620.
- MORAL GARCIA, F.J. (1999) Hidrologia de los suelos arenosos del parque natural del entorno de Donana. Doctoral Thesis. University of Cordoba, Spain, 334 str.
- REGALADO, C.M., RITTER, A. (2005) Characterizing water dependent soil repellency with minimal parameter requirement. *Soil Science Society of America Journal* 69(6): pp. 1955-1966.
- RITSEMA, C.J., DEKKER, L.W. (1998) Three-dimensional patterns of moisture, water repellency, bromide and pH in a sandy soil. *Journal of Contaminant Hydrology* 31: pp. 295-313.
- ROBERTS, F.J., CARBON, B.A. (1971) Water repellence in sandy soils of southwestern Australia: I. Some studies related to field occurrence. *Field Station Record Division Plant Industry CSIRO, Australia*, 10: pp. 13-20.

SCOTT, D.F. (2000) Soil wettability in forested catchments in South Africa; as measured by different methods and as affected by vegetation cover and soil characteristics. *Journal of Hydrology* 231-232(1-4): pp. 87-104.

STEENHUIS, T.S., RIVERA, J.C., HERNÁNDEZ, C.J.M., WALTER, M.T., BRYANT, R.B., NEKTARIOS, P. (2001) Water repellency in New York state soils. *International Turfgrass Society Research Journal* 9: pp. 624-628.

WALKLEY, A., BLACK, I.A. (1934) An examination of the Degtjareff method for determining soil O.M. and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: pp. 29-38.

WALLIS, M.G., SCOTTER, D.R., HORNE, D.J. (1991) An evaluation of the intrinsic sorptivity water repellency index on a range of New Zealand soils. *Australian Journal of Soil Research* 29: pp. 353-362.

WYLIE, L., ALLINSON, G., STAGNITTI, F. (2001) Guidelines for the standardisation of the water drop penetration time test. 26th General Assembly of the European Geophysical Society, EGS Nice France, 26-30 March 2001, Abstracts 3, pp. 631-633.