VPLYV BIOLOGICKÝCH FAKTOROV NA INFILTRÁCIU VODY DO PÔDY

Zuzana Nižnanská, Ľubomír Lichner, Miloslav Šír, Miroslav Tesař

V príspevku prezentujeme vplyv biopórov a vodoodpudivosti povrchovej a podložnej vrstvy pôdy na priebeh infiltračnej krivky. Infiltráciu do vodoodpudivej pôdy na lokalite Most a infiltráciu do zmáčavej pôdy s biopórmi a bez nich na lokalite Macov sme merali dvojvalcovým infiltrometrom. Rýchlosť infiltrácie do pôdy s biopórmi bola omnoho vyššia ako do pôdy bez biopórov a vodoodpudivej pôdy. U vodoodpudivej pôdy došlo k zániku vodoodpudivosti po 139 minútach od začiatku infiltrácie, čo sa prejavilo nárastom infiltračnej rýchlosti.

Kľúčové slová: infiltrácia, biopóry, vodoodpudivosť

Effect of biological factors on infiltration of water into the soil. *An influence of biopores and soil water repellency on infiltration of water into the soil is presented. Infiltration into water repellent soil (locality Most), and into wettable soil with and without biopores (locality Macov) was measured with double-ring infiltrometer. The infiltration rate measured in the soil with biopores was much higher than that measured in the soil without biopores and in the water repellent soil. Breakdown of water repellency was observed in the water repellent soil for 139 min. after the beginning of infiltration, resulting in an increase in infiltration rate.*

Key words: infiltration, biopores, water repellency

ÚVOD

V mnohých prípadoch voda a v nej rozpustené látky pri svojom pohybe cez pôdu neprechádzajú celým jej objemom, ale využívajú preferované cesty, čo sú také vertikálne orientované dráhy prúdenia, ktoré sú počas prívalovej zrážky vlhkejšie a vedú viac vody cez jednotkovú plochu prierezu ako okolitá pôda (Steenhuis et al. 1996). Preferované prúdenie môže byť vyvolané heterogenitou alebo nestabilitou. Heterogenitou podmienené preferované prúdenie sa vyskytuje napríklad v pôdach s makropórmi, keď sú makropóry otvorené na povrchu pôdy a intenzita závlahy alebo dažďa je vyššia ako rýchlosť infiltrácie do pôdnej matrice (Beven, Germann 1982). Nestabilitou podmienené preferované prúdenie (prúdenie prstami) sa vyskytuje v podmienkach, ktoré navodzujú vratkú rovnováhu medzi kapilaritou a gravitačnou silou pôsobiacou na vodu v pôde. Sú to prípady, keď kapilárna sila, ktorá v pôde púta (stabilizuje) vodu, je porovnateľná s gravitačnou výškou, ktorá vodu uvádza do pohybu (destabilizuje). Nestabilitou hnané prúdenie nastáva v situácii, keď množstvo vody v niektorej časti pôdy spôsobí, že dôjde k hydraulickému prepojeniu pórov v takej výške, že tiaž takto vzniknutého vodného telesa prekoná stabilizujúce kapilárne sily. Potom dôjde k rýchlemu prúdeniu vody do hlbších partií pôdy. K prúdeniu prstami dochádza aj u vodoodpudivej pôdy, kde nastáva účinné zmenšenie prípadne až úplnému odstránenie stabilizujúcich kapilárnych síl.

Biopóry (makropóry vytvorené pôdnou faunou alebo priestorom po odumretých koreňoch vyšších rastlín) ako aj biologickými faktormi spôsobená vodoodpudivosť povrchovej a podložnej vrstvy pôdy spôsobujú zmenu rýchlosti infiltrácie vody do pôdy a s tým spojenú zmenu povrchového odtoku, prúdenie prstami, ako aj zmenu trojrozmerného rozdelenia a dynamiky pôdnej vlhkosti. Hĺbka a tvar biopórov môže závisieť nielen od spôsobu ich vzniku, t.j. od živočíšneho prípadne rastlinného druhu a jeho životného cyklu, ale aj od typu pôdy, či iných abiotických podmienok (Wang et al. 1994). Hydrologicky efektívne (= na povrchu pôdy otvorené) biopóry značne ovplyvňujú infiltráciu a pohyb vody v pôde. Beven a Germann (1982) uvádzajú, že po otvorení jediného makropóru na parcele s plochou 1,35 m^2 sa skoro dvojnásobne zvýšila rýchlosť infiltrácie (z $1{,}7.10^{-5}$ m s^{-1} na $2{,}8.10^{-5}$ m s^{-1}).

Vodoodpudivosť pôdy (hydrofóbnosť) je dôsledkom malého povrchového napätia pôdy (menšieho než povrchové napätie vody, ktoré sa rovná $72{,}75.10^{-3}$ N m^{-1}) vyplývajúceho z pokrytia minerálnych častíc pôdy amfifilickými uhľovodíkmi. Zdrojom týchto uhľovodíkov môže byť rozpadajúca sa organická hmota, pôdna fauna, mikroorganizmy, sliz z koreňov rastlín, vosky erodované mechanicky z listov

rastlín, lipidy uvoľnené z rozkladajúceho sa rastlinného opadu a pod. (Dlapa et al. 2004). Vodoodpudivé látky v povrchovej vrstve pôdy veľmi spomaľujú infiltráciu vody do pôdy (DeBano 1971) a spôsobujú tvorbu výtopy. Voda neinfiltruje do vodoodpudivej pôdy, ak výška výtopy neprekročí vstupný tlak vody h_p. Feng et al. (2001) zistili, že časová závislosť infiltračnej rýchlosti je funkciou výšky výtopy h_0. Zatiaľ čo pri menších výškach výtopy ($h_0 = 1{,}8 – 2{,}4\ h_p$) infiltračná rýchlosť rástla s časom, pri väčších výškach výtopy ($h_0 = 2{,}9 – 3{,}6\ h_p$) infiltračná rýchlosť klesala s časom tak, ako je to typické pre zmáčavé pôdy. Vodoodpudivosť ovplyvňuje trojrozmerné rozdelenie pôdnej vlhkosti tak, že môže spôsobiť rozdiel vlhkosti až 28 % (obj.) vo vzorkách organozeme, odobratých tesne vedľa seba (Dekker, Ritsema 1996a). Priestorová variabilita vodoodpudivosti povrchovej vrstvy pôdy má za následok aj priestorovú variabilitu evapotranspirácie, lebo vodoodpudivá vrstva na povrchu pôdy zabraňuje kapilárnemu pohybu vody z nižších horizontov smerom k povrchu a tak eliminuje vyparovanie (Novák 1995). Priestorová variabilita vlhkosti pod dlhodobo neobrábaným trávnikom je vysoká v dôsledku prúdenia prstami, v prípade obrábanej pôdy treba brať do úvahy, že priestorová variabilita pôdnej vlhkosti nie je len dôsledkom priestorovej variability vodoodpudivosti, ale je spôsobená aj stokom po kmeni rastlín, intercepciou a mikrodepresiami medzi riadkami poľnohospodárskych plodín (Dekker, Ritsema 1996b; 1997).

Nepravidelné rozdelenie pôdnej vlhkosti, spôsobené vodoodpudivosťou, môže mať za následok nerovnomerné klíčenie a rast poľnohospodárskych plodín, ako aj rýchle vylúhovanie povrchovo aplikovaných agrochemikálií a zvýšené riziko kontaminácie povrchovej a podzemnej vody (Ritsema et al. 1993). Počas dažďa s dostatočnou intenzitou možno preto pozorovať Hortonovské povrchové prúdenie, ktoré vzniká vtedy, keď intenzita zrážky prekročí rýchlosť infiltrácie do pôdy (Hlavčová et al. 2001). Lokalizácia a frekvencia hydrologicky efektívnych preferovaných ciest (makropórov otvorených na povrchu pôdy) a plôch zmáčavej alebo menej vodoodpudivej pôdy (priestorová variabilita vodoodpudivosti povrchovej vrstvy pôdy) určuje plošný rozsah povrchového prúdenia. Vplyv hydrofóbnosti pôdy na časový priebeh infiltračnej rýchlosti je zanedbateľný, ak dráhy preferovaného prúdenia prechádzajú cez vodoodpudivú vrstvu pôdy a spájajú povrch pôdy so zmáčavou podpovrchovou vrstvou, ktorá má vysokú hodnotu nasýtenej hydraulickej vodivosti. Vodoodpudivosť môže mať za následok buď zníženie rýchlosti prúdenia vody v pôdnej matrici a nasmerovanie časti vody do makropórov alebo prúdenie prstami (fingering) vo vodoodpudivej pôdnej matrici. Makropórové prúdenie má však aj nepriaznivé účinky, lebo znižuje efektívnosť zavlažovania a hnojenia, keď časť závlahovej vody a a časť rozpustených agrochemikálií obtekajú pôdnu matricu a dostávajú sa do podkoreňovej oblasti bez úžitku pre poľnohospodárske plodiny. Veľká rýchlosť pohybu vody a prenosu rozpustených látok v makropóroch spôsobuje, že aj veľmi reaktívne rozpustené látky sa prakticky bez adsorpcie dostanú do veľkých hĺbok a predstavujú reálne nebezpečenstvo pre plytké podzemné vody (Lichner 1998, Nováková et al. 2000). Nepriaznivým dôsledkom makropórového prúdenia možno zabrániť napr. plytkou orbou, ktorou sa zničia vyústenia makropórov na povrchu pôdy a tým sa anuluje ich schopnosť viesť gravitačnú vodu z povrchu pôdy do podložia. Rýchlemu prenosu agrochemikálií do podložia možno zabrániť ich podpovrchovou aplikáciou.

Cieľom štúdie bolo stanoviť vplyv biopórov a vodoodpudivosti pôdy na priebeh infiltračnej krivky (= závislosti infiltračnej rýchlosti od času).

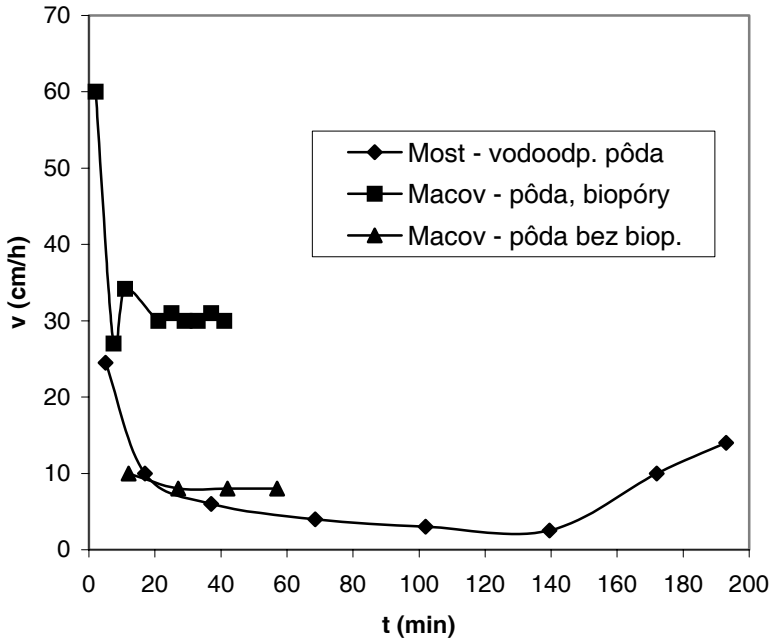
MATERIÁL A METÓDY

Infiltráciu vody do pôdy sme merali v Moste a v Macove. V Macove sa jedná o stredne ťažkú hlinitú pôdu, pôdny typ černozem kultizemná čiernicová karbonátová – $ČMač^c$ (MKSPS 2000). Pôda bola poľnohospodársky využívaná, pestovaná bola na nej striedavo kukurica a ozimná pšenica. Substrátom je karbonátový sprašoidný aluviálny náplav, podzemná voda sa nachádza v hĺbke 320 cm. V Moste ide o dlhodobo neobrábanú, zatrávnenú hlinitú pôdu, černozem modálnu karbonátovú $ČM^C$ (MKSPS 2000). Merania boli uskutočňované v teplom období bez zrážok.

Infiltračný test sme vykonávali pomocou dvojvalcového infiltrometra podľa Krejču a Kutílka (1988). Vnútorný valec mal priemer 30 cm, vonkajší 55 cm. Infiltrácia bola vykonávaná pod malou tlakovou výškou h_0 = 3 – 5 cm. Merali sme čas potrebný na infiltráciu 2 cm (pre t = 0 – 139 min) alebo 5 cm vody v prípade, keď infiltračná rýchlosť náhle rástla. V Moste sme pred meraním odstránili vegetačný kryt. V Macove sme merania robili na pôde s biopórmi a na pôde, kde sme vstup do biopórov mechanicky porušili, čím sme znemožnili ich účasť na infiltrácii.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výsledky meraní závislosti infiltračnej rýchlosti od času na vodoodpudivej pôde na lokalite Most a na pôde s biopórmi a bez biopórov na lokalite Macov sú na obr. 1.



Obr. 1 Časový priebeh infiltrácie do vodoodpudivej pôdy v Moste, ako aj do pôdy s biopórmi a pôdy bez biopórov v Macove

Fig. 1 The time course of infiltration rate in the water repellent soil in Most, and in the soil with and without biopores in Macov

U vodoodpudivej pôdy v prvej fáze časového priebehu (0 – 37 min) klesla infiltračná rýchlosť v z 24 cm h^{-1} na 6 cm h^{-1}. V druhej fáze časového priebehu (37 – 139 min) mala infiltračná rýchlosť v skoro ustálenú hodnotu 3 – 5 cm h^{-1}. V tretej fáze časového priebehu (139 – 191 min) sa infiltračná rýchlosť v zvýšila z 3,3 cm h^{-1} na 13,6 cm h^{-1}. Podobný časový priebeh nenasýtenej infiltračnej rýchlosti pri tlakovej výške h_0 = –40 mm pozorovali Clothier et al. (2000). Prvú fázu časového priebehu títo autori interpretovali ako proces tvorby distribučnej zóny v niekoľko cm hrubej povrchovej vrstve pôdy. V druhej fáze časového priebehu vo vodoodpudivej pôde rástol prst (fingering) a v tretej fáze časového priebehu tento prst dosiahol zmáčavú podložnú pôdu a prúdenie z neho divergovalo. Výsledky nášho infiltračného experimentu ukázali zánik vodoodpudivosti po 139 minútach od začiatku infiltrácie. Aby sa takéto výsledky získali, infiltračný experiment sa nesmie skončiť hneď po dosiahnutí ustáleného stavu. Clothier et al. (2000) uzatvárajú, že podobné výsledky sú zriedkavé práve preto, že infiltračné experimenty bežne končia hneď po dosiahnutí ustáleného stavu..

U pôdy s biopórmi dosahovala infiltračná rýchlosť na začiatku infiltrácie hodnotu 60 cm h^{-1}, potom prudko klesla a asi po dvadsiatich minútach sa ustálila na hodnote 30 – 31 cm h^{-1}. U pôdy bez

biopórov dosahovala infiltračná rýchlosť na začiatku infiltrácie hodnotu 10 cm h^{-1}, potom sa ustálila na hodnote 8 cm h^{-1}. Ako vidno, prítomnosť hydrologicky efektívnych ciest preferovaného prúdenia mala za následok vyššiu rýchlosť infiltrácie do pôdy s biopórmi. Infiltračná rýchlosť u pôdy s biopórmi bola podstatne vyššia ako u pôdy bez hydrologicky efektívnych biopórov a u vodoodpudivej pôdy. Na začiatku infiltrácie dochádzalo k rýchlemu vtekaniu vody do makropórov. Hodnota infiltračnej rýchlosti sa ustálila, keď sa makropóry naplnili vodou. Infiltračná rýchlosť však ostávala väčšia ako u pôdy bez hydrologicky efektívnych makropórov, pretože k vsakovaniu vody do matrice nedochádzalo len cez povrch pôdy, ale aj laterárnym prúdením cez steny makropórov.

ZÁVER

Z prezentovaných výsledkov závislosti infiltračnej rýchlosti od času pre pôdu s hydrologicky efektívnymi biopórmi, pôdu bez hydrologicky efektívnych biopórov a vodoodpudivú pôdu je vidieť, že infiltračná krivka dobre vystihuje nielen odlišnosti v pôdnej textúre, ale aj vplyv biologických faktorov na infiltráciu a prúdenie vody v pôde.

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu vedy a techniky prostredníctvom finančnej podpory č. APVT-51-006502, grantovou agentúrou VEGA (projekty č. 2/3032/23) a Akadémiou vied Českej republiky v rámci projektu S2060104 Programu na podporu cieleného vývoja a výskumu.

Literatúra

Beven, K., Germann, P. (1982): Macropores and water flow in soils. Water Resour. Res., 18: 1311–1325.

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

DeBano, L.F. (1971): The effect of hydrophobic substances on water movement in soil during infiltration. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35: 340–343.

Dekker, L.W., Ritsema, C.J. (1996a): Variation in water content and wetting patterns in Dutch water repellent peaty clay and clayey peat soils. Catena 28: 89–105.

Dekker, L.W., Ritsema, C.J. (1996b): Uneven moisture patterns in water repellent soils. Geoderma 70: 87–99.

Dekker, L.W., Ritsema, C.J. (1997): Effect of maize canopy and water repellency on moisture patterns in a Dutch black plaggen soil. Plant & Soil, 195: 339–350.

Dlapa, P., Doerr, S.H., Lichner, Ľ., Šír, M., Tesař, M. (2004): Alleviation of soil water repellency: effect of kaolinite and Ca-montmorillonite. Plant, Soil Environ. 50: 358–363.

Feng, G.L., Letey, J., Wu, L. (2001): Water ponding depths affect temporal infiltration rates in a water-repellent sand. Soil Sci. Soc. Am. J. 65(2): 315–320.

Hlavčová, K., Holko, L., Szolgay, J. (2001): Tvorba a modelovanie odtoku na svahoch a z malých povodí. Životné prostredie 35: 126–132.

Krejča, M., Kutílek, M., 1988: Vyhodnocení terénního měření infiltrace výtopou (dvouválcová metoda). Vodní hospodářství 38: 123–129.

Lichner, Ľ. (1998): Vplyv makropórového prúdenia na prenos kadmia v pôde. J. Hydrol. Hydromech. 46: 207–217.

MKSPS (2000): Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia. VÚPOP, Bratislava, 76 s.

Novák, V. (1995): Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovania. Veda, Bratislava, 260 s.

Nováková, K., Píš, V., Kazda, R. (2000): Prenos iónov kadmia v zóne aerácie pôdy. In: Majerčák, J., Hurtalová, T. (eds.): VIII. posterový deň Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda – rastlina – atmosféra. Zborník plných textov na CD, Bratislava, 5 s.

Ritsema, C.J., Dekker, L.W., Hendrickx, J.H.M., Hamminga, W. (1993): Preferential flow mechanism in a water repellent sandy soil. Water Resour. Res. 29: 2183–2193.

Steenhuis, T.S., Ritsema, C.J., Dekker, L.W. (1996): Introduction to Special Issue: Fingered flow in unsaturated soil: from nature to model. Geoderma 70: 83–85.

Wang, D., Normann, J.M, Lowery, B., McSweeney, K. (1994): Nondestructive determination of hydrogeometrical characteristics of soil macropores. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 294–303.

Autori

Mgr. Zuzana Nižnanská, Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 83102 Bratislava, niznanska@uh.savba.sk

Ing. Ľubomír Lichner, CSc., Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 83102 Bratislava, lichner@uh.savba.sk

Ing. Miloslav Šír, CSc., Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, Pod Paťankou 5, 166 12 Praha 6, msir@mereni.cz

Ing. Miroslav Tesař, CSc, Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, Pod Paťankou 5, 166 12 Praha 6, miroslav.tesar@iol.cz