

Příspěvek k řešení změn vlastností půdních makropórů při podpovrchové retenci a retardaci vod

A contribution to solving the changes of soil macropores properties during
subsurface retention and retardation of water

Igor Pelíšek

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

Abstrakt

Vertikální distribuce vody v půdním profilu je významný faktor při optimalizaci vláhových podmínek rostlinné produkce. Hydromeliorační opatření na půdách (odvodnění i závlaha) proto zohledňují parametry propustnosti půd, a tedy i makropórovitosti. Ke snižování negativních projevů sucha lze využít mj. infiltrační opatření na povrchu půd anebo retardaci podpovrchového odtoku, včetně drenážního. Otázkou je propustnost, stabilita, kapacita a reverzibilita změn zoogenních makropórů při infiltraci vody z půdního povrchu anebo při retardaci podpovrchového odtoku. Tyto proměnné jsou ověřovány terénními i laboratorními testy za využití přesného kontinuálního infiltrometru.

Klíčová slova:

makropórovitost půd; okolí půdních makropórů; stabilita makropórů; infiltrace

Abstract

The vertical distribution of water in the soil profile is an important factor in optimizing moisture conditions and a crop production. Hydromelioration measures on soils (drainage and irrigation) therefore take into account parameters of soil permeability and thus macroporosity. To reduce negative impacts of drought, infiltration measures on soil surface or subsurface runoff retardation, including drainage, can be used, among other things. The solved question includes permeability, stability, capacity and reversibility of changes of zoogenic macropores during infiltration of water from the soil surface or in the subsurface runoff retardation. These variables are verified by field and laboratory tests using precise continuous infiltrometer.

Keywords:

soil macroporosity; soil macropore vicinity; macropore stability; infiltration

Úvod

Propustnost, stabilita, kapacita a reverzibilita změn makropórů (dále příp. jen MP) při infiltraci vody z půdního povrchu anebo při retardaci podpovrchového odtoku mají význam při vertikální distribuci vody v půdním profilu.

Pórovitost, ale i druh, velikost a propojení pórů, je možné ovlivnit řadou zásahů (agrotechnických, biologických, organizačních). Parametry pórovitosti lze tedy do určité míry cíleně upravovat. Pro dosažení infiltračních a navlažovacích efektů lze ovlivnit jak efektivní hydraulickou vodivost půdního prostředí, tak i rychlost vsaku povrchových resp. srážkových vod.

Optimální funkčnost celého „drenážního systému“ na zemědělské půdě je zajištěna dodržováním agromelioračních a agrotechnických opatření. Drenážní systém na zemědělské půdě zahrnuje nejen technické prvky (odvodňovací příkopy, drenážní potrubí, atd.), ale také právě agromeliorační opatření (např. hloubkové kypření, orba pluhu s podrývákem, krtkování, atd.) anebo následná opatření po odvodnění, příp. při závlaze (např. JÚVA a kol., 1964) pro úpravu a stabilizaci odvodňovacích schopností drenáže resp. zajištění hydraulické spojitosti v půdním profilu.

Lumbricidace (zvýšení počtu žížal – např. BERAN a kol., 1991 : 26), je jedním z možných agromelioračních opatření. Prokázané účinky žížalích nor (pedohydatod) jsou popsány v řadě publikací. Příkladem účinku přítomnosti zoogenních makropórů je také zlepšení účinnosti drenážního odvodnění na těžkých půdách (např. ve Východoslovenské nížině, na půdách Holicka a Rychnovska - Černíkovice), kde by bez existence preferenčních cest a biogenních makropórů byla efektivní infiltrace i účinnost melioračního opatření nižší.

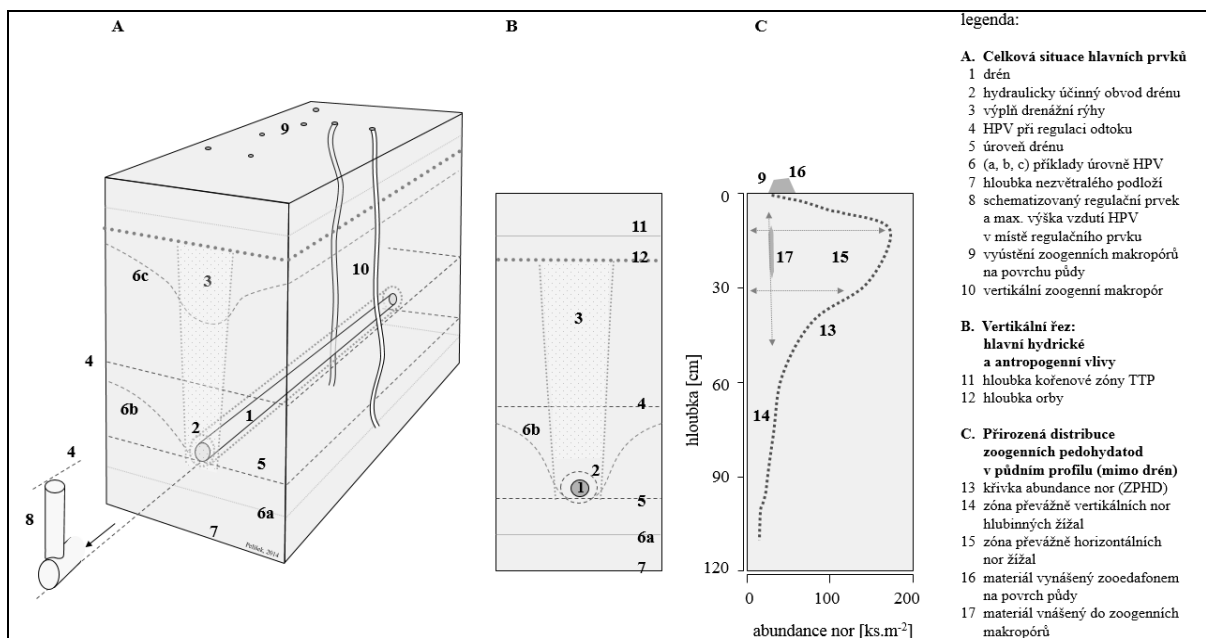
U výskytu zoogenních makropórů lze využít určité samovolnosti procesů v návaznosti na bioturbační aktivitu živočichů (zejména žížal, hmyzu a krtků), dále na dlouhodobost působení resp. přítomnosti makropórů (vlivem zhutnění, cementace a uhlazení stěn makropórů žížalovitých, dále vlivem víceletého přežívání a aktivity živočichů) a biologické vazby (mikrobiální aktivita, posun živin, provzdušnění a dekompozice).

V úvodu uvedené proměnné jsou ověřovány terénními i laboratorními testy na zoogenních makropórech, s cílem upřesnit vybrané hydrofyzikální parametry půd (zejména změny nasycené hydraulické vodivosti půd a pórovitosti) ve vztahu k jejich významnosti při uplatňování principů regulace drenážního odtoku, resp. retardace odtoku z odvodněné plochy. Cílem je přispět k definici hydraulické účinnosti vertikálních tubulárních zoogenních makropórů (pedohydatod) anecických druhů žížal. Pozornost je přednostně zaměřena na

vertikální nory žížalovitých, přestože významný vliv na makropórovitost půd v konkrétních podmínkách mohou mít i další druhy zoedafonu (hmyz, savci) a nevertikální makropóry. Přítomnost, parametry a vývoj zoogenních pedohydatod (dále jen ZPHD) nelze oddělovat od výskytu podpovrchových kanálků a kavern, vznikajících převážně působením abiotických činitelů a vykazujících určité vlastnosti v závislosti na klimatických a georeliéfových podmínkách (podrobně např. CONACHER a DALRYMPLE, 1977). Obdobně např. STUYT (1992 : 202) zmiňuje vazbu výskytu a charakteru nezoogenních makropórů na vertikální růst kořenů rostlin a na horizontální vrstevnatost půdy.

Ověřit a srovnat lze řadu údajů od jiných autorů, např. BASTARDIE a kol. (2005) zjistili průběhy změn vlhkosti ve 2D modelech umělého MP a žízalami vyhloubených makropórů, přičemž se projevil vliv míry zhutnění v okolí makropórů. Výsledky jiných autorů bylo třeba rozšířit o hodnoty, zjištěné pro přirozené ZPHD v přirozených podmínkách. Zoedafon, zejména žížaly, vytvářejí síť nor, trubicovitých makropórů. Podle druhu žížal a podmínek půdního prostředí zasahují nory do různé hloubky. Typy systémů makropórů se liší intenzitou vtoku vody do půdy a tedy hydrologickým účinkem. Dokladován je nárůst rychlosti infiltrace vody do půdy po 3 až 15 hodinách od začátku povrchové výtopy (VAŠKŮ, 2008, nebo vlastní měření), což je zapříčiněno mj. aktivitou půdních organismů. Zde platí podmínka, že vsak vody (např. při dešťové srážce) probíhá do nenasyceného půdního prostředí.

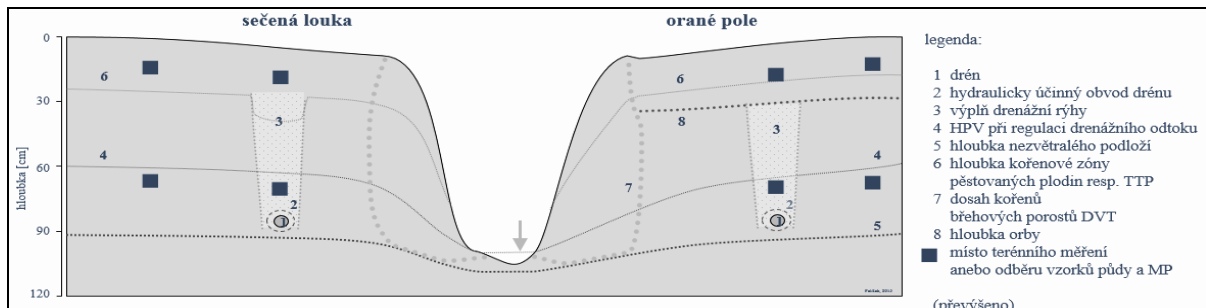
Souvislosti řešeného tématu v měřítku drénu s regulovaným odtokem zachycuje *Obr. 1*.



Obr. 1. Schéma souvislostí výskytu zoogenních pedohydatod a drenáže s regulovaným odtokem ve vertikálním řezu zemědělskou půdou.

Materiál a metody

Prověřeno je několik variant vazby typu zoogenních makropórů na kompakci, propustnost a erodovatelnost půdy: míra změny hydraulické vodivosti půdy ve stěnách zoogenních MP vlivem zhutnění, míra tohoto zhutnění a stabilita stěn MP vůči působení protékající a stagnující vody. Přednostně byl testován proces infiltrace vody zdola (přitékající do půdních horizontů proti směru působení gravitace, například z úrovně uložení trubkové drenáže), na rozdíl od tradiční vertikální infiltrace shora, nejčastěji z povrchu půdy po dešťové srážce. Provedena byla měření na makropórech v terénu i v laboratoři, na přirozených neporušených vzorcích půd i na uměle připravených vzorcích s umělými makropóry. Metodiku odběru vzorků upřesňuje schéma na *Obr. 2*. Příklad terénního měření zachycuje *Obr. 3*.



Obr. 2. Schéma lokalizace terénních měření a odběrů půdních vzorků a úseků zoogenních makropórů (4 základní polohy na pozemku s odvodněním trubkovou drenáží, tj. ve 2 půdních horizontech, v dosahu agrotechnických zásahů a v dosahu regulace HPV, v místě drenážní rýhy a mezi drény, kombinace pro sečenou louku a orané pole) na experimentální ploše



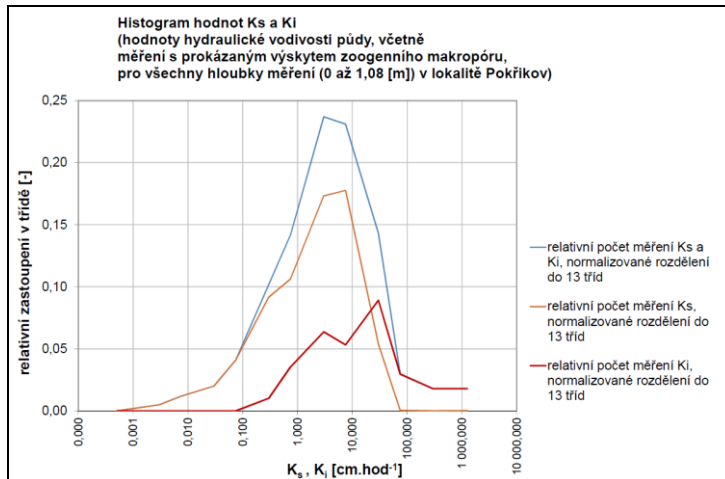
Obr. 3. Izolovaná měření infilukční kapacity jednotlivých přirozených ZPHD v přirozených podmínkách experimentální plochy Pokřikov. Přetlakové infiltrometry sejmuty ze zářezových prstenců (v prstencích je patrné zalití povrchu půdy parafínem). V popředí testovací sestava s kontinuálním infiltrometrem s přesným dávkovacím čerpadlem.

Celkem byly realizovány 4 kampaně infilukčně-infiltračních experimentů (vč. testů na izolovaných ZPHD) na pravobřežní louce. Louka je stejně jako levobřežní část experimentální plochy opatřena systematickou trubkovou drenáží z poloviny 80. let 20. století (viz též schéma na *Obr. 2*). Výkopy a odběry větších půdních bloků byly provedeny na pravobřežní ploše TTP z důvodu minimalizace zásahů do půdních poměrů na levobřežní části. Při každém experimentu probíhala minimálně 3 měření (13 různých bodů měření), celkově je získáno cca 25 záznamů infiltrací. Počet zahrnuje především měření intenzity infiltrace do půdy prostřednictvím vtoku do zoogenních pedohydatod.

Laboratorní měření intenzity vsaku do půdy, probíhajícího prostřednictvím definovaného úseku makropóru, byla realizována na cca 20 ks makropórů (přirozené ZPHD a umělé makropóry, kombinované s přirozenými a uměle připravenými vzorky půdy).

Výsledky

Zjištěna je variabilita hydraulické vodivosti půdy K , daná zčásti vlivem infilukce prostřednictvím zoogenních pedohydatod (pro další srovnání byly využity také výsledky souvisejících studií). Přehledně zjištěnou variabilitu K dokumentuje graf na *Obr. 4*.



Obr. 4. Vyjádření variability naměřených hodnot hydraulické vodivosti K_s resp. K_i pro všechny hloubky měření na experimentální ploše. Modrá křivka zahrnuje také hodnoty z měření, která byla dominantně ovlivněna infilukcí. Červená křivka (měření s prokázáním výskytu zoogenních makropórů o $d_{zphd} > 2,5$ mm) vyžaduje další analýzu.

Zpřesněny jsou detaily infilukčně-infiltračních procesů v měřítku jednotlivých zoogenních pedohydatod a jejich přesně definovaných úseků. Zjištěna je za konkrétních podmínek efektivní nasycená hydraulická vodivost půdního horizontu (zahrnující vertikální plošnou

infiltraci a influkční vtok do půdy prostřednictvím makropórů s následnou radiální infiltrací) K_i , nasycená hydraulická vodivost stěn zoogenních makropórů K_{sw} , relativní míra kompakce C_c , intenzita eroze stěn makropórů.

Nasycená hydraulická vodivost stěn makropórů K_{sw} byla zjištěna u některých zoogenních pedohydatod a umělých makropórů nižší oproti K_s matrice až o řád desítek procent. Trendy však nejsou dostatečně jednoznačné, což platí také pro relativní míru kompakce, vyjádřenou pomocí pracovního parametru koeficientu kompakce (C_c), kdy v některých případech činí navýšení hodnoty objemové hmotnosti zeminy ρ_{dR} v okolí makropórů až 25 %. Intenzitu eroze stěn makropórů, zjištěnou pro variantu rozplavování půdy vlivem vzestupu vody ve vertikálních makropórech a případné stagnace vody v řádu minut až hodin, uvádí *Tab. 1*.

Míra eroze se lišila pro 3 varianty makropórů (přirozený, umělý hloubený hrotem a umělý vrtaný korkovrtem) v přirozeném nebo umělém vzorku. Z provedených experimentů vyplývá, že povrch přirozených makropórů žížal je odolnější vůči erozi ve srovnání s umělými makropóry, a to za podmínek laboratorních experimentů při simulaci stejné intenzity vtoku vody (viz *Tab. 1*). V terénu došlo na některých uměle vytlačených makropórech k jejich zborcení při influkci shora. Při další interpretaci je však nutno brát zřetel na stáří a konsolidaci stěn umělých makropórů. Faktor konsolidace je patrný mj. na postupném snižování množství vyplavených půdních částic při stagnaci vody v makropóru, hloubeném hrotem.

Intenzita eroze stěn makropórů [$\text{mg}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{dm}^{-2}$]				koef. ZPHD/AG	
typ MP	AG MP, korkovrt	AG MP, hrot	přirozená ZPHD	ZPHD/AG, korkovrt	ZPHD/AG, hrot
min	0,310	0,110	0,064	0,208	0,585
max	72,150	61,843	1,142	0,016	0,018
průměr	17,266	14,652	0,353	0,020	0,024

Tab. 1. Srovnání intenzity eroze stěn tří typů vertikálních půdních makropórů při testech vzestupu vody zdola a následné stagnace vody

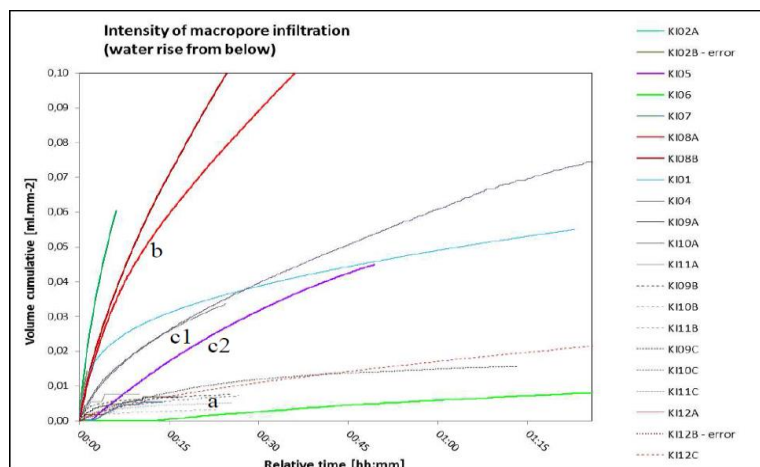
Jednoduchým dopočtem lze zjistit uvolněný objem půdních částic ze stěn přirozené pedohydatody o určité délce, např. pro pedohydatodu o $d_{zphd} = 5 \text{ mm}$ a délce 1 m by činil tento objem $0,04 \text{ cm}^3\cdot\text{hod}^{-1}$ pro méně erodující vtok zdola a až $3,4 \text{ cm}^3\cdot\text{hod}^{-1}$ pro vtok vody shora (výsledky jiného experimentu). Údaj pro vtok shora přitom představuje maximální dosaženou intenzitu influkce při použití přetlakového infiltrometru s nastavenou tlakovou výškou 1 cm nad povrchem půdy. Lze předpokládat, že se jedná řádově o objem půdních

částic, které je schopen lumbricid zpětně rozvrstvit na stěny makropóru anebo jinak přemístit (pozřít, vynést na povrch půdy) po každé srážkové epizodě anebo epizodě manipulace s HPV.

Tyto údaje, zjištěné při izolovaných procesech v laboratorních podmínkách, je třeba uvést do souvislosti s procesy, probíhajícími v přirozeném prostředí při vysychání, navlhčování a bobtnání půdy, při bioturbačních procesech a procesech v planárních makropórech řádově větších rozměrů, které mohou protínat trasu zoogenní nory. Uvolněný materiál se může v ZPHD usazovat v příhodných úsecích, dočasně přilnout k povrchům, být zcela odplaven nebo pozvolna posouván v suspenzi, akumulovat v prostorách fyto­genní výstelky stěn, apod.

Intenzita vsaku vody do stěn makropórů si žádá další šetření, průběžné výsledky zachycuje graf na *Obr. 5*. Patrné jsou především jevy označené písmeny a až c:

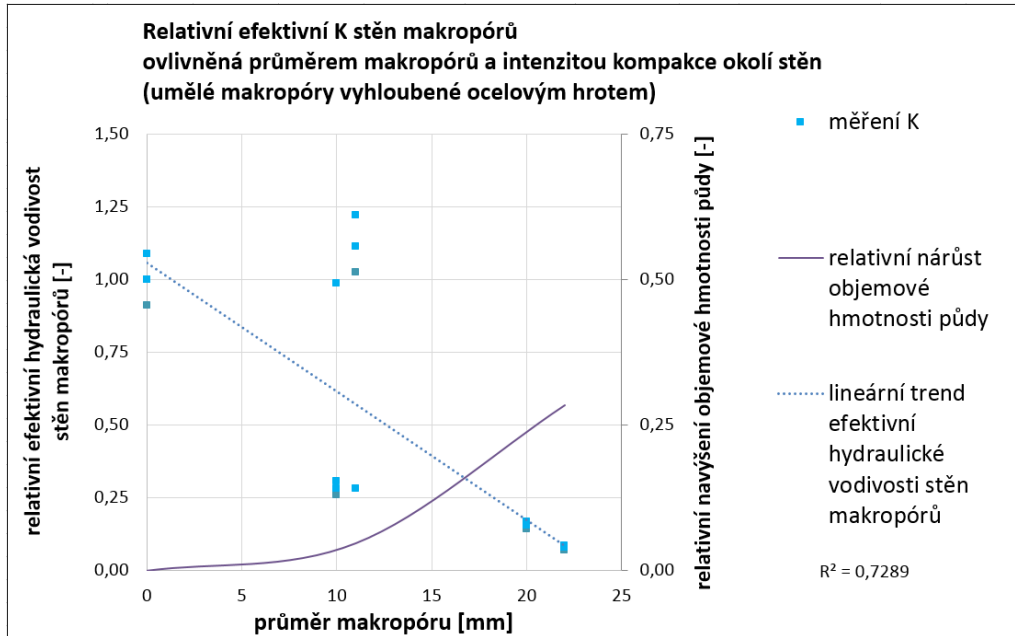
- a) vliv uhlazení stěn umělých makropórů hloubených vlhčeným hrotem (křivky KI 09 A až KI 11 C) a skokový nárůst související s postupným sycením puklin v umělém vzorku;
- b) rozdílný vývoj v totožné přirozené pedohydatodě, ze které byl pravděpodobně částečně vymyt mucus (křivky KI 08 A a KI 08 B);
- c1) odkazuje na podobný vývoj od počátku infiltrace, ale pro rozdílné typy makropórů (KI 04, umělý MP o $d_{MP} = 8$ mm, vyřezaný korkovrtem, a umělý o $d_{MP} = 10$ mm, vytlačený hrotem) a c2), tj. infiltrace stěnou přirozené pedohydatody, odkazuje na vývoj podobný křivce KI 04, ovšem s prodlevou vsaku po naplnění makropóru.



Obr. 5. Intenzita vsaku vody do stěn makropórů, vyjádřená jako kumulativní hodnota objemu na jednotku plochy [$\text{ml} \cdot \text{mm}^{-2}$], při testování infiltrace a dotace vodou zdola na přirozených zoogenních pedohydatodách a antropogenních makropórech. Silné linie = přirozené zoogenní makropóry, tenké linie = umělé makropóry.

Diskuze

Výsledek, zařazený k diskuzi, představuje vztah průměru hloubeného makropóru, míry zhutnění okolí makropóru a změny hydraulické vodivosti stěn makropórů (viz Obr. 6).



Obr. 6. Analýza vztahu průměru hloubeného makropóru, míry zhutnění okolí makropóru a změny hydraulické vodivosti stěn makropórů (příklad pro umělé makropóry hloubené ocelovým hrotem)

V grafu na Obr. 5 patrný rozptyl hodnot měření K_{sw} pro umělé makropóry (o $d_{MP} =$ cca 1 cm, vytlačené hrotem) je způsoben pravděpodobně nepřesností zvolené metody odběru a nehomogenitou půdního prostředí. Zároveň však při testech morfologie byly zjištěny nerovnosti, které vznikly v průběhu infiltračního testu na původně téměř hladkých stěnách makropóru, a zmenšení průměru makropórů. Zjištěné skutečnosti vedou k úvaze, že živočichové při hloubení makropóru zřejmě pracují s určitou rezervou (prvotní průměr nory je pravděpodobně o něco větší, než je nezbytné k pohybu, protože již v průběhu hloubení může mít zemina tendenci nakypřovat nebo bobtnat zpět do volného prostoru makropóru).

Napodobení zhutnění zeminy v okolí uměle vytvořeného makropóru je pouze přibližné. Příprava vzorku v laboratorních podmínkách, ať už na přirozeném pedonu nebo uměle připraveném vzorku zeminy, probíhá řádově maximálně hodiny až dny i při cyklických úpravách. Naproti tomu v přirozených podmínkách je makropór pod vlivem dlouhodobější přítomnosti a aktivity organismů. Například v průběhu jednoho roku předpokládáme variantu

minimálního počtu průlezů žížaly jako výsledek diurnálně-potravní aktivity žížaly a jako reakce na změny vlhkosti půdy. Pro klimaticko-půdní podmínky zvolené experimentální plochy lze uvažovat pro horizont B v dosahu regulace HPV cca 7 měsíců aktivity, což odpovídá řádově stovkám možných průlezů v obou směrech. Po tuto dobu se aktivita žížal kombinuje s řádově desítkami možných výrazných změn vlhkosti půdy vlivem srážek a oscilace (změn úrovně) hladiny podzemní vody. Makropóry jsou dále ovlivňovány řadou faktorů mimo období hlavní aktivity žížal.

Obdobně je nutné počítat pouze s přibližně napodobenými parametry drsnosti a erodovatelnosti stěn uměle vytvořených makropórů a trasování a průřezu makropórů. Roli hraje také tvarová proměnlivost makropórů vlivem proudící vody a změn vlhkosti půdy (vliv bobtnání). Zřejmě se projeví také pružnost výstelky, tvořené zataženými rostlinnými zbytky. Ve vertikálních norách anecických druhů ve větších hloubkách nebyly zbytky zaznamenány.

Žížaly zřejmě tvoří kašovitou hmotu (rozmělněnou zeminu promíšenou s mucusem), kterou snadněji vtlačují do pórů zeminy mimo průměr hloubeného makropóru, což se dále kombinuje s mechanismem tvorby drobných puklin v půdní matrici působením tlaku živočicha. Zde je vhodné zmínit souvislost s neověrovaným chováním žížal, kdy při individuálním vývoji živočich roste, takže po určitou dobu může využívat totožný makropór a při opakovaných průlezech skrze makropóry v jeho „teritoriu“ může probíhat kompakce a sycení stěn v závislosti na velikosti a věku živočicha.

Dalším pozorovaným faktorem, ovlivňujícím propustnost stěn, je zatahování organických zbytků do nor a jejich postupná konzumace, takže určité procento délky makropórů je „vystláno“ i v několika vrstvách, což bylo opakovaně zaznamenáno na makropórech větších průměrů ($d_{zphd} = 6$ a více [mm]) ve svrchních půdních horizontech, makropóry menších průměrů nebyly ohledávány. Vliv má i vnášení půdních částic z půdního povrchu (např. při dešti) a vynucené zprůchodnění nory.

Pro určení míry zhutnění okolí makropórů s ohledem na variabilitu podmínek je nutné získat reprezentativnější soubor dat.

Další výzvou je zapracování intenzity změn lokalizace makropórů vlivem činnosti edafonu resp. bitorbací, rozšířené zohlednění vlivu morfologie makropórů, použití přesnějších metod a zapracování reálného režimu zvlhčování, vysychání, a využívání makropórů organismy.

Závěr

Řadou autorů je potvrzen dlouhodobý výskyt vertikálních tubulárních makropórů lumbricidů v hlubších půdních horizontech a tedy i v dosahu změn HPV. Provedené experimentální činnosti přispěly k definici míry odolnosti povrch přirozených makropórů žížal vůči účinkům stagnující vody, i vůči účinkům vody proudící shora. Ve srovnání s umělými makropóry jsou stěny přirozených zoogenních makropórů odolnější. Vliv opakovaného vzestupu a stagnace hladiny vody (opakované promývání makropórů při více cyklech navlažení) si žádá další upřesnění, a to prostřednictvím přesněji definovaných cyklů (doba stagnace, vysychání a počet opakování).

Udržení anebo zlepšení kvality a kvantity půdních zdrojů, anebo hledání nových zdrojů přináší požadavky na přesnější popis souvislostí, problémů a jejich řešení. Detailnější poznání infiltračně-influkčních procesů v měřítku půdního profilu je příspěvkem ke zpřesňování hydromelioračních technik a jejich využívání.

Použité zkratky

AG (MP) = antropogenní (makropór); C_c = koeficient kompakce; d_{MP} = (náhradní) průměr makropóru; DVT = drobný vodní tok; d_{zphd} = (náhradní) průměr zoogenní pedohydatody; HPV = hladina podzemní vody; i_{er} = intenzita eroze; K_i = hydraulická vodivost influkčně ovlivněná; K_s = nasycená hydraulická vodivost; K_{sw} = nasycená hydraulická vodivost stěn makropórů; MP = makropór; p = pórovitost; $\rho_d (R)$ = objemová hmotnost (relativní); TTP = trvalý travní porost; ZPHD (zphd.) = zoogenní pedohydatoda.

Literatura

BASTARDIE, F., RUY, S., CLUZEAU, D. (2005): Assessment of earthworm contribution to soil hydrology: a laboratory method to measure water diffusion through burrow walls. *Biol. Fertil. Soils*, 41: 124–128.

BERAN, J. a kol. (1991): *Rekonstrukce drenážních sítí (směrnice). Metodika 7/1991*. Praha: VÚMOP, v.v.i. 50 s.

CONACHER, A. J., DALRYMPLE, J. B. (1977): The nine unit landsurface model and pedogeomorphic research. *Gedoderma*, 18 (1-2): 127–144.

JŮVA, K. a kol. (1964): *Vodohospodářská meliorace : Odvodnění - závlaha*. Praha : SNTL, Státní nakladatelství technické literatury. 490 s.

- KULHAVÝ, Z., ČMELÍK, M., PELÍŠEK, I. (2014): *Souprava infiltrometru a permeometru s dávkovacím čerpadlem*. Přihláška patentu PV 2013-814 a užitný vzor UV 26615. VÚMOP, v.v.i.
- KUTÍLEK, M. (1998): Ohlédnutí půdního fyzika. *J. Hydrol. Hydromechanics*, 46 (1): 79–82.
- KUTÍLEK, M., NIELSEN, D. R. (1994): *Soil Hydrology*. GeoEcology. Textbook. Cremlingen-Destedt: Catena Verlag. 370 s.
- KUTÍLEK, M., ŠÚTOR, J. (eds.) (1976): *Water in Heavy Soils*. Proceedings of symposium, Bratislava. ICID, ISSS.
- PELÍŠEK, I., HUISLOVÁ, P., KHEL, T. (2014): Význam vybraných skupin zoedafonu pro infiltraci vody v půdě z hlediska meliorační praxe. In: FIALOVÁ, J. (ed.) (2014): *Krajinné inženýrství 2014*. Sborník z konference. Praha: ČSKI, ČVUT KHMKI, ČZU KBÚK. s. 168 – 179. ISBN 978-80-87384-06-0.
- STUYT, L. C. P. M. (1992): *The Water Acceptance Of Wrapped Subsurface Drains*. Thesis. Wageningen: ILRI, Institute for Land and Water Management Research. 312 s.
- VAŠKŮ, Z. (2008): *Základní druhy průzkumů pro krajinné inženýrství, využití a ochranu krajiny*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. 396 s.

Poděkování

Článek vznikl v rámci řešení projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum (NAZV), evid.č. QJ1220050 „Posílení infiltračních procesů regulací odtoku vod z malých povodí“.

Kontakt:

Igor Pelíšek, Mgr. Ph.D.

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

156 27 Praha 5 – Zbraslav, Žabovřeská 250, pracoviště 530 02 Pardubice, B. Němcové 231

tel. 466 300 041, pelisek.igor@vumop.cz