

VSAKOVACÍ ZAŘÍZENÍ NA LESNÍ DOPRAVNÍ SÍTI A JEJICH FUNKČNOST

FUNCTIONALITY OF INFILTRATION PITS ON FOREST TRANSPORTATION NETWORK

PETR KUPEC¹⁾ ✉ - JAN DEUTSCHER¹⁾ - ONDŘEJ HEMR¹⁾ - KAREL ZLATUŠKA²⁾ - PETR ČECH¹⁾¹⁾Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav inženýrských staveb, tvorby a ochrany krajiny, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic²⁾Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra lesnických technologií a staveb, Kamýcká 129, 165 00 Praha - Suchbátka, Czech Republic

✉ e-mail: petr.kupec@mendelu.cz

ORCID: P. Kupec 0000-0002-5693-203X O. Hemr 0000-0002-5268-1595
J. Deutscher 0000-0003-0702-7049 P. Čech 0000-0002-3057-8669

ABSTRACT

The aim of this article is to present the basic theses about the function and potential of infiltration pits under culvert mouths on forest roads. The methodology consisted of a combination of literature review and own *in situ* experiments. Experimental verification was carried out on sections of forest roads on two training forest enterprises (TFE) at Kostelec nad Černými lesy and Masarykův les Křtiny (Czech Republic). At each location, two infiltration pits were built in a paired design with a uniform retention volume. One of the pits was always located under a pipe culvert. The control pit was located approx. 30 m far from it, in the same pedological and vegetation conditions without a centralized inflow. Measurements from the study period (autumn 2022) indicated that the infiltration pits under the culverts had unexpectedly low efficiency in retaining and infiltrating surface runoff. Mostly, due to the fact that in the analyzed period the surface runoff was minimal, even though precipitation did occur. During the study period, the infiltration pits did not reach the expected potential to support the hydric regime of the landscape.

[For more information see Summary at the end of the article.](#)

Key words: hydric regime; climate change; water retention; integrated forest management

Klíčová slova: hydrický režim; změna klimatu; vodní retence; integrované lesnické hospodaření

ÚVOD

V lesním prostředí, kde přirozeně dochází k povrchovému odtoku jen ojediněle, je hlavním zdrojem povrchového odtoku lesní dopravní síť (LDS). Vsařovací zařízení na objektech lesních cest, zejména na trubních propustcích jsou požadovány ve vyhlášce č. 239/2017 Sb. a jsou doporučovány v ČSN 73 6108. Jejich výstavbou se má řešit omezení povrchového odtoku soustředěného v příkopech lesních cest a zajištění infiltrace vody do půdního/horninového prostředí. V současné době však není známo, jaká je účinnost vsařovacího zařízení a zda je účelné a rentabilní je plošně navrhovat po celém území České republiky (ČR).

Vliv LDS na změnu vodního režimu je v literatuře poměrně dobře popsán (SIDLE, ZIEGLER 2012; SOULIS et al. 2015; KASTRIDIS 2020). Výstavba lesních cest může hrát významnou roli ve změnách hydro-

logické odezvy povodí a zrychlení erozních procesů (ZIEGLER, GIAMBELLUCA 1997). Hlavní projevy změny hydrologické odezvy lze obecně definovat takto:

- a) Vznik povrchového odtoku na výrazně ztuhnutých plochách (ZIEGLER, GIAMBELLUCA 1997)
- b) Zachycení podpovrchového odtoku a jeho převedení na povrchový (JONES, GRANT 1996)
- c) Zrychlené svedení podpovrchového i povrchového odtoku příkopy a propustmi do koryt vodních toků (JONES, GRANT 1996)
- d) Tvorba erozních rýh soustředěným odtokem z propustí lesních cest (WEMPLE et al. 1996)
- e) Příkopy, propusti a erozní rýhy zvyšují hustotu říční sítě (JONES, GRANT 1996)

Tyto změny jsou dále spojeny se změnou doby koncentrace, tvaru kulminačního průtoku a hydrogramu obecně. Jiné změny jsou spojeny s nevhodným návrhem či provedením lesních cest, zvláště u odvodňovacích zařízení – např. nevhodná dimenze propustí, jejich zanášení a znekapacitnění (KASTRIDIS 2020). Navzdory nepoměrně menší ploše má existence cestní sítě na odtokové poměry větší vliv než změny ve využití území. I přesto se v mnoha částech světa snahy o zlepšení nadále soustředí spíše na způsoby hospodaření, než právě na vliv cestní sítě (ZIEGLER, GIAMBELLUCA 1997).

Vysoká míra ztuhnutí lesních cest má za následek nízkou kapacitu zadržet vodu i nízkou schopnost infiltrace, většinou pod 5,0 mm/h (ZIEGLER, GIAMBELLUCA 1997; REID, DUNNE 1984). To při vyšších intenzitách deště umožňuje vznik povrchového odtoku. Dochází tak k povrchovému odtoku, kdy intenzita deště převyšuje rychlost infiltrace (HORTON 1933) nebo kdy je infiltrace limitována plnou saturací půdy (DUNNE et al. 1975). Např. v suchém tropickém klimatu může být až 90 % odtoku z lesa u srážkových úhrnů nad 10 mm způsobeno lesními cestami (RAMOS-SCHARRÓN, MACDONALD 2007). Souvisejícím problémem je také zvýšené riziko půdní eroze. K omezení transportu erodované půdy do vodních toků je doporučováno přerušit spojení mezi cestami či linkami a recipienty vodních toků (KASTRIDIS 2020).

Obecně jsou vsakovací zařízení navrhována k zachycení a infiltrační srážkového povrchového odtoku do blízkého půdního prostředí a podzemní vody. Nejčastěji se jedná o mělké zdrže vyplněné filtračním médiem (kameny, štěrk apod.), obvykle obalené geotextilií kvůli zabránění průniku jemných půdních částic a zanesení filtračního média (Gold Coast City Council 2005). Voda se ze zdrže může pohybovat buď prostřednictvím infiltrace, evaporace, nebo přes bezpečnostní přepadové zařízení při jejím naplnění (BEECHAM 2003). Vsakovací zařízení mohou mít také protipovodňovou funkci – snižují maximální okamžité objemy povodňových vln, a tím zplošťují a prodlužují tvar hydrogramu (DECHESNE et al. 2005). Současně mohou být využita i k zachycení rozpuštěných znečišťujících látek (ARGUE 2013). V případě nepřeplněné kapacity taková zařízení zvládnou zachytit naprostou většinu rozpuštěných látek (EMERSON et al. 2010). Vsakovací zařízení tohoto typu se dnes běžně používají k nakládání se srážkovými vodami v městském prostředí jako protipovodňové opatření. Ve městech mezi ně můžeme zařadit vsakovací systémy, retenční nádrže, vegetační průlehy s biofiltrací, pískové filtry, tůně, vegetační pásy či nádrže na dešťovou vodu (AHAMMED 2017). V urbánním prostředí bylo nakládání se srážkami až do 90. let 20. století omezeno na rychlé svedení vody do kanálů a vodních toků (ARGUE 2004). Nová praxe vytváření zařízení šetrné hospodařících s vodou byla nejdříve zaměřena na doplnění protipovodňových opatření o funkci odbourání polutantů. Postupem času se ale šetrné hospodaření se srážkami stalo představitelem paradigmatické změny (ARGUE 2013). Zvláště v posledních dvou desetiletích nacházejí vsakovací zařízení své využití v řadě lidských činností: v udržitelných systémech městského odvodnění (FRYD et al. 2010), udržitelném rozvoji a příkladech dobré praxe (STRECKER et al. 2001; DIETZ 2007), přírodě blízkém hospodaření s dešťovou vodou (LARIYAH et al. 2011; BEECHAM, RAZZAGHMANESH 2015) nebo v moderních principech města jako houby (WANG et al. 2018). Použití vsakovacích zařízení znamená pomyslné přiblížení se při hospodaření s vodou k obnově přirozeného koloběhu vody (AHAMMED 2017). S ohledem na problémy se suchem v různých částech světa začínají vsakovací a jiná zařízení na hospodaření s dešťovou vodou velkou vlnu zájmu (ISLAM et al. 2010). Vodu zadrženu pomocí vsakovacích zařízení je možné dále využít (CAPODAGLIO 2020). V případě rostlin např. k vlastnímu metabolismu a s tím související stabilizaci mikro- a mezoklimatu ochlazením prostředí při periodách vysokých teplot (RAHMAN et al. 2020). Od začátku 21. století se dostávají do popředí zájmu o zadržení vody vsakovací zařízení i mimo urbánní prostředí (EPA 2007).

V ČR se vsakovací zařízení v současné době navrhuji a realizují zejména při výstavbě rodinných domů, bytových domů a průmyslových staveb. Tuto povinnost ukládá vodní zákon (z. č. 254/2001 Sb.) i stavební zákon (z. č. 183/2006 Sb.). V některých případech se jedná o společné infrastrukturní stavby pro skupinovou zástavbu nových lokalit. Navrhují se povrchová vsakovací zařízení, podzemní prostory vyplněné štěrkem, vsakovací šachty, podzemní prostory vyplněné opláštěnými plastovými bloky nebo vsakovací tunelové systémy. Volba způsobu vsakování vychází z morfologie terénu, z hydrogeologických vlastností podkladní zeminy a z pozemkové držby. Při výběru vhodné metody vsakování se postupuje např. podle metodické pomůcky Vsakování srážkových vod (MMR 2019). Dimenzování vsakovacích zařízení včetně stanovení jejich retenčního objemu a odtoku přebytečného množství vody do recipientu se řeší podle ČSN EN 752 (2019), resp. ČSN 75 9010 (2012) a TNV 75 9011 (2013).

Vsakovací zařízení, podobná užívání v urbánním prostředí, se v lesnické praxi ve světě téměř nepoužívají. Respektive o jejich realizaci, funkci a účinnosti neexistují vědecké záznamy. Např. žádný z desítek dokumentů tzv. nejlepší lesnické praxe států USA (Forestry Best Management Practices; CRISTAN et al. 2016) se o vsakovacích zařízeních u lesních cest nezmiňuje. Vzácně se v takových doporučeních vyskytují sedimentační nádrže, případně, u přelévané koruny, cesty zpevněné formou průlehu a zpevnění povrchu za krajnicí koruny cesty. Funkcí takového zpevnění je zabránit soustředěnému povrchovému odtoku jeho rozptýlením a vsakováním po svahu. Dále se užívá také svedení soustředěného odtoku z příkopu do porostu za účelem vsakování vody (Wisconsin Department of Natural Resources, 1995). Nejedná se však o programové vytvoření podzemní zdrže schopné zadržet větší objem vody a infiltrovat jej do půdního prostředí.

Ne zcela probádaná je také celková životnost takovýchto zařízení v lesním prostředí a doporučená péče. Životnost vsakovacích zařízení bývá udávána okolo 20 let (DECHESNE et al. 2005). Stav a infiltrační kapacita vsakovacích zařízení však může být v průběhu času výrazně narušena chodem sedimentů, trvalým zvodněním nebo zanesením rostlinným opadem apod. (LINDSEY et al. 1992; LE COUSTOMER, BARRAUD 2007). Spolu s touto degradací funkčnosti dochází pak i k proměně vsakovacího zařízení v mokřad, případně k zaměnění zařízení. Nicméně v případě opatření na LDS zaměnění nemusí nutně znamenat fatální problém. Je ovšem pravděpodobné, že základní péči o takováto zařízení by mělo být odstraňování náletu z retenčního prostoru vsakovací jámy. Po plném zaměnění jámy pak lze provést obnovu pouze kompletní rekonstrukcí.

V ČR, obdobně jako ve světě, jsou vsakovací zařízení na LDS realizována individuálně a spontánně bez kontextuálních znalostí jejich dlouhodobých dopadů a celkové funkce. Vsakovací zařízení na pozemních komunikacích vychází opět z vodního a ze stavebního zákona a podrobněji je řeší např. TP 83 (2014). U velkých (strategických) dopravních staveb se častěji navrhuji vodní díla pro transformaci odtoku vody soustředěné na komunikaci a její bezpečné převedení do recipientů; případně návrh vodních děl pro zachycení havarijního znečištění povrchové vody. Velmi často se posuzují a navrhuji vsakovací zařízení na parkovištích a na odstavných pružích místních komunikací, např. přírodě blízké odvodnění dopravních ploch v sídlech (2005/2006). S návrhem vsakovacích zařízení na lesních cestách uvažuje ČSN 73 6108. Prakticky se jedná o vsakovací zařízení jako jsou průlehy, nádrže, rýhy, příkopy, šachty apod. pod trubními propustky mimo trvalé vodoteče. Dosud však nejsou publikované výsledky ani zkušenosti o realizaci, provozu, účinnosti či údržbě těchto zařízení.

Z literární rešerše vyplývá, že vsakovací zařízení v lesním prostředí mají potenciál pro mitigaci hlavních negativních vlivů LDS na vodní režim krajiny. Zejména se jedná o omezení povrchového odtoku (jeho transformace na podpovrchový), omezení zrychleného odtoku z lesních pozemků (zvýšením retence a zadržením vody v půdě) a snížení

rizika eroze (zachytáváním splachů v retenčním prostoru vsakovacích zařízení).

Cílem tohoto článku je informovat vědeckou a odbornou veřejnost o aktuálně řešeném výzkumném projektu Technická doporučení pro hospodaření s vodou v rámci lesní dopravní sítě (projekt č. QK2020146, odpovědný řešitel: doc. Ing. Karel Zlatuška, CSc., dále jen „projekt“). Cílem projektu je definovat základní teze o funkci a potenciálu specifického typu vsakovacích opatření (vsakovacích jam pod propustky) a ověření výše uvedených předpokladů vědeckými metodami. V článku je mimo výše uvedené výstupy literární rešerše také popsán design experimentu na založených experimentálních plochách a je zde prezentována prvotní sada dat.

MATERIÁL A METODIKA

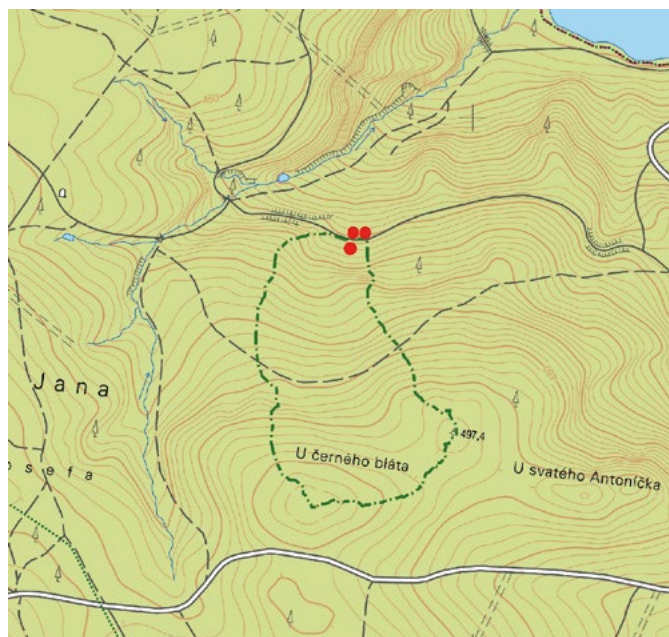
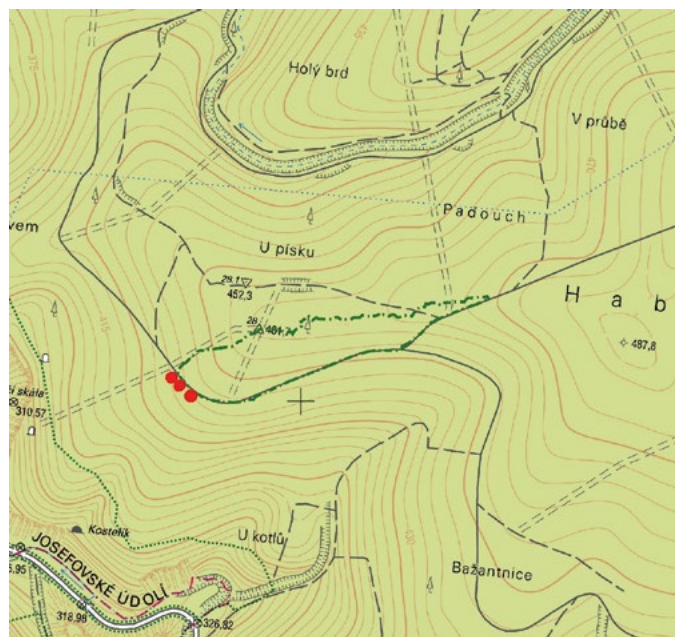
Design experimentu

Experimentální ověření vsakovacích jam bylo realizováno na vybraných úsecích lesních účelových komunikací na pozemcích dvou školních lesních podniků při ČZU a MENDELU (obr. 1). Jednalo se o lokalitu na území školního lesního podniku Kostelec nad Černými Lesy (ŠLP Kostelec) a Masarykův les Křtiny (ŠLP Křtiny). Na každé lokalitě byly vybudovány dvě vsakovací jámy v párovém designu o jednotném retenčním objemu. Jedna z jam se vždy nachází pod ústím trubního propustku, jehož průtok je do jámy sveden. Druhá, kontrolní jáma, se nachází cca 30 m od ní, ve stejných pedologických a porostních podmínkách na místě bez napojení na propustek a bez soustředěného povrchového odtoku přes korunu vozovky a mělkého podpovrchového odtoku po náspu cesty tak, aby bylo možno vyhodnotit významnost umístění jam pod propustkem.

Vzhledem k možnostem výzkumného projektu a k požadavkům na instalaci měřicích zařízení byly zvoleny vsakovací jámy o rozměrech: délka ve dně 3,5 m; šířka ve dně 2,0 m; sklon stěn 2 : 1 a retenční hloubka 1,5 m. Objem jam bez výplně je cca 18 m³. Břehy vsakovacích jam byly opatřeny separační geotextilií o plošné hmotnosti 350 g/m² (cca 40 m²). Vsakovací jámy byly vyplněny záhozovým kamenem s předpokládanou mezerovitostí $m = 35\%$. Předpokládaný retenční objem vsakovacích jam je (při vyplnění mezer mezi kameny) cca 6,5 m³. Na základě hydrologických výpočtů použitelných pro dimenzování propustků dle ČSN 75 6201 se jedná o jámy menších než doporučených rozměrů (tab. 1).

Lokalita na území ŠLP Kostelec se nachází v lesním úseku Svojetice, v lesním oddělení 908 (a částečně 907). Jedna vsakovací jáma je pod trubním propustkem; morfologické povodí má výměru 12,64 ha a je ze 100 % zalesněné. Druhá vsakovací jáma je vybudovaná o cca 30 m západním směrem, pod lesní cestou a není napojena na trubní propustek. Lokalita Kostelec se vyznačuje výraznější půdní heterogenitou při výhradním zastoupení semihydromorfních a hydromorfních půdních typů (pseudoglej, stagnoglej, glej a jejich subtypy). Geologickým podkladem jsou granity Říčanského typu Moldanubika s různě mocným překryvem (předpoklad i několik m) svahovin a polygenetických hlín, s výraznou balvanovitostí půdního povrchu. V lokalitě se nacházejí dvě prameniště. Odpovídající výrazná nasycenost půdy vodou také znamená dané rozpětí hodnot půdní vlhkosti nad rámec retenční vodní kapacity, při zastoupení gravitačně se pohybující, avšak neodtékající vody a s vyústěním do převažujících či periodicky se vyskytujících anoxických podmínek. Z pohledu designu projektu se jedná o „vlhkou“ variantu.

Druhá lokalita byla vybrána na území ŠLP Křtiny, na poli Habrůvka, v lesním oddělení 162 (a částečně 160). Povodí jámy pod propustkem má výměru 4,21 ha a je ze 100 % zalesněné. Druhá vsakovací jáma je vybudovaná o cca 30 m severním směrem, pod lesní cestou a není na-



Obr. 1.

Lokalizace výzkumných ploch; párový design měření na území ŠLP Kostelec (vlevo) a ŠLP Křtiny (vpravo); (mapový podklad ČUZK, Základní mapa ČR 1 : 10 000, ZABAGED)

Fig. 1.

Localisation of the experimental sites; TFE Kostelec (left) and TFE Křtiny (right)

pojena na trubní propustek. Lokalita Křtiny se vyznačuje značnou homogenností při zastoupení jediného půdního typu kambizem a s dominancí modálního subtypu. Komplikovaná geologická skladba je tvořena dominantně křemitými sedimenty (rohovce) rudických vrstev s příměsí sprašových hlín, na kontaktu s vápencovým podložím Moravského krasu, který vystupuje do různých loubek, vždy však mimo zónu půdního tělesa. Lokalita je zároveň typická nízkými hodnotami půdní vlhkosti v průběhu celé sezóny a především během vegetačního období. Jedná se o „suchou“ variantu.

Získávání dat

Na výše popsaných lokalitách je kontinuálně měřen průtok trubními propustky. Tyto byly vyvložkovány a přehrazeny žlaby zakončenými ostrohranným Thomsonovým přelivem. Na přepadu je výška hladiny měřena ultrazvukovým čidlem US1200 a v datalogeru H7-G-TA4-SZ (oba přístroje Fiedler AMS, České Budějovice) je výška přepočítávána na průtok. Ve vsakovacích jámách byly do hloubky cca 2 m pod terén vyvrtány a stabilizovány trubní šachty s perforovanou dolní částí. V šachtách byly umístěny ponorné tlakové hladinoměry (TSH37, Fiedler AMS, České Budějovice) kontinuálně monitorující výšku volné hladiny vody. Tato hlavní měření byla doplněna o měření v dalších pažných vrtech ve třech transektech (na obě strany od jam po vrstevnici a dolů po spádnici, viz obr. 2 a 3) pro dokumentaci depresní křivky podzemní vody směřující do vsakovacího zařízení. Interval záznamu veličin byl stanoven na 10 minut. Klimatická data byla získána ze sítě lokálních meteorologických stanic firmy Amet (Velké Bílovice).

Pro ŠLP Kostelec byla použita data ze stanice Tuchorazy a pro ŠLP Křtiny ze stanice Útok 6.

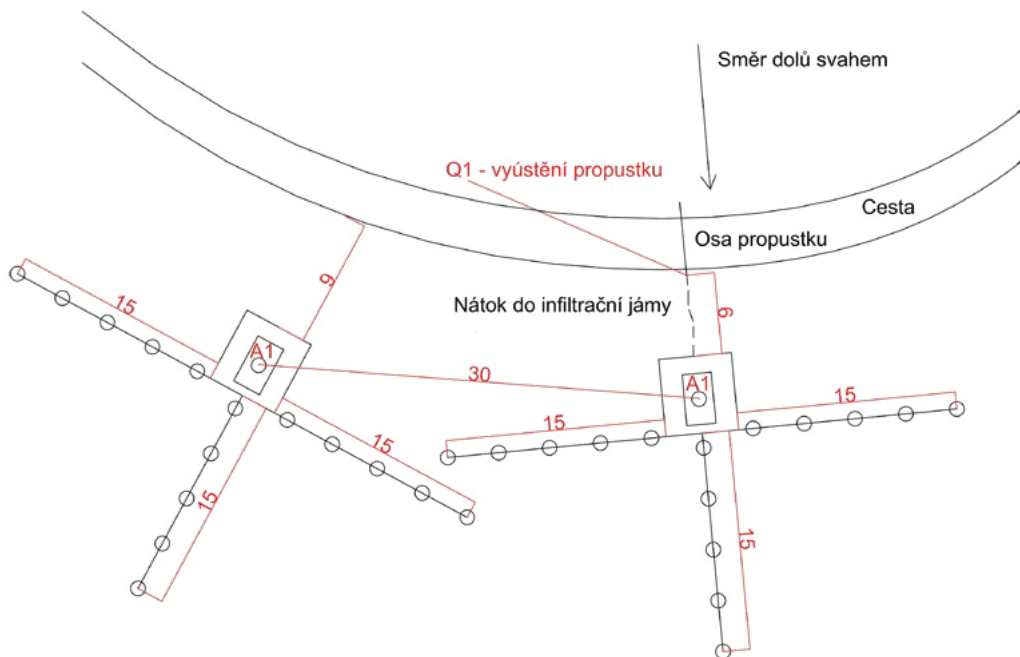
Vyhodnocování předběžných výsledků

V tomto článku jsou prezentována pouze data z propustků a vsakovacích jam za uplynulé období 130 dní ŠLP Kostelec a 100 dní ŠLP Křtiny s cílem na základě těchto předběžných dat ověřit funkci designu měření a odvodit základní teze o celkové funkčnosti a významnosti vsakovacích jam. Pažný vrt ve vsakovací jámě na ŠLP Kostelec napojené na propustek (A1) je hluboký 1960 mm a čidlo je zavěšeno 230 mm nade dnem. Vrt v jámě referenční je (A2) hluboký taktéž 1996 mm a čidlo je zavěšeno 181 mm nade dnem. Pažný vrt ve vsakovací jámě na ŠLP Křtiny napojené na propustek (B1) je hluboký 2065 mm a čidlo je zavěšeno 39 mm ode dna. Vrt v jámě referenční je (B2) hluboký 2045 mm a čidlo je zavěšeno 3 mm nade dnem. Měřicí systémy byly zprovozněny 6. 8. 2022 na lokalitě ŠLP Kostelec a 5. 9. 2022 na ŠLP Křtiny. V tomto článku jsou prezentovány pouze předběžné výsledky z období od zprovoznění systému do 13. 12. 2022, kdy došlo k zámruzu, který negativně ovlivňuje přesnost měření průtoku v propustcích. Data jsou prezentována na hodinových průměrech, respektive sumách. Na obou lokalitách proběhl ve sledovaném období také zadržovací experiment, kdy byly vsakovací jámy napouštěny vodou z hasičské cisterny až do naplnění jejich kapacity. Zálivka byla ukončena při přetečení vody z jámy. Tento experiment byl proveden 13. 10. na ŠLP Křtiny a 21. 10. ŠLP Kostelec. Data z tohoto experimentu zde prezentována nejsou.

Tab. 1.
Charakteristiky obou experimentálních lokalit
Characteristics of the experimental sites

Lokalita/Locality	ŠLP ČZU Kostelec nad Č. lesy	ŠLP „Masarykův les“ Křtiny
Souřadnice středu zasakovací jámy pod propustkem/ Coordinates of the center of the infiltration pit below the culvert [WGS84]	N 49,963732° E 14,793732°	N 49,308205° E 16,698821°
Nadmořská výška zasakovací jámy pod propustkem [m n. m.]/ Altitude of the pit beneath the culvert [m a.s.l.]	438,10	434,25
Plocha povodí/Catchment area [ha]	12,64	4,21
Plocha zalesněné části povodí o sklonu do 5 %/ The area of the forested part of the catchment with a slope of up to 5% [ha] – 0.05	1,80	0,77
Plocha zalesněné části povodí o sklonu nad 5 % a plocha polí v povodí ve sklonu do 5 %/ The area of the forested part of the catchment with a slope of over 5% and fields up to 5% [ha] – 0.10	10,84	3,44
Odtokový koeficient vážený pro celé povodí/Runoff coefficient for the whole catchment	0,09	0,09
Předpokládaná doba trvání srážky/Estimated precipitation duration [min]		15,00
Předpokládaná periodičita deště/Precipitation return time [-]		0,20
Intenzita návrhového deště/Precipitation intensity [l/s/ha] (dle ČSN 75 6201)*	217,00	203,00
Návrhová srážka/Estimated precipitation [mm/15min]	19,50	18,30
Průtok srážkových vod pro dimenzování propustku (dle ČSN 75 6201)/ Rainwater streamflow for culvert dimensioning [l/s]	254,76	77,65
Retenční objem jámy/Pit retention volume [m ³]		6,50
Srážka, při níž se teoreticky naplní jáma (dle ČSN 75 6201)/ Precipitation that theoretically fills the pit [mm]	0,55	1,70

*98-144 l/s/ha pro venkovská území ČR



Obr. 2.

Schéma párového designu umístění vsakovacích jam a měřících transektů pažných vrtů; A1 – pažné vrty osazené tlakovými hladinoměry uvnitř zasakovacích jam, Q1 – měření průtoku na vyústění propustku

Fig. 2.

The scheme of the paired infiltration pits design; A1 – plugged borehole in infiltration pits, Q1 – streamflow measurement in the mouth of the culvert



Obr. 3.

Fotografie před zahozením nátoku lomovým kamenem na lokalitě Kostelec; je vidět zapažení vyústění propustku Thomsonovým přelivem, nátok z propustku do zasakovací jámy a zasakovací jáma samotná (vyplněna lomovým kamenem, osazena zapaženým vrtem); (foto: J. Deutscher)

Fig. 3.

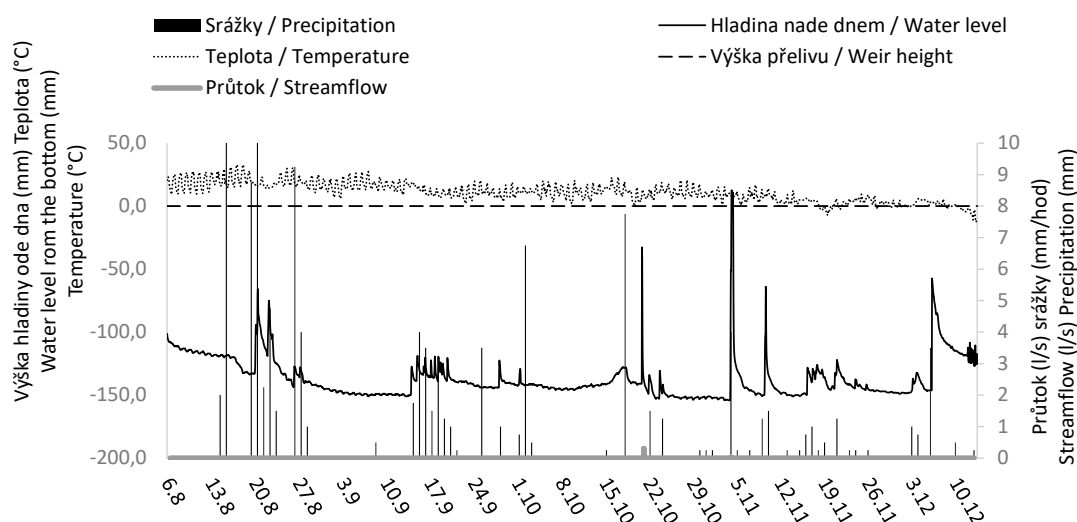
The photo captures Thomson spillway at the outlet of the culvert, the inflow from the culvert into the infiltration pit and the pit itself (filled with quarry stone, fitted with a plugged borehole), just before filling the inflow; (photo: J. Deutscher)

VÝSLEDKY

Funkce propustků

Celkové srážky ve sledovaném období dosáhly na ŠLP Kostelec 267 mm, což je ekvivalentem 750 mm/rok. Oproti dlouhodobému normálu se jednalo o srážkově nadprůměrné období. K průtoku propustkem Q1 došlo pouze jednou, a to v souvislosti s provedením zadešťovacího experimentu 21. 10. (obr. 4). Podhodnocení hladiny nade

dnem propustku v grafu při registrovaném průtoku během zadešťovacího experimentu je způsobeno krátkým trváním průtoku, který je v hodinovém průměru ponížen. Hladina krátkodobě přesáhla úroveň přelivné hrany ještě jednou 4. 11. v reakci na srážku o celkové intenzitě 31,5 mm/den. Na průběhu hladiny lze pozorovat, že zde dochází k reakci na srážkovou činnost, nicméně ve sledovaném období průtok přes přelivnou hranu již nenastal. Hladina se dlouhodobě ustalovala přibližně 15 cm pod přelivnou hranou propustku.

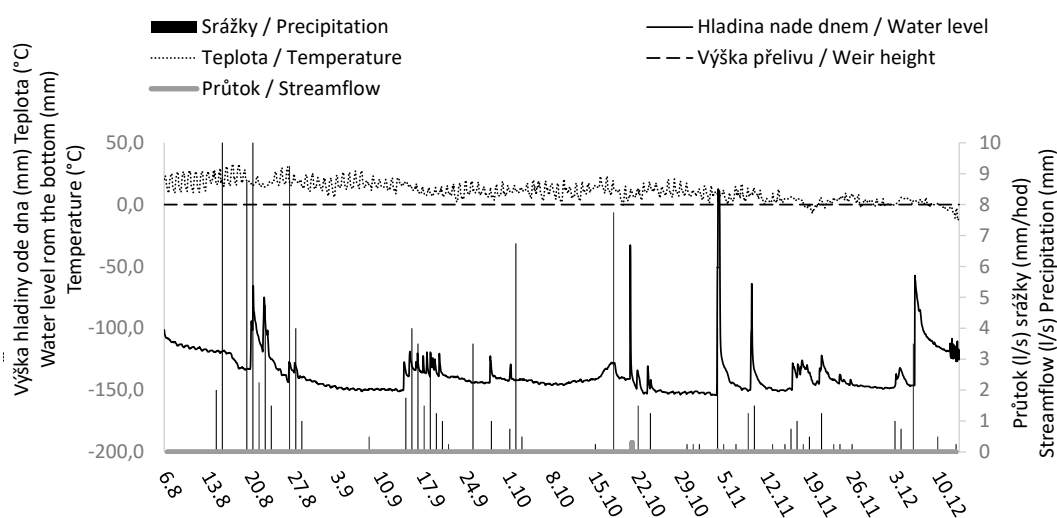


Obr. 4.

Měření hladiny a průtoku propustkem na ŠLP Kostelec (Q1) v období 6. 8. 2022 – 13. 12. 2022 (130 dní); 21. 10. 2022 je nárůst hladiny způsoben zadešťovacím experimentem

Fig. 4.

Water level and streamflow measurements in the culvert, TFE Kostelec in the period of 6. 8. 2022 – 13. 12. 2022 (130 days); 21. 10. 2022 – precipitation experiment was performed



Obr. 5.

Měření hladiny a průtoku propustkem na ŠLP Křtiny (Q2) v období 5. 9. 2022 – 13. 12. 2022 (100 dní); 13. 10. 2022 je nárůst hladiny způsoben zadešťovacím experimentem

Fig. 5.

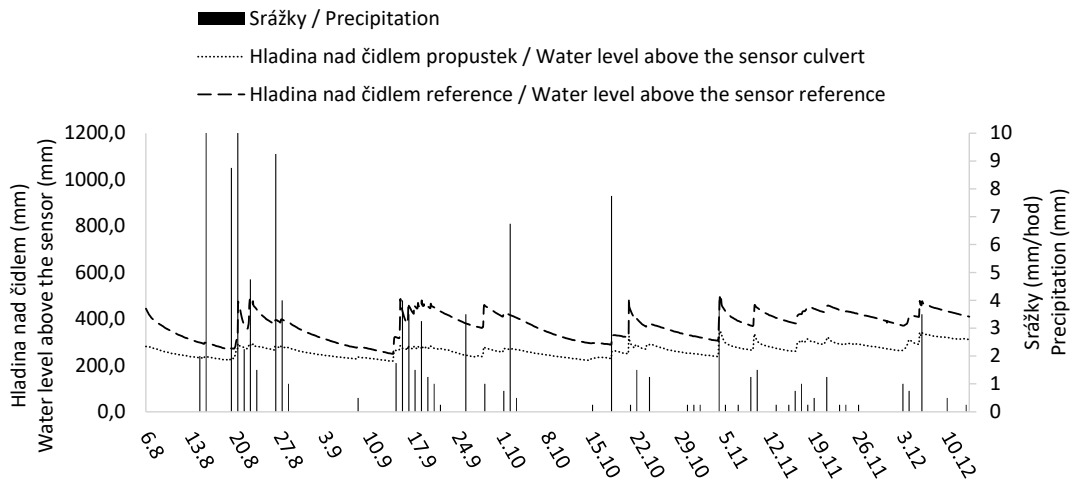
Water level and streamflow measurements in the culvert, TFE Křtiny in the period of 5. 9. 2022 – 13. 12. 2022 (100 days); 13. 10. 2022 – precipitation experiment was performed

Celkové srážky ve sledovaném období dosáhly na ŠLP Křtiny 114 mm, což je ekvivalentem 416 mm/rok. Oproti dlouhodobému normálu se jednalo o sušší období. K průtoku přes přelivnou hranu propustku Q2 došlo jednou ve spojitosti se zadešťovacím experimentem, který zde proběhl 13. 10. (obr. 5). Hladina se po umělé nátoky (při experimentu) ustálila necelých 5 cm pod hranou přelivu a průtok ve sledovaném období již nenastal. Hladina v propustku vykazovala velmi stabilní průběh a reakce na srážkovou činnost byla ve sledovaném období minimální.

Funkce vsakovacích jam

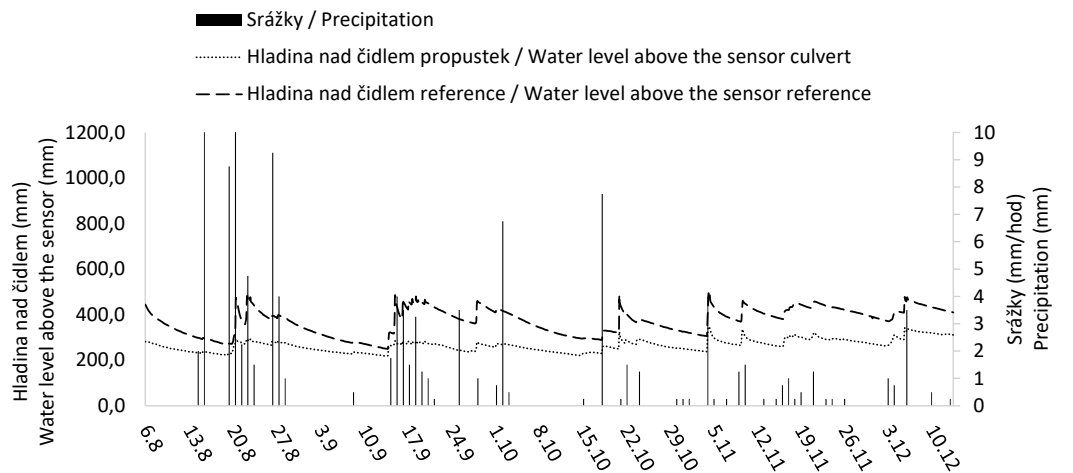
Na ŠLP Kostelec dosahovala maximální výška hladiny ve vrtu A1 49,5 cm (měřená výška nad čidlem + výška čidla nade dnem) a 55,3 cm v A2 (obr. 6). Hladina nikdy neklesla pod nulu, což svědčí o trvalé hladině podzemní vody relativně blízko pod povrchem.

Na ŠLP Křtiny byla výška hladiny ve vrtech během sledovaného období nulová (obr. 7). K navýšení nad nulu došlo krátkodobě pouze ve vrtu B1, a to v reakci na zadešťovací experiment a poté jednou v září a na začátku prosince, kdy v obou případech navýšení hladiny nepřesáhlo 12 cm. Infiltrace ve vrtu B2 nebyla s výjimkou zadešťovacího experimentu pozorována vůbec.



Obr. 6. Měření výšky hladiny nad čidlem umístěným u dna pažných vrtů ve vsakovací jámě pod propustkem (A1) a v jámě referenční (A2) na ŠLP Kostelec v období 6. 8. 2022 – 13. 12. 2022 (130 dní); 21. 10. 2022 je nárůst hladiny způsoben zadešťovacím experimentem

Fig. 6. Water level measurements in the boreholes of the infiltration pits beneath the culvert and without it at TFE Kostelec in the period of 6. 8. 2022 – 13. 12. 2022 (130 days); 21. 10. 2022 – precipitation experiment was performed



Obr. 7. Měření výšky hladiny nad čidlem umístěným u dna pažných vrtů ve vsakovací jámě pod propustkem (B1) a v jámě referenční (B2) na ŠLP Křtiny v období 5. 9. 2022 – 13. 12. 2022 (100 dní); 13. 10. 2022 je nárůst hladiny způsoben zadešťovacím experimentem

Fig. 7. Water level measurements in the boreholes of the infiltration pits beneath the culvert and without it at TFE Křtiny in the period of 5. 9. 2022 – 13. 12. 2022 (100 days); 13. 10. 2022 – precipitation experiment was performed

DISKUSE

Měřená data dokládají velmi nízký povrchový odtok, respektive velmi nízký (pouze ojedinělý) průtok v trubních propustcích během uplynulého období. Nízký povrchový odtok z lesa lze považovat za očekávatelný (např. již DUNNE et al. 1975). Hladina vody v propustcích přesáhla výšku přelivu na obou lokalitách pouze ojediněle a na velmi krátkou dobu. Zajímavým výsledkem terénních měření je výrazný nesoulad výsledků získaných metodou odtokového koeficientu z lesních pozemků. Dle výstupů této doporučené a běžně využívané metody pro dimenzování propustků pod cestami by mělo docházet k průtoku propustkem velmi často. Kapacita vsakovacích jam umístěných pod propustky (A1 a B1) by měla být touto vodou naplněna při srážce 0,5 mm v Kostelci (povodí nad 12 ha), respektive 1,7 mm ve Křtinách (povodí 4 ha) (tab. 1). Při srovnání s měřenými daty lze konstatovat, že v uplynulém období byly výstupy odtokového koeficientu výrazně nadhodnocené. Toto zjištění poukazuje na fakt, že odtokové koeficienty v inženýrské praxi jsou primárně nastaveny pro urbánní prostředí, a nereflktují tak komplexitu lesního prostředí, což může snižovat jejich relevantnost a jedná se o problém, o kterém se již nějakou dobu ví (např. TOLLAND et al. 2007). Zdá se tedy, že v daných podmínkách k povrchovému odtoku (a to ani na LDS) prakticky nedocházelo. Je možné, že velmi nízký (neexistující) pozorovaný průtok v propustcích je částečně způsoben jejich obtékáním tělesem násypu cesty. Tomuto fenoménu bude třeba věnovat zvýšenou pozornost při vyhodnocování delší sady dat.

V souvislosti s tím poukazují měřená data také na omezený význam vsakovacích jam pro zadržování srážkové vody, potažmo pro podporu infiltrace. Hladina v jámách vykazovala během sledovaného období na obou lokalitách pouze relativně drobné výkyvy. Na suché variantě na ŠLP Křtiny byla infiltrace pozorována pouze dvakrát za uplynulé období, a to jen u jámy napojené na propustek. Referenční jáma bez napojení zůstávala neustále suchá. Na vlhké variantě na ŠLP Kostelec bylo lze pozorovat uvnitř obou vrtů častou reakci na srážky. Nárůst úrovně hladiny ve vrtech v reakci na srážkovou činnost dosahoval maxima okolo 20 cm, a to i na srážky v intenzitě nad 10 mm/hod. Zvýšení hladiny ve vrtech na vlhké variantě v Kostelci lze přiřknout také *subsurface stormflow* (tedy podpovrchovému odtoku způsobenému srážkovou vodou), který je v literatuře na vlhkých stanovištích popsán a jeho neexistence na suché variantě ve Křtinách odkazuje na nedostatečnou saturaci půdy či její nedostatečnou propustnost (např. DUNNE et al. 1975).

Při vyhodnocování prvotní sady dat byly identifikovány dílčí problémy, které mohou mít vliv na interpretaci pořízených výstupů. Zejména se jednalo o komplikaci se zamrznutím vody v propustku a pádem sněhové pokrývky, která způsobuje chyby v hodnotách získaných ultrazvukovým hladinoměrem (DEUTSCHER et al. 2021). Proto byla data ze zimního období v tomto případě z hodnocení vyňata. Tlakové hladinoměry umístěné v pažných vrtech nejsou touto chybou zatíženy, takže data o hladině podzemní vody, respektive infilraci do vrtů by měla být v budoucnu k dispozici i pro zimní období. Dalším omezením může být výběr vhodné lokality pro umístění vsakovacích jam. Např. vysoká hladina podzemní vody i rychlá odezva na srážky v případě jámy A2 (obr. 5) mohou být způsobeny nejen infiltrací, ale i nějakým externím nepředpokládaným jevem, např. lokálním prameništem, mělkou zvodní v řešeném svahu, preferenční odtokovou trasou v souvislosti např. s reliktní odvozní linkou, lokální těžbě kamene apod. Při výběru ploch pro realizaci vsakovacích jam bude nutné dopředu provádět hydrogeologické šetření, aby se omezilo riziko takovýchto externích jevů na funkci objektu.

ZÁVĚR

Předběžné výsledky z uplynulého období (podzim roku 2022) naznačují, že vsakovací jámy pod propustky na LDS měly nečekaně nízkou účinnost při zadržování a infiltraci povrchového odtoku. Respektive, vzhledem k tomu, že v řešeném období byl povrchový odtok minimální (nebyl registrován průtok propustky), se voda do jam dostávala jen omezeně. Na suché variantě lesního porostu v ŠLP Křtiny k infiltraci (a pravděpodobně ani k tvorbě) povrchového odtoku uvnitř zasakovací jámy vůbec nedocházelo. Na vlhké variantě ŠLP Kostelec výsledky naznačují, že zasakovací objekty nebyly plněny povrchovým odtokem, ale odtokem podpovrchovým v saturované vrstvě půdy. Vliv otevření půdního profilu na proudění či koncentraci podpovrchového odtoku uvnitř zasakovací jámy prozatím nebyl ověřován. Zdá se tedy, že vsakovací jámy pod propustky LDS v řešeném období nedosahovaly předpokládaného potenciálu pro omezení negativních vlivů cestní sítě na hydrický režim krajiny.

Poděkování:

Článek vznikl díky podpoře a na základě výsledků projektu NAZV č. QK2020146 „Technická doporučení pro hospodaření s vodou v rámci lesní dopravní sítě“ a prezentuje jeho předběžné výsledky.

LITERATURA

- AHAMMED F. 2017. A review of water-sensitive urban design technologies and practices for sustainable stormwater management. *Sustainable Water Resources Management*, 3: 269–282. <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0093-8>
- ARGUE J.R. (ed.) 2004. *Water sensitive urban design: basic procedure for source control of stormwater: a handbook for Australian practice*. 1st ed. Adelaide, Urban Water Resource Centre, University of South Australia.
- ARGUE J.R. 2013. *Water sensitive urban design: basic procedure for source control of stormwater: a handbook for Australian practice*. 6th ed. Adelaide, Urban Water Resource Centre, University of South Australia.
- BEECHAM S. 2003. Water sensitive urban design: a technological assessment. *Waterfall, Journal of the Stormwater Industry Association*, 17: 5–13.
- BEECHAM S., RAZZAGHMANESH M. 2015. Water quality and quantity investigation of green roofs in a dry climate. *Water Research*, 70: 370–384. DOI: 10.1016/j.watres.2014.12.015
- CAPODAGLIO A.G. 2020. Taking the water out of “wastewater”: An ineluctable oxymoron for urban water cycle sustainability. *Water Environment Research*, 92: 2030–2040. <https://doi.org/10.1002/wer.1373>
- CRISTAN R., AUST W.M., BOLDING M.C., BARRETT S.M., MUNSELL J.F., SCHILLING E. 2016. Effectiveness of forestry best management practices in the United States: Literature review. *Forest Ecology and Management*, 360: 133–151. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.10.025>
- ČSN 73 6108. 2018. Lesní cestní síť.
- ČSN 75 9010. 2012. Vsakovací zařízení srážkových vod
- ČSN EN 752. 2019. Odvodňovací a stokové systémy vně budov – Management stokového systému

- DECHESNE M., BARRAUD S., BARDIN J.P. 2005. Experimental assessment of stormwater infiltration basin evaluation. *Journal of Environmental Engineering*, 131 (7): 1090–1098. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2005\)131:7\(1090\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2005)131:7(1090))
- DEUTSCHER J., HEMR O., KUPEC P. 2021. A unique approach on how to work around the common uncertainties of local field data in the PERSiST hydrological model. *Water*, 13 (9): 1143. <https://doi.org/10.3390/w13091143>
- DIETZ M.E. 2007. Low impact development practices: a review of current research and recommendations for future directions. *Water, Air, and Soil Pollution*, 186: 351–363. <https://doi.org/10.1007/s11270-007-9484-z>
- DUNNE T., MOORE T.R., TAYLOR C.H. 1975. Recognition and prediction of runoff-producing zones in humid regions. *Hydrological Sciences – Bulletin des Sciences Hydrologiques*, 20 (3): 305–327.
- EMERSON C.H., WADZUK B.M., TRAVER R.G. 2010. Hydraulic evaluation and total suspended solids capture of an infiltration trench. *Hydrological Processes*, 24 (8): 1008–1014. <https://doi.org/10.1002/hyp.7539>
- EPA. 2007. Use of green infrastructure in NPDES permits and enforcement. [online] [cit. 2022-12-20]. Dostupné na/Available on: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-10/documents/gi_memo_enforce_0.pdf
- FRYD O., JENSEN M.B., INGVERTSEN S.T., JEPPESEN J., MAGID J. 2010. Doing the first loop of planning for sustainable urban drainage system retrofits: a case study from Odense, Denmark. *Urban Water Journal*, 7 (6): 367–378. DOI: 10.1080/1573062X.2010.527352
- Gold Coast City Council. 2005. Water sensitive urban design guidelines, Policy 11, Sect. 13. Gold Coast City, Queensland Government, Gold Coast City Council.
- HORTON R.E. 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 14 (1): 446–460. <https://doi.org/10.1029/TR014i001p00446>
- ISLAM M.D., CHOU F.N.F., KABIR M.R., LIAW C. 2010. Rainwater: a potential alternative source for scarce safe drinking and arsenic contaminated water in Bangladesh. *Water Resources Management*, 24 (14): 3987–4008. DOI: 10.1007/S11269-010-9643-7
- JONES J.A., GRANT G.E. 1996. Peak flow responses to clear-cutting and roads in small and large basins, western cascades, Oregon. *Water Resources Research*, 32 (4): 959–974. <https://doi.org/10.1029/95WR03493>
- KASTRIDIS A. 2020. Impact of forest roads on hydrological processes. *Forests*, 11 (11): 1201. <https://doi.org/10.3390/f11111201>
- LARIYAH M.S., NOR M.M., ROSELI Z.M., ZULKEFLI M., HANIM M.A. 2011. Application of water sensitive urban design at local scale in Kuala Lumpur. In: 12th International Conference on Urban Drainage, 10–15 September 2011, Porto Alegre, Brazil: 1–14.
- LE COUSTUMER S., BARRAUD S. 2007. Long-term hydraulic and pollution retention performance of infiltration systems. *Water Science and Technology*, 55 (4), 235–243. DOI: 10.2166/wst.2007.114
- LINDSEY G., ROBERTS L., PAGE W. 1992. Inspection and maintenance of infiltration facilities. *Journal of Soil & Water Conservation*, 47 (6): 481–486.
- MMR. 2019. Vsakování srážkových vod. Metodická pomůcka Ministerstva pro místní rozvoj. Odbor stavebního řádu. Praha, Ministerstvo pro místní rozvoj ČR: 35 s. Dostupné na/Available on: https://www.mmr.cz/getattachment/e16069fa-3bf8-4a1d-82af-28a17df865c5/Metodika-vsakovani_srpen2019.pdf.aspx?lang=cs-CZ&text=.pdf
- RAHMAN M.A., STRATOPOULOS L.M.F., MOSER-REISCHL A., ZÖLCH T., HÄBERLE K.-H., RÖTZER T., PRETZSCH H., PAULEIT S. 2020. Traits of trees for cooling urban heat islands: A meta-analysis. *Building and Environment*, 170: 106606. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106606>
- RAMOS-SCHARRÓN C.E., MACDONALD L.H. 2007. Runoff and suspended sediment yields from an unpaved road segment, St John, US Virgin Islands. *Hydrological Processes*, 21: 35–50. <https://doi.org/10.1002/hyp.6175>
- REID L.M., DUNNE T. 1984. Sediment production from forest road surfaces. *Water Resources Research*, 20: 1753–1761. <https://doi.org/10.1029/WR020i011p01753>
- SIDLE R.C., ZIEGLER A.D. 2012. The dilemma of mountain roads. *Nature Geoscience*, 5: 437–438.
- SOULIS K.X., DERCAS N., PAPADAKI C. 2015. Effects of forest roads on the hydrological response of a small-scale mountain watershed in Greece. *Hydrological Processes*, 29 (7): 1772–1782. <https://doi.org/10.1002/hyp.10301>
- STRECKER E.W., QUIGLEY M.M., URBONAS B.R., JONES J.E., CLARY J.K. 2001. Determining urban storm water BMP effectiveness. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 127 (3): 144–149. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2001\)127:3\(144\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2001)127:3(144))
- TNV 75 9011. 2013. Hospodaření se srážkovými vodami. Odvětvová technická norma vodního hospodářství. 65 s. Dostupné na/Available on: https://eagri.cz/public/web/file/209372/TNV_75_9011_brezen_2013.pdf
- TP 83. 2014. Odvodnění pozemních komunikací. Technické podmínky. Praha, Ministerstvo dopravy: 60 s.
- TOLLAND L., CATHCART J.G., RUSSELL S.D. 2007. Estimating the Q100 in British Columbia: A practical problem in forest hydrology. *JAWRA – Journal of the American Water Resources Association*, 34 (4): 787–794. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb01515.x>
- WANG H., MEI C., LIU J., SHAO W. 2018 A new strategy for integrated urban water management in China: Sponge city. *Science China Technological Sciences*, 61: 317–329. <https://doi.org/10.1007/s11431-017-9170-5>
- WEMPLE B.C., JONES J.A., GRANT G.E. 1996. Channel network extension by logging roads in two basins, Western Cascades, Oregon. *Water Resources Bulletin*, 32 (6): 1195–1208.
- Wisconsin Department of Natural Resources. 1995. Wisconsin's Forestry Best Management Practices for Water Quality. Publication number FR0-93. 76 s.
- Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů
- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů
- ZIEGLER A.D., GIAMBELLUCA T.W. 1997. Importance of rural roads as source areas for runoff in mountainous areas of northern Thailand. *Journal of Hydrology*, 196 (1–4): 204–229.

FUNCTIONALITY OF INFILTRATION PITS ON FOREST TRANSPORTATION NETWORK

SUMMARY

The aim of this article is to inform the professional public about ongoing research and present the basic thesis about the function and potential of infiltration pits under culverts on forest roads. The methodology consisted of a combination of literature review and own *in situ* experiments. Experimental verification was carried out on sections of forest roads on two training forest enterprises (TFE) at Kostelec nad Černými Lesy and Masarykův les Křtiny (Fig. 1). At each location, two infiltration pits were built in a paired design with a uniform retention volume. One of the pits was always located under a pipe culvert. The second, control pit, was located approx. 30 m from it, in the same pedological and vegetation conditions without a centralized inflow (Fig. 2).

Given the possibilities of the research project and the requirements for the installation of measuring devices, infiltration pits were constructed with the following dimensions: length at the bottom 3.5 m; width at the bottom 2.0 m; the slope of the walls 2 : 1 and the retention depth 1.5 m. The volume of pits without filling was approx. 18 m³. The banks of the pits were provided with a separation geotextile with an area weight of 350 g/m² (approx. 40 m²). The pits were filled with stone with an assumed porosity of $m = 35\%$. The expected retention volume of the infiltration pits (when filling the gaps between the stones) is approx. 6.5 m³. Based on hydrological calculations applicable to the dimensioning of culverts according to ČSN 75 6201, these pits are smaller than the recommended dimensions (Table 1).

The flow through pipe culverts was continuously measured. The water level above a sharp-edged Thomson spillway was measured by an ultrasonic sensor US1200, and the height was converted into a streamflow in the data logger H7-G-TA4-SZ (both Fiedler AMS devices, České Budějovice). Plugged boreholes with a perforated lower part were drilled and stabilized in the pits to the depth of approx. 2 m below the ground. Submersible pressure level gauges (TSH37, Fiedler AMS, České Budějovice) were placed in the shafts to continuously monitor the height of the water level. The measurement interval was set at 10 minutes. Climatic data were obtained from the network of local meteorological stations of the company Amet (Velké Bílovice). For TFE Kostelec, data from the Tucharazy station and for TFE Křtiny from station Útok 6 were used.

The measuring systems were put into operation on 6th August 2022, at the location of the TFE Kostelec and on 5th September 2022, at the TFE Křtiny. In this article, only preliminary results are presented from the period from the commissioning of the system to 13/12/2022, when there was a freeze, which negatively affects the accuracy of the flow measurement in the culverts. Data are presented on hourly averages, respectively sums (Fig. 3. and 4). In both locations, a precipitation experiment also took place during the monitored period, where the infiltration pits were filled with water from the fire cistern. The filling was stopped when the water overflowed from the pit. This experiment was carried out on 13th October at TFE Křtiny and on 21st October at TFE Kostelec. Data from this experiment are not presented here.

At TFE Kostelec, the maximum water level in the pit below the culvert reached 49.5 cm and the other 55.3 cm in A2 (Fig. 5). The level never dropped below zero, indicating a permanent groundwater level relatively close to the surface. At TFE Křtiny, the water level in the pits during the observed period was zero (Fig. 6). An increase above zero occurred for a short time only in response to the irrigation experiment, and then once in September and at the beginning of December when in both cases the level increase did not exceed 12 cm.

The analysis of these preliminary results from the study period (autumn 2022) indicated that the infiltration pits under the culverts had unexpectedly low efficiency in retaining and infiltrating surface runoff. Mostly, due to the fact that in the analyzed period the surface runoff was minimal, even though precipitation did occur. During the study period, the infiltration pits did not reach the expected potential to support the hydric regime of the landscape.

Zasláno/Received: 24. 01. 2023

Přijato do tisku/Accepted: 20. 03. 2023