

INFILTRACE A EXFILTRACE DO / Z DOMOVNÍCH PŘÍPOJEK

Ivan Princ¹, David Kohout², Radomír Tůma³

Abstract

Sewer systems constitute a very significant patrimony in European cities. Their structural quality and functional efficiency are key parameters to guarantee the transfer of domestic and trade wastewater to treatment plants without infiltration or exfiltration.

The paper shows analysis several damages occurring on the house connections, their causes and influence on the amount of infiltration water to sewer system by HC or exfiltration of wastewater from HC to environment. Further is concern of obtaining the data and statistical evaluation and determination approach of infiltration and exfiltration amount.

Úvod

Domovní kanalizační přípojky patří k nejvíce opomíjeným částem celého stokového systému a jak ukazují výsledky průzkumu v USA mohou se podílet až 50 % na celkové infiltraci balastních vod, rovněž exfiltrace z domovních přípojek je významná, jedná se o ochranu podzemních vod před znečištěním odpadní vodou a ochranu základů jednotlivých nemovitostí.

Úkol infiltrace a exfiltrace odpadních vod do / z domovních přípojek je jednou ze součástí projektu s názvem Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer System – APUSS (Vliv infiltrace a exfiltrace na účinnost stokové sítě v urbanizovaném území). Tento projekt spadá do 5. rámcového programu EU pro rozvoj vědy a technologií.

Cíl

Cílem je určit celkové množství jednak balastních vod, které se dostanou určitým způsobem do domovních přípojek (infiltrace), nebo kolik odpadní vody vyteče z potrubí domovních přípojek (exfiltrace). Stanovení míry infiltrace a exfiltrace je založeno na měření v terénu v konkrétních lokalitách a na fyzikálním modelu v laboratoři. Snahou je vyvinout nové metody, které budou testovány na lokálním malém povodí a ověřovány na větším povodí různých měst. Celý APUSS projekt má za cíl vytvořit pro vlastníky rozhodovací proces k posouzení účinnosti jejich stokové sítě a k výběru investiční strategie při následných opravách a rekonstrukcích.

Problematika infiltrace

Balastní vody jsou veškeré vody, které se dostaly do stokové sítě jednak infiltrací tj. průnikem z okolního prostředí (obvykle zeminy) do poškozených stok, kanalizačních přípojek

¹ Ing. Ivan Princ, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Laboratoř ekologických rizik městského odvodnění – LERMO, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel: +420 2 2435412, email: princ@lermo.cz,

² Ing. David Kohout, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Laboratoř ekologických rizik městského odvodnění – LERMO, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel: +420 2 2435412, email: kohoutd@lermo.cz,

³ Ing. Radomír Tůma, Pražské vodovody a kanalizace, a.s., Hradecká 1, 130 00 Praha 3, tel: +42067194261, email: radomir.tuma@pvk.cz

trhlinama a otvory, netěsnými spoji v místech pod hladinou podzemní vody či v blízkosti významných ztrát z vodovodního potrubí, hovoříme o tzv. plošných (difúzních) zdrojích. Další skupinu balastních vod tvoří tzv. bodové zdroje jako je zaústění potoků a vsakovacích systémů, přepady z vodojemů a fontán či chladicí voda, tato druhá skupina zdrojů – bodových zdrojů balastních vod nebyla ještě v nedávné minulosti hodnocena jako balastní vody, jelikož při návrhu městského odvodnění se vycházelo z tzv. Horlerovy definice, která se objevila v nepatrných obměnách či předpisech téměř všech evropských zemí. Balastní vody lze rozdělit rovněž dle časového výskytu – na balastní vody odtékající nepravidelně a balastní vody odtékající kontinuálně.

Horlerova definice :

Cílem městského odvodnění je úplné napojení veškerých odpadních vod a jejich co nejrychlejší odvedení z městského povodí. Odvodnění nesmí ohrozit a omezit obyvatelstvo, dopravu povrchové a podzemní vody. Jako odpadní vody jsou definovány veškeré vody, které musí být jakýmkoliv způsobem odvedeny z městského povodí. K odpadním vodám patří splaškové vody z domácností, odpadní vody z průmyslu, dešťový odtok, tající sníh, drenážní voda, přepady z vodojemů a do kanalizace napojené podzemní a povrchové vody bez ohledu na stupeň jejich znečištění.

Tato skutečnost vedla k budování velice nákladných technických způsobů odvodnění a kanalizací se odvádějí vody minimálně znečištěné, což vyústilo jednak v odvádění značného množství vody z urbanizovaných území do recipientů, a jednak zvýšeným přítokem balastních vod na ČOV a jejímu hydraulickému přetížení a zhoršení čistící funkce.

Tento přístup je pozvolna nahrazován přístupem značně odlišným:

„Do stokové sítě je možno vpustit pouze takové vody, které mají znečištění odpovídající vodám splaškovým a které je možné na ČOV zpracovat. Stokovou síť je nutno chránit před balastními vodami“.

Sanační práce za účelem snižování množství infiltrovaných vod z okolní zeminy jsou zaměřeny především na hlavní stoky a domovní přípojky tak zůstávají v drtivé většině případů opomíjeny a vezmeme-li v úvahu podíl domovních přípojek na celé délce stokového labyrintu (v Praze je to 21 % celkové délky stokové sítě) nabízí se otázka jakou měrou právě domovní přípojky přispívají na celkovém množství balastních vod. Např. podle [4] se uvádí až 50 % - ní podíl domovních přípojek na celkové infiltraci balastních vod.

Podmínky, kdy dochází k infiltraci do domovních přípojek:

- hladina podzemní vody se vyskytuje nad nebo minimálně v úrovni domovní přípojky
- zemina v okolí přípojky musí být dostatečně propustná
- existence preferenčního místa – poškození (netěsné spoje, trhliny apod.)

Infiltrace balastních vod zvyšuje nároky na kapacitu stok a ČOV. Nízká teplota a naředění splaškových vod negativně ovlivňuje biologický proces čištění.

Problematika exfiltrace

Hlavním problémem exfiltrace je kontaminace podzemních vod a pramenů. Takto vytékající odpadní voda z jakkoliv porušeného potrubí, proudí půdním prostředím a přímo ohrožuje lidské zdraví.

Z hlediska stavebního proudící voda půdním prostředím vymývá postupně jednotlivé frakce zeminy obsypu a tím se vytvářejí kaverny, které ohrožují základy budov, inženýrské sítě a propadají se komunikace.

Dále výtok odpadní vody ovlivňuje pokles hodnoty usazovací rychlosti, což má za následek zanášení dna potrubí splaveninami a tím se zvyšují náklady na údržbu stokové sítě.

Teorie exfiltrace:

Řídící rovnice exfiltrace je funkcí výtoku otvorem a prouděním půdním prostředím.

Výtok otvorem pro neustálené proudění $Q = f(t)$, kde $v \neq \text{konst.}$ a $Q \neq \text{konst.}$:

$$v = \varphi \cdot \sqrt{2gh} \Rightarrow Q = \varphi \cdot \varepsilon \cdot S \cdot \sqrt{2gh} \quad (1)$$

kde φ je rychlostní součinitel, ε je součinitel zúžení, S je plocha zúženého průřezu.

Proudění vody v proměnlivě nasyceném pórovitém půdním prostředí dle [1]

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \text{div}(K \cdot \text{grad}h + K_0) \quad (2)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K \cdot \frac{\partial h}{\partial z} + K \right) \quad (3)$$

kde θ je vlhkost zeminy, K je hydraulická vodivost (m/d), h je tlaková výška (m)

Okrajové podmínky (maximum exfiltrace):

- celkový odtok vody z domu tzn. ze všech zařizovacích předmětů z domácností, dešťové vody ze střech a nelegální připojení (drenážní vody)
- vzduť hladina odpadní vody z uliční stoky do domovní přípojky (zpětné klapky jsou pouze doporučeny)

Vyřešením rovnic (1) a (2) nebo (3) dostaneme množství exfiltrace, avšak teoretické, které je nutno dokázat měřením.

Podmínky pro výskyt exfiltrace z domovních přípojek:

- poloha hladiny podzemní vody je pod potrubím domovní přípojky
- potrubí musí být porušeno
- přípojka je uložena alespoň částečně v propustném podloží a v nenasyceném půdním prostředí. Je-li potrubí v nepropustném prostředí např. jílu, k exfiltraci nedochází. Rovněž nedochází v totálně zvodněném prostředí (např. infiltrace vody po dešťové události)

Druhy poruch a jejich příčiny

Nejdříve byl vytvořen seznam jednotlivých nejčastějších poruch a jejich ovlivňujících příčin, které se mohou vyskytnout na domovní přípojce. Přehledně byla zpracována vztahová matice, z které jsou patrné nevýznamné nebo nejvýznamnější poruchy, na které je třeba se při měření zaměřit. Vzájemné interakce jsou obodovány a na tomto základě je stanoveno pořadí jednotlivých příčin (viz Tab. 1).

Druhy poruch jsou: netěsnosti ve spoji (v hrdlech, u šachty, v napojení na uliční stoku), vypadlý střep, překážky (přesazené potrubí, kořeny, sedimenty, inkrustace), trhliny, koroze, deformace. Ovlivňující faktory jsou: poloha hladiny podzemní vody, propustnost půdního prostředí, druh materiálu, stáří, zatížení dopravou, životnost, provedení, deštné nebo bezdeštné období).

Nejvýznamnější poruchou je napojení domovní přípojky na uliční stoku. Toto bývá způsobeno jednak nekvalitně vloženým potrubím a tímto špatně provedeným spojem dochází k exfiltraci. Za druhé je nedostatečně zhutněn obsyp a zásyp, při vertikálním zatížení (např.

z komunikace) dochází ke stlačení obou potrubí a právě ve spoji vznikne netěsnost. Výhodou je použití kameninových rour, která jsou odolnější oproti PVC potrubí, protože kamenina není pružná a spoj není namáhán.

Tab. 1 Vztahová matice, příklad pro exfiltraci

exfiltration		poruchy															faktory	
		netěsné spoje			překážky					koroze		trhliny			jiné		suma	pořadí
		špatný spoj	napojení na ulič. stoku	napojení na šachtu	sedimenty	incrustace	kořeny	přesah potrubí do ul.stoku	vnější	vnitřní	podélné	příčné	radialní	abrazie	deformace			
vysoká propustnost	5	5	5	2	1	2	1	3	1	5	5	5	1	3	3,1	9		
střední propustnost	3	3	3	1	1	2	1	2	1	3	3	3	1	1	2,0	1		
materiál	4	4	4	1	1	2	1	1	1	3	3	1	1	4	2,2	2		
typ oblasti	3	3	3	3	2	5	1	2	2	2	2	2	3	2,5	5			
deštné období	5	5	5	5	5	3	5	1	1	3	3	2	3	1	3,4	11		
životnost	5	5	5	3	5	5	2	3	3	5	5	5	3	5	4,2	13		
údržba	3	3	3	3	3	2	3	3	3	5	5	5	3	1	3,2	10		
provedení	5	5	5	1	1	-	3	1	-	2	4	1	1	5	2,8	8		
agresivní prostředí	3	3	3	1	1	1	1	5	-	3	3	3	1	1	2,2	3		
agresivní voda	2	2	2	2	5	1	1	1	5	3	3	3	3	1	2,4	4		
svislé zatížení	5	5	5	1	1	1	2	1	1	5	5	1	1	5	2,8	7		
pulsující HPV	3	3	3	1	1	3	3	3	1	2	5	1	1	5	2,5	5		
stáří	4	4	4	2	4	3	1	4	4	4	4	4	4	4	3,6	12		
poruchy	suma	3,8	3,8	3,8	2,0	2,4	2,5	1,9	2,3	2,1	3,5	3,8	2,8	1,9	3,0			
	pořadí	11	11	11	3	6	7	1	5	4	10	11	8	1	9			

legenda:

1	0	%
2	25	%
3	50	%
4	75	%
5	100	%

Laboratorní model

Na pracovišti ČVUT - Fsv, LERMO byl instalován fyzikální model části kanalizační domovní přípojky na kterém byla provedena simulace poruchy potrubí – spoj bez těsnícího „O“ kroužku a následné měření množství infiltrované vody pro různá vysunutí potrubí z hrdla při konstantní hladině bez zásypu. Tímto byl simulován průnik vody například ze zatopené kaverny v místě netěsného spoje.

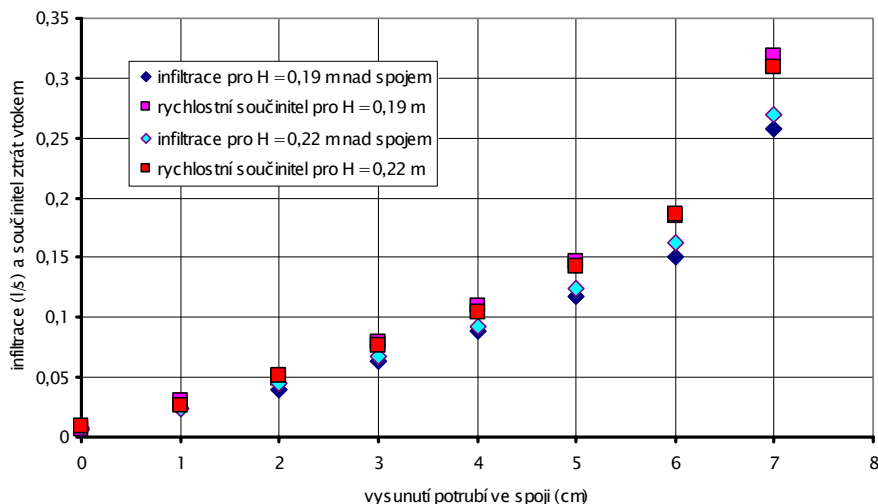
Model pro měření infiltrovaného množství je konstruován jako plechový žlab (o rozměrech délka 6,0 m; šířka 0,8m; výška 0,8m; měřítko 1:1), ve kterém je umístěno kanalizační potrubí. Instalovaný model části domovní přípojky je z trub PVC – U, spojených pomocí pryžových těsnících kroužků. Pro stanovení průtoků je model osazen dvěma měrnými trojúhelníkovými přelivy, kdy jeden je umístěn na vtoku do modelu a jeden na výtoku z modelu. Výtok infiltrované je vyveden do oddělené komory a tím oddělen od odtoku vody, která se neinfiltroje do potrubí. Tato metoda byla zvolena z důvodu použití i jiné metody k určení infiltrovaného množství. Tím vznikla i možnost dobře vizuálně pozorovat rozdíl v množství infiltrované vody vytékající z potrubí. Při stanovení infiltrovaného množství se vycházelo z rovnice

$$Q = \varphi \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (4)$$

kde Q je infiltrované množství, S je průtočná (infiltrační) plocha, H je výška vody nad spojením, φ je vtokový ztrátový rychlostní součinitel, g je tíhové zrychlení.

Laboratorní model umožňuje měnit různé podmínky zásypu (typ půdního prostředí, výška hladiny podzemní vody, nasycenost prostředí, materiál potrubí) pro různé základní veličiny (průměr DN, sklon) a simulovat tak jednotlivé poruchy poškození (velikost děr a trhlin, jejich počet, překážky) při rozdílném počátečním průtoku.

Velikost či existence infiltrační plochy závisí na mnoha podmínkách např. stáří, zatížení, stavební provedení apod. V našem laboratorním měření byla velikost infiltračního místa daná jako plocha mezikruží odpovídající rozdílu vnitřního profilu hrdla a většího průměru potrubí. Na modelu se zjišťovalo infiltruující množství a hodnoty rychlostního součinitele na vtoku do potrubí (viz *Graf 1*).



Graf. 1 Závislost infiltrace a ztrátového rychlostního součinitele na vysunutí potrubí.

Následující tabulky uvádí podíl balastních vod v jednotlivých lokalitách a dále je zde porovnáno jakým množstvím by se podílela hypotetická porucha – netěsný spoj.

Tab. 2 Podíl balastních vod v jednotlivých městech poskytnutých provozovateli stokové sítě (názvy lokalit neuvedeny z důvodu ochrany dat)

místo	rok	plocha	nátok na ČOV	odhad balastní vody	
		ha	m ³ /rok	%	m ³ /rok
A	1995	1200	7444000	10	744400
	1996		7501000		750100
B	1995	1600	2800730	10	280073
	1996		2749641		274964,1
C	1995	1400	4261600	30	1278480
	1996		4305000		1291500
D	1995	710	1478400	20	295680
	1996		1439600		287920
E	1995	163	1770014	67	1185909
	1996		1754161		1175288
F	1995	254	963830	57	549383,1
	1996		908755		517990,4

Tab. 3 Množství infiltrované vody pro jednotlivé časové úseky

porucha		hladina	infiltrace		
spoj bez "O" kroužku		H	L/s	m ³ /den	m ³ /rok
1	vysunutý spoj x = 0 cm	0,22 m	0,008	0,6912	252,288
2	vysunutý spoj x = 7 cm	0,22 m	0,27	23,328	8514,72
3	vysunutý spoj x = 0 cm	0,19 m	0,006	0,5184	189,216
4	vysunutý spoj x = 7 cm	0,19 m	0,258	22,2912	8136,288

Tab. 4 Podíl balastních vod z hypoteticky se vyskytujícího poškození přípojky v dané lokalitě

místo	celk. balast	plocha	netěsná domovní přípojka ve spoji			
			H = 0,19m		H = 0,22m	
	m ³	ha	X = 0cm	X = 7cm	X = 0cm	X = 7cm
			%	%	%	%
A	744400	1200	0,03	1,09	0,03	1,15
B	280073	1600	0,07	2,9	0,09	3,05
C	1278480	1400	0,01	0,64	0,02	0,67
D	295680	710	0,06	2,75	0,09	2,89
E	1185909	163	0,02	0,69	0,02	0,72
F	549383	254	0,03	1,48	0,05	1,55

Měření

Pro účel měření se ve spolupráci s Pražskými vodovody a kanalizacemi (PVK, a.s.) vybraly reprezentativní experimentální oblasti s rozdílným typem zástavby (historické centrum Prahy, sídliště a vilová čtvrť), vlastnostmi potrubí (různé stáří, materiál a sklon), polohou podzemní vody a půdním prostředím. Jedná se o oblasti v Praze: Karlín, Hrnčíře, Radotín, Ďáblice. Měření infiltrace a exfiltrace je založeno na bilanci přítoku a odtoku odpadní vody v domovní přípojce. Rozdíl dává množství získané nebo ztracené vody v závislosti na druhu poruchy. Takto získané údaje sběrem dat v terénu, tedy přímým izolovaným měřením jednotlivých přípojek a množství exfiltrované, resp. infiltrované kapaliny vyjádřit například jako lineární funkci více proměnných tedy :

$$Infil. = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot X_i \quad \text{resp.} \quad Exfil. = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot Y_i \quad (5)$$

kde X_i resp. Y_i představují proměnné (faktory) ovlivňující exfiltraci / infiltraci, α_i a β_i jsou parametry jednotlivých proměnných určené metodou nejmenších čtverců.

Měření v experimentálním povodí Hrnčíře probíhá. Poškození potrubí se dokázalo inspekcí kamerovými zkouškami. Jako měřicí přístroje jsou použity hladinoměry Fiedler, které jsou osazeny na konci domovních přípojek. Přítok odpadní vody je znám ze spotřeby vody.

Závěr

Domovní přípojky, jak ukazuje měření v laboratorním modelu, mohou být významným zdrojem balastních vod i polutantem okolního prostředí, či podzemní vody. Vezmeme – li v úvahu, že v modelu byl zatím simulován pouze netěsný spoj, a že stav domovních přípojek je mnohdy jak ukazují TV inspekce havarijní, bude nutné se na domovní přípojky více zaměřit v rámci sanací stokového systému.

Literatura

1. CÍSLEROVÁ, M.: *Transportní procesy* (1998), ČVUT Praha, ISBN 80-01-01866-0
2. ČSN 756101: *Stokové sítě a kanalizační přípojky* (1994), CNI Praha
3. WATER ENVIRONMENT FEDERATION: *Control of Infiltration and Inflow in Private Building Sewer Connections* (1999), Alexandria, VA (USA), ISBN 1-57278-160-2

V článku byly použity výsledky prací z APUSS č. EVK 1-2000-22001 a GAČR č. 103 /01/0675

Hydrosphere, October 2002, Breclav, CZ