

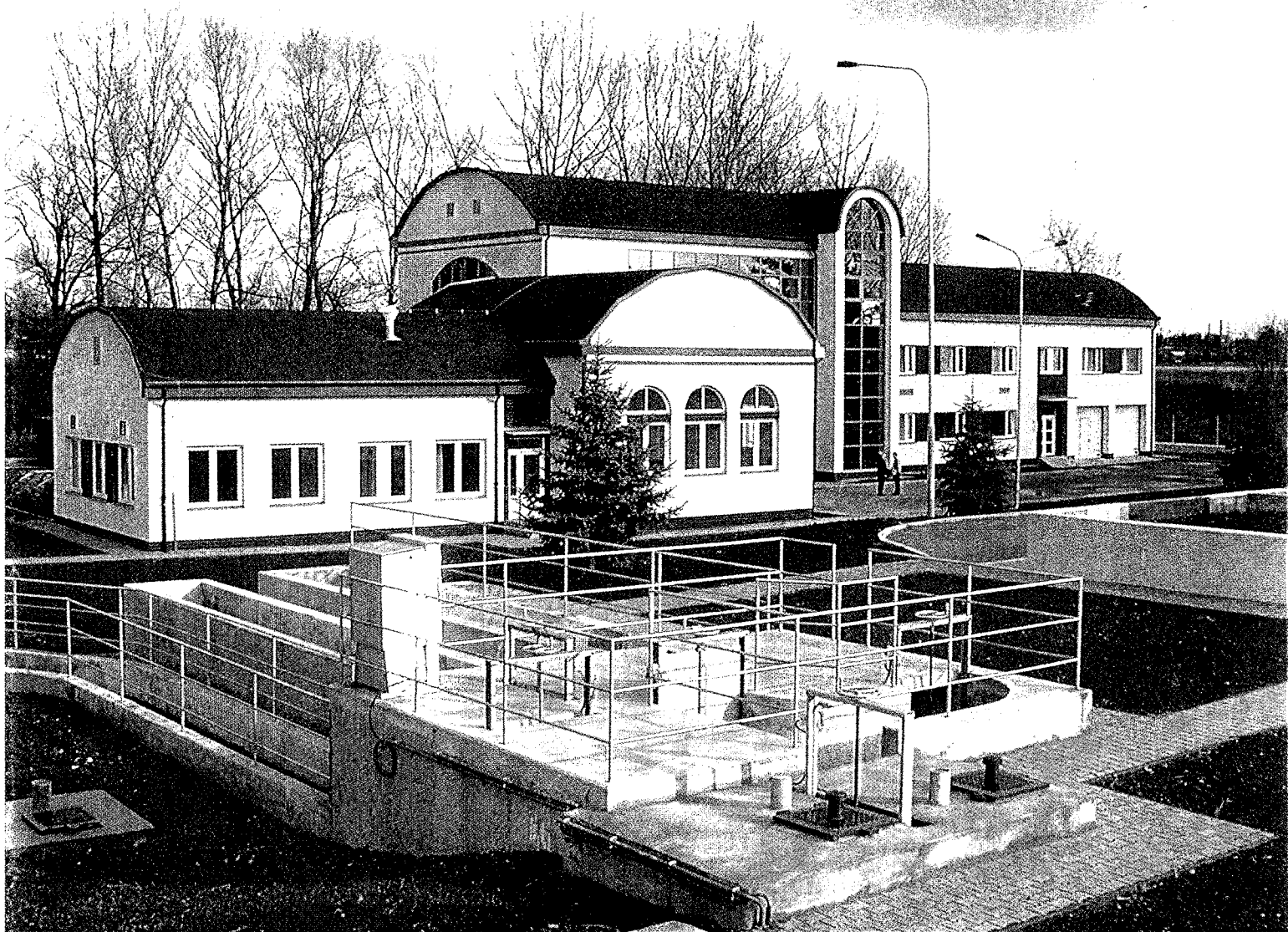
ROČNÍK 12

ČÍSLO 1

LEDEN 2003



**ČASOPIS OBORU VODOVODŮ A KANALIZACÍ**



*pf 2003*

# INFILTRACE A EXFILTRACE DO / Z DOMOVNÍCH PŘÍPOJEK

Ing. Ivan Princ, Ing. David Kohout, ČVUT v Praze  
Ing. Radomír Tůma, PVK, a. s.

(Přednáška z konference HYDROSPHERE 2002, FAST VUT a ÚVHO v Brně)

## Úvod

Domovní kanalizační přípojky patří k nejméně 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 a 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 majitele 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 oskosených stok, kanalizačních přípojek trhlinami a otvory, netěsnými spoji v místech podladinou podzemní vody či v blízkosti významných ztrát z vodovodního potrubí, hovoříme tzv. plošných (difúzních) zdrojů. Další skupinu balastních vod tvoří tzv. bodové zdroje jako zúžení potoků a vsakovacích systémů, přečady z vodojemů a fontán či chladicí voda, tato rušná 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 stékající nepravidelně a balastní vody odtékající kontinuálně.

## Horlerova definice:

Cílem městského odvodnění je úplné naplnění veškerých odpadních vod a jejich co nejchlejší odvedení z městského povodí. Odvodnění nesmí ohrozit a omezit obyvatelstvo, dopravu povrchové a podzemní vody. Jako odpadní vody jsou definovány veškeré vody,

kteří musí být jakýmkoliv způsobem odvedeny z městského povodí.

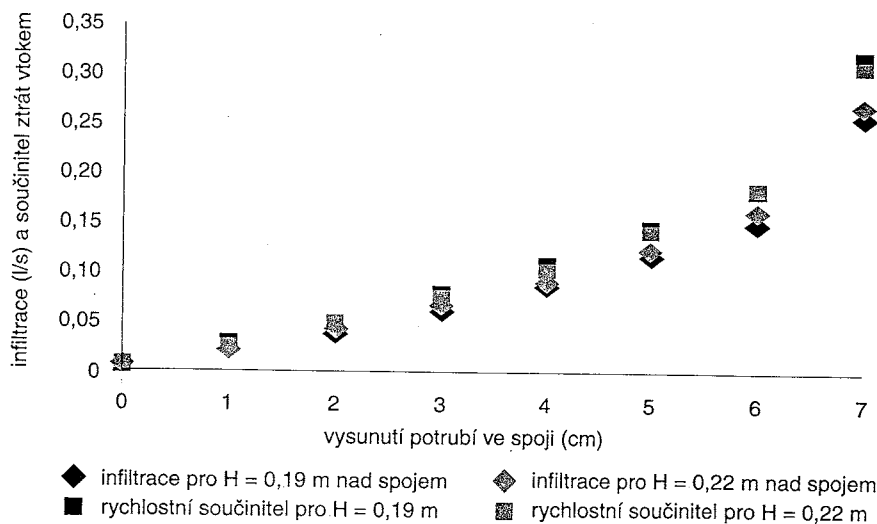
K odpadním vodám patří splaškové vody z domácností, odpadní vody z průmyslu, dešťový odtok, tající sníh, drenážní voda, přečady z vodojemů a do kanalizace napojené podzemní a povrchové vody bez ohledu na stupeň jejich znečištění.

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.

exfiltration	poruchy												faktory			
	netěsné spoje			překážky			korozí		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	radiální	abraze	deformace		
vysoká propustnost	5	5	5	2	1	2	1	3	1	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 oblastí	3	3	3	3	2	5	1	2	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
svísle 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	5	1	4	4	4	4	4	4	4	3,6	12
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%

Tab.1: Vztahová matice, příklad pro exfiltraci



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

Tabulka 2: Podíl balastních vod v jednotlivých městech poskytnutých provozovateli stokové sítě (názyvy lokalit neuvedeny z důvodu ochrany dat)

místo	rok	plocha ha	nátok na ČOV m³/rok	odhad balastní vody %	m³/rok
A	1995	1 200	7 444 000	10	744 400
A	1996	1 200	7 501 000	10	750 100
B	1995	1 600	2 800 730	10	280 073
B	1996	1 600	2 749 641	10	274 964,1
C	1995	1 400	4 261 600	30	1 278 480
C	1996	1 400	4 305 000	30	1 291 500
D	1995	710	1 478 400	20	295 680
D	1996	710	1 439 600	20	287 920
E	1995	163	1 770 014	67	1 185 909
E	1996	163	1 754 161	67	1 175 288
F	1995	254	963 830	57	549 383,1
F	1996	254	908 755	57	517 990,4

Tabulka 3: Množství infiltrované vody pro jednotlivé časové úseky

porucha spoj bez „O“ kroužku	hladina H	L/s	infiltrace m³/den	m³/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	8 514,72
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	8 136,288

Tabulka 4: Podíl balastních vod z hypoteticky se vyskytujícího poškození přípojky v dané lokalitě

místo	celk.balast m³	plocha ha	netěsná domovní přípojka ve spoji			
			H = 0,19 m		H = 0,22 m	
			x = 0 cm %	x = 7 cm %	x = 0 cm %	x = 7 cm %
A	744 400	1 200	0,03	1,09	0,03	1,15
B	280 073	1 600	0,07	2,9	0,09	3,05
C	1 278 480	1 400	0,01	0,64	0,02	0,67
D	295 680	710	0,06	2,75	0,09	2,89
E	1 185 909	163	0,02	0,69	0,02	0,72
F	549 383	254	0,03	1,48	0,05	1,55

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 dřívě 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% 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 voda proudící 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:**

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

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

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

kde  $\varphi$  je rychlostní součinitel,  $\varepsilon$  je součinitel zúžení,  $S$  je plocha zúženého průřezu.

Proudění vody v proměnlivě nasyceném pórovitým půdním prostředím dle [1]

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

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

kde  $\theta$  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)
- vzdutá 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 i 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 nevyznamné 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 spojením dochází k exfiltraci. Za druhé je nedostatečně zhuťněn 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.

**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 0,8 m; výška 0,8 m; měřítko 1:1), ve kterém je umístěno kanalizační potrubí. Instalovaný model částí domovní přípojky je z trub PVC-U, spojených pomocí pryžových těsnících kroužků. Pro stanovení průtoků je model osazen dvěma měřnými 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 neinfiltrovává 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 spojem,  $\varphi$  je vtokový ztrátový rychlostní součinitel, g je tíhové zrychlení.

Laboratorní model umožňuje měnit různé podmínky zásyvu (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 vnějšího průměru potrubí.

Na modelu se zjišťovalo infiltrující množství a hodnoty rychlostního součinitele na vtoku do potrubí (viz graf 1).

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

#### 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 :

$$Infil. = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot X_i \quad (5)$$

respektive

$$Exfil. = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot Y_i \quad (5)$$

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

Měření v experimentálním povodí Hrnčíře probíhá. Poškození potrubí se dokázalo inspekci kamerovými zkouškami. Jako měřící 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.

V článku byly použity výsledky prací z APUSS č. EVK-2000-22001 a GAČR č. 530/111/830.

#### 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

*Ing. Ivan Princ, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Laboratoř ekologických rizik městského odvodnění – LERMO, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel: +420 224 355 412, email: princ@lermo.cz*

*Ing. David Kohout, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Laboratoř ekologických rizik městského odvodnění – LERMO, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel: +420 224 355 412, email: kohoutd@lermo.cz*

*Ing. Radomír Tůma, Pražské vodovody a kanalizace, a. s., Hradecká 1, 130 00 Praha 3, tel: 267 194 310 email: radomir.tuma@pvk.cz*

## Z TISKU

STARK, O. - SÖLTER, K. - KALOS, G.

**Überschussschlammvermeidung durch die Dosierung oberflächenaktiver Substanzen.** (Redukce přebytečného kalu dávkováním povrchově aktivních substancí).

GWF-Wass.Abwass., 142, 2001, č. 11, s. 756–760.

Aktivace mikroorganismů v aktivačním procesu dávkováním živin do přiváděných OV prostřednictvím povrchově aktivních látek zvyšuje dostupnost biologického kyslíku i proces lyže bakterií a tím umožňuje provoz ČOV teoreticky bez produkce přebytečného kalu, prakticky redukcí až 70 %. Prezentovány provozní výsledky ze čtyř komunálních ČOV, ve kterých byl úspěšně aplikován proces minimalizace produkce přebytečného kalu. Kromě minimalizace produkce přebytečného kalu bylo rovněž pozorováno významné snížení amoniaku a fosforu; pozitivně bylo ovlivněno i usazování aktivovaného kalu v dosazovací nádrži (ak-

tivace; nádrž dosazovací; látky povrchově aktivní; dávkování chemikálií; kal přebytečný; redukce množství kalu; produkce kalu; kal aktivovaný).

BLÖCH, H.

**EU policy on nutrients emissions: legislation and implementation.** (Politika EU v oblasti emisí živin: legislativa a realizace).

WatSci.TechnoL, 44, 2001, č. 1, s. 1–6.

Po 25 letech platnosti vodohospodářské legislativy EU kompletně restrukturalizovala vodohospodářskou politiku. Byla schválena rámcová směrnice o vodě, vycházející z následujících zásad: integrované řízení povodí s koordinovanými programy přeshraničních opatření; ochrana veškerých vod, podzemních i povrchových, z hlediska kvantity i kvality; emise a vypouštění řízené „kombinovaným přístupem“ limitních hodnot emisí a norem kvality s prioritním řešením obzvláště nebezpečných látek; uplatňování politiky stanovení poplatku za odběr vody; vyšší zainteresovanost veřejnosti. (Evropská unie; normy evropské; zákon vodní; hospodářství vodní; ochrana vody povrchové; ochrana vody podzemní; emise látek znečišťujících; živiny; legislativa vodohospodářská; hodnoty mezní; vypouštění látek chemických).