ZARŮSTÁNÍ VÝMĚNÍKŮ TEPLA V KANALIZACI BIOFILMEM: ČISTIT JE, NEBO PŘEDIMENZOVAT?

Stránský D., Kabelková I., Bareš V. a Šťastná G.

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6
kabelkova@fsv.cvut.cz; stransky@fsv.cvut.cz; bares@fsv.cvut.cz; stastnag@fsv.cvut.cz;

ABSTRAKT
Výměníky tepla v kanalizaci zarůstají biofilmem a snižuje se tak účinnost přenosu tepla. Vzorkováním biofilmu byla studována obnova biofilmu po mechanickém čištění a simulacemi tečného napětí pravděpodobnost odstraňování biofilmu během dešťových událostí. Množství biofilmu se snižuje se zvyšujícím se tečným napětím ve stoce. Ve stokách s vysokým tečným napětím (25-32 N/m^2) čištění není účinné, neboť k obnově biofilmu dochází za méně než 2 týdny. Ve stokách s nízkým tečným napětím (4-6 N/m^2) čištění 1x/2 týdny sníží množství biofilmu zhruba na polovinu. Samočištění tepelných výměníků za dešťů může nahradit mechanické čištění jen v létě, a to jen u velmi omezeného počtu stok. Čím menší je teplosměnná plocha výměníků, tím výhodnější strategií je ji předimenzovat místo pravidelně čistit. Nezbytné procento předimenzování plochy lze odvodit pro daný typ výměníku a náklady na jeho údržbu.

KLÍČOVÁ SLOVA
Biofilm; náklady; samočištění; stoková síť; tečné napětí; výměník tepla.

ÚVOD
Výměníky tepla získávající energii z odpadní vody ve stokové síti mohou být jedním z alternativních zdrojů energie pro vytápění i chlazení budov. Výměníky umístěné přímo v jednotné kanalizaci však zarůstají biofilmem a jsou zanášeny sedimenty, čímž je snižována účinnost přestupu tepla až o 50% (Wanner, 2006). Proto musí být výměníky pravidelně čištěny nebo předimenzovány.

Dosud však nebyly zodpovězeny některé důležité otázky, jako např.:

- Jak často musí být výměníky v jednotné kanalizaci čištěny, aby byl udržován přijatelný přestup tepla? Liší se nutná frekvence čištění pro různé hydraulické podmínky?
- Dostačuje eroze biofilmu během přívalových dešťů pro samočištění výměníků tepla?
- Lze předpovídat míru zarůstání výměníku tepla v určitém místě jeho instalace ve stoce? Lze vyvinout strategii údržby výměníku nebo jeho předimenzování založenou na předběžných znalostech?

Tento příspěvek dává první odpovědi na výše položené otázky.

METODY A MATERIÁL
Odběry biofilmu ve stokové síti
Pro studium množství, variability a obnovy biofilmu po čištění byly odebírány vzorky biofilmu současně z pravidelně mechanicky čištěných (1x/2 týdny) i nečištěných ploch kovových pásků (300 cm^2) instalovaných ve dvou jednotných stokách v Praze s různými hydraulickými podmínkami (tečné napětí za bezdeštného období 25-32 N/m^2, resp. 4-6 N/m^2). Ve vzorcích byla analyzována celková sušina a ztráta žíháním.

Analýza samočištění výměníků

Analýza pravděpodobnosti samočištění výměníků v pilotním povodí (Stransky et al., 2014a, 2014b) zvýšenými průtoky během dešťových událostí byla provedena pomocí srážkoodtokového modelu zatíženého desetiletou dešťovou řadou pro různá kritéria samočištění uvedená v literatuře (Reiff, 1991; Ashley, 1992; Pisano et al., 1998; Huisman, 2001; Wanner, 2004, Guzman, 2007) nebo zjištěná vlastním pozorováním (tečné napětí 2,5, 7, 15 a 25 N/m^2 o minimální době trvání 5 a 20 minut a četnosti 1x za 2 týdny).

Analýza nákladů

Náklady různých četností čištění výměníků byly porovnány s náklady na různou míru jejich předimenzování pro zachování stejné účinnosti přenosu tepla. Investiční náklady přídavného povrchu výměníku zahrnují výrobní náklady a náklady na instalaci včetně nákladů na převedení průtoků závislých na délce výměníku. Roční náklady na čištění jsou dány četností čištění a obsahují fixní osobní a cestovní náklady a osobní náklady závislé na velikosti čištěné plochy výměníku. Musí být vyhodnoceny pro dobu životnosti výměníku a diskontovány:

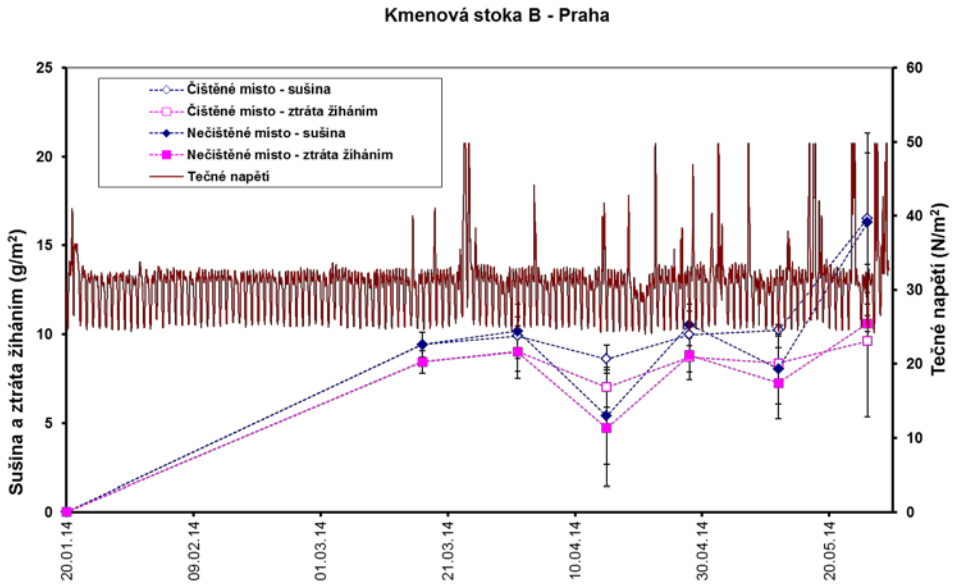
$$C_d(T) = C(T)\frac{(1+r)^T - 1}{r \cdot (1+r)^T}$$

$C_d(T)$	diskontované náklady na čištění po dobu životnosti T
$C(T)$	náklady na čištění po dobu životnosti T
r	diskontní sazba

VÝSLEDKY

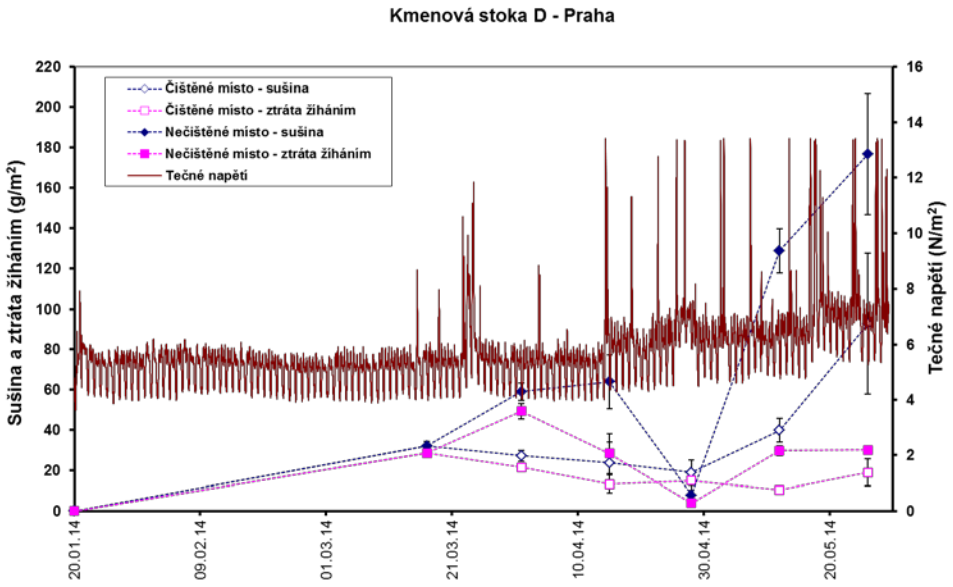
Množství biofilmu a vliv čištění

Ve stoce B s vysokým tečným napětím bylo množství biofilmu na nečištěných místech a na pravidelně čištěných místech (1x/2 týdny) téměř stejné a kolísalo jen málo (ztráta žíháním 8,1±2,0 g/m^2, resp. 8,6±0,9 g/m^2) (Obrázek 1).



Obrázek 1. Množství biofilmu na čištěných a nečištěných místech ve stoce s vysokým tečným napětím

Ve stoce D s nízkým tečným napětím však čištění 1x/2 týdny udržovalo množství biofilmu zhruba na polovině (snížení ztráty žíháním z 28,3±14,4 g/m^2 na 15,8±4,0 g/m^2). Vzorky obsahovaly až 80% anorganického materiálu. Čištění bylo účinnější pro odstraňování sedimentu než biofilmu (snížení sušiny z 87,2±59,0 g/m^2 na 40,5±27,0 g/m^2) (Obrázek 2).



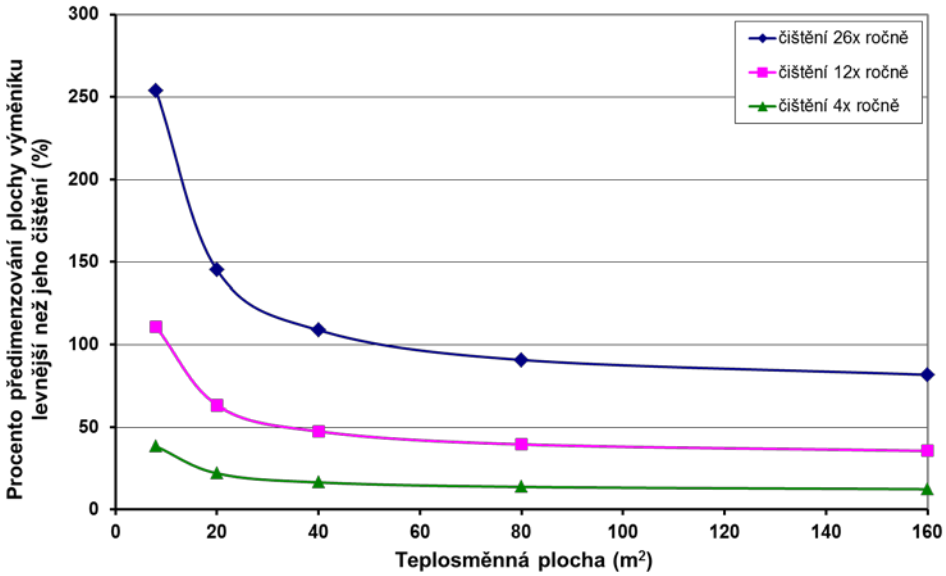
Obrázek 2. Množství biofilmu na čištěných a nečištěných místech ve stoce s nižším tečným napětím

Samočištění výměníků

Pravděpodobnost samočištění výměníků je dána především ročním rozdělením srážek. Přísnější kritérium doby trvání zvýšeného tečného napětí (20 minut) bylo překročeno téměř vždy. V období 09-04 nesplňovalo nejpřísnější kritérium samočištění (25 N/m^2) žádné z potenciálních míst instalace výměníku tepla v pilotním povodí a jen 4% úseků vyhověla nejmírnějšímu kritériu (2,5 N/m^2). Se samočištěním výměníků tedy nelze v otopném období (09-05) počítat. V chladicím období (06-08) by mohlo být samočištěno 1-17% potenciálních míst instalace výměníku v závislosti na použitém kritériu.

Náklady

Pro vyvinutý typ výměníku může být pro nejmenší velikosti výměníku výhodnější předimenzovat plochu až o 270% místo čistit ji 1x/2 týdny. Výhodnost předimenzování klesá se vzrůstající plochou výměníku a stabilizuje se na cca 100%; v případě nízké frekvence čištění (4x/rok) na cca 15% (Obrázek 3).



Obrázek 3. Procento předimenzování plochy výměníku levnější než jeho čištění

ZÁVĚRY

Hlavní výsledky lze shrnout v následujících bodech:

- Množství biofilmu se snižuje se zvyšujícím se tečným napětím ve stoce. Ve stoce s vysokým tečným napětím (25-32 N/m^2) a malým množstvím biofilmu čištění není nutné ani účinné, neboť k obnově biofilmu dochází za méně než 2 týdny. Ve stoce s nízkým tečným napětím (4-6 N/m^2) však čištění 1x/2 týdny udržovalo množství biofilmu zhruba na polovině. Zarůstání tepelných výměníků ve stoce biofilmem tedy nelze zabránit ani velmi častým čištěním, ale může být udržováno v rozumných mezích.
- Samočištění tepelných výměníků za dešťů může nahradit mechanické čištění jen v létě (06-08), a to jen u velmi omezeného počtu stok (ve svažitějším povodí může hrát větší roli).
- Čím menší je teplosměnná plocha výměníků, tím výhodnější strategií je ji předimenzovat místo pravidelně čistit. Nezbytné procento předimenzování plochy lze odvodit pro daný typ výměníku a náklady na jeho údržbu. Pro správný návrh tepelného výměníku je nutno monitorovat průtoky a teploty v místě zamýšlené instalace. Doporučujeme stanovit také tečné napětí ve stoce pro získání představy o očekávaném množství biofilmu, příp. předem otestovat nutnou četnost čištění výměníku pomocí vzorkování biofilmu z in-situ umístěných pásků z materiálu výměníku.

PODĚKOVÁNÍ

Projekt č. TA03020600 „Získávání tepelné energie z odpadní vody v kanalizačních sítích (enKAN)" je řešen s finanční podporou TA ČR. Tepelný výměník je vyvíjen ve spolupráci s firmou ATEKO, a.s. Simulační model poskytly Vodovody a kanalizace Hradec Králové, a.s. a odběry biofilmu umožnily Pražské vodovody a kanalizace, a.s.

LITERATURA

Ashley, R.M., Goodison, M. J, Wotherspoon, D. J. J., McGregor, I. and Coghlan, B. P. (1992). The Deposition and Erosion of Sediments in Sewers. *Wat.Sci.Techn.* 26(5-6), 1283–1293.

Guzmán, K., La Motta, E., McCorquodale, J., Rojas, S. and Ermogenous, M. (2007). Effect of Biofilm Formation on Roughness Coefficient and Solids Deposition in Small-Diameter PVC Sewer Pipes. *J. Environ. Eng.*, 133(4), 364–371.

Huisman, J.L. (2001). *Transport and transformation processes in combined sewers*, IHW Schriftenreihe 10, ETH Zürich.

Pisano, W.C, Barsanti, J., Joyce J., and Sorensen, H. (1998). Sewer and Tank Sediment Flushing: Case Studies, EPA/600/R-98/157.

Reiff, H. (1991). Schmutzstöße infolge Sielhautabtrag. PhD. thesis, Universität Kassel, Kassel, Germany (Wasser-Abwasser-Abfall 7).

Stransky, D., Kabelkova, I., Bares, V., Novy, Z. and Stastna, G. (2014a). Assessment of the theoretical heat recovery potential from wastewater in sewer systems. Electronic proceedings of 13th International Conference on Urban Drainage, Kuching, Malaysia, 7.-12.9.2014.

Stránský, D., Kabelková, I., Jelínek, M., Bareš, V. a Šťastná, G. (2014b). Vývoj tepelných výměníků pro získávání tepla z odpadní vody v kanalizaci a výběr vhodných míst jejich instalace. *Vodní hospodářství* 64(8), 40-43.

Wanner, O. (2004). Wärmerückgewinnung aus Abwassersystemen. Schlussbericht Projekt Nr. 44177. Bern: Bundesamt für Energie BFE. URL: http://www.energieforschung.ch/

Wanner, O. (2006). Biofilms Hamper Heat Recovery. Eawag News 60e. Dübendorf, Eawag.