

VYHODNOCENÍ IN-SITU APLIKACE BAKTERIÁLNĚ-ENZYMATICKÉHO PREPARÁTU DO KOLMATOVANÝCH KOŘENOVÝCH ČISTÍREN

Eva Mlejnská

Klíčová slova

in-situ aplikace – kolmatace – kořenová čistírna – účinnost čištění

Souhrn

K hlavním provozním problémům kořenových čistíren, které jsou využívány k čištění odpadních vod z malých obcí, patří kolmatace. Jedním z cílů příspěvku je shrnout možné příčiny vzniku kolmatace. Protože jde o souhrn fyzikálních, chemických a biologických procesů, které vedou ke snížení propustnosti porézního materiálu, brání přenosu kyslíku a často vedou ke vzniku zkratového proudění, ovlivňuje rozsáhlejší kolmatace schopnost systému čistit přítékající odpadní vodu na dostatečnou úroveň. Navíc je kolmatace spojena i s vizuálními a pachovými problémy.

Příspěvek zejména popisuje možné metody odstranění kolmatace, mezi které patří dříve hojně využívaná výměna části nebo celé filtrační náplně a v současné době stále častěji využívaná metoda in-situ chemického rozkladu, včetně vlastních zkušeností s in-situ aplikací biologicko-enzymatického přípravku. Tento přípravek byl aplikován do dvou zakolmatovaných kořenových čistíren pro cca 150 EO. Příspěvek shrnuje výsledky ze sledování před vlastním experimentem, v jeho průběhu a měsíc po opětovném uvedení do provozu.

Úvod

Kolmatace je proces snižování porozity a propustnosti systému (Siriwardene aj., 2007). Jde o souhrn fyzikálních, chemických a biologických procesů (Winter a Goetz, 2003; Siriwardene aj., 2007; Schwarz aj., 2006; Reddi aj., 2000), spojených s akumulací různých typů pevných látek. Tyto procesy se projevují různou intenzitou a vedou nejen ke snížení hydraulické vodivosti a porozity zrnitého materiálu (Pedescoll aj., 2009), ale také ovlivňují přenos kyslíku ze vzduchu do vody (Kayser a Kunst, 2005; Hua aj., 2010a). To má za následek významný pokles schopnosti systému čistit přítékající odpadní vody.

Kolmatace patří k častým provozním problémům extenzivních technologií čištění odpadních vod, zejména pak horizontálně a vertikálně protékaných umělých mokřadů (kořenových čistíren). Rozsah kolmatace závisí na množství nerozpuštěných látek (vyjádřeno ukazateli $CHSK_C$, nerozpuštěné látky) v přítékající odpadní vodě (Winter a Goetz, 2003), hydraulickém zatížení kořenových polí (Schwarz aj., 2006), zrnitostním složením porézního filtračního prostředí, jeho struktuře a textuře, době provozu umělého mokřadu, ale také na typu mokřadní vegetace a způsobu nakládání se stařinou.

Ke kolmataci filtračního prostředí dochází buď nárazovým uvolněním těchto částic např. při přivalových deštích, nebo pozvolným zakolmatováním, které způsobuje především nevhodná volba nebo

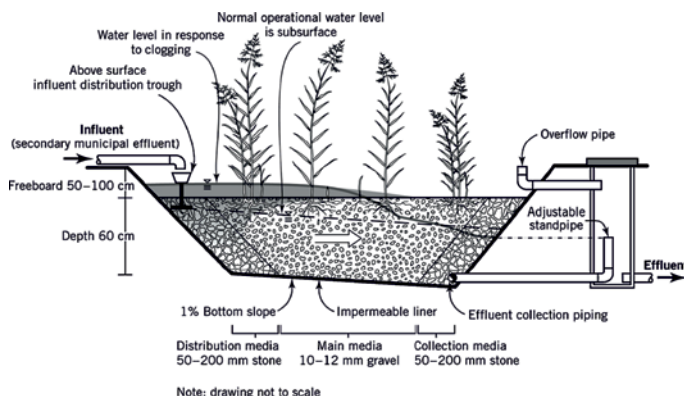
konstrukce usazovacích nádrží nebo jejich nesprávné provozování, tzn. nedostatečné průběžné vyvážení usazeného kalu (Turon aj., 2009). Příčinou může být i nevhodně zvolený materiál filtračního prostředí.

Kolmatace (viz obr. 1) je doprovázena nejen zhoršením účinnosti čištění, ale také hydraulickými poruchami, jako je zaplavování povrchu systému odpadní vodou nebo vznik zkratového proudění nevyčištěné odpadní vody filtrační náplní (Pedescoll aj., 2009; Knowles aj., 2011). Pokročilá kolmatace vyžaduje zprůchodnění zakolmatované náplně, a tak limituje životnost celého systému, protože jakákoli metoda zprůchodnění není možná bez odstavení kořenového pole z provozu. Aktuální prognózy snížily životnost kořenových čistíren pod 10 let na základě případů umělých mokřadů, které vykazovaly pokročilý stav zanesení již po čtyřech nebo dokonce jen dvou letech provozu (Varga aj., 2013).

Mechanismy vzniku kolmatace

Hydraulická vodivost zrnitých materiálů závisí na množství hydraulicky využitelného objemu pórů. Ten ovlivňují následující mechanismy, které mají vliv na snižování objemu pórů a infiltrační rychlosti (Platzer a Mauch, 1997; Blazejewski a Murat-Blazejewska, 1997; Suliman aj., 2006; Langergraber aj., 2003; Winter a Goetz, 2003; Hua aj., 2010b):

- Akumulace suspendovaných organických a anorganických látek na povrchu filtrační náplně a v pórech vertikálně protékaných umělých mokřadů s postupným rozvojem kolmatačního koláče – to vede k vnější i vnitřní blokaci pórů, tedy k omezení povrchové filtrace i filtračního objemu. Rychlost ucpání závisí na účinnosti mechanického předčištění a na vlastní filtrační náplni. Infiltrované organické látky mohou být částečně rozloženy mikroorganismy porůstajícími povrch filtrační náplně.
- Produkce a exkrece biomasy způsobená konstantními dodávkami nutrientů v přítékající odpadní vodě – biofilm vytváří elastickou plástvovou strukturu v důsledku gelovatění extracelulárních polymerů látek produkovaných bakteriemi, díky tomu je odolný vůči vnějším smykovým silám. Tyto struktury snižují volný prostor porézního materiálu. Pokud má být zabráněno biologické kolmataci, musí být růst mikroorganismů a rozklad biomasy v rovnovážném stavu.



Obr. 1. Profil horizontálně protékané kořenové čistírny se štěrkovým substrátem (převzato z Knowles aj., 2011)

Fig. 1. Clogging profile of horizontal subsurface flow constructed wetland with gravel media (Knowles et al., 2011)

- Chemické srážení a ukládání v pórech – zejména blokování porů způsobené anorganickými sloučeninami vzniklými reakcí vápníku obsaženého ve vápenci s křemíkem obsaženým v odpadní vodě, dále septizací půdních koloidů a zanášením porů těmito agregáty, srážení a ukládáním uhličitanu vápenatého při nízkých hodnotách pH. Dalšími ukládanými sraženinami mohou být hydroxidy železa a hliníku a oxidy hořčíku.
- Další faktory – růst oddenků a kořenů rostlin, tvorba a akumulace huminových látek, tvorba plynu a ztuhnutí kolmatační vrstvy.

Parametry ovlivňující vznik kolmatace

Mezi hlavní parametry, které ovlivňují rozsah kolmatace filtrační náplně, patří substrát hlavní vrstvy (Langergraber aj., 2003). Velikost částic filtrační náplně má vliv na distribuci velikosti porů, hydraulickou aktivitu objemu porů, a tím na samotný proces kolmatace. Velikost částic filtrační náplně je také důležitá pro obnovu substrátu po zakolmatování. Autoři Hua aj. (2010a) uvádějí, že větší velikost částic filtrační náplně může zabránit nebo zpozdit její ucpání. Stejně závěry uvádějí i autoři Mclsaac a Rowe (2007) pro štěrky o velikosti 38 mm v porovnání se štěrky o velikosti 19 mm.

Dalším ovlivňujícím parametrem je zatížení. K dispozici je jen málo informací o maximálním akceptovatelném zatížení nerozpuštěnými látkami, hodnoty jsou většinou uvedeny pouze pro jeden specifický substrát. Reddi aj. (2000) dospěli k závěru, že velikost částic unášených kapalným médiem není rozhodující, protože ke kolmataci dochází jak velkými, tak malými částicemi, důležitější jsou změny v koncentraci těchto částic. Látkové zatížení nepřímo vede k produkci kalu, který se může akumulovat v horních vrstvách umělého mokřadu, pokud je překročena rychlost autolýzy. Literární data přijatelného látkového zatížení se opět pohybují v širokém rozmezí. Autoři Varga aj. (2013) uvádějí, že mnoho umělých mokřadů pracuje se zatížením 5,4 g/(m².d) vyjádřeno ukazatelem nerozpuštěné látky a 3,9 g/(m².d) vyjádřeno ukazatelem BSK₅.

Významným parametrem u vertikálně protékajících umělých mokřadů je také dávkovací strategie. K dosažení vyváženého rozdělení na povrchu filtrační náplně a k zajištění konvektivního transportu kyslíku do hlavní filtrační vrstvy je vhodné vertikálně protékané umělé mokřady plnit průřezově.

Metody omezení a odstranění kolmatace

Kolmataci je možné omezit především volbou vhodného a dostatečně dimenzovaného mechanického předčištění, zejména pak septiku nebo usazovací nádrže, a také jejich správným provozováním, přesněji dostatečně častým vyklizením kalového prostoru. Při nevhodném konstrukčním uspořádání usazovací nádrže může docházet k unikání plovoucích nečistot z hladiny usazovacích nádrží dále do kořenových polí, to má za následek ucpávání přítokové zóny kořenového pole. Dále může docházet k masivnímu rozvoji sekundárního znečištění (řasy v letním období) z důvodu nedostatečného zastínění usazovací nádrže. Z našeho průzkumu vyplývá, že rozdíl v průměrné koncentraci nerozpuštěných látek mezi čerstvě vyvezenou a delší dobu pracující štěrbinovou nádrží může být až 150 mg/l. Obecně se uznává, že dobře fungující mechanické předčištění je zásadní pro udržitelný dlouhodobý provoz umělých mokřadů.

Pokud i přesto dojde ke kolmataci filtrační náplně, je třeba přikročit k nápravným opatřením (Nivala aj., 2012; Hua aj., 2010b). Zatímco v minulosti se nejčastěji používala prostá výměna většinou jen části filtrační náplně, existuje v současné době několik dalších metod zprůchodnění ucpaných náplní umělých mokřadů. Výměna štěrkové náplně spočívá v kompletním odstranění kolmatované části filtrační náplně a nahrazení novým praným kamenivem stejných nebo upravených frakcí. Tato metoda je finančně nejnáročnější. Další možností je vymrznutí štěrkové náplně. To spočívá ve vyjmutí kolmatované části filtrační náplně, jejím uložení přes zimní období na zpevněnou odvodněnou plochu, ručním propláchnutím po zimním období a jejím zpětném uložení do kořenového filtru.

Během výměny nebo regenerace filtrační náplně dochází k vyřazení umělého mokřadu z provozu, což s sebou nese problém s nakládáním s přítékající odpadní vodou po dobu regenerace filtrační náplně. Z tohoto hlediska je výhodnější paralelní uspořádání kořenových polí, popř. sériové zapojení s možností obtoku prvních kořenových polí.

Jako alternativní metoda regenerace kolmatované filtrační náplně se v poslední době zkouší (buď v laboratoři, nebo na reálných lokalitách) in-situ aplikace různých roztoků chemikálií, které by odstranily nerozpuštěné látky z porů bez nutnosti výměny vlastní filtrační náplně. Autoři Nivala a Rousseau (2009) popisují dvě případové studie regenerace filtračního lože umělých mokřadů za použití 35% roztoku peroxidu vodíku. Autoři dosáhli velmi dobrých výsledků a zprůchodnění filtrační náplně peroxidem vodíku se zdá být nadějnou metodou odstranění kolmatace v podpovrchově protékajících umělých mokřadech. Autoři Hua aj. (2010) se zabývali možnostmi odstranění kolmatace z filtračního lože kořenové čistírny za použití čtyř různých roztoků, přesněji roztoku hydroxidu sodného (NaOH 5,0 g/l), chlornanu sodného (NaClO 5,0 ml/l), kyseliny chlorovodíkové (HCl 5,0 ml/l) a speciálně připraveného detergentu (Diao Brand 5,0 g/l). Efektivní porozita i infiltrační rychlost se nejrychleji a nejvíce zlepšovaly při použití roztoku chlornanu sodného (ustálení po pěti dnech aplikace). Při použití vodovodní vody jako srovnávacího roztoku se efektivní porozita téměř neměnila a rychlost infiltrace jen velmi nepatrně stoupala. Proteiny a polysacharidy byly rozpouštěny hlavně roztoky hydroxidu a chlornanu sodného. Anaerobně vytvořený plyn uložený v pórech byl nejlépe uvolňován roztokem kyseliny chlorovodíkové. Autoři uvádějí, že kolmatace byla podstatně redukována a aplikované roztoky neměly dlouhodobý negativní vliv na rostliny a biofilm umělého mokřadu, ale po aplikaci těchto přípravků nutně následovalo období cca měsíční regenerace biofilmu filtračního lože.

Kromě aplikace roztoků chemikálií autoři Wanner a Mlejnská (2010) použili ke zprůchodnění zakolmatovaného zemního filtru speciálně komerčně připravenou směs bakterií a enzymů (pracovní označení „preparát“), jejíž složení je firemním tajemstvím. V současné době probíhá obdobný experiment na dvou kolmatovaných horizontálně protékajících kořenových čistírnách.

In-situ aplikace směsi bakterií a enzymů

K in-situ aplikaci směsi bakterií a enzymů byly vybrány dvě zakolmatované kořenové čistírny (pracovní název A, B) se shodnou projektovanou kapacitou 150 EO, které se skládají z česlí, lapáku písku, štěrbinové usazovací nádrže objemu 39 m³, resp. 45 m³ a dvou kořenových polí zapojených paralelně s velikostí 790 m², resp. 770 m². Na obou těchto čistírnách byla při předběžném terénním průzkumu zjištěna kolmatace přítokových zón doprovázená větším či menším ztlavením povrchu přítokové zóny.

Kořenové čistírny byly před započítáním experimentu osm měsíců pravidelně ve čtyřtýdenním intervalu sledovány. Průměrné hodnoty znečištění na přítoku, za mechanickým předčištěním a odtoku z jednotlivých kořenových polí uvádí *tabulka 1*. Týden před první aplikací preparátu byly odebrány vzorky zakolmatovaného kameniva z přítokové zóny vybraných kořenových polí. Ke vzorkování byl použit vrták na vzorkování půd, celkem bylo vzorkováno pět odběrových bodů vzdálených od sebe cca 2,5 m ve vzdálenosti

Tabulka 1. Průměrné hodnoty znečištění sledovaných kořenových čistíren před započítáním experimentu (říjen 2012–květen 2013)

Table 1. Average concentration of contaminants before initiation of the experiment (October 2012–May 2013)

Profil	CHSK _{Cr} (mg/l)	BSK ₅ (mg/l)	NL105 (mg/l)	N _{amon} (mg/l)	N-NO ₂ ⁻ (mg/l)	N-NO ₃ ⁻ (mg/l)	N _{celk} (mg/l)	P _{celk} (mg/l)
Přítok A	497	210	180	37,0	0,078	1,33	57,0	6,66
Za mechanikou A	290	130	68	37,8	0,046	0,694	48,1	5,79
Odtok pravý A	75	23	5,9	35,4	0,031	0,128	38,9	5,80
Odtok levý A	29	5,7	7,1	9,09	0,020	0,128	9,84	1,36
Přítok B	795	320	280	53,5	0,614	4,01	86,4	10,8
Za mechanikou B	377	160	82	64,4	0,232	0,222	79,0	9,65
Odtok pravý B	86	27	3,5	60,7	0,020	0,147	63,8	8,06
Odtok levý B	75	19	37	60,9	<0,020	0,112	64,8	8,41

cca 1,5 m od začátku kořenového pole. Tyto vzorky byly spojeny v jeden, ze kterého byl připraven výluh následujícím způsobem: ke vzorku kameniva bylo přidáno 1000 ml destilované vody, nádoba byla uzavřena a třepána na třepače 10 minut, roztok byl slit přes sítko do vzorkovnice, poté bylo přidáno 1000 ml destilované vody, nádoba byla uzavřena a třepána na třepače 5 minut, roztok byl slit přes sítko do vzorkovnice, poté bylo přidáno 1000 ml destilované vody, nádoba byla uzavřena a ručně protřepána, roztok byl slit přes sítko do vzorkovnice, tento postup s ručním protřepáním byl ještě jednou opakován. Bylo zjištěno konečné množství získaného roztoku (výluhu). Dále bylo zjištěno celkové množství zbylého vysušeného tuhého podílu odebraného vzorku, tedy kameniva, oddenků a staříny rákosu a množství čistého vysušeného kameniva. Ve výluhu byly stanoveny koncentrace nerozpuštěných látek sušených (NL105) a nerozpuštěných látek žíhaných (NL550).

V den zahájení experimentu byla dotčena kořenová pole odstavena z provozu. Do čtyř míst přítokové zóny, opět ve vzdálenosti cca 1,5 m od začátku kořenového pole, byl dávkován preparát rozpuštěný v odpadní vodě z rozdělovací šachtice za mechanickým předčištěním. Stejný postup byl opakován ještě 5krát v období sedmi dalších týdnů. Určení potřebné dávky preparátu bude předmětem dalšího výzkumu. Devátý týden experimentu byla uvedena odstavená kořenová pole do provozu. Proběhl 24hodinový odběr vzorků, ve směsných vzorcích byly stanoveny všechny ukazatele jako obvykle, v jednotlivých prostých vzorcích byla stanovena koncentrace nerozpuštěných látek, $CHSK_{Cr}$ a N_{amon} . Po dobu odstávky vybraných kořenových polí byla veškerá odpadní voda čištěna na paralelních kořenových polích, kvalita odtékající odpadní vody byla pravidelně kontrolována. Na čistírně A bylo z provozu odstaveno pravé kořenové pole, odpadní voda tekla pouze přes levé, na čistírně B bylo z provozu odstaveno levé kořenové pole, odpadní voda tekla pouze přes pravé. Celkové účinnosti čištění před započítáním experimentu, v jeho průběhu a měsíc po uvedení do provozu shrnuje *tabulka 2*. Koncentrace zjištěné na odtoku z jednotlivých kořenových polí měsíc po uvedení do provozu uvádí *tabulka 3*. Pokud ležel výsledek stanovení pod mezí stanovitelnosti metody, byl nahrazen hodnotou meze stanovitelnosti.

Tabulka 2. Porovnání celkových účinností čištění neodstavených kořenových polí před započítáním experimentu, v jeho průběhu a měsíc po uvedení do provozu

Table 2. Comparison of treatment efficiency of functional root fields before starting the experiment, during, and one month after the end of the experiment

Profil	$CHSK_{Cr}$ (%)	BSK_5 (%)	NL105 (%)	N_{amon} (%)	$N-NO_3^-$ (%)	N_{celk} (%)	P_{celk} (%)
Odtok levý A (před)	94,2	97,2	96,1	75,4	90,4	82,7	79,6
Odtok levý A (v průběhu)	92,3	93,6	99,2	68,4	59,5	78,0	63,8
Odtok levý A (po 1 měsíci)	94,2	95,0	98,8	64,8	71,0	78,8	68,0
Odtok pravý B (před)	89,2	91,8	98,7	-13,4	96,3	26,1	25,7
Odtok pravý B (v průběhu)	90,6	94,1	97,8	27,9	95,7	53,9	43,3
Odtok pravý B (po 1 měsíci)	92,2	95,9	99,6	-6,6	34,6	29,8	45,5

Tabulka 3. Průměrné hodnoty znečištění na odtoku z jednotlivých kořenových polí, výsledky po 1 měsíci provozu odstavených kořenových polí, pravého A a levého B

Table 3. Average concentration of contaminants one month after the end of the experiment in the effluent from the field, in which experiment was conducted

Profil	$CHSK_{Cr}$ mg/l	BSK_5 mg/l	NL105 mg/l	N_{amon} mg/l	$N-NO_2^-$ mg/l	$N-NO_3^-$ mg/l	N_{celk} mg/l	P_{celk} mg/l
Odtok pravý A	86	12	4,5	22,2	< 0,02	0,156	55,8	13,0
Odtok levý A	42	12	2,8	10,2	< 0,02	< 0,1	21,6	4,38
Odtok pravý B	78	18	< 2	16,2	< 0,02	0,172	49,3	6,60
Odtok levý B	70	19	4,0	18,1	< 0,02	< 0,1	63,8	6,06

Diskuse výsledků

Průměrná účinnost čištění dvojnásobně zatěžovaných polí se v období experimentu u parametrů nerozpuštěné látky, $CHSK_{Cr}$ a BSK_5 výrazně nelišila od průměrných účinností čištění zjištěných před započítáním experimentu (viz *tabulku 2*). Jeden měsíc po snížení zatížení na původní úroveň (1 měsíc po uvedení odstavených kořenových polí do provozu) bylo na čistírně A u parametru $CHSK_{Cr}$ dosaženo stejné účinnosti čištění jako před započítáním experimentu, u parametru BSK_5 mírně snížené účinnosti čištění a u parametru nerozpuštěné látky mírně zvýšené účinnosti čištění. Na čistírně B bylo u všech tří parametrů dosaženo zvýšení účinnosti čištění oproti období před započítáním experimentu.

Bezprostředně po uvedení odstavených polí do provozu, přesněji od doby, kdy byl obnoven průtok dotčenými kořenovými poli, probíhal 24hodinový odběr vzorků, aby bylo zjištěno, jaké znečištění z kořenových polí bezprostředně po uvedení do provozu odtéká. Z kořenových polí uvedených do provozu byly každé dvě hodiny odebrány prosté vzorky, navíc byl odebrán i vzorek směsný. V ostatních profilech byl odebrán směsný vzorek. V prostých vzorcích byly stanoveny parametry nerozpuštěné látky, $CHSK_{Cr}$ a N_{amon} . U žádného z těchto parametrů nedošlo k významnějšímu nárůstu koncentrace během 24 hodin sledování. Ve směsných vzorcích byly stanoveny všechny ukazatele jako obvykle. Na čistírně A byla koncentrace zjištěná ve směsném vzorku v porovnání s průměrnou koncentrací zjištěnou před započítáním experimentu pro parametry $CHSK_{Cr}$ a nerozpuštěné látky vyšší, pro parametry N_{amon} srovnatelná a pro parametry BSK_5 nižší. Na čistírně B byla koncentrace zjištěná ve směsném vzorku v porovnání s průměrnou koncentrací zjištěnou před započítáním experimentu pro parametry $CHSK_{Cr}$ a N_{amon} srovnatelná a pro parametry BSK_5 a nerozpuštěné látky nižší.

Dalším důležitým hodnotícím parametrem byl podíl organické hmoty v kamenivu odebraném ze zakolmatované přítokové zóny dotčených kořenových polí. Vzhledem k problémům s odběrem těchto vzorků, který velmi silně ovlivňuje množství odpadní vody přítomné v kořenovém poli, není v tomto příspěvku hodnoceno množství materiálu usazeného ve volných pórech filtrační náplně.

Ze získaných výsledků u parametrů nerozpuštěné látky sušené a nerozpuštěné látky žíhané je patrné, že po jednom měsíci provozu se podíl jemné organické hmoty získané z kameniva přítokové zóny snížil u čistírny A z 24,1 % na 19,4 % a u čistírny B z 50,9 % na 29,3 %. Toto snížení je již poměrně významné a z těchto výsledků je patrné, že pro čistírny, kde je v přítokové zóně obsaženo vyšší procento rozložitelného organického podílu, se in-situ aplikace biologicko-enzymatického preparátu jeví jako vhodná. Dále je ze získaných výsledků patrné, že po jednom měsíci v provozu se podíl hrubé organické hmoty (staříny rákosu) získané z kameniva přítokové zóny snížil u čistírny A z 1,6 % na 0,4 % a u čistírny B z 1,7 % na 0,9 %. Na obou čistírnách bude probíhat ještě další měření k získání dat za delší období.

Závěr

Kolmatace je závažným provozním problémem vertikálně a horizontálně protékajících umělých mokřadů. Pokud je kolmatace masivní a ovlivňuje účinnost čištění, existují v současné době vedle výměny části filtrační náplně i jiné metody, jako je in-situ aplikace roztoků chemikálií nebo bakteriálně-enzymatických přípravků. Jak prokazují studie, je aplikace roztoků chemikálií možnou cestou a dosahuje velmi dobrých výsledků při regeneraci zakolmatovaného filtračního lože. Při jejich aplikaci je však třeba brát v úvahu

i skutečnost, že jejich vlivem dochází k dočasnému poškození biofilmu a také kořenů rostlin v umělých mokřadech. U aplikace bakteriálně-enzymatických přípravků toto riziko nehrozí. U čištění, kde se podíl jemné organické hmoty v pórech přítokové zóny pohybuje nad 50 %, se in-situ aplikace biologicko-enzymatického preparátu jeví jako vhodná cesta ke snížení kolmatace filtrační náplně přítokové zóny.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl v rámci projektu TA02020128 – Výzkum možností optimalizace provozu a zvýšení účinnosti čištění odpadních vod z malých obcí pomocí extenzivních technologií, který je řešen s finanční podporou TA ČR v rámci programu Alfa.

Literatura

- Blazewski, R. and Murat-Blazewska, S. (1997) Soil clogging phenomena in constructed wetlands with subsurface flow. *Water Science and Technology*, 35(5), 183–188.
- Hua, G.F., Zhu, W., Zhao, L.F., and Huang, J.Y. (2010a) Clogging pattern in vertical-flow constructed wetlands: Insight from a laboratory study. *Journal of Hazardous Materials*, 180(1–3), 668–674.
- Hua, G., Zhu, W., Zhao, L., and Zhang, Y. (2010b) Applying solubilisation treatment to reverse clogging in laboratory-scale vertical flow constructed wetlands. *Water Science and Technology*, 61(6), 1479–1487.
- Kaysers, K. and Kunst, S. (2005) Processes in vertical-flow reed beds: nitrification, oxygen transfer and soil clogging. *Water Science and Technology*, 51(9), 177–184.
- Knowles, P., Dotro, G., Nivala, J., and García, J. (2011) Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: Occurrence and contributing factors. *Ecological Engineering*, 37(2), 99–112.
- Langergraber, G., Haberl, R., Laber, J., and Pressl, A. (2003) Evaluation of substrate clogging processes in vertical flow constructed wetlands. *Water Science and Technology*, 48(5), 25–34.
- McIsaac, R. and Rowe, R.K. (2007) Clogging of gravel drainage layers permeated with landfill leachate. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(8), 1026–1039.
- Nivala, J., Knowles, P., Dotro, G., García, J., and Wallace, S. (2012) Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: Measurement, modelling and management. *Water Research*, 46(6), 1625–1640.
- Nivala, J. and Rousseau, D.P.L. (2009) Reversing clogging in subsurface-flow constructed wetlands by hydrogen peroxide treatment: two case studies. *Water Science and Technology*, 59(10), 2037–2046.
- Pedescoll, A., Uggetti, E., Llorens, E., Granés, F., García, D., and García, J. (2009) Practical method based on saturated hydraulic conductivity used to assess clogging in subsurface flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 35(8), 1216–1224.
- Platzer, Ch. and Mauch, K. (1997) Soil clogging in vertical flow reed beds – Mechanisms, parameters, consequences and solutions? *Water Science and Technology*, 35(5), 175–181.
- Reddi, L.N., Xiao, M., Hajra, M.G., and Lee, I.M. (2000) Permeability reduction of soil filters due to physical clogging. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 126(3), 236–247.
- Schwarz, M., Fuchs, S., and Hahn, H.H. (2006) Nucleic acids: indicators for dynamic processes of clogging in soil filter systems. *Water Science and Technology*, 54(11–12), 183–189.
- Siriwardene, N.R., Deletic, A., and Fletcher, T.D. (2007) Clogging of stormwater gravel infiltration systems and filters: Insights from a laboratory study. *Water Research*, 41(7), 1433–1440.
- Suliman, F., French, H.K., Haugen, L.E., and Søvik, A.K. (2006) Change in flow and transport patterns in horizontal subsurface flow constructed wetlands as a result of biological growth. *Ecological Engineering*, 27(2), 124–133.

- Turon, C., Comas, J., and Poch, M. (2009) Constructed wetland clogging: A proposal for the integration and reuse of existing knowledge. *Ecological Engineering*, 35(12), 1710–1718.
- Varga, D., Díaz, M.A., Ruiz, I., and Soto, M. (2013) Avoiding clogging in constructed wetlands by using anaerobic digesters as pre-treatment. *Ecological Engineering*, 52, 262–269.
- Wanner, F. a Mlejnská, E. (2010) Uvolnění zakolmatovaného lože zemního filtru in-situ aplikací enzymů. *Vodní hospodářství*, 52(12), 15–18.
- Winter, K.J. and Goetz, D. (2003) The impact of sewage composition on the soil clogging phenomena of vertical flow constructed wetlands. *Water Science and Technology*, 48(5), 9–14.

Ing. Eva Mlejnská
VÚV TGM., v.v.i.
Eva_Mlejnska@vuv.cz
Příspěvek prošel lektorským řízením.

The evaluation of in-situ application of bacterial-enzymatic preparation to the clogged constructed wetlands (Mlejnská, E.)

Key words

clogging – constructed wetlands – in-situ application – treatment efficiency

The clogging is one of the main operation problems of constructed wetlands used for wastewater treatment in small municipalities. The one of the aims of this article is to summarize possible reasons of clogging.

Physical, chemical and biological processes have an influence on the clogging, which leads to decreasing throughput of porous materials. Transfer of oxygen is also blocked. The clogging causes even abbreviated flows very often. Therefore extensive clogging leads to decrease of treatment efficiency. The clogging is followed by odour and visual problems in many cases.

The main goal of this article is to describe possible methods of removing the clogging. The exchange of partial or total filter media is used very often. These days the method based on in-situ chemical decomposition is more frequently applied. This article summarizes own experiences with in-situ application of bacterial-enzymatic preparation. This preparation was used for two clogged constructed wetlands for approximately 150 PE. In this article, there are summarized the results of the monitoring before the application, during the application and one month after putting in operation.

Experiment showed, that in-situ application of bacterial-enzymatic preparation is an appropriate way of reducing clogging for constructed wetlands with the proportion of fine organic matter in the pores of the inlet zone above 50%.

DOKUMENTACE, PASPORTIZACE A NÁVRHY NOVÉHO VYUŽITÍ TOVÁRNÍCH KOMÍNŮ S VODOJEMY

Martin Vonka, Robert Kořínek

Klíčová slova

tovární komín – vodojem – technická památka – kulturní dědictví – průmysl

Souhrn

Komíny průmyslových areálů jsou nepřehlédnutelným prvkem krajiny, dominantou panoramat sídelních útvarů. Společně s bývalými výrobními objekty a areály připomínají především průmyslové období druhé poloviny 19. a počátku 20. století. A společně s bývalými výrobními areály tyto stavby nenávratně mizí.

Specifickou podskupinou komínových staveb jsou komíny s vodojemy, jejichž odbornému výzkumu se dosud nikdo nevěnoval. Tyto stavby, které dnes můžeme označit jako technické památky, v sobě snoubí funkce komínů odvádějících nežádoucí spaliny z technologických procesů a rezervoárů zajišťujících dostatečný tlak vodovodní soustavy a potřebné množství vody využívané k různým účelům příslušné továrny. Článek se věnuje prezentaci prvotních poznatků projektu, který započal v březnu letošního roku a bude ukončen v roce 2015.

Úvod

S myšlenkou umístit nádrž na vodu na komínové těleso patrně poprvé přišel profesor Otto Intze z Cách v osmdesátých letech 19. století (Klokner, 1906). Z Německa se pak rozšířila jejich výstavba i na naše území, přičemž první tovární komíny s vodojemem se u nás objevily na počátku 20. století. Výstavba továrních komínů byl specifický obor a komíny s vodojemem se staly vrcholným dokladem umu komínářských firem. Dokládá to skutečnost, že v dobových inzerátech speci-



Obr. 1. Dobový inzerát firmy Ing. V. Fischer a spol. z roku 1930
Fig. 1. An advertisement of the company Ing. V. Fischer et al. from 1930

alizovaných společností se tyto komíny objevují jako symbol oboru podnikání (*obr. 1*). A že se jedná o vzácné objekty své doby, potvrzují i další skutečnosti jako například jména stavitelů či architektů. Některé komíny s vodojemem postavila významná komínářská firma Bratři Fischerové a spol., Letky (dnešní část Libčic nad Vltavou), či později firma se stejným rodinným vedením – Ing. V. Fischer a spol. – např. v Dobručce, Litovli, Praze (Vysočany, Dolní Měcholupy), Hradci Králové, Mělníku (SOA Praha-západ). O bývalém komínu v areálu dnešní Zentivy, a.s., je pak známo, že ho stejně jako celý areál navrhl významný architekt Jaroslav Fragner (Hlušíčková, 2003).

Dodnes se dochovaly na území České republiky poslední dvě desítky komínů s vodojemem. Vzhledem k užívání nových technologií a často zanedbané údržbě těchto staveb lze očekávat jejich další úbytek. Zapomenuta či zcela ztracena je z velké části také jejich technická dokumentace. Proto se na tyto stavby zaměřuje projekt, jehož cílem je mapování a pasportizace s alternativním návrhem možností zachování a nového využití alespoň několika objektů.

Vstupní informace

Monitoring továrních komínů s vodojemem se po vědecké stránce doposud nikdo systematicky nevěnoval. V České republice jsou tovární komíny s vodojemem jako technické památky spíše na okraji zájmu, popř. zanikají v popisech historických areálů rozsáhlých průmyslových podniků (Hlušíčková, 2001–2004; Valchařová aj., 2011). Popisem pražských komínových vodojemů se v minulosti zabýval historik Jaroslav Jásek z a. s. Pražské vodovody a kanalizace (Jásek, 2005). Další informace nalezneme v databázi Společnosti vodárenských věží, na portálu Fabriky.cz a také v rozsáhlé databázi komínů KODA Svazu českých komínářů (SČK, 2013). Ve všech těchto případech jde však o dobrovolné aktivity.

Metody zpracování

Prvním krokem bylo vytvoření databáze lokalit komínů s vodojemem. V tomto případě bylo využito poznatků ze soukromých dlouhodobých aktivit řešitelů. Databáze jim známých komínů byla aktualizována a rozšířena o informace o dalších neexistujících komínech. Tato činnost byla provedena především na základě dostupné obrazové dokumentace (např. v Registru VCPD FA ČVUT) nebo četbou dobových tiskovin, včetně odborných periodik.

Následně byli osloveni všichni majitelé existujících komínů s vodojemem s žádostí o provedení průzkumu přímo na místě. Záměrem této činnosti bylo zjištění technického řešení komínu, aktuálního technického stavu objektu, pořízení fotodokumentace, probádání širších souvislostí, průzkum původních technologií a geodetické práce s cílem vytvořit stavební dokumentaci současného stavu komínu. Všechny činnosti byly zajišťovány projektovým týmem, geodetické práce byly řešeny formou subdodávky.

Podle možnosti majitelů objektů je prováděn průzkum podnikových archivů a historických podnikových materiálů. Většina

podnikových archivů již ale neexistuje, často se tak jedná o zbytkový dochovaný materiál v nižší kvalitě. Ve výjimečných případech lze získat původní plánovací či stavební dokumentaci, popř. historické fotografie. Svůj význam mají také objevy stavební dokumentace z dob oprav a revizí komínů či rezervoárů. Provozní údaje a informace o komínech, vodojemech a technologiích lze nejlépe získat prostřednictvím rozhovorů se služebně staršími zaměstnanci, zejména technickými pracovníky.

Po průzkumech provedených na místě následuje pátrání v archivních fondech a sbírkách České republiky (vyhledávací aplikace archivních fondů je dostupná na stránkách Ministerstva vnitra ČR) a stavebních úřadech. Dalším zdrojem informací jsou i katalogy knihoven, přičemž zajímavé a cenné výsledky nabízejí zvláště digitální knihovny, jako např. Kramerius Národní knihovny ČR, K4 Národní technické knihovny a The Internet Archive (archive.org). Rovněž se provádí průzkum informací prostřednictvím klasických internetových vyhledávačů.

Výsledky monitoringu

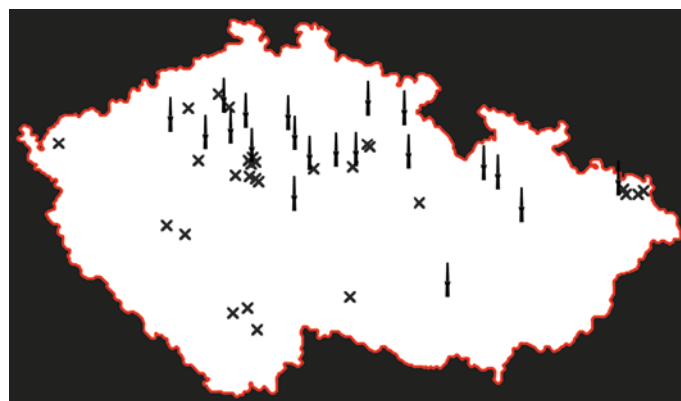
Projekt dokumentace továrních komínů s vodojemem byl zahájen v březnu letošního roku, od dubna probíhají průzkumy jednotlivých objektů (do doby předání článku redakci byly zdokumentovány objekty ve Slaném, Litovli, Mělníku, Chocni, Sudkově a Nymburku).

Z výsledků monitoringu vyplývá, že k dnešnímu dni stojí na území České republiky posledních dvacet komínů s vodojemem (*obr. 2*). Je ověřeno, že od roku 2001 jich bylo zbouráno šest (nemocnice v Českých Budějovicích, 2001; úpravna rud Mydlovary, 2002; ČKD Praha, 2003; Spalovna Praha-Vysočany, 2003; družstevní mlékárna Hradec Králové, 2005; nemocnice v Kolíně, 2005). Z dosavadních výsledků projektu jsou pak známy údaje o dalších necelých třech desítkách komínů s vodojemem, z nichž většina buď neexistuje, nebo se dochoval jen komín, ale již bez vodojemem. Také mimo území naší republiky je výskyt komínů s vodojemem spíše výjimečný. Poměrně výjimečně je rovněž dohledána původní dokumentace, která byla většinou uložena v neodborně udržovaných podnikových archivech, dnes ve většině případů již neexistujících. Vzácně se vyskytují materiály o likvidaci komínu.

Výsledky průzkumu vlastních staveb – komínů s vodojemem

Vlastní komín, který nese vodojem, se prakticky typologicky neliší od standardního továrního komína. Z hlediska technologie a užitých materiálů existují v zásadě tři typy komínů – zděné, železobetonové a ocelové. Na našem území byla většina komínů s vodojemem postavena jako zděná z cihel, malé množství pak ze železobetonu, ocelový komín s vodojemem není znám žádný.

Zděné komíny mívaly zpravidla tyto základní části: základ, podstavec a dřík zakončený hlavicí. Základ býval nejčastěji čtvercového půdorysu, nacházel se pod úrovní terénu a zajišťoval spolehlivé přenesení tíhy do základové půdy. Podstavec byl již viditelnou částí a tvořil zpravidla 1/6 až 1/4 celé výšky komínu. Podstavce byly bu-



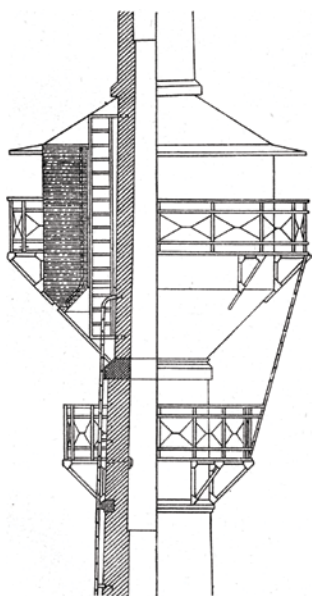
Obr. 2. Mapa s přehledem existujících a zbořených továrních komínů s vodojemem na území České republiky
Fig. 2. Map of existing and destroyed chimneys with water tank in the Czech Republic

dovány čtvercové, osmiboké nebo kruhové, v některých případech nahrazovala podstavec pouze nízká římsa (sokl). Největší část komínu pak představoval dřík zakončený hlavicí. První komíny se zdily z plných cihel do polygonálního profilu dříku (čtvercový a osmiboký), vývojově pokročilejší (od konce 19. století) pak byly výhradně oblé (kruhový profil) a zděné ze speciálních cihel zvaných komínkový, resp. radiálky. Téměř všechny známé komíny s vodojemem jsou stavěny právě z radiálek, z prozkoumaných staveb je pouze komín v Zahořanech zděný z cihel klasického formátu do osmibokého tvaru.

Umístěním vodní nádrže na komín v areálu podniku nemuselo být zapotřebí budovat další objekt v podobě věžového vodojemu. Při dostatečné výšce nádrže nad okolním terénem byl zajištěn potřebný tlak vody v potrubí i v nejvyšších místech daného areálu. Hmotnost samotné nádrže s vodou pak příznivě působila na stabilitu celého komínu v souvislosti se zatížením větrem. Zatížené zdivo pod nádrží muselo být silnější (platí zejména pro ocelové vodojemy). Toto zesílení však nebylo velké, neboť hmotnost nádrže se rozdělovala stejnoměrně po celém obvodu komínu. Voda v rezervoáru se mohla působením teplých spalin procházejících komínem mírně zahřívát, což v zimě pozitivně působilo proti zamrznutí vody. Samotné ochlazení spalin nebylo příliš významné, proto se ani samotný tah komínem většinou výrazně nezhoršil.

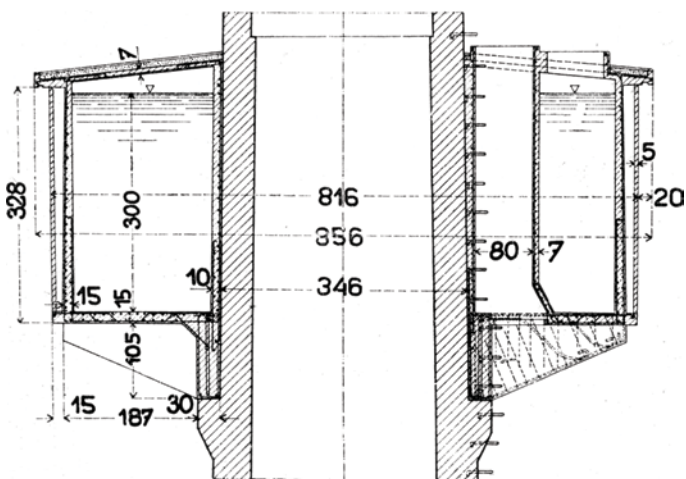
První komínové vodojemy byly ocelové (nýtované) – tzv. systém Intze, byly uloženy na kamenném, resp. cihelném věnci a jejich objemy se zpravidla pohybovaly do 200 m³ (obr. 3). Posledním existujícím typem tohoto vodojemu v České republice je rezervoár na komíně v areálu firmy Raven CZ, a.s., v Ostravě-Svinově v Bílovecké ulici. V minulosti byl podobný vodojem také například v areálu podniku Paramo, a.s., Pardubice (obsah nádrže byl 170 m³). Nádrž je v současné době již odstraněna, komín s typickým podpůrným rozšířeným věncem zůstal zachován.

S rozvojem železobetonových staveb se rozšířil i železobetonový typ vodojemu, který na rozdíl od ocelových nádrží netrpěl korozí a byl tak trvanlivější. Tyto vodojemy byly uloženy na železobetonové desce a podle potřeby mohla být deska ještě podepřena



Obr. 3. Schéma ocelového vodojemu podle provedení profesora Otty Intze (Klokner, 1906)

Fig. 3. Schematic steel water tank designed by Professor Otto Intze (Klokner, 1906)



Obr. 4. Železobetonový rezervoár (Klír, 1923)

Fig. 4. Reinforced concrete water tank (Klír, 1923)

krakorci, což dodalo komínu na majestátním vzhledu. Deska zároveň sloužila jako ochoz kolem vodojemu (v některých případech však vodojem na nosné železobetonové desce klasický ochoz kolem nádrže neměl – např. Sudkov nebo Mělník). Aby nedocházelo k prosakování vody železobetonovou konstrukcí, byla doporučována maximální výška vodního sloupce v nádrži 5 metrů, většinou však bývala nižší (jeden z nejvyšších vodojemů je umístěn na komíně v areálu bývalého podniku ČKD ve Slaném). Vodopropustnost rovněž omezoval cementový potěr či různé vnitřní nátěry např. na bázi asfaltu. Nádrže byly z vnější strany obloženy cihelným zdivem.

Nádrže na komín byly také dodělávány dodatečně. Toto řešení však vyžadovalo pečlivý statický posudek. Pokud by samotný komín tíhu nádrže neunesl, byla nádrž podepřena několika sloupy nebo pilíři. Dodatečně budované nádrže na původní nefunkční komíny však nejsou hlavní náplní řešení projektu – jedná se v principu o konverzi komína na vodojem (např. vodojem na komíně bývalého cukrovaru dnes stojící v areálu ruzyňské věznice).

Rozdílné byly rovněž i zdroje vody pro rezervoár. Jednalo se o místní studny, vodoteče či nádrže, vodojem však mohl být také napojen na veřejnou vodovodní síť (např. komín s vodojemem v areálu Železničních oprav a strojírny Nymburk). Voda z nádrží se pak používala jako voda technologická (v Alibona Litovel dodnes slouží k primárnímu praní syrové zeleniny od hrubých nečistot před dalším zpracováním, v Mefrit Mělník se používá k chlazení vytékající skloviny z tavících pecí), jako voda užitková pro zaměstnance (ČKD Slaný, ŽOS Nymburk), ale také například jako voda hasební (v areálu bývalé přádelny v Sudkově, dnes Moravolen Trade, a.s., Sudkov). V tomto případě byl rezervoár napojen na sprinklerový systém přádelny se samočinnými hlavicemi (ventily).

Potrubní systémy napojené na vodojem obsahovaly vždy napouštěcí potrubí, které přivádělo vodu ze zdroje. Z vodojemu pak vedlo další potrubí zásobující areál vodou, v některých případech bylo zásobující potrubí totožné s potrubím napouštěcím. V nejvyšší části nádrže bylo zaústěno potrubí bezpečnostní (bezpečnostní přeliv), které v případě poruchy snímače hladiny či nedbalosti obsluhy odvádělo přepadávající vodu mimo vodojem, většinou do kanalizace nebo příslušné vodoteče. Jednotlivá potrubí byla opatřena potřebnými armaturami, šoupátky a ventily. Vnitřní světlost potrubí byla různá, často se můžeme setkat se světlostí DN 125.

Uložení potrubních systémů bylo dvojí. V prvním případě byla při vnější stěně dříku komínu vybudována cihlová šachtice, kterou potrubí vedlo. Potrubí však mohlo být loženo také volně podél dříku komínu. Tento způsob však vyžadoval důkladnou izolaci potrubí, aby nedocházelo k nežádoucímu zamrznutí vody (některé potrubní systémy v šachtici nevyžadovaly tepelnou izolaci vůbec). Jako účinné izolátory se používaly lisované čtvrtkruhové tvárnice z korku a pojivového materiálu (např. asfalt), kterými bylo dané potrubí obloženo, a tvárnice byly zajištěny drátem. Dodatečně se pak prostory vyplňovaly také izolační skelnou vatou. Takto izolované potrubí bylo obaleno térováním papírem, popř. také plechem. I přes tato opatření však mohla potrubí zamrznout, proto se v zimě (například v noci, kdy nedocházelo k odběru) při extrémně vysokých mrazech voda z potrubí preventivně vypouštěla.

K výstupu na komín pro umožnění kontroly, revizí a oprav sloužila ocelová stupadla, která byla umístěna ve spárách mezi jednotlivými cihlami s roztečí kolem 40 cm. Pro vyšší bezpečnost při výstupu byly dále na komínech instalovány tzv. ochranné těmeny. Ty byly navrženy tak, aby jimi mohla prolézt lidská postava, a v případě nutnosti se zde mohl pracovník zdržet, opřít se nebo si sednout. Z plošiny, která byla umístěna těsně pod nádrží, vedl k nádrži zpravidla ocelový žebřík.

Výšku hladiny vody v rezervoáru bylo nutno hlídat pomocí stavoznaku. Ten mohl být umístěn při patě komínu nebo mohl být připevněn na samotné nádrži. Toto řešení nebylo časté, nicméně se s ním u starších komínů s vodojemem můžeme setkat, např. na komíně v Sudkově. Zde stavoznak tvoří dvě svislé dřevěné desky, mezi nimiž se pohyboval ukazatel výšky vodní hladiny. Ten přenášel aktuální stav z nádrže pomocí systému plováku, ocelového lanka a několika vodicích koleček. V pozdějších letech bývaly ale tyto původní prvky nahrazovány modernějšími přístroji a sondami, které zapínaly a vypínaly čerpadlo automaticky podle potřeby.

Nádrže byly projektovány na různé kapacity – největší známý objem je 300 m³ ve Dvoře Králové, obvyklejší objemy se ale pohybovaly v řádu desítek až jedné stovky kubíků vody.

Jako střešní krytina se nejčastěji používaly prejzy, asfalt či lepenka. Střecha vodojemu byla zajištěna zábradlím, ze střechy vedl vstupní čtvercový otvor do samotného rezervoáru.

Z dochovaných dvaceti komínů s vodojemem je již pouze jeden v plném provozu (Mefrit Mělník – obr. 5). Komín slouží pro odvod spalin z pecí, voda má technologické využití. Vodojem v areálu Alibona Litovel slouží k praní syrové zeleniny, vlastní komín je již mimo provoz (obr. 6). Další doposud zdokumentované komíny a vodojemy jsou již mimo provoz. Ve velké míře jsou však využívány jako nosiče antén a vysílačů pro mobilní operátory a poskytovatele bezdrátových datových služeb. Tento nový, byť neestetický způsob využití zajišťuje některým z nich jistotu existence i v dalších letech, protože si komín ekonomicky vydělá na nutnou opravu a údržbu.

Oproti původnímu očekávání je poměrně složité určení přesné datace výstavby komínu s vodojemem. Tyto údaje jsou stále dohledávány a upřesňovány a budou prezentovány v budoucnu v navazujících příspěvcích.

Závěr

Poznatky prezentované v tomto článku vycházejí zejména z průzkumů uvedených šesti továrních komínů s vodojemem, k nimž byla provedena kompletní dokumentace. Projekt bude dále pokračovat dalšími průzkumy stávajících komínů a zpracováním pasportů, vyhledáváním původních dokumentací a souvisejících informací. Poslední fází tohoto projektu bude vyhodnocení nejvýznamnějších staveb jako reprezentantů specifického průmyslového dědictví s návrhy možností jejich zachování (např. konzervace, nové využití).

Protože je zřejmé, že většina těchto objektů bude v budoucnu pro nepotřebnost a také z bezpečnostních důvodů postupně demolována, je projekt zpracováván tak, aby poskytl co nejvíce podrobných a ověřených informací dalším generacím. Výsledky projektu budou postupně publikovány.

Literatura

- Databáze komínů – KODA, Svaz českých kominářů, dostupné z <http://koda.kominari.cz/>
Hlušičková, H. Technické památky v Čechách, na Moravě a ve Slezsku, I–IV. díl. Praha: Libri, 2001–2004.
- Christie, W.W. Chimney design and theory – book for engineers and architects. New York: D. van Nostrand Co., 1902.
- Jásek, J. Nekrolog pražských kominových vodojemů. SOVAK, roč. 14, 2005, č. 1, s. 26–27.
- Klír, A. a Klokner, F. Technický průvodce pro inženýry a stavitele, sešit sedmý – Stavitelství vodní, II. část. Praha: Česká matice technická, 1923.
- Klokner, F. O továrních komínech. Praha, nakladem F. Šimáčka, 1906.
- Ministerstvo vnitra ČR, Archivní fondy a sbírky v České republice, dostupné z <http://aplikace.mvcr.cz/archivni-fondy-cr/default.aspx>
- Státní okresní archiv Praha-západ se sídlem v Dobřichovicích, fond Keramické závody bratří Fischerové a spol., Letky – Libčice nad Vltavou, fond Ing. V. Fischer a spol.
- Valchářová, V., Beran, L. a Zikmund, J. Industriální topografie/Ústecký kraj. Praha: VCPD FA ČVUT, 2011.



Obr. 5. Tovární komín s vodojemem v Mělníku
Fig. 5. Factory chimney with a water tank in Mělník



Obr. 6. Tovární komín s vodojemem v Litovli
Fig. 6. Factory chimney with a water tank in Litovel

Poděkování

Projekt je realizován za finanční podpory Ministerstva kultury České republiky v rámci programu aplikovaného výzkumu NAKI – DF13P01OV021.

Ing. Martin Vonka, Ph.D.¹, Ing. Robert Kořínek, Ph.D.²

¹Fakulta stavební ČVUT v Praze, martin.vonka@fsv.cvut.cz,
+420 224 357 165

²Výzkumný ústav vodohospodářský TGM, v.v.i.,
pobočka Ostrava, robert_korinek@vuv.cz,
+420 595 134 823

Příspěvek prošel lektorským řízením.

Documentation, passportization and proposals for new functions of factory chimneys with a water tank (Vonka, M.; Kořínek, R.)

Key words

factory chimney – water tower – technical monument – heritage – industry

Factory chimneys with a water tank represent unique and yet neglected immovable cultural heritage. These interesting technical monuments combine the functions of a chimney removing unwanted gas from the technological processes and a reservoir ensuring an adequate water pressure system and so the required amount of water used for different purposes by the factory. At present, about two dozens of historical chimney reservoirs remained in the Czech Republic and due to various circumstances a further reduction of them can be expected. Forgotten or even completely lost are technical and historical documents of many of the mentioned objects. The article gives a presentation of the initial findings of the project of documentation, passportization and proposals for new functions of factory chimneys with a water tank, which has started in March 2013.

MODELOVÁNÍ MNOŽSTVÍ ODPADNÍCH VOD NA PŘÍTOKU DO ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD

Ivan Nesměrák

Klíčová slova

čistírna odpadních vod – časové řady – přenosové funkce – množství odpadních vod – denní úhrn srážek

Souhrn

Modelování množství odpadních vod na přítoku do čistírny odpadních vod je založeno na výpočtu přenosových funkcí mezi denním úhrnem srážek, popř. i denním průměrem teploty vzduchu a denním množstvím odpadních vod na přítoku do čistírny odpadních vod. Byly počítány přenosové funkce i dynamické přenosové funkce pomocí programového balíku CAPTAIN v Matlabu. Byly nalezeny poměrně vysoké koeficienty determinace přenosových funkcí.

Úvod

Požadavky na jakost vypouštěných odpadních vod jsou podle českých a evropských předpisů definovány pravděpodobnostně. Při pravděpodobnostním hodnocení odtoků z čistírny odpadních vod se však často naráží na problém doplnění chybějících hodnot hodnocených proměnných. Existuje celá řada způsobů doplňování chybějících hodnot v časových řadách od nejjednodušších (prostá interpolace) po výpočet ze sestaveného statistického modelu. V tomto příspěvku se zabýváme modelem množství odpadních vod na přítoku do čistírny odpadních vod, založeným na časových řadách denních úhrnů srážek a denních průměrů teploty vzduchu.

Zpracované časové řady

Pro posouzení vztahu mezi denním úhrnem srážek (S) a popř. i teplotou vzduchu (T_{vz}) a množstvím odpadních vod (Q) byly vyhodnoceny časové řady z ČOV Ostrava z let 2001–2008, ČOV Brno z let 2004–2009 a ČOV Olomouc z let 2000–2009. Hodnocení bylo provedeno výpočtem přenosových funkcí (TF) a dynamických přenosových

funkcí (DTFM) centrovaných časových řad¹ (označených indexem d) a časových řad po vyloučení cyklických složek² (označených indexem c). Popis vztahu pomocí přenosové funkce byl již ukázán dříve [1].

Vztah mezi denním úhrnem srážek (S), popř. teplotou vzduchu (T_{vz}) a množstvím odpadních vod (Q) na třech ČOV

Vypočtené parametry TF a DTFM vztahů $Q = f(S)$ pro různě upravené časové řady na čistírnách odpadních vod v Ostravě, Brně a Olomouci jsou uvedeny v souhrnné zprávě [2]. Parametry TF a DTFM alternativních vztahů $Q = f(S, T_{vz})$ pro centrované časové řady a časové řady po vyloučení cyklických složek byly vypočteny pro tento příspěvek. Při aplikaci procedur RIVID a RIV v MATLABu byly pro tyto procedury zvoleny složitější hodnoty vstupního vektoru $nn = [n_a \ n_b \ n_c]$ na rozdíl od relativně jednoduchých hodnot použitých pro vztahy $T_v = f(T_{vz})$ a $T_v = f(T_{vz}, S)$ [3].

Přenosové funkce vztahů $Q = f(S)$ a $Q = f(S, T_{vz})$

Přenosové funkce pro ČOV Ostrava, Brno a Olomouc byly vypočteny pro centrované řady (označené indexem d) a pro řady po vyloučení cyklických složek (označené indexem c) – některé parametry přenosových funkcí jsou uvedeny v tabulkách 1–4. V tabulkách 1–2 jsou uvedeny některé parametry přenosových funkcí vztahů $Q = f(S)$ pro centrované časové řady a časové řady po vyloučení cyklických složek na uvedených třech čistírnách odpadních vod. V tabulkách 3–4 jsou pak uvedeny některé parametry přenosových funkcí vztahů $Q = f(S, T_{vz})$ pro centrované časové řady a časové řady po vyloučení cyklických složek na těchto čistírnách odpadních vod. Při aplikaci procedur RIVID a RIV v MATLABu byly pro tabulky 1–2 zvoleny hodnoty vstupního vektoru $nn = [1 \ 3 \ 0 \ 3]$ u ČOV Brno a $nn = [1 \ 3 \ 0 \ 2]$ u ČOV Olomouc a Ostrava a pro tabulky 3–4 byla zvolena pro všechny tři ČOV jednotná hodnota $nn = [1 \ 3 \ 2 \ 0 \ 1 \ 2]$.

Z tabulek 1 a 2 plyne, že koeficienty determinace modelu systému (R^2) jsou na ČOV Ostrava a Brno relativně nízké (kolem 0,5) a na ČOV Olomouc velmi nízké (pod 0,3). Koeficienty determinace modelu systému+řádu jsou na všech třech ČOV přijatelné (kolem 0,7). Ze srovnání tabulek 1 a 2 je zřejmé, že vyloučení cyklických složek z časových řad nepřináší proti centrování prakticky žádné výhody.

1 Centrování časových řad bylo prováděno po letech, tím se částečně vyloučil dlouhodobý trend.

2 Byly vyloučeny cyklické složky odpovídající periodám $T = 365$ dní, $T = 182,5$ dne a $T = 7$ dní, pokud byly statisticky významné.

Tabulka 1. Některé parametry přenosových funkcí vztahů $Q = f(S)$ pro upravené časové řady typu d na čistírnách odpadních vod v Ostravě, Brně a Olomouci

Table 1. Some parameters of the transfer functions of relations $Q = f(S)$ for d series in WWTPs Ostrava, Brno and Olomouc

	ČOV		
	Ostrava	Brno	Olomouc
$s^2(S_d)$	24,9830	16,0870	13,8018
$s^2(Q_d)$	1,3667**	1,0115**	4,2362**
a_1	-0,6552	-0,7440	-0,9263
b_0	2,1470*	4,3077*	1,9826*
b_1	2,4272*	-0,6974*	-0,5434*
b_2	-1,5413*	-1,2263*	-0,5921*
c_1	-0,4232	-0,4134	-0,7325
c_2	-0,1741	-0,1770	-0,1525
c_3		-0,1058	
$var(e)$	0,6850**	0,5501**	4,0895**
R^2	0,4988	0,4562	0,0346
var	0,4903**	0,3546**	1,0117**
R^2	0,6412	0,6495	0,7612

* číslo je řádu e+003

** číslo je řádu e+009 u ČOV Ostrava a ČOV Brno a řádu e+008 u ČOV Olomouc

Tabulka 2. Některé parametry přenosových funkcí vztahů $Q = f(S)$ pro upravené časové řady typu c na čistírnách odpadních vod v Ostravě, Brně a Olomouci

Table 2. Some parameters of the transfer functions of relations $Q = f(S)$ for c series in WWTPs Ostrava, Brno and Olomouc

	ČOV		
	Ostrava	Brno	Olomouc
$s^2(S_c)$	24,5128	15,8199	13,5764
$s^2(Q_c)$	1,4023**	1,0143**	3,9596**
a_1	-0,7230	-0,8851	-0,8883
b_0	2,1909*	4,3403	1,9642
b_1	2,3100*	-1,2881*	-0,4821*
b_2	-1,7870*	-1,6039*	-0,5547*
c_1	-0,4270	-0,3817	-0,7089
c_2	-0,1769	-0,1732	-0,1308
c_3		-0,1103	
$var(e)$	0,6942**	0,4926**	3,0066**
R^2	0,5050	0,5143	0,2407
var	0,4903**	0,3398**	0,9906**
R^2	0,6491	0,6650	0,7498

* číslo je řádu e+003

** číslo je řádu e+009 u ČOV Ostrava a ČOV Brno a řádu e+008 u ČOV Olomouc

Tabulka 3. Některé parametry přenosových funkcí vztahů $Q = f(S, Tvz)$ pro upravené časové řady typu d na čistírnách odpadních vod v Ostravě, Brně a Olomouci

Table 3. Some parameters of the transfer functions of relations $Q = f(S, Tvz)$ for d series in WWTPs Ostrava, Brno and Olomouc

	ČOV		
	Ostrava	Brno	Olomouc
$s^2(S_d)$	24,9830	16,0870	13,8018
$s^2(Tvz_d)$	70,4978	71,4390	75,6313
$s^2(Q_d)$	1,3667**	1,0115**	4,2362**
a_1	-0,6552	-0,9286	-0,9662
$b_{1,0}$	2,1374*	4,1873*	1,8647*
$b_{1,1}$	2,4033*	-1,4041*	-0,6454*
$b_{1,2}$	-1,7118*	-1,8877*	-0,6961*
$b_{2,0}$	-1,0683 ^o	1,0342 ^o	0,5327 ^o
$b_{2,1}$	-1,2102 ^o	-1,1158 ^o	-0,5855 ^o
c_1	-0,4191	-0,4122	-0,7127
c_2	-0,1603	-0,1890	-0,1269
$var(e)$	0,6543**	0,4823**	2,9804**
Rt^2	0,5213	0,5232	0,2964
var	0,4792**	0,3457**	0,9792**
R^2	0,6494	0,6583	0,7688

* číslo je řádu e+003

** číslo je řádu e+009 u ČOV Ostrava a ČOV Brno a řádu e+008 u ČOV Olomouc

^o na číslo se vztahuje $\delta = 1$

Z porovnání tabulek 1 a 2 s tabulkami 3 a 4 je patrné, že zahrnutí teploty vzduchu mezi vysvětlující proměnné přináší pouze malé zvýšení koeficientu determinace modelu systému+šumu.

Dynamické přenosové funkce vztahu $Q = f(S)$ a $Q = f(S, Tvz)$

Výpočty dynamických přenosových funkcí ukázaly, že hodnoty zkráceného vektoru nn procedur DTFMOPt a DTFM v MATLABu ($nn = [1 \ 3 \ 0]$ u vztahů $Q = f(S)$ a $nn = [1 \ 3 \ 2 \ 0 \ 1]$ u vztahů $Q = f(S, Tvz)$ pro všechny tři ČOV) vedou k divergenci výpočtového procesu a bylo nutno hodnoty proměnné nn zjednodušit tak, že u všech tří ČOV byla zvolena hodnota zkráceného vektoru $nn = [0 \ 3 \ 0]$ pro vztahy $Q = f(S)$ a $nn = [0 \ 3 \ 2 \ 0 \ 1]$ pro vztahy $Q = f(S, Tvz)$. Některé parametry dynamických přenosových funkcí vztahů $Q = f(S)$ pro centrované časové řady a časové řady po vyloučení cyklických složek na čistírnách odpadních vod Ostrava, Brno a Olomouc jsou uvedeny v tabulkách 5–6. Některé parametry dynamických přenosových funkcí vztahů $Q = f(S, Tvz)$ pro centrované časové řady a časové řady po vyloučení cyklických složek na čistírnách odpadních vod v Ostravě, Brně a Olomouci jsou uvedeny v tabulkách 7–8.

Hodnotíme-li použití dynamických přenosových funkcí proti (ne-dynamickým) přenosovým funkcím podle koeficientu determinace u centrováných časových řad, pak použitím dynamických přenosových funkcí proti použití (ne-dynamických) přenosových funkcí se koeficient determinace modelu soustavy a koeficient determinace modelu soustavy+šumu zvýší výrazně na ČOV Ostrava a ČOV Brno. Na ČOV Olomouc je zvýšení koeficientu determinace modelu soustavy výrazné, zatímco zvýšení koeficientu determinace modelu soustavy+šumu je nevýrazné³.

Zahrnutím Tvz dojde u (ne-dynamických) přenosových funkcí k určitému zvýšení koeficientů determinace modelů soustavy, zatímco koeficienty determinace modelu soustavy+šumu se prakticky nezvýší.

Problémem při modelování pomocí časových řad S a Tvz je, jak nalézt předpis pro časové změny koeficientů v modelech při použití dynamických přenosových funkcí. Pro kratší období (dvouletá) byly hledány popisy takových změn [2].

³ U Olomouce bylo zaznamenáno během let 2000–2009 několik krátkých období s nevysvětlitelnými extrémně množství odpadních vod, které zvolené modely narušují.

Tabulka 4. Některé parametry přenosových funkcí vztahů $Q = f(S, Tvz)$ pro upravené časové řady typu c na čistírnách odpadních vod v Ostravě, Brně a Olomouci

Table 4. Some parameters of the transfer functions of relations $Q = f(S, Tvz)$ for c series in WWTPs Ostrava, Brno and Olomouc

	ČOV		
	Ostrava	Brno	Olomouc
$s^2(S_c)$	24,5128	15,8199	13,5764
$s^2(Tvz_c)$	15,6468	13,3503	14,9968
$s^2(Q_c)$	1,4023**	1,0143**	3,9596**
a_1	-0,7179	-0,9057	-0,8831
$b_{1,0}$	2,1560*	4,2649*	1,9262*
$b_{1,1}$	2,3940*	-1,2977*	-0,4371
$b_{1,2}$	-1,7121*	-1,6918*	-0,4887*
$b_{2,0}$	1,0623 ^o	0,9842 ^o	0,6096 ^o
$b_{2,1}$	-1,1486 ^o	-1,0431 ^o	-0,4879 ^o
c_1	-0,4288	-0,4047	-0,7068
c_2	-0,1709	-0,2126	-0,1344
$var(e)$	0,6790**	0,4788**	2,9613**
Rt^2	0,5158	0,5279	0,2521
var	0,4833**	0,3372**	0,9696**
R^2	0,6554	0,6675	0,7551

* číslo je řádu e+003

** číslo je řádu e+009 u ČOV Ostrava a ČOV Brno a řádu e+008 u ČOV Olomouc

^o na číslo se vztahuje $\delta = 1$

Tabulka 5. Některé parametry dynamických přenosových funkcí vztahů $Q = f(S)$ pro časové řady typu d na čistírnách odpadních vod Ostrava, Brno a Olomouc

Table 5. Some parameters of the dynamic transfer functions of relations $Q = f(S)$ for d series in WWTPs Ostrava, Brno and Olomouc

	ČOV		
	Ostrava	Brno	Olomouc
$s^2(S_d)$	24,9830	16,0870	13,8018
$s^2(Q_d)$	1,3667**	1,0115**	4,2362**
$b_{0,aver}$	2,2737*	5,4275*	1,6207*
$b_{1,aver}$	4,2136*	2,7072*	1,0885*
$b_{2,aver}$	0,5693*	0,4234*	0,4710*
Rt^2_{dynam}	0,8929	0,9188	0,5430
c_1	-0,3382	-0,3007	-0,6349
c_2	-0,1958	-0,0647	-0,1333
c_3		-0,0723	
$var(e)$	0,1157**	0,1157**	0,8799**
R^2	0,9153	0,9285	0,7923

* číslo je řádu e+003

** číslo je řádu e+009 u ČOV Ostrava a ČOV Brno a řádu e+008 u ČOV Olomouc

Hodnotíme-li použití dynamických přenosových funkcí proti (ne-dynamickým) přenosovým funkcím podle koeficientu determinace u časových řad po vyloučení cyklických složek, pak dostaneme zhruba stejné závěry. Všeobecně vykazují koeficienty determinace nižší hodnoty než nalezené koeficienty determinace u centrováných časových řad. To lze vysvětlit tím, že vylučování cyklických složek se dělo pro celé období, zatímco centrování bylo prováděno po jednotlivých letech.

Přepočítávání časové řady denních úhrnů srážek podle teploty vzduchu

Jednoduchý přístup ke vztahu rainfall-runoff vychází z předpokladu, že dešťová srážka se v plném rozsahu (po ztrátě) dostane přímo

Tabulka 6. Některé parametry dynamických přenosových funkcí vztahů $Q = f(S)$ pro časové řady typu c na čistírně odpadních vod Ostrava, Brno a Olomouc

Table 6. Some parameters of the dynamic transfer functions of relations $Q = f(S)$ for c series in WWTPs Ostrava, Brno and Olomouc

	ČOV		
	Ostrava	Brno	Olomouc
$s^2(S_d)$	24,5128	15,8199	13,5764
$s^2(Q_d)$	1,4023**	1,0143**	3,9596**
$b_{0,aver}$	2,3248*	5,6247*	1,8627*
$b_{1,aver}$	4,2773*	2,6849*	1,3336*
$b_{2,aver}$	0,6772*	0,5564*	0,6919*
Rt^2_{dynam}	0,8431	0,9119	0,2647
c_1	-0,3615	-0,3076	-0,7268
c_2	-0,2505	-0,0911	-0,1185
c_3		-0,0705	
$var(e)$	0,1583**	0,0766	0,9194
R^2	0,8871	0,9245	0,7679

* číslo je řádu e+003

** číslo je řádu e+009 u ČOV Ostrava a ČOV Brno a řádu e+008 u ČOV Olomouc

Tabulka 7. Některé parametry dynamických přenosových funkcí vztahů $Q = f(S, Tvz)$ pro upravené časové řady d na čistírně odpadních vod Ostrava, Brno a Olomouc

Table 7. Some parameters of the dynamic transfer functions of relations $Q = f(S, Tvz)$ for d series in WWTPs Ostrava, Brno and Olomouc

	ČOV		
	Ostrava	Brno	Olomouc
$s^2(S_d)$	24,9830	16,0870	13,8018
$s^2(Tvz_d)$	70,4978	71,4390	75,6313
$s^2(Q_d)$	1,3667**	1,0115**	4,2362**
$b_{10,aver}$	2,2063*	5,1201*	1,8216*
$b_{11,aver}$	4,1310*	2,8720*	1,2700*
$b_{12,aver}$	0,5245*	0,2941*	0,3857*
$b_{20,aver}$	0,7869*°	0,4441*°	-0,0765*°
$b_{21,aver}$	-1,0388*°	-0,8774*°	-0,5009*°
Rt^2_{dynam}	0,9548	0,9783	0,5566
c_1	-0,0781	-0,0042	-0,6972
c_2	-0,1078	0,0450	-0,0233
$var(e)$	0,0604**	0,0219**	0,9235**
R^2	0,9558	0,9783	0,7820

* číslo je řádu e+003

** číslo je řádu e+009 u ČOV Ostrava a ČOV Brno a řádu e+008 u ČOV Olomouc

° na číslo se vztahuje $\delta = 1$

do kanalizace (rychlý odtok). Přitom část se do kanalizace dostane cestou podzemních vod (pomalý odtok). Tento jednoduchý vztah vyhovuje, pokud nejde současně o akumulaci a tání sněhu. Problém byl proto pokusně řešen tak, že byly časové řady denních úhrnů srážek S (v mm/den) přepočteny podle denních průměrů teplot vzduchu na časové řady přepočtených denních úhrnů srážek SP (v mm/den).

Pro tento přepočet byla vytvořena procedura (funkce) v Matlabu, která tání sněhu modeluje metodou „degree-day“, kde je tání závislé na teplotě vzduchu:

$$M = 0 \quad T_a \leq T_m$$

$$M = C_m * (T_a - T_m) \quad T_a > T_m$$

kde M je rychlost tání sněhu v mm/den
 T_a teplota vzduchu v °C

Tabulka 8. Některé parametry dynamických přenosových funkcí vztahů $Q = f(S, Tvz)$ pro upravené časové řady c na čistírně odpadních vod Ostrava, Brno a Olomouc

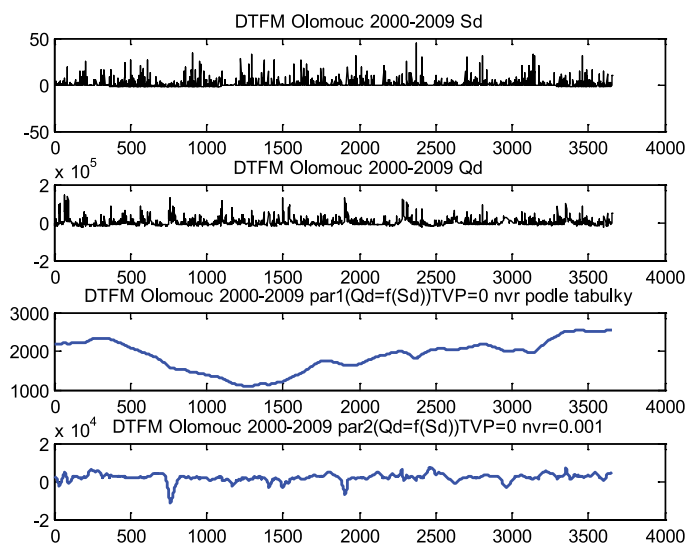
Table 8. Some parameters of the dynamic transfer functions of relations $Q = f(S, Tvz)$ for c series in WWTPs Ostrava, Brno and Olomouc

	ČOV		
	Ostrava	Brno	Olomouc
$s^2(S_d)$	24,5128	15,8199	13,5764
$s^2(Tvz_d)$	15,6468	13,3503	14,9968
$s^2(Q_d)$	1,4023**	1,0143**	3,9596**
$b_{10,aver}$	2,2965*	5,3163*	1,8534*
$b_{11,aver}$	4,1984*	2,7096*	1,4274*
$b_{12,aver}$	0,7550*	0,4570*	0,6132*
$b_{20,aver}$	0,7396*°	0,8439*°	0,3746*°
$b_{21,aver}$	-1,1363*°	-0,6169*°	-0,0427*°
Rt^2_{dynam}	0,8848	0,9493	0,6210
c_1	-0,3134	-0,1765	-0,5699
c_2	-0,2322	-0,1544	-0,1877
$var(e)$	0,1274**	0,0480**	0,7354**
R^2	0,9092	0,9527	0,8143

* číslo je řádu e+003

** číslo je řádu e+009 u ČOV Ostrava a ČOV Brno a řádu e+008 u ČOV Olomouc

° na číslo se vztahuje $\delta = 1$



Obr. 1. Průběh časových řad S_d a Q_d a parametrů $par1$ a $par2$ jednoduché dynamické přenosové funkce na ČOV Olomouc v letech 2000–2009

Fig.1. The course of the time series S_d and Q_d and the course of the parameters $par1$ and $par2$ of the simple dynamic transfer functions in WWTP Olomouc in years 2000–2009

T_m teplota, při níž dochází k tání v °C
 C_m „melt-rate factor“ v mm/(°C*den)

Procedura zavádí tyto vstupní proměnné: S (časová řada denních úhrnů srážek), Tvz (časová řada teplot vzduchu), N (délka časových řad), $mez1$ (teplota vzduchu, při níž se dešťové srážky mění na sněhové), $mez2$ (teplota vzduchu, při níž začíná tání sněhu) a r (rychlost tání v mm/(°C*den)). Procedura při tom pracuje se vzniklou zásobou sněhu koncem i -tého dne, množstvím roztátého sněhu během i -tého dne a se „zbytkem“ zásoby sněhu na konci i -tého dne. Výstupem z procedury je časová řada přepočtených denních úhrnů srážek SP (v mm/den) [4].

Mezní teploty $mez1$ a $mez2$ je nutno zadat, při provedených výpočtech byly obě považovány za rovné 0 °C. Proměnnou r je třeba

odhadnout. Pro provádění výpočty byla hodnota proměnné r odhadnuta metodou pokusu a omylu s kritériem nejvyšší hodnoty koeficientu determinace vztahu $Q = f(S_p)$.

Použití přepočtených časových řad denních úhrnů srážek při výpočtu přenosových funkcí přineslo určité malé zvýšení vypočtených koeficientů determinace.

Roční kolísání parametrů přenosových funkcí vztahu $Q_d = f(S_d)$ na ČOV Olomouc v průběhu let 2000–2009

Na obr. 1 je (v prvních dvou dílčích grafech) znázorněn průběh časových řad S_d a Q_d a (v dalších dvou dílčích grafech) průběh parametru par jednoduché dynamické přenosové funkce dané vstupní proměnnou $nn = [0 \ 1 \ 0 \ 0]$. Parametr par byl vypočten jednak pomocí hodnoty proměnné nvr vypočtené procedurou DTFMOPT ($nvr = 2,332e - 006$) a označen jako $par1$ a jednak pomocí hodnoty zvolené ($nvr = 0,001$) a označen jako $par2$.

Z obrázku je zřejmé, že s vypočtenou hodnotou proměnné nvr ($nvr = 2,332e - 006$) se získá vyhlazený graf parametru dynamické přenosové funkce, zatímco při volbě větší hodnoty nvr (zvolena hodnota $nvr = 0,001$) se projeví větší kolísání parametru $par2$ a jeho větší souvislost s kolísáním proměnných S_d a Q_d .

V tabulce 9 jsou pak uvedeny výsledky aplikace složitější přenosové funkce $nn = [1 \ 2 \ 0 \ 3]$ po letech. Z tabulky je zřejmé, že jednotlivé parametry přenosové funkce vztahu $Q_d = f(S_d)$ na ČOV Olomouc v průběhu let poměrně silně kolísají. Obdobná situace je na ČOV Ostrava a ČOV Brno [4].

Závěr

Zhodnocení vztahu mezi denními úhrny srážek (popř. plus teplotami vzduchu) a množstvím odpadních vod na třech ČOV prokázalo, že tento vztah lze využít v případě výpadku měření množství odpadních vod na čistírně odpadních vod k doplnění nebo k modelování časových řad množství odpadních vod.

Hodnocení dále ukázalo určitou setrvačnost množství odpadních vod (poměrně vysoká hodnota koeficientu a_1 v přenosových funkcích v některých letech). Hodnocení konečně ukázalo poměrně velké meziroční změny všech parametrů přenosových funkcí vztahů $Q_d = f(S_d)$.

Hodnocení rovněž ukázalo, že aplikace dynamických přenosových funkcí přináší vyšší koeficienty determinace. Problémem při modelování pomocí dynamických přenosových funkcí však je, jak nalézt předpis pro časové změny koeficientů v modelech při použití dynamických přenosových funkcí.

Literatura

- [1] Nesměrák, I. (2012) Pravděpodobnostní hodnocení provozu čistírny odpadních vod. VTEI, roč. 54, č. 5, s. 7–9, příloha Vodního hospodářství č. 10/2012.
- [2] Nesměrák, I. (2011) Přenosové funkce mezi denním úhrnem srážek S a množstvím odpadních vod Q na třech ČOV (souhrnná zpráva). Praha, VÚV TGM, listopad 2011.
- [3] Nesměrák, I. (2013a) Modelování teploty odpadních vod na přítoku do čistírny odpadních vod. VTEI, roč. 55, č. 1, s. 13–16, příloha Vodního hospodářství č. 2/2013.

Tabulka 9. Změny parametrů přenosové funkce $Q_d = f(S_d)$ na ČOV Olomouc v průběhu let 2000–2009

Table 9. Changes of the transfer functions parameters of relations $Q_d = f(S_d)$ in WWTP Olomouc in years 2000–2009

Rok	a_1	b_0	b_1	Rt^2	c_1	c_2	c_3	R^2
2000	-0,7845	2,5947	-0,5425	0,1015	-0,7924	-0,2351	0,1224	0,8318
2001	-0,7644	2,1983	-0,1440	0,5463	-0,6798	-0,0465	-0,0231	0,7397
2002	-0,8696	1,8470	-1,0855	-0,0538	-0,9020	-0,0803	0,1261	0,7414
2003	-0,1693	1,0731	1,2375	0,1436	-0,7734	-0,1705	0,1553	0,7426
2004	-0,9960	1,5738	-1,5728	0,0964	-0,7273	-0,2558	0,1330	0,7444
2005	-0,9987	1,4736	-1,2887	-0,1509	-1,0084	0,0643	0,0694	0,7654
2006	-0,6378	1,5062	0,5791	0,2475	-0,6313	-0,4201	0,1122	0,8936
2007	-0,2460	2,3098	0,5161	0,3778	-0,4827	-0,1545	-0,1720	0,7019
2008	-0,0967	1,7802	0,5227	0,3151	-0,4801	-0,1572	-0,2527	0,7777
2009	-0,3699	2,6357	0,0337	0,3203	-0,5778	-0,2001	-0,0103	0,6917
Průměr	-0,5933	1,8992	-0,1744	0,1944	-0,7055	-0,1656	0,0260	0,7630
sm.odch.	0,3267	0,4924	0,8793	0,1981	0,1631	0,1239	0,1332	0,0571
v	0,5507	0,2593	5,0405		0,2311	0,7482	5,1169	
2000–2009	-0,3976	1,8883	0,3610	0,1545	-0,7325	-0,1703	0,0436	0,7607

parametry b_0 a b_1 jsou řádu $e+003$

- [4] Nesměrák, I. (2013b) Přenosové funkce mezi denním úhrnem srážek S a množstvím odpadních vod Q na třech ČOV. Jednoduchý model sněhové zásoby a tání sněhu (souhrnná zpráva). Praha, VÚV TGM, březen 2013.

Ing. Ivan Nesměrák
Ivan.Nesmerak@seznam.cz
Příspěvek prošel lektorským řízením.

The Wastewater Load Modelling at Wastewater Treatment Plant Inflow (Nesměrák, I.)

Key words

wastewater treatment plant – time series – transfer functions – wastewater load – air temperature

The wastewater load modelling at wastewater treatment plant inflow is based on the evaluation of transfer functions between daily sum of rainfall and possibly the daily average of air temperature and daily wastewater load. There were evaluated the transfer functions and dynamic transfer functions by means of programme packet CAPTAIN in Matlab. There were found relative high determination coefficients of transfer functions.

The evaluation showed certain inertia of the daily wastewater load (relatively high value of the a_1 parameter of transfer function in some years). The evaluation showed also relatively high variability of the transfer functions parameters of relations $Q_d = f(S_d)$ among years.

Finally, the evaluation showed the higher coefficients of determination by the application of dynamic transfer functions, but there is a problem in dynamic transfer functions modelling – how to define the changes of the model coefficients in the application of dynamic transfer functions.

Analytika odpadů III

Ve dnech **13.–14. 11. 2013** se uskuteční v Hustopečích v hotelu Centro již třetí ročník konference Analytika odpadů. Konference, zaměřená na využití odpadů a otázku „odpad versus výrobek“, bude mít tyto tematické okruhy:

1. Obecné otázky analytiky odpadů

Aktuální legislativa a připravované legislativní záměry • Normy pro analýzu odpadů vydané v r. 2013 • Hodnocení analytických výsledků • Automatické vzorkování odpadu v praxi • Stanovení šestimocného chromu aj.

2. Biologicky rozložitelné odpady

BRO obecně • Využití BRO v zemědělství • Vzorkování a analytika

zemín • Analytika organických hnojiv vyrobených z BRO • Stanovení fytotoxicity odpadů aj.

3. Stavební, demoliční a průmyslové odpady

Odpady demoliční, výkopové zeminy • Liniové stavby – železnice, silnice • Semena invazivních rostlin ve výkopových zeminách

4. Sedimenty, kaly z ČOV

Mikrobiologická a ekotoxikologická hodnocení

Součástí konference bude laboratorní projekt a prezentace firem.

Program konference bude zajímavý pro producenty odpadů, odpadové hospodáře, ekology, vzorkaře, analytiku, pověřené osoby, zástupce veřejné správy a poradenských firem, úředníky a další.

Mezinárodní spolupráce ve výzkumu

Výzkumní pracovníci VÚV TGM, v.v.i., se podílejí na řešení některých mezinárodních projektů nebo úkolů, při nichž spolupracují se zahraničními partnery. Následující přehled uvádí projekty řešené v průběhu loňského roku, práce na nich většinou pokračují i letos.

Kontinuální simulace pro odhad četnosti povodní v rámci odhadu nejistot metodou GLUE (COST)

Projekt řešený v letech 2010–2012 podporoval akci COST EU European procedures for flood frequency estimation (FloodFreq) koordinovanou Dr. Kjeldsenem z CEH Wallingford.

V rámci úkolu byl vymodelován soubor simulovaných kontinuálních řad odtoku pro současné klima o délce 100 tisíc let pro profil Skalka na Ohři. Soubor obsahuje hydrogramy, které vznikly v důsledku různých hydrometeorologických situací, a to na různé vlhké povodí. Hydrogramy byly vybírány z 19 stotisíciletých řad. Řešení je popsáno v příspěvku Výzkum teoretických povodňových vln pro vodní dílo Skalka s dlouhou průměrnou dobou opakování (VTEI č. 2/2013).

Kritické zdrojové oblasti fosforu v povodí

Cílem projektu americko-české spolupráce je získat detailní poznatky o vyplavování fosforu ze zemědělských pozemků a/nebo difuzním znečištěním způsobeném vyplavováním z malých obcí nebo objektů s nedostatečně řešeným odstraňováním splašků.

Práce probíhají na čtyřech zemědělských povodích s různou intenzitou zemědělské výroby. V roce 2012 byla zkonstruována sestava pro umělý déšť s cílem pracovat s intenzitami, které se vyskytují jen velmi zřídka. Dále byla ověřena nepřítomnost pesticidů obsahujících fosfor na jednom povodí a proveden předběžný pokus se skrápěním na dvou povodích.

Kontrola vnitřních stavů systému při kontinuálních simulacích četnosti povodní na základě terénních dat o nasycenosti povodí

Projekt se zaměřuje na proměnlivě nasycené oblasti v povodích z hlediska frekvence tvorby povodňového odtoku.

K řešení projektu jsou využívána data o nasycenosti z malých povodí v Jizerských horách. Zvoleným modelem je TOPMODEL a nejistoty jsou odhadovány metodou GLUE – Generalised Likelihood Uncertainty Estimation. Řešení probíhá ve spolupráci s univerzitou v Lancasteru.

Matematické modelování vlivu vltavské kaskády na povodně na Labi

Projekt, jenž byl řešen v letech 2010–2012 na základě smlouvy mezi VÚV TGM, v.v.i., a Federálním hydrologickým ústavem se sídlem v Koblenci, vyhodnocuje vliv vltavské kaskády na povodně na Labi, a to

jak na českém, tak na německém úseku Labe. Účelem bylo posoudit transformační účinky vltavské kaskády pro několik typů povodňových událostí a vyhodnotit její vliv na kulminační průtoky ve vybraných profilech v ČR a SRN.

V roce 2012 byly dokončeny výpočty pro jednotlivé povodňové události a vytvořena dvoujazyčná závěrečná zpráva. Pro simulaci manipulace na vltavské kaskádě v průběhu povodňové události byl vybrán multifunkční modelový nástroj Aqualog, který je v současné době používán jako předpovědní model pro srážko-odtokové jevy v povodí Labe. Pro výpočty mimo vltavskou kaskádu byl vybrán hydrodynamický model HEC-RAS, který je v podmínkách ČR již běžně používán. Projekt se zaměřil na čtyři kontrolní profily, a to Praha (Chuchle), Ústí nad Labem, Drážďany a Barby.

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

Cílem projektu je ochrana vodních zdrojů a objasnění příčin klesání hladiny podzemních vod v přeshraničních oblastech Hřensko–Křinice/Kirnitzsch a Petrovice–Lückendorf–Johnsdorf–Oybin. Výsledkem budou společné strategie ochrany podzemních vod v těchto oblastech. Jde o projekt podporovaný Evropským fondem pro regionální rozvoj.

V rámci projektu probíhá zpracování modelů proudění podzemních vod, sledování vývoje vydatnosti pramenů a pramenných oblastí, stáří a míšení vod, vlivu klimatické změny na celkovou vodnost obou oblastí a studium fauny podzemních vod. Z realizovaných výstupů v r. 2012 lze vyzdvihnout informace o projektu a stavu vodních zdrojů podzemních vod ve sledovaných oblastech pro Stálý výbor Sasko-Česko-německé komise pro hraniční vody a výsledky první etapy zpracování modelů proudění podzemních vod pro vymezené oblasti.

ETZ Projekt Polder Soutok – Renaturierungskonzept

Práce probíhají na základě smlouvy s rakouskou firmou Via Donau, která je partnerem přeshraničního projektu Polder Soutok. Hlavním partnerem projektu ve vztahu k fondu Evropské územní spolupráce, který celý projekt finančně podporuje, je Povodí Moravy, s. p.

Celý projekt se zabývá využitím prostoru nad soutokem Moravy a Dyje pro protipovodňovou ochranu, včetně realizační části. Veškerá opatření na tocích nesmějí podle Rámcové směrnice pro vodní politiku zhoršit stav vod, proto je v projektu kladen důraz na ekologické dopady a zlepšování morfologického stavu zejména Dyje.

Dále se pracovníci VÚV podílejí na dalších projektech, které mají návaznost na mezinárodní spolupráci, lze uvést např. projekty Potenciální povodňové škody a rizika v povodí dolní Moravy a Dyje – mezinárodní projekt CEframe, do jehož řešení byli zapojeni zástupci Rakouska, Slovenska, Maďarska a České republiky, Hodnocení nebezpečí vzniku sesuvů a povodní z ledovcových jezer, Cordillera Blanca, Peru, Vymezení zranitelných oblastí a ekonomický dopad implementace nitrátové směrnice 91/676/EHS v Chorvatsku aj.

VTEI

VODOHOSPODÁŘSKÉ
TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

Water Management Technical and Economical Information

Odborný dvouměsíčník specializovaný na výzkum v oblasti vodního hospodářství

Redakční rada: RNDr. D. Baudišová, Ph.D., Ing. Š. Blažková, DrSc., Ing. P. Bouška, Ph.D., prof. Ing. A. Grünwald, CSc., doc. Ing. A. Havlík, CSc., prof. Ing. P. Pitter, DrSc., prof. RNDr. A. Sládečková, CSc., prof. Ing. J. Zezulák, DrSc.

Ročník 55

ISSN 0322 - 8916
MK ČR 6365

**VÚV
TGM**

Výzkumný ústav vodohospodářský
T. G. Masaryka, v.v.i.
Podbabská 30
160 00 Praha 6
IČO 00020711

Kontakt: Mgr. S. Garciova
tel.: 220 197 282, e-mail: garciova@vuv.cz