

VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

VTEI / 2020 / 2

TÉMA

Čistá voda – zdravé město

26 / Zkvalitnění monitoringu biologické kvality pitných vod

37 / Komunální odpadní voda jako diagnostické médium hlavního města Prahy

54 / Rozhovor s RNDr. Markem Liškou, Ph.D., vedoucím útvaru laboratoří Povodí Vltavy

Vodovodní a odvodňovací systém břevnovského kláštera

Vodovodní systémy vždy byly a jsou důležitým prvkem každého většího obydlí. Pro každé sídlo je systém vytvořen originálně, aby se přizpůsobil podmínkám daného místa. Historické vodovodní systémy byly tvořeny z různých materiálů – ze dřeva, kamene, olova či pálené hlíny a využívaly pro svůj chod různé druhy vod – srážkové, užitkové, splaškové, podzemní i pitné. Jejich funkcí je i odvětrávání a odvlhčování zdiva, jako je tomu i v případě vodovodního systému břevnovského kláštera.

Vodovodní a odvětrávací systém na Břevnově dal zhotovit ještě před založením samotného kláštera Boleslav II. na konci prvního století. Vybrané místo pro klášter bylo totiž zmáčené, jelikož okolo kláštera pramení potok

Brusnice s několika prameny. Systém se skládá celkem z pěti hlavních štol a jejich celková délka je jeden kilometr. Odvětrávací štolky měly za úkol odvádět prosakující vodu z krajiny, odvětrávat zdivo, a chránit tak základy před promáčením budov. Vodovodní systém zas měl za úkol přivádět vodu z pramenů a zároveň proplachovat a odvádět splaškové vody. Součástí vodovodního systému jsou i nádrže na vodu, „umývárny“ a různé kanálky a kamenné žlaby. V současnosti byly štolky obnoveny, a plní tak svou funkci jako za dob zakladatele kláštera českého knížete Boleslava II.

Redakce



Obsah



- 3 Úvod**
- 4 Projekt Čistá voda – zdravé město: Cizorodé látky ve vodách podzemních, povrchových a odpadních jako důsledek lidské činnosti**
Přemysl Soldán
- 6 Časoprostorová dynamika vnosu organických látek do vodárenské nádrže Švihov**
Tomáš Mičaník, František Sýkora, David Chrastina, Nikola Cielecká, Veronika Kucharczyková, Alena Kristová, Tomáš Ocelka, Jiří Oceánský
- 17 Testování sorpčních filtrů na bázi granulovaného aktivního uhlí pro účely dočišťování pitné vody**
Tomáš Mičaník, Jiří Oceánský, Jiří Lisník, Tomáš Ocelka
- 26 Zkvalitnění monitoringu biologické kvality pitných vod**
Přemysl Soldán, Libor Rambousek
- 32 Prioritní a prioritní nebezpečné látky v říčních sedimentech v blízkosti Prahy**
Stanislav Juráň, Pavel Sedláček, Kateřina Sovová, Lucie Vysloužilová
- 37 Komunální odpadní voda jako diagnostické médium hlavního města Prahy**
Věra Očenášková, Petr Tušil, Diana Marešová, Danica Pospíchalová, Nikola Cielecká
- 42 Stanovení vybraných drog a jejich metabolitů v odpadních vodách metodou kapalinové chromatografie**
Danica Pospíchalová, Diana Marešová, Věra Očenášková, Tereza Šafránková, Eva Bohadlová
- 48 Využití moderních analytických metod při řešení rizik a tvorbě územních strategií**
Andrea Hrušková, Lubor Hruška
- 53 Autoři**
- 54 Rozhovor s RNDr. Markem Liškou, Ph.D., vedoucím útvaru laboratoří Povodí Vltavy**
Tomáš Mičaník
- 56 Odborné akce ČVTVHS, z. s., v roce 2020**
Václav Bečvář
- 57 Obsah časopisu VTEI – ročník 2019**
Redakce
- 60 Zesnul prof. Ing. Pavel Gabriel, DrSc., dr. h. c.**
Odbor hydrauliky, hydrologie a hydrogeologie





Vážení čtenáři,

pomalou nám skončila zima, která ani jako zima nevypadala. Zařadila se tak mezi další suché epizody, na které si už začínáme zvykat. Přesněji řečeno, na které si už musíme začít zvykat. Alespoň se nám však stačily ve většině případů doplnit zásoby vody, které nutně potřebujeme na udržení ekosystémů v řekách a na ředění odpadních vod, i když u Orlíku to napouštění bude ještě chvíli trvat. S podzemní vodou to však nevypadá dobře a ani deštivý únor nám zásoby vody pod zemí nepomohl doplnit. Sucho je ale tentokrát převládáno jiným útočníkem, kterým je koronavirus. Oproti suchu je rychlejší, zákeřnější a někdy i smrtelný. Opatření, která vláda vyhlásila, jsou správná, ale běžný život nám dost omezují. I vydání tohoto čísla nebylo jednoduché a ani doručování v rámci opatření. Pevně doufám, že naši zaměstnanci se budou moci již brzo opět dostat do terénu, aby mohli dokončit rozpracované projekty, dokud to ještě bude možné, a aby tak získali nová témata, se kterými Vás budou moci seznámit. Na druhou stranu nám potřebné tipy přináší měsíční, kteří chtějí zachraňovat svět, a kombinace virus a pitná voda je přitahuje jako magnet. Je až neuvěřitelné, s jakou vehemencí se z nás snaží získat doznání, že řešení máme, ale jen o tom nevíme, nebo to nechceme zkoumat, případně že řešení již dokonce víme, ale nesmíme sdělit. Je zajímavé, že někteří z nich jsou i universitního vzdělání, zapojení do

výzkumu a do výuky nastupující mladé generace. V každém případě se toto číslo VTEI kvality vod dotkne a některá řešení zmíní, takže možná ti měsíční mají svým způsobem pravdu.

Doufám, že toto číslo bude pro Vás příjemným oživením v trochu nudném domácím prostředí, a buďte ubezpečeni, že pokud budeme řešení koronaviru znát, tak je určitě zveřejníme.

Přeji příjemný zážitek z četby a noste roušky!



Ing. Tomáš Urban
ředitel VÚV TGM, v. v. i.

Projekt Čistá voda – zdravé město: Cizorodé látky ve vodách podzemních, povrchových a odpadních jako důsledek lidské činnosti

V důsledku antropogenních vlivů se do životního prostředí, tedy i do vod a říčních sedimentů, může dostávat celá řada cizorodých látek. Tyto kontaminanty následně více či méně ovlivňují nejen organismy vodních ekosystémů, ale pokud se dostanou do zdrojů pro výrobu pitných vod, také zdraví člověka. Tento dopad se pak projevuje nejen na životním prostředí, ale také přímo či nepřímo v kvalitě života lidské populace. Abychom dané riziko co nejvíce minimalizovali, musíme znát obsah cizorodých látek v prostředí. Analýzy vod a říčních sedimentů podávají informaci nejen o vlastní kvalitě sledovaných matric, ale také o možných příčinách daného stavu, to je o významných zdrojích znečištění v povodí apod. V případě dlouhodobého sledování je pak možné vysledovat i trendy vývoje jakosti životního prostředí.

Náš projekt se zaměřil na zvýšení informovanosti a také ochrany obyvatelstva na území hlavního města Prahy. Hlavním cílem výzkumu je omezení potenciálního zdravotního rizika, daného možnou kontaminací pitné a povrchové vody pro obyvatele Prahy, zvýšit úroveň poznání o příčinách a důsledcích znečištění vod povrchových a odpadních a podpořit zavedení nových environmentálně příznivých technologií a postupů do praxe. To odpovídá Národní RIS3 strategii a Regionální inovační strategii hlavního města Prahy.

Komplexnímu přístupu ke studiu daného problému odpovídá výzkumné zaměření čtyř konceptů, řešených pod jeho hlavičkou. V následujících příspěvcích jsou popsány zkušenosti a výsledky získané v těchto konceptech.

RNDr. Přemysl Soldán, Ph.D.
vedoucí pobočky Ostrava



Časoprostorová dynamika vnosu organických látek do vodárenské nádrže Švihov

TOMÁŠ MIČANÍK, FRANTIŠEK SÝKORA, DAVID CHRASTINA, NIKOLA CIELECKÁ, VERONIKA KUCHARCZYKOVÁ, ALENA KRISTOVÁ, TOMÁŠ OCELKA, JIŘÍ OCEÁNSKÝ

Klíčová slova: povrchová voda – pasivní vzorkování – vodárenská nádrž Švihov – znečištění – pesticidy

SOUHRN

Tento příspěvek se věnuje dynamice vnosu nepolárních organických látek a polárních pesticidů do vodárenské nádrže Švihov v povodí Želivky během celé vegetační sezony pomocí pasivních vzorkovačů. Monitoring probíhal od dubna do listopadu 2018 na devíti přítocích do VN Švihov a na vstupu surové vody do ÚV Želivka, a. s. Pro záchyt širokého spektra látek bylo použito více typů membrán: SR (měřeno 61 látek), SPMD (měřeno 43 látek) a POCIS (měřeno 38 látek). Doba jejich expozice ve vodě činila 30 dní. Během pasivního monitoringu byly zaznamenávány srážko-odtokové poměry z on-line dostupných měřicích stanic v povodí Želivky.

V přítocích do VN Švihov bylo pasivním monitoringem identifikováno přes 80 organických látek. Z nepolárních organických látek byla potvrzena trvalá přítomnost již dávno nepoužívaných organochlorových pesticidů HCH a DDT. Poměr zastoupených kongenerů PCB odpovídá dřívějšímu používání výrobků obsahujících Delor 106. Výskyt pesticidů v membránách odpovídal druhové skladbě pěstovaných zemědělských plodin v povodí jednotlivých přítoků. Míra znečištění vod závisela významně na srážko-odtokových poměrech, erozi půdy a charakteru dílčích povodí. K nejvíce znečištěným přítokům náleží Medulán a Lohenický potok. V případě některých pesticidů převažoval obsah metabolitů nad mateřskou látkou. Nejvyšší obsahy v membránách byly zaznamenány v případě metazachloru (max. 19 000 ng/membránu), metolachloru (max. 1 300 ng/membránu) a terbuthylazinu-2-hydroxy (max. 1 800 ng/membránu), z nepolárních látek fluoranthenu (683 ng/membránu).

ÚVOD

Tento článek představuje výsledky řešení projektu Čistá voda – zdravé město, Konceptu I: „Studie vnosu pesticidů do vodárenské nádrže Švihov (Želivka) s využitím nových vzorkovacích technik a odstranění organických látek ze sorpčních filtrů za ozonizací vysoce-účinnou chemickou destrukcí“ a je zaměřen na dynamiku vnosu organických látek vybranými přítoky do vodárenské nádrže Švihov.

Vodárenské dílo Švihov (dále VN Švihov) v povodí řeky Želivky je z hlediska objemu povrchové vody v zásobním prostoru i z pohledu odebíraného množství pro úpravu na vodu pitnou nejvýznamnějším vodárenským zdrojem v České republice. Pitnou vodou z úpravny vody Želivka, a. s., je zásobováno obyvatelstvo hlavního města Prahy, středočeské oblasti a části jihočeské a východočeské oblasti v objemu až do výše 5,25 m³/s [1]. Plocha povodí k hrázi vodárenské nádrže činí 1 178 km² a zasahuje na území tří krajů a šesti okresů. Území je významně ovlivněno zemědělskou činností, orná půda činí téměř

polovinu celkové plochy povodí. Povodí kolem VN Švihov je zastavěno lidskými sídly převážně vesnického charakteru. Zemědělsky obhospodařované plochy se nacházejí i kolem vlastní VN Švihov, zvláště na straně levostranných přítoků do nádrže, kde plocha povodí je několikanásobně větší než u pravostranných přítoků. Pěstební činnost je z významné části své plochy prováděna na svažitých pozemcích nezřídka až na samou hranici lesního porostu a v některých případech až k hranici ochranného pásma vodního zdroje I. stupně. Hlavním a hydrologicky nejvýznamnějším přítokem do vodárenské nádrže je řeka Želivka.

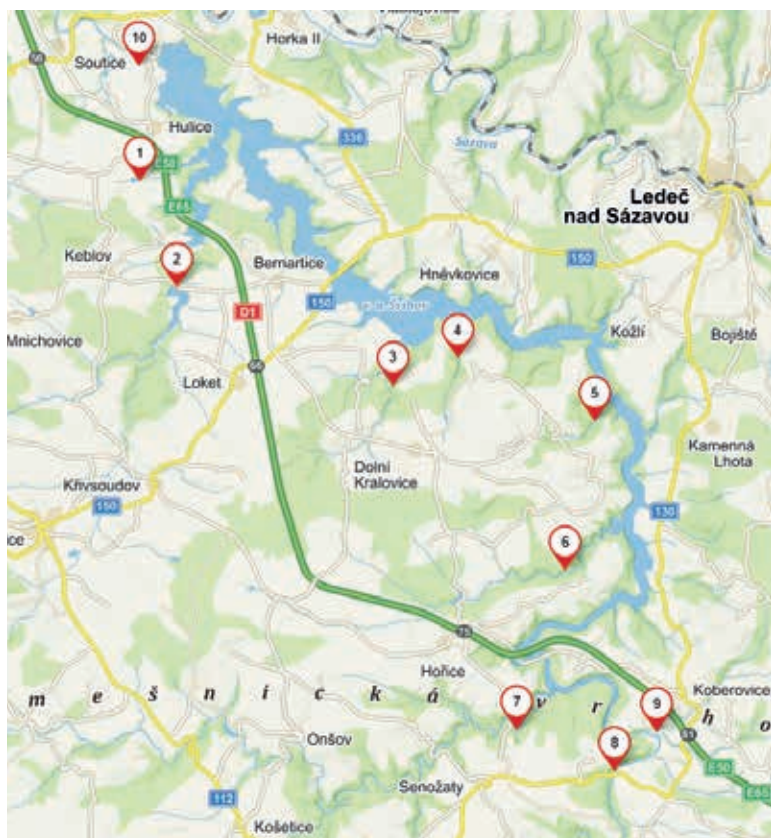
Dlouhodobým monitoringem správce tohoto povodí (Povodí Vltavy, s. p.) je potvrzeno, že přípravy na ochranu rostlin se povrchovou erozí i podzemními vodami dostávají do vodních toků a do soustavy vodních nádrží v povodí Želivky včetně VN Švihov [2, 3]. To je dáno jak fyzikálně-chemickými vlastnostmi jednotlivých složek rostlinolékařských přípravků (rozpuštěnost ve vodě, přítomnost smáčedel pro snížení povrchového napětí kapaliny), tak i morfologií terénu (půdní a větrná eroze), druhovou skladbou zemědělských plodin a klimatickými vlivy (srážko-odtokovými poměry).

Řešení projektu Čistá voda – zdravé město, Koncept I bylo zaměřeno na studium vnosu polárních a nepolárních organických látek vybranými nejvýznamnějšími přítoky do VN Švihov. Jedním z hlavních cílů Konceptu I bylo zvýšení úrovně poznání o časoprostorovém vnosu pesticidů do VN Švihov pomocí tzv. pasivních vzorkovačů. Ty byly aplikovány po celou dobu jedné vegetační sezony od dubna do listopadu 2018. Vzorky exponovaných membrán ze vzorkovačů byly analyticky zpracovány. Po celou dobu pasivního monitoringu byla zaznamenávána a následně zpracovávána on-line dostupná klimatologická a hydrologická data ze stanic nacházejících se v povodí Želivky (v denním a hodinovém kroku).

METODY PASIVNÍHO MONITORINGU POVRCHOVÝCH VOD

Výběr lokalit

Pro pasivní monitoring bylo vybráno celkem devět přítoků do VN Švihov: páteřní tok Želivka, sedm levostranných a jeden pravostranný přítok. Jako poslední monitorovací bod byl zvolen nátok surové vody v rozdělovacím objektu ÚV Želivka. Rekognoskační terénu během první vzorkovací kampaně byla vybrána vhodná místa pro aplikaci pasivních vzorkovačů tak, aby jejich ponoření ve vodě bylo zajištěno i v letních měsících při výrazně nižších průtocích a zároveň aby nebyla nápadná a bylo minimalizováno riziko neoprávněné manipulace nebo zcizení vzorkovačů. Lokalizace vzorkovacích míst je znázorněna na obr. 1.



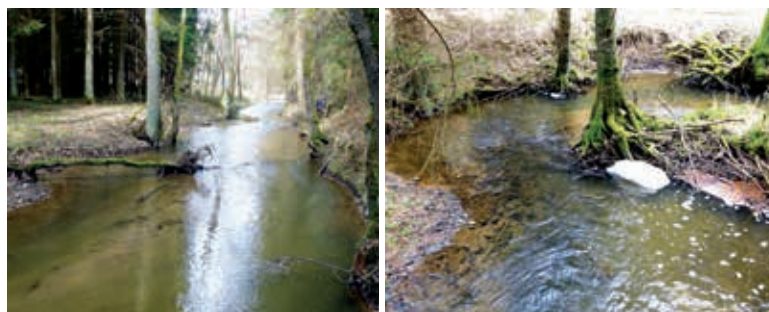
Obr. 1. Lokalizace profilů na přítocích do VN Švihov pro pasivní vzorkování
Fig. 1. Monitoring sites on tributaries around WR Švihov used for passive sampling

Popis lokalit je uveden v *tabulce 1*. První vzorkovací kampaň byla zahájena 3. dubna 2018. Doba expozice membrán činila v průměru 30 dní (28 až 32 dní). Při každé následující vzorkovací kampani byly nejprve deinstalovány membrány z předchozí vzorkovací kampaně a instalovány membrány nové. Celkem proběhlo osm vzorkovacích kampaní. Poslední expozice byla ukončena 3. prosince 2018.

Ukázka lokalit s umístěnými pasivními vzorkovači je na *obr. 2*.

Tabulka 1. Popis vzorkovacích lokalit
Table 1. Sampling sites specification

Č.	Název toku	Délka toku [km]	Lokalizace profilu	Ř. km
1	Medulán	2,5	pod rybníkem	1,88
2	Sedlický p.	23,6	u hráze VN Němčice	6,91
3	Tomický p.	6,45	mezi ústím a místní komunikací	2,12
4	Zahrádčický p.	4,0	pod obcí Zahrádčice	0,9
5	Šetějovický p.	4,0	ústí	0,95
6	Blažejovický p.	14,05	cca 1,3 km pod Šálkovým mlýnem	1,97
7	Martinický p.	38,4	pod limnigrafem u Jankovského Mlýna	2,2
8	Želivka-Miletín	104	pod křížením toku se státní silnicí č. 130	42,8
9	Lohenický p.	3,9	ústí u Bělského Dvoru	0,1
10	ÚV Želivka surová voda	-	nátok v rozdělovacím objektu ÚV Želivka	-



Obr. 2. Lokalita č. 6 a 7
Fig. 2. Sampling site No. 6 and 7

Výběr polutantů a typů membrán

Důležitým krokem řešení bylo zaměřit se na pesticidy, které se v povodí Želivky jeví jako nejvíce relevantní. Jedním ze zdrojů dat byla evidence spotřeb účinných látek rostlinolékařských přípravků vedená Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským (ÚKZÚZ) v jednotlivých okresech v povodí Želivky [4]. Dalším zdrojem dat byla rešerše publikovaných výsledků aktivit správce Povodí Vltavy, s. p. [2, 3]. Bylo vybráno celkem 38 pesticidů (včetně metabolitů), které byly v povrchových vodách nacházeny s nejvyšší četností nebo ve významných koncentracích a tři organické látky, které se v povrchových vodách v povodí Želivky trvale vyskytují (DEET, benzotriazol a benzotriazol-methyl). Glyfosát a AMPA byly do pasivního monitoringu zařazeny vzhledem k současné celoevropské diskusi ohledně jejich možného rizika pro zdraví člověka [5–7]. Vzhledem k tomu, že se jedná o polární látky, byly pro pasivní monitoring zvoleny vzorkovače typu POCIS (Polar Organic Compound Integrative Sampler), a to typ POCIS-Pes a v menší míře POCIS-Pharm. Pro záchyt silně polárního glyfosátu a jeho metabolitu AMPA byl použit POCIS-Glyphosate.

Pasivní monitoring se zaměřil také na nepolární látky, které se do povrchových vod dostávají také komunálními odpadními vodami a atmosférickou depozicí. Jedná se o organochlorové pesticidy (OCP), polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU), polychlorované bifenylly (PCB) a chlorbenzeny (CB). Tyto látky byly monitorovány pomocí tzv. SPMD membrán (SemiPermeable Membrane Device) obsahujících PRC a souběžně s nimi byly použity SR membrány (Silicone Rubber). Přehled vzorkovacích kampaní a typů nasazených membrán je uveden v *tabulce 2*.

Pasivní vzorkování vod

Pasivní vzorkování je poměrně novou technikou monitorování vod založenou na zachytu polutantů pomocí membrán, které podle použitých materiálů a/nebo sorbentů zachytávají z okolního prostředí specifickou skupinu látek [8]. Vzhledem k tomu, že doba jejich expozice je několik dní až týdnů, může tato vzorkovací technika podchytit náhodné emise do prostředí. Proto je vhodná pro zachyt pesticidů, které jsou do vod vyplavovány v závislosti na době jejich aplikace, chodu a intenzitě srážek.

Membrány byly na lokalitách č. 1 a 2 aplikovány v koších, na ostatních lokalitách v podlouhlých úzkých koších, aby se při nízkých průtocích snížilo riziko jejich vymoření (a tím znehodnocení). Do jednoho podlouhlého koše je možné vložit dvě membrány (1x SR + 1x SPMD) nebo jednu až tři membrány POCIS mini. Ukázky jsou na obr. 3.



Obr. 3. Membrány: SR (vlevo nahoře), POCIS (vlevo dole), POCIS mini (vpravo)
Fig. 3. Membranes: SR (left up), POCIS (left down), POCIS mini (right)

Během manipulace s SPMD a SR membránami (při jejich vyjmutí z transportního obalu a při manipulaci s nimi) byly exponovány tzv. transportní blanky, v každé kampani 1x SPMD a 1x SR pro kontrolu, zda během nasazování membrán do držáků nedochází k jejich kontaminaci z okolního prostředí. V každé kampani byly vždy na jedné z deseti lokalit všechny typy aplikovaných membrán zdvojeny. Vzhledem k tomu, že jsme se v počátečních vzorkovacích kampaních ojediněle setkali s okusováním SPMD membrán, byly tyto vloženy do stahovací ochranné sítě s velikostí mřížky 500 mikronů. Na lokalitách, kde se tento problém nevyskytl, nebylo potřeba vzorkovací koše takto chránit. Po celou dobu jsme se neseťkali s problémem vandalizmu nebo odcizení

vzorkovacích košů. Pouze v jednom případě na lokalitě č. 5 (Zahrádkický potok) došlo při přivalemé dešti enormní intenzity k utržení dvou vzorkovacích košů, kdy jeden zůstal ponořen ve vodě, druhý nebyl nalezen. Ukázka exponovaných membrán je na obr. 4.



Obr. 4. Exponované membrány: SR (vlevo), POCIS (vpravo)
Fig. 4. Membranes: SR (left), POCIS (right)

Organická stopová analýza

Exponované membrány před jejich zpracováním byly skladovány při teplotě -20 °C. Následně byly postupně zpracovávány podle jejich druhu. Nepolární organické látky byly z membrán SPMD extrahovány organickým rozpouštědlem (hexan). Extrakty byly zahuštěny pomocí rotační vakuové odparky a čištěny metodou gelové permeační chromatografie na sestavě YL9100 s DAD detektorem a děličem frakcí. Získané eluáty byly zakonzentrovány a rozděleny na dva alikvótní podíly pro stanovení PAU a pro stanovení PCB, OCP a CB. Po převedení vzorků do vhodného rozpouštědla byly PAU analyzovány pomocí HPLC-FLD. PCB, OCP a CB byly analyzovány na GC s vysokoteplotním ECD. Vnitřní kontrola byla zajištěna přidavkem interního standardu ke zpracovávaným vzorkům. Naměřené hodnoty jednotlivých analytů byly přepočteny na výtěžnost extrakce. Silikonové membrány byly očištěny od nánosů ze vzorkování a extrahovány 2x 24 hodin methanolem s isotopicky značenými standardy. V závislosti na druhu analytů byl extrakt zahuštěn na požadovaný objem a rozdělen pro jednotlivé analýzy PBDE, PCB, OCP a PAU pomocí GC-MS/MS a HPLC-FLD. Meze stanovitelnosti použitých analytických metod pro jednotlivé nepolární organické látky v nanogramech na membránu jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 2. Vzorkovací kampaně a druhy instalovaných membrán
Table 2. Passive sampling campaigns and types of membranes

Kampaně	Expozice	Instalace	Druhy membrán			
			SPMD	POCIS-Pharm POCIS-Pes*	POCIS-Gly	SR
1	dubnová	3.–4. 4. 2018	X	X*		
2	květnová	3.–4. 5. 2018		X*		X
3	červnová	4.–5. 6. 2018	X	X*		X
4	červencová	2.–3. 7. 2018		X*		X
5	srpnová	2.–3. 8. 2018		X		X
6	zářijová	3.–4. 9. 2018	X	X	X	X
7	říjnová	2.–3. 10. 2018	X	X		X
8	listopadová	1.–2. 11. 2018	X	X		X

Tabulka 3. Meze stanovitelnosti nepolárních organických látek v ng na membránu
Table 3. Limit of quantification of non-polar organic compounds in ng per membrane

Název látky	MS [ng.me ⁻¹]	Název látky	MS [ng.me ⁻¹]
α-HCH	2	Benzo(b)fluoranthen	5
β-HCH	2	Benzo(k)fluoranthen	5
γ-HCH	2	Benzo(a)pyren	5
δ-HCH	2	Indeno(123cd)pyren	10
HCB	2	Dibenzo(ah)anthracen	5
Heptachlor	5	Benzo(ghi)perylen	5
Heptachlorepoxid trans	2	PBDE 28	0,05
Heptachlorepoxid cis	5	PBDE 47	0,05
Aldrin	2	PBDE 100	0,05
Isodrin	5	PBDE 99	0,05
Oxychlordan	5	PBDE 154	0,05
Dieldrin	5	PBDE 153	0,05
Endrin	5	PBDE 183	0,05
α-endosulfan	5	PCB 81	0,1
β-endosulfan	5	PCB 77	0,1
Trans-chlordan	5	PCB 126	0,1
Cis-chlordan	5	PCB 169	0,1
Metoxychlor	5	PCB 123	0,1
Mirex	5	PCB 114	0,1
o,p'-DDE	2	PCB 105	0,1
p,p'-DDE	2	PCB 167	0,1
o,p'-DDD	2	PCB 156	0,1
p,p'-DDD	5	PCB 157	0,1
o,p'-DDT	2	PCB 189	0,1
p,p'-DDT	5	PCB 28	0,1
Fenanthren	10	PCB 52	0,1
Anthracen	5	PCB 101	0,1
Fluoranthen	5	PCB 118	0,1
Pyren	5	PCB 153	0,1
Chrysen	5	PCB 138	0,1
Benzo(a)anthracen	5	PCB 180	0,1

Tabulka 4. Meze stanovitelnosti polárních organických látek v ng na membránu
Table 4. Limit of quantification of polar organic compounds in ng per membrane

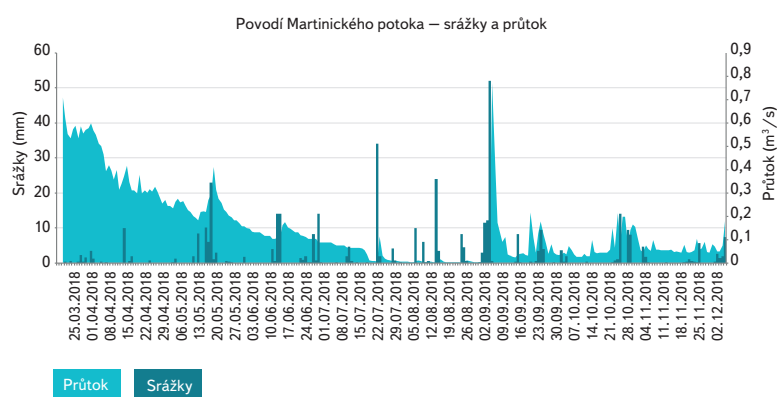
Název látky	MS [ng.me ⁻¹]	Název látky	MS [ng.me ⁻¹]
Acetochlor	1	Glyfosát	1
Acetochlor ESA	5	Chloridazon desphenyl	1
Acetochlor OA	5	Chloridazon methyl desphenyl	1
Alachlor ESA	5	Isoxaflutole	10
AMPA	2	Isoxafluton	10
Atrazin	5	Linuron	1
Atrazin-desethyl	1	Mesotrione	10
Atrazine-2-hydroxy	1	Metazachlor	1
Bentazon	1	Metazachlor ESA	5
Benzotriazol	10	Metazachlor OA	5
Benzotriazol methyl	10	Metolachlor	5
Clomazone	10	Metolachlor ESA	5
Cyprosulfamid	10	Metolachlor OA	5
DEET	10	Metribuzin	1
Dimetachlor	1	Terbutylazin-DE-2-H	5
Dimethachlor ESA	10	Terbutylazin	1
Dimethachlor OA	10	Terbutylazin-2-hydro	5
Dimethenomorph	10	Terbutylazin-desetyl	5
Fluroxypyr	10	Thiencarbazone-methyl	10

Pro extrakci polárních látek z membrán typu POCIS bylo potřeba vzorkovač demontovat a sorbent mezi PES membránami kvantitativně převést do prázdné kolonky s PE fritou. Náplň POCIS-Glyphosate byla po převedení na kolonku sušena pod vakuem a poté eluována 0,1 M HCl [9]. Extrakt byl opatrně zahuštěn pod dusíkem a doplněn methanolem. Pro extrakci pesticidů z membrán POCIS-Pharm byl použit methanol, u POCIS-Pes extrakce proběhla směsí rozpouštědel methanol, toluen a dichlormethan v poměru 1 : 1 : 8 [10]. Pro kontrolu výtěžnosti byl do všech vzorků přidáván interní standard a v každé kampani byl se vzorky extrahován i slepý vzorek (blank). Po zakoncentrování a v případě POSIS-Pes převedení do methanolu byly vzorky analyzovány pomocí HPLC/MS/MS. Meze stanovitelnosti použitých analytických metod pro jednotlivé polární organické látky v nanogramech na membránu jsou uvedeny v *tabulce 4*.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Hydrologická a klimatologická data

Největší průtoky byly dosahovány v jarních měsících, především v březnu a dubnu vlivem odtávání sněhové pokrývky v první polovině března. Měsíc duben postrádal v roce 2018 typický aprílový charakter počasí a byl teplotně výrazně nadnormální (cca o +5 °C). První srážkově bohatší období se vyskytlo 15. až 17. 5. s maximem 17. 5., kdy v povodí Martinického potoka napršelo 23 mm srážek. Tato srážka neměla přívalový charakter, projevila se však na všech měřných stanicích průtoku v této oblasti. O měsíc později 12. až 13. 6. proběhla obdobná srážka s maximálním denním úhrnem 23 mm dne 12. 6. v povodí Blažejovického potoka. Na rozdíl od předchozí srážkové události tato již měla přívalový charakter vlivem bouřkové činnosti. Letní období (4. a 5. vzorkovací kampaň) bylo typické prohlubujícím se srážkovým deficitem doprovázeným klimatickým a hydrologickým suchem s občasnými lokálními srážkami přívalového charakteru vlivem bouřkové činnosti. Chod srážek a průtoků v povodí Martinického potoka demonstruje *obr. 5*.



Obr. 5. Denní úhrn srážek ze stanice AMS1 Košetice a průměrný denní průtok ze stanice Senožaty na Martinickém potoce v roce 2018

Fig. 5. Total daily precipitation on AMS1 Košetice station and average daily flow on Senožaty station in Martinický stream, 2018 year

Největší úhrny srážek byly zaznamenány na přelomu srpna a září 31. 8. až 3. 9. 2018 během 5. vzorkovací kampaň, kdy širší oblast v dolní části povodí Želivky zasáhla rozsáhlá kupovitá oblačnost doprovázená bouřkami s krátkými, ale velmi intenzivními srážkami. Vzhledem ke vzniku několika navazujících srážkových událostí během těchto tří až čtyř dní došlo po nasycení půdního profilu vodou k masivní erozi zemědělské půdy právě v období po sklizni většiny plodin (mimo kukuřici), kdy byla pole bez vegetačního pokryvu. Následkem toho došlo k silné erozi, v povodí Zahrádkického potoka až enormní a k přemodelování koryta potoka (*obr. 6*).

Největší denní úhrny srážek byly zaznamenány na stanici AMS1 Košetice 3. 9., a to 52 mm. V podzimních měsících se v povodí Blažejovického potoka vydatnější srážka (nad 10 mm) vyskytla ještě 19. 9., 23. 9. a 24. 10. 2018. V říjnu nejvydatnější přišlo v povodí Martinického potoka 24., 27. a 28. 10. 2018. Listopad byl na srážky velice chudý (*obr. 7*).

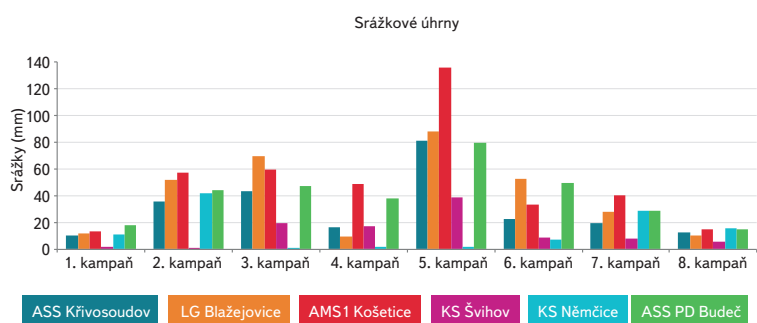
Nepolární organické látky

Přestože aplikace organochlorových pesticidů (OCP) je již téměř 50 let zakázána, jejich přítomnost byla v povrchové vodě potvrzena. Z hexachlorcyklohexanu (HCH) se nejčastěji vyskytly izomery Lindan (γ -HCH) a δ -HCH v koncentracích do max. 45 ng/SPMD v profilu Želivka-Miletín (lokality č. 8, *obr. 8*).



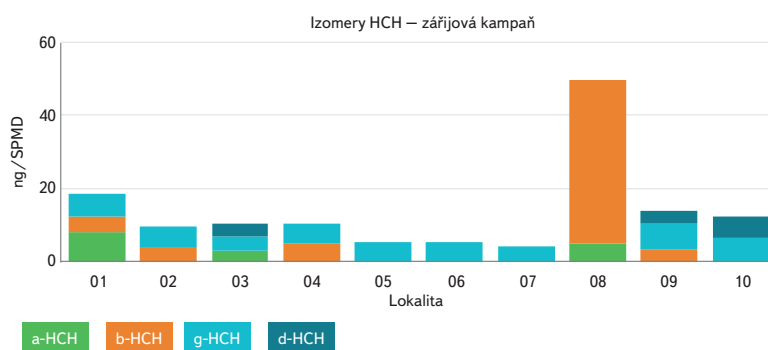
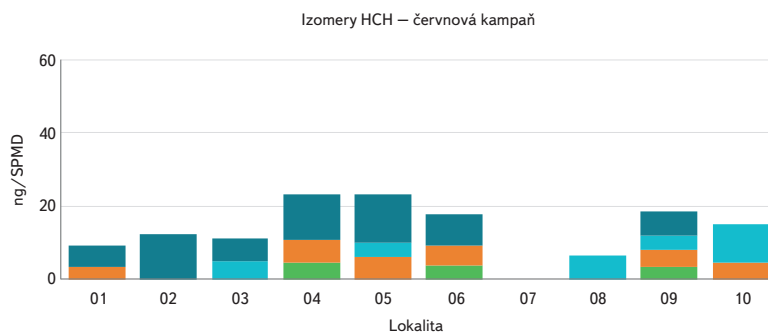
Obr. 6. Půdní eroze v povodí Zahrádkického potoka a dopad srážky 2. 9. 2018 na tok (foto 3. 9. 2018)

Fig. 6. Soil Erosion in Zahrádkický stream basin and precipitation event impact 2nd September 2018 on the stream (photo 3rd September 2018)



Obr. 7. Celkový úhrn srážek během jednotlivých vzorkovacích kampaň v roce 2018

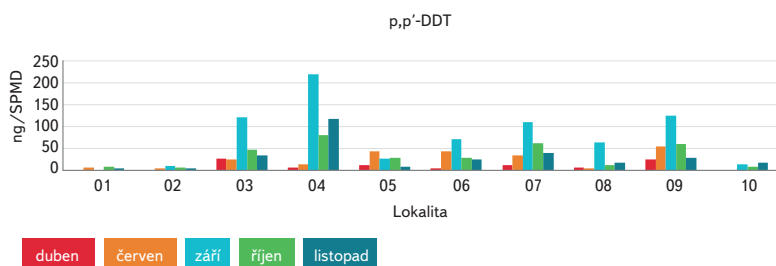
Fig. 7. Total precipitation during each sampling campaign in 2018 year



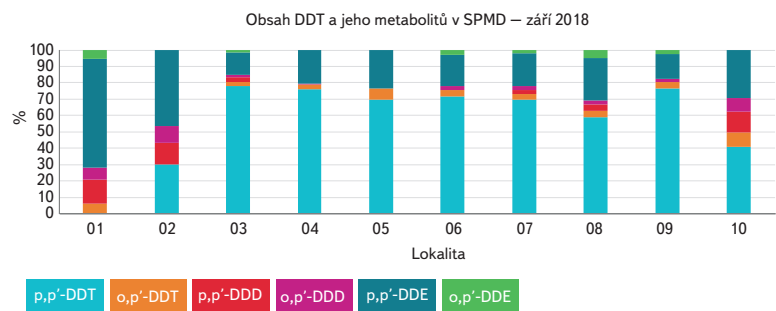
Obr. 8. Obsah izomerů HCH v přítocích VN Švihov – SPMD (expozice 30 dní)

Fig. 8. HCH isomer concentrations in WR Švihov tributaries – SPMD (exposure 30 days)

Na všech lokalitách téměř ve všech pěti kampaních byl v SPMD detekován hexachlorbenzen (HCB). Nejvyšší koncentrace byly nalezeny v Medulánu (červen), Šetějovickém potoce (duben) a Zahrádkčickém potoce (září; 52 ng/SPMD). Velmi četný výskyt byl potvrzen jak mateřských sloučenin DDT (p,p'-DDT, o,p'-DDT, p,p'-DDD, o,p'-DDD), tak i dehydrochlorovaných p,p'-DDE a o,p'-DDE. Vazba koncentrace p,p'-DDT na chod srážek, resp. na půdní erozi a průtok v recipientu se nejvýrazněji projevila ve všech lokalitách v zářijové kampani, zvláště pak v Tomickém, Zahrádkčickém, Martinickém a Lohenickém potoce (lokality č. 3, 4, 7 a 9, obr. 9). V některých lokalitách převažovalo zastoupení izomerů DDT nad DDE (Tomický, Zahrádkčický a Martinický potok), v Medulánu, VN Němčice a v Želivce-Miletíně převažovaly izomery DDE. V surové vodě z VN Švihov bylo zastoupení DDT a DDE vyrovnané a po Sedlickém potoce (VN Němčice) druhá nejnižší (obr. 10).



Obr. 9. Obsah p,p'-DDT v přítocích VN Švihov – SPMD (expozice 30 dní)
Fig. 9. Content of p,p'-DDT concentrations in WR Švihov tributaries – SPMD (exposure 30 days)



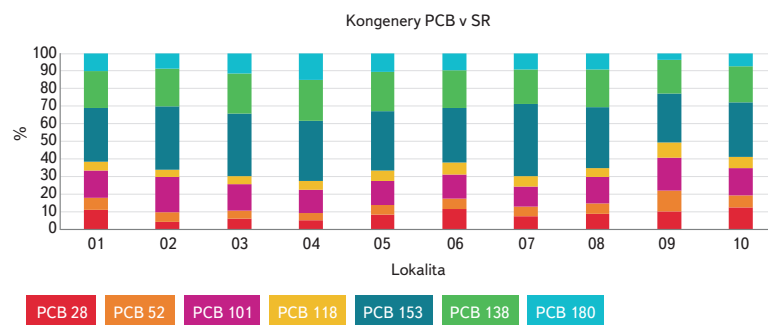
Obr. 10. Procentuální zastoupení DDT a jeho metabolitů v přítocích VN Švihov – SPMD
Fig. 10. Percentage of DDT and its metabolites in WR Švihov tributaries – SPMD

Z drinů se na přítocích do VN Švihov pravidelně objevoval pouze aldrin s maximem 41 ng/SPMD ve VN Němčice (lokality č. 2) v červnové kampani, isodrin jen zřídka, endrin pouze v červnové kampani v Tomickém potoce (lokality č. 3) a dieldrin nebyl potvrzen vůbec. Jen sporadicky bylo možno v membránách SPMD nalézt chlorované deriváty benzenu (tetra-, penta-, oktachlorostyrenu a heptachlorepoxydu-A v jednotkách ng na SPMD).

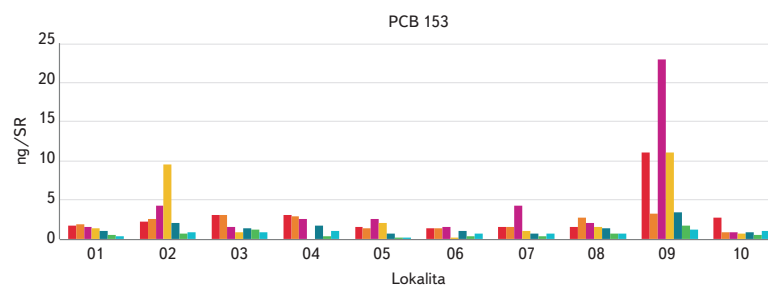
Polybromované diphenylethyery byly analyzovány pouze v SR membránách ve velmi nízkých koncentracích do 0,41 ng/vzorek (MS = 0,05 ng/vz). Detekovány byly kongenery PBDE 47 a PBDE 99. Ostatní kongenery PBDE 28, 100, 153, 154 a 183 nebyly potvrzeny.

S vysokou citlivostí SR membrány detekovaly polychlorované bifenyly (PCB). Analyzovány byly kongenery PCB 28, 52, 77, 81, 101, 105, 114, 118, 123, 126, 138, 153, 156, 157, 167, 169, 180 a 189. Četné byly nálezy kongenerů specifikovaných nařízením vlády č. 401/2015 Sb. (v předchozí větě zvýrazněny), a to jak z hlediska lokalit, tak i jednotlivých vzorkovacích kampaní. Nejvíce zastoupeným byl kongener PCB 153 (obr. 11). Z míry zastoupení jednotlivých kongenerů PCB se dá usuzovat na převažující historickou kontaminaci Delorem 106, v jehož složení převažovaly hexachlorbifenyly (zde zastoupené PCB 138 a PCB 153). Tento přípravek

se používal v letech 1961 až 1984 jako elektroizolační kapalina a do nátěrových hmot (např. [11]). Nejvyšší obsahy kongeneru 153 byly potvrzeny v Lohenickém potoce (lokality č. 9) a ve VN Němčice v povodí Sedlického potoka (lokality č. 2, obr. 12).

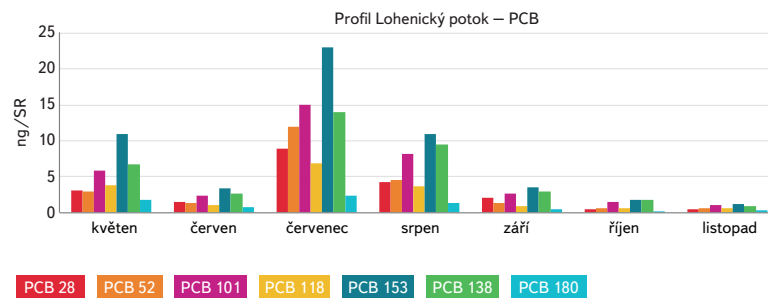


Obr. 11. Procentuální zastoupení kongenerů PCB v přítocích VN Švihov
Fig. 11. Percentage of PCB congeners in WR Švihov tributaries – SR



Obr. 12. Obsah kongeneru PCB 153 v přítocích VN Švihov – SR (expozice 30 dní)
Fig. 12. PCB 153 concentrations in WR Švihov tributaries – SR (exposure 30 days)

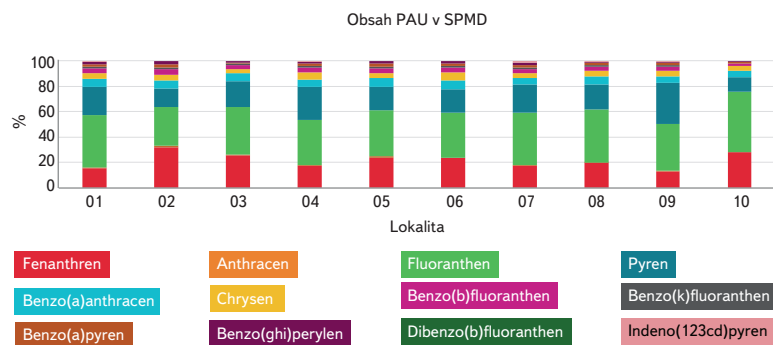
Podíváme-li se podrobněji na nálezy PCB v Lohenickém potoce, je zajímavé, že na rozdíl od předchozích prezentovaných polutantů nebyla jejich dynamika výskytu v rámci vegetační sezony závislá na chodu srážek a půdní erozi (obr. 13). Nejnižší obsah PCB byl sledován v Blažejovickém potoce (lokality č. 6) a v surové vodě vstupující do ÚV Želivka (lokality č. 10).



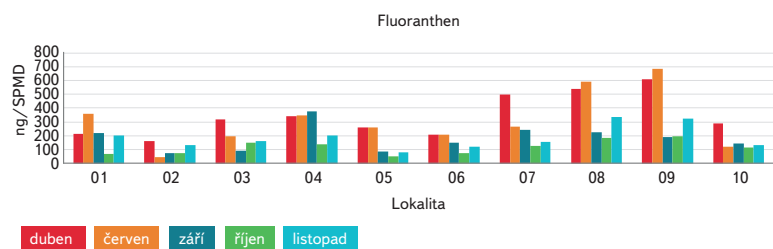
Obr. 13. Obsah kongenerů PCB v Lohenickém potoce – SR (expozice 30 dní)
Fig. 13. PCB Congeners concentration in Lohenický stream – SR (exposure 30 days)

Polycyklické aromatické uhlovodíky byly v membránách SR a SPMD na nejvyšších koncentračních úrovních ze všech sledovaných nepolárních organických látek. Fenanthren, fluoranthen a pyren tvořily 79 až 87 % z 12 analyzovaných PAU (obr. 14). Jejich koncentrace dosahovaly stovek nanogramů na membránu, vyšší byla v první polovině roku, zvláště v dubnu (po zimním období) a na většině lokalit postupně klesala až do říjnové vzorkovací kampaně. V listopadu s nástupem zimy koncentrace PAU v membránách opět vzrostla (obr. 15).

Tento charakter chodu koncentrací odráží především atmosférický původ znečištění PAU a není až tak závislý na průtocích. Koncentrace benzo(a)pyrenu byla cca 10 až 12x nižší než dominantního fluoranthenu. Nejnížší nálezy byly sledovány ve VN Němčice (lokality č. 2) a VN Švihov (surová voda, lokalita č. 10), což je dáno vazbou PAU na nerozpuštěné látky a jejich sedimentací v nádrži.



Obr. 14. Procentuální zastoupení PAU v přítocích VN Švihov – SPMD
Fig. 14. Percentage of PAHs in WR Švihov tributaries – SPMD



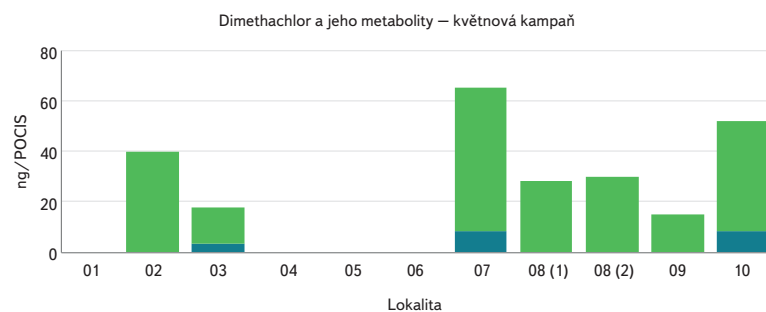
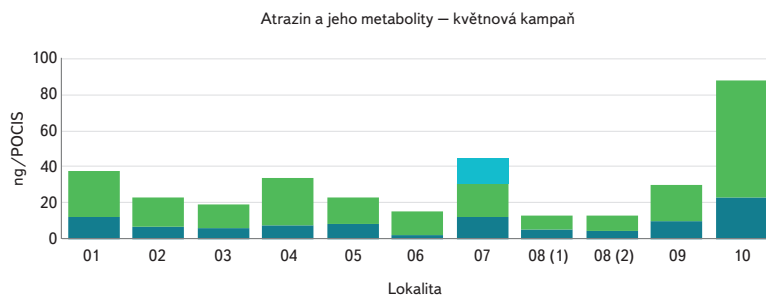
Obr. 15. Obsah fluoranthenu v přítocích VN Švihov – SPMD (expozice 30 dní)
Fig. 15. Fluoranthene concentration in WR Švihov tributaries – SPMD (exposure 30 days)

Polární organické látky

Pasivním monitoringem bylo ověřováno celkem 38 polárních látek, převážně účinných látek rostlinolékařských přípravků. Většina pozitivních nálezů s vyšší koncentrací byla potvrzena v membránách z květnové expozice. V mnoha případech koncentrace metabolitů přesahovala obsah mateřských sloučenin. To platí zvláště pro atrazin, dimethachlor a terbuthylazin. Jejich výskyt byl potvrzen téměř ve všech ověřovaných lokalitách. Přitom atrazin je zakázáno používat od 1. 8. 2005. Je překvapující, že nejvyšší obsah atrazinu a jeho metabolitů byl zjištěn v surové vodě z VN Švihov (lokality č. 10). Dimethachlor, herbicid, používaný na olejiny, nebyl nalezen v povodích přítoků, kde nebyla nasazena řepka (*Brassica napus*) nebo se jí oseté plochy nacházely dále od vodních toků (obr. 16).

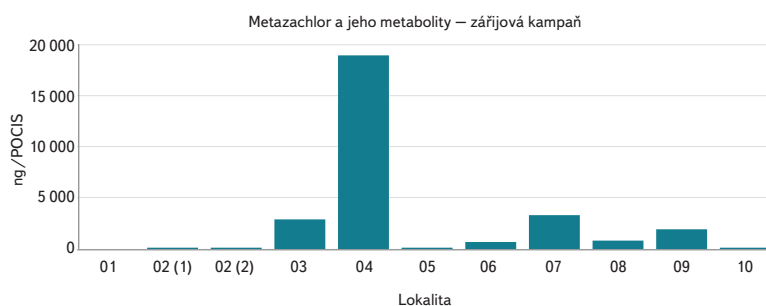
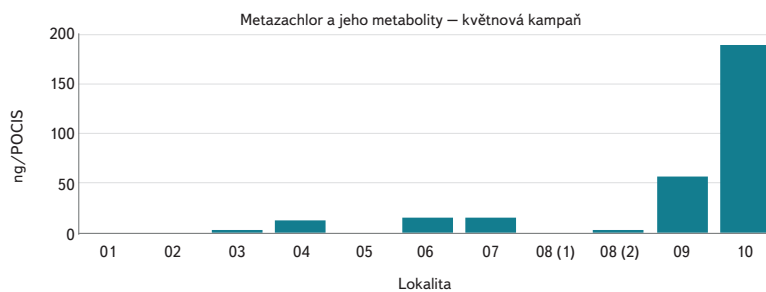
Naopak v případě metazachloru, jenž je rovněž aplikován na olejiny, byla detekována pouze mateřská látka, jeho metabolity nebyly nalezeny, jak dokumentuje obr. 17. Velmi vysoký obsah metazachloru v Zahrádkickém potoce (lokality č. 4) ze zářijové kampaně souvisí s přívalovou srážkou 2. a 3. 9., kdy došlo k enormní erozi půdy ze zemědělských ploch a splachu do povrchových vod.

Terbuthylazin a jeho metabolity náležely na přítocích do VN Švihov k nejhorněji zastoupeným pesticidům ve vysoké koncentraci. Souvisí to s vysokým podílem osevních ploch zastoupených kukuřicí. V jarní vzorkovací kampani byl detekován mateřský terbuthylazin spolu s metabolity, v podzimní zářijové kampani byl nalezen výhradně metabolit terbuthylazin-2-hydro. Překvapující byl opět vysoký obsah terbuthylazinu a jeho metabolitů z jarní kampaně v surové vodě (lokality č. 10, obr. 18). Maximální obsahy v Zahrádkickém potoce (lokality č. 4) a Martinickém potoce (lokality č. 7) z podzimní kampaně souvisí se srážkovou epizodou 1. až 3. 9. a případně 23. 9. 2018.



Obr. 16. Obsah atrazinu, dimethachloru a jejich metabolitů v přítocích VN Švihov – POCIS (expozice 30 dní)

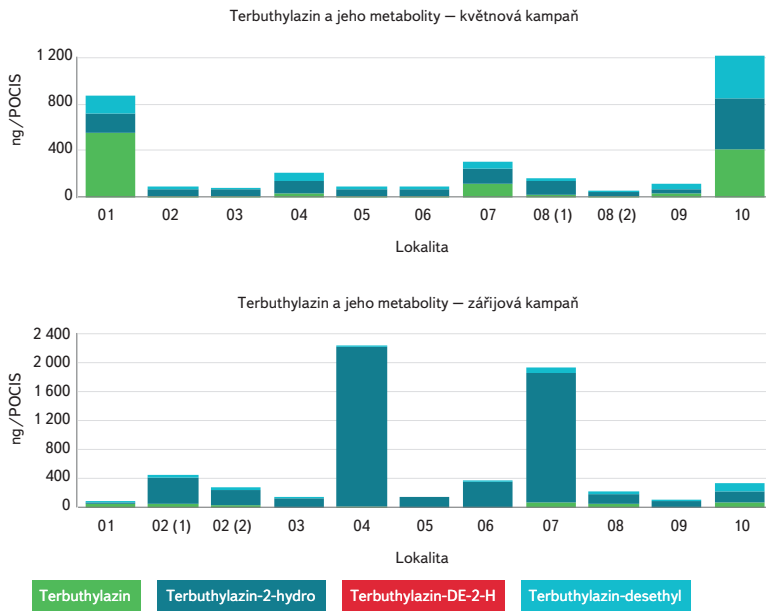
Fig. 16. Atrazine, dimethachlor and its metabolites concentration in WR Švihov tributaries – POCIS (exposure 30 days)



Obr. 17. Obsah metazachloru a jeho metabolitů v přítocích VN Švihov – POCIS (expozice 30 dní)

Fig. 17. Metazachlor and its metabolites concentration in WR Švihov tributaries – POCIS (exposure 30 days)

Jedním z nejvíce znečištěných přítoků VN Švihov pesticidy se jeví Medulán (lokality č. 1), ač náleží k těm nejkratším. Byly v něm v jarní květnové vzorkovací kampani potvrzeny vysoké obsahy terbuthylazinu, metolachloru, cyprosulfamidu



Obr. 18. Obsah terbutylazinu a jeho metabolitů v přítocích VN Švihov – POCIS (expozice 30 dní)

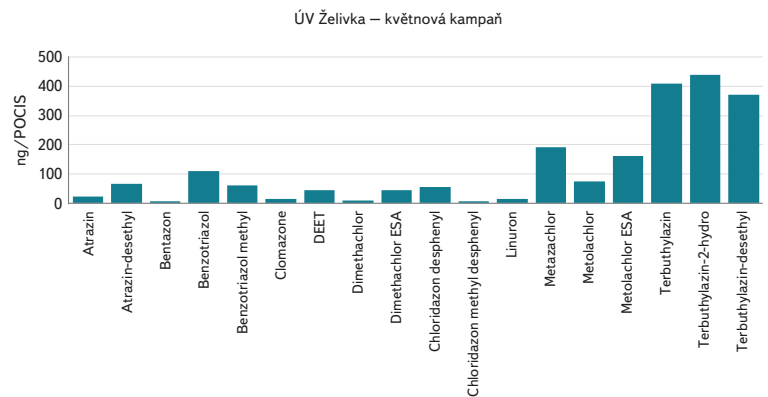
Fig. 18. Terbutylazine and its metabolites concentration in WR Švihov tributaries – POCIS (exposure 30 days)



Obr. 20. Kukuřičné pole v povodí Medulánu

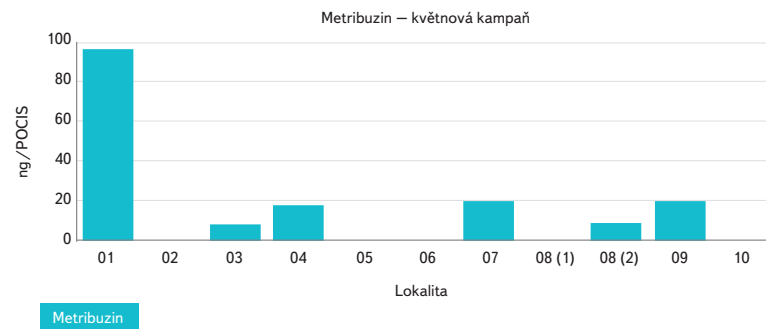
Fig. 20. The maize field in Medulán basin

množství na olejninu), metabolity chloridazonu (na ošetření cukrové řepy) a thiecarbazone-methyl (na ošetření kukuřice). Četný byl výskyt benzotriazolu (inhibitor koroze) a diethyltoluamid – DEET (účinná látka repelentů proti bodavému hmyzu). Ukázka pozitivních nálezů pesticidů a obou výše zmíněných látek v surové vodě vstupující do ÚV Želivka, a. s., (lokalita č. 10) je na obr. 21. Jarní měsíce náleží zpravidla k pesticidy nejexponovanějšímu období v povrchových vodách a nejinak tomu bylo i v případě obsahu těchto látek v surové vodě. V zářijové kampani bylo spektrum nalezených pesticidů výrazně nižší a nižší byly i koncentrace dominantních pesticidů metazachloru a terbutylazinu včetně jeho metabolitů (obr. 22). Tento „průběh“ koncentrací účinných látek rostlinolékařských přípravků během vegetačního období potvrzuje i obr. 23 v případě metabolitu AMPA. Samozřejmě vždy záleží na konkrétních podmínkách, které v daném roce nastanou.



Obr. 21. Obsah pesticidů a jejich metabolitů v surové vodě – POCIS (květnová kampaň) (expozice 30 dní)

Fig. 21. Pesticides and its metabolites concentration in raw water – POCIS (May campaign) (exposure 30 days)



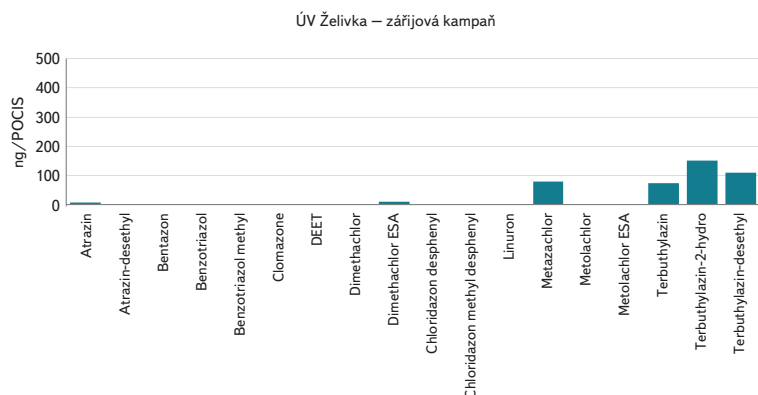
Obr. 19. Obsah metolachloru a metribuzinu v přítocích VN Švihov – POCIS (expozice 30 dní)

Fig. 19. Metolachlor and metribuzin concentration in WR Švihov tributaries – POCIS (exposure 30 days)

a thiecarbazone-methylu (aplikace na kukuřici) a metribuzinu (aplikace na brambory) (obr. 19). V jeho povodí se pěstovala převážně kukuřice, a to téměř až na hranici OPVZ I, cca 50 m od vodoteče (obr. 20).

Ostatní pesticidy byly nacházeny v nižších koncentracích a jen na některých lokalitách. Nad 100 ng/POCIS byly potvrzeny: klomazon (používaný v menším

Obsah zachycených látek membránami pasivních vzorkovačů je možno přepočítat na průměrnou koncentraci během expozice, tzv. TWA koncentraci (Time Weighted Average concentration), pokud je pro danou látku známá



Obr. 22. Obsah pesticidů a jejich metabolitů v surové vodě – POCIS (zářijová kampaň) (expozice 30 dní)

Fig. 22. Pesticides and its metabolites concentration in raw water – POCIS (September campaign) (exposure 30 days)

vzorkovací rychlost R_s (Sampling Rate) v $\text{l} \cdot \text{d}^{-1}$ (vzorkovací rychlost pro daný vzorkovací systém a látku se různí). Pro přepočtení platí následující vztah:

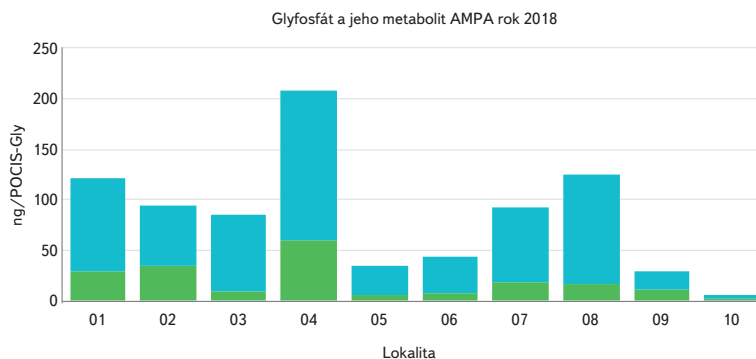
$$C_{TWA} = N^t / (R_s \cdot t) \quad (1)$$

kde: N^t je množství zachycené látky vzorkovačem v ng a t je doba expozice vzorkovače ve dnech. Výsledná koncentrace C_{TWA} je vyjádřena v $ng \cdot \text{l}^{-1}$.

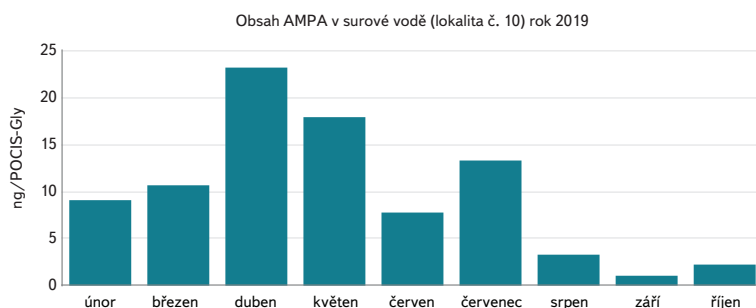
Přepočtem podle rovnice (1) s využitím vzorkovací rychlosti R_s publikované Ahrensem [12] jsou koncentrace vybraných účinných látek rostlinolékařských přípravků v surové vodě C_{TWA} uvedeny v *tabulce 5*.

Vzorkovací rychlost v *tabulce 5* u květnové a zářijové kampaně se liší z důvodu použití dvou různých vzorkovačů POCIS: ke květnové kampani byl exponován POCIS-Pes a v zářijové kampani POCIS-Pharm.

Širokospektrální herbicid a desikant glyfosát je používán převážně na ošetření obilnin a olejnin. Klasický POCIS-Pharm nebo POCIS-Pes je na záchyt této silně polární látky málo účinný. V zářijové kampani byl poprvé použit POCIS-Gly pasivní vzorkovač, který byl speciálně vyvinutý pro záchyt silně polárních látek. Vzhledem k snadné degradaci glyfosátu byl v membránách POCIS-Gly detekován převážně jeho metabolit AMPA (kyselina aminomethylfosfonová). Nejnižší koncentrace obou látek byly potvrzeny v surové vodě (lokalita č. 10). Pasivní monitoring v surové vodě pokračoval v roce 2019 v celkem devíti měsíčních kampaních, kdy se potvrdily sezonní zvýšené koncentrace metabolitu AMPA odpovídající dobám, kdy je glyfosát aplikován (*obr. 23*). Přepočtem na C_{TWA} podle vztahu (1) se koncentrace metabolitu AMPA v surové vodě pohybovala v rozmezí $< 0,55$ – $6,2 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$ ($R_s = 0,122 \text{ l} \cdot \text{d}^{-1}$ [13]). Glyfosát nebyl v surové vodě detekován.



Glyfosát AMPA



Obr. 23. Obsah glyfosátu a AMPA v přítocích do VN Švihov a v surové vodě – POCIS Gly (expozice 30 dní)

Fig. 23. Glyphosate and AMPA concentration in WR Švihov tributaries and in raw water – POCIS Gly (exposure 30 days)

ZÁVĚR

Pasivním monitoringem významných přítoků do VN Švihov a surové vody vstupující do úpravní vody Želivka, a. s., po dobu jedné vegetační sezony od dubna do listopadu v roce 2018 byla sledována časoprostorová dynamika vnosu nepolárních a polárních organických látek do VN Švihov. Byly potvrzeny odlišné charakteristiky vnosu jednotlivých skupin mikropolutantů do vodárenské nádrže. Přestože organochlorové pesticidy HCH, PCB a DDT nejsou již několik desetiletí používány, vzhledem k jejich perzistenci v prostředí přetrvávají a byly detekovány. Příznivá je úroveň znečištění povrchové vody bromovanými difenylethery (retardéry hoření), která byla velice nízká. Z nepolárních organických látek je dominantní znečištění polycyklickými aromatickými uhlovodíky, které převažuje v první polovině roku a po letním poklesu koncentrací roste opět v pozdním podzimu.

Tabulka 5. Průměrná koncentrace C_{TWA} vybraných látek během expozice vzorkovače POCIS v surové vodě ÚV Želivka z květnové a zářijové kampaně 2018

Table 5. Time Weighted average concentration C_{TWA} of selected compounds from POCIS sampling in raw water DWTP Želivka – May and September campaign 2008

ÚV Želivka – surová voda	Květnová kampaň 2018			Zářijová kampaň 2018		
	N ^t [ng]	R _s [l·d ⁻¹]	C _{TWA} [ng·l ⁻¹]	N ^t [ng]	R _s [l·d ⁻¹]	C _{TWA} [ng·l ⁻¹]
Terbutylazin	410	0,72	47,8	73	0,45	5,6
Terbutylazin-desethyl	370	1,62	7,1	110	0,97	3,9
Metazachlor	190	0,81	7,3	79	0,5	5,5
Metolachlor	75	0,24	9,8	< MS	0,22	-

Dynamika vnosu účinných látek rostlinolékařských přípravků je závislá na druhové skladbě zemědělských plodin, době aplikace přípravků a na srážko-odtokových poměrech. Byl potvrzen významný vliv chodu srážek a půdní eroze na množství vyplavovaných pesticidů do povrchových vod. V roce 2018 to bylo potvrzeno především v povodí Zahrádkického, Martinického a Tomického potoka. Jedním z nejvíce znečištěných přítoků VN Švihov pesticidy se jeví potok Medulán. Nejvyšší koncentrace pesticidů v pasivních vzorkovačích (nad 1 000 ng/membránu) byly potvrzeny pro terbuthylazin a jeho metabolity terbuthylazin-2-hydro a terbuthylazin-desethyl, metolachlor a metazachlor. Je potřeba uvést, že tyto obsahy byly dosaženy během 30denní expozice membrán pasivních vzorkovačů.

Poděkování

Příspěvek byl zpracován v rámci projektu „Čistá voda – zdravé město: Cizorodé látky ve vodách podzemních, povrchových a odpadních“ (registrační číslo projektu CZ.071.02/0.0/0.0/16_040/0000378), Koncept I „Studie vnosu pesticidů do vodárenské nádrže Švihov (Želivka) s využitím nových vzorkovačích technik a odstranění organických látek ze sorpčních filtrů za ozonizací vysoce-účinnou chemickou destrukcí“.

Seznam zkratk

AMPA	aminomethylphosphonic acid (aminomethylfosfonová kyselina)
CB	chlorbenzen
DAD	Diode Array Detector
DDT	dichlordifenyltrichlorethan (triviální název)
DEET	diethyltoluamid
ECD	Electron Capture Detector
FLD	Fluorescence Detector
GC	Gas Chromatography
HCH	hexachlorcyklohexan
HPLC	High-performance liquid chromatography
LC-MS	kapalinová chromatografie ve spojení s hmotnostní spektrometrií
M	molární
MS	mez stanovitelnosti
OCP	organochlorové pesticidy
OPVZ	ochranné pásmo vodního zdroje
PAU	polycyklické aromatické uhlovodíky
PBDE	bromované difenylethery
PCB	polychlorované bifenyly
PES	Polyethersulfone
POCIS	Polar Organic Chemical Integrative Sampler
PRC	Performance Reference Compound
SPMD	Semipermeable Membrane Device
SR	Silicone Rubber
TWA	Time Weighted Average
ÚKZÚZ	Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
ÚV	úprava vody
VN	vodárenská nádrž

Literatura

[1] KVÍTEK, T. a kol. *Retence a jakost vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce*. Praha: Povodí Vltavy, s. p., 2017, s. 21. ISBN 978-80-270-2488-9.

[2] LIŠKA, M., SOUKUPOVÁ, K., DOBIÁŠ, J., METELKOVÁ, A., GOLDBACH, J. a KVÍTEK, T. Jakost vody ve vodárenské nádrži Švihov na Želivce a jejím povodí se zaměřením na specifické organické látky. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 2016, roč. 58, č. 3, s. 4–10. ISSN 0322-8916.

[3] DOBIÁŠ, J., KOŽELUH, M., ZAJÍČEK, A., FUČÍK, P. a LIŠKA, M. Dynamika vyplavování pesticidních látek v povodí Čechtického potoka. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 2018, roč. 60, č. 4, s. 10–16. ISSN 0322-8916.

[4] Spotřeba účinných látek obsažených v přípravcích na ochranu rostlin v jednotlivých krajích a okresech (on-line). Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/ukuz/portal/pripravky-na-or/ucinne-latky-v-por-statistika-spotreba-pripravku-na-or/spotreba-por-kraje-okresy/>

[5] MYERS, J.P., ANTONIOU, M.N., BLUMBERG, B., et al. Concerns over use of glyphosate-based herbicides and risks associated with exposures: a consensus statement. *Environmental Health*, 2016, 15, 19, p. 1–13.

[6] Prováděcí nařízení Komise (EU) 2017/2324 ze dne 12. prosince 2017, kterým se v souladu s nařízením Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1107/2009 o uvádění přípravků na ochranu rostlin na trh obnovuje schválení účinné látky glyfosát a mění příloha prováděcího nařízení Komise (EU) č. 540/2011. Ústřední věstník Evropské unie z 15. 12. 2017, L333/10–L333/16.

[7] Obnovení schválení účinné látky glyfosát. Usnesení Evropského parlamentu ze dne 13. dubna 2016 o návrhu prováděcího nařízení Komise, kterým se v souladu s nařízením Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1107/2009 o uvádění přípravků na ochranu rostlin na trh obnovuje schválení účinné látky glyfosát a mění příloha prováděcího nařízení (EU) č. 540/2011 (2016/C 058/11). Ústřední věstník Evropské unie z 15. 2. 2018, C58/102–C58/108.

[8] VRANA, B., ALLAN, I.J., GREENWOOD, R., et al. Passive sampling techniques for monitoring pollutants in water. *Trends in Analytical Chemistry*, 2005, Vol. 24, No. 10, p. 845–868.

[9] CLAUDE, B., BERHO, C., BAYOUDH, S., et al. Preliminary recovery study of a commercial molecularly imprinted polymer for the extraction of glyphosate and AMPA in different environmental waters using MS. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2017, 24, 12293–12300.

[10] SCHAEFER, M. and JOHNSON, M.L. *Pharmaceuticals and personal care products in the Sacramento river*. University of California, Davis, USA, October 2019.

[11] PCB a jejich odpady. EnviWeb (on-line). Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/17176>

[12] AHRENS, L., DANESHVAR, A., LAU, A.E., and KREUGER, J. Characterization of five passive sampling devices for monitoring of pesticides in water. *Journal of Chromatography*, 2015, A, 1405, p. 1–11.

[13] BERHO, C., CLAUDE, B., COISY, E., et al. Laboratory calibration of a POCIS-like sampler based on molecularly imprinted polymers for glyphosate and AMPA sampling in water. *Anal. Bioanal. Chem.*, 2017, 409, p. 2029–2035.

Autoři

Ing. Tomáš Mičaník, Ph.D.¹

✉ tomas.micanik@vuv.cz

Ing. František Sýkora¹

✉ frantisek.sykora@vuv.cz

Ing. David Chrastina¹

✉ david.chrastina@vuv.cz

Ing. Nikola Cielecká¹

✉ nikola.cielecka@vuv.cz

Ing. Veronika Kucharczyková¹

✉ veronika.kucharczykova@vuv.cz

Ing. Alena Kristová¹

✉ alena.kristova@vuv.cz

Ing. Tomáš Ocelka, Ph.D.²

✉ tomas.ocelka@ehss.eu

Ing. Jiří Oceánský²

✉ jiri.oceansky@ehss.eu

¹Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.

²E&H services, a. s.

Příspěvek prošel lektorským řízením.

SPACE-TIME DYNAMIC OF PESTICIDE LOADING IN THE DRINKING WATER RESERVOIR ŠVIHOV

**MICANIK, T.¹; SYKORA, F.¹; CHRASTINA, D.¹;
CIELECKA, N.¹; KUCHARCZYKOVA, V.¹;
KRISTOVA, A.¹; OCELKA, T.²; OCEANSKY, J.²**

¹TGM Water Research Institute, p.r.i.

²E&H services, a. s.

Keywords: surface water – passive sampling –
water reservoir Švihov – pollution – pesticides

The article deals with space-time dynamic of non-polar and polar compounds load into the drinking water reservoir Švihov in Želivka river basin during the whole vegetation season by passive sampling techniques. The monitoring on the nine tributaries of the Švihov water reservoir and on the raw water inlet to the Želivka drinking water treatment plant took place for eight months from April to November 2018. Several types of membranes were used to capture wide range of pollutants: silicone rubber (61 compounds measured), semipermeable membrane device (43 compounds measured) and polar organic chemical integrative sampler (38 compounds measured). Exposition time in water environment was 30 days. Hydrological and precipitation data from measuring stations in Želivka river catchment were recorded.

Several dozens of organic compounds (over 80) were detected by passive monitoring. Presence of formerly widely used organochlorine pesticides HCH and DDT were confirmed. The ratio of PCB congeners in samples corresponds to historical usage of products containing Delor 106. The detection of pesticides in membranes corresponded to the species composition of cultivated agricultural crops in the catchments of individual tributaries. The level of water pollution depended strongly on precipitation-runoff conditions, soil erosion and river basin characteristics. The most polluted were Medulán and Lohenický streams. For some pesticides the metabolite concentrations were higher than parent compound concentration. The highest levels of pesticides were observed for metazachlor (19,000 ng/membrane), metolachlor (max. 1,300 ng/membrane) and terbutylazine-2-hydroxy (1,800 ng/membrane). Of the nonpolar compounds, the highest concentration was found for fluoranthene (683 ng/membrane).

Testování sorpčních filtrů na bázi granulovaného aktivního uhlí pro účely dočišťování pitné vody

TOMÁŠ MIČANÍK, JIŘÍ OCEÁNSKÝ, JIŘÍ LISNÍK, TOMÁŠ OCELKA

Klíčová slova: sorpce – desorpce – katalytická destrukce – dehalogenizační jednotka – granulované aktivní uhlí – pesticidy – vodní nádrž Švihov – regenerace sorpčních náplní

SOUHRN

Tento příspěvek se věnuje výzkumu účinnosti sorpce a odstranění organických látek, zejména pesticidních z exponovaných sorpčních náplní na bázi granulovaného aktivního uhlí (GAU). Představuje modelové testy účinnosti pěti různých typů GAU. Výsledky mohou přispět k posouzení vhodnosti filtračních náplní pro realizovaný investiční záměr GAU filtrace, objektu, který bude sloužit k dočišťování upravené vody na úpravně vody Želivka. Testy sorpční účinnosti probíhaly v kolonovém uspořádání pro 15 významných polárních látek, jejichž výskyt v povodí Želivky a ve vodní nádrži Švihov byl potvrzen. Byla zjištěna vysoká sorpční účinnost přesahující 99 % pro většinu testovaných látek. Součástí řešení bylo ověření možnosti využití technologie katalytické destrukce CDC (Catalytic Destruction using Copper) pro regeneraci (reaktivaci) sorpčních náplní. Destrukční účinnost technologií CDC byla zkoumána v laboratorním reaktoru, pro většinu látek bylo taktéž dosaženo vysokých hodnot jejich eliminace nad 99 %.

ÚVOD

Tento článek představuje výsledky řešení projektu Čistá voda – zdravé město, Konceptu I: „Studie vnosu pesticidů do vodárenské nádrže Švihov (Želivka) s využitím nových vzorkovacích technik a odstranění organických látek ze sorpčních filtrů za ozonizací vysoce-účinnou chemickou destrukcí“ se zaměřením na výsledky testování několika druhů sorpčních náplní pro záchyt polárních organických látek z vodního prostředí.

Povodí vodárenské nádrže Švihov, největší v České republice, je charakteristické přítomností lidských sídel a zemědělským využíváním krajiny. Antropogenní vliv na povrchové vody je monitorován a vyhodnocován správcem povodí (Povodí Vltavy, s. p.) [1, 2]. Rovněž v rámci řešení projektu Čistá voda – zdravé město byly pomocí pasivních vzorkovacích technik na přítocích do VN Švihov a na ÚV Želivka detekovány organické látky nepolárního i polárního charakteru s převahou účinných látek rostlinolékařských přípravků [3]. Pro efektivní odstranění zbytkových organických látek z upravené pitné vody je v areálu ÚV Želivka uskutečňována rozsáhlá investice dalšího stupně čištění – filtrace pomocí granulovaného aktivního uhlí (GAU) [4], kde bude upravená voda za ozonizací dočišťována pomocí tlakové filtrace. Za tímto účelem vyrobené speciální GAU je při výrobě upraveno takovým způsobem, aby ve zvýšené míře adsorbovalo polární látky. Filtrace pomocí GAU technologie pro

úpravu pitné vody za účelem odstranění polárních kontaminantů je komerčně dostupná s tím, že vyžaduje účinnou regeneraci (používá se též pojem reaktivace) filtrační náplně [5, 6]. Výběr filtrační náplně je též významný z ekonomiko-provozního hlediska. Za účelem zjištění jejich sorpčních schopností je v areálu úpravny již několik let v provozu aparatura sorpčních kolon s několika typy GAU, na které je vedena upravená voda za ozonizací. V rámci projektu Čistá voda – zdravé město byly testy sorpce a desorpce sorpčních náplní realizovány s vysoce kontaminovanou vstupní vodou, aby tak bylo možné v kratším časovém úseku (než několika let) porovnat vhodnost jednotlivých typů sorpčních náplní, jejichž použití v objektu GAU filtrace připadá v úvahu.

Za tímto účelem byly provedeny modelové testy pěti typů sorpčních náplní na bázi GAU. Výsledky mohou přispět k rozšíření znalostí o jejich vlastnostech a možnosti využití technologie CDC pro regeneraci náplní. Článek zhodnocuje:

1. testy sorpce vybraných organických látek (zejména pesticidů) za účelem zjištění sorpční účinnosti,
2. destrukční testy z exponovaných sorpčních náplní katalytickou destrukcí pro zjištění účinnosti desorpce.

METODY

Testy sorpce

Modelové sorpční testy byly uskutečněny pomocí aparatury sorpčních kolon jako vhodného prostředku pro výzkum sorpčních a desorpčních procesů vybraných organických látek na zvolených typech aktivního uhlí. Sorpční aparatura byla umístěna v technologické hale s relativně nízkou teplotou v porovnání s teplotou laboratorní (teplota vody nepřesáhla +15 °C).

Sorpční kolony pro filtraci pomocí aktivního uhlí jsou tvořeny dvěma nádobami, první pracovní a druhou kontrolní, která indikuje ztrátu filtrační schopnosti první kolony. Ta může být způsobena rychlým průchodem média přes kolonu a/nebo plným nasycením sorpční náplně. Technická specifikace aparatury:

- maximální filtrační průtok: 2 m³.h⁻¹,
- rychlost vody při filtraci: 11 m.h⁻¹,
- doba kontaktu s aktivním uhlím: 5 min 40 s,

- prázdný prostor v nádobě: 25 %,
- velikost jedné nádoby: průměr 490 mm, výška 2 130 mm,
- objem jedné nádoby: 260 l,
- objem vyhrazený pro materiál v jedné nádobě: 190 l,
- tlakový režim kolon: přetlak.

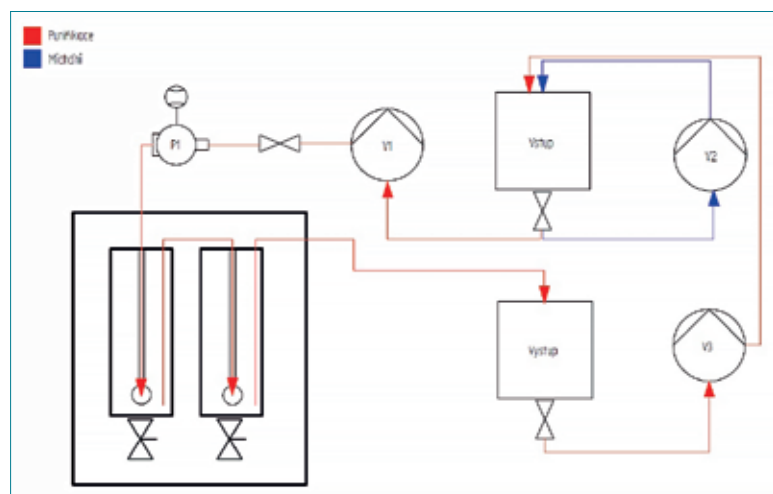
(Pozn. Informace od výrobce vycházejí z údajů pro jím dodávané aktivní uhlí CG 900.)

Kolony byly testovány v sériovém zapojení, vodní médium do kolony vstupovalo ze vstupní nádoby a po filtraci přecházelo do výstupní nádoby. Během předběžných testů byly odebírány vzorky GAU ze spodní části první kolony, aby byla zjištěna případná kontaminace celého objemu kolony a z toho vyplývající ztráta filtrační schopnosti. Výsledky počátečních testů byly negativní, proto byla při porovnávacích testech využívána pouze jedna kolona.

Experiment se skládal ze tří provozních režimů:

1. promíchání – cirkulace vody s definovanou koncentrací vybraných rostlinolékařských přípravků ve vstupní nádobě,
2. purifikace – vlastní filtrace „kontaminované“ vody, proces průchodu vodního média ze vstupní nádoby do kolon, dále do výstupní nádoby a jeho přečerpání zpět do vstupní nádoby k přípravě pro případnou další filtraci je označován jako jeden pracovní cyklus, optimalizace počtu pracovních cyklů byla součástí počátečních experimentů,
3. průplach – dekontaminace kolon a celé aparatury čistou vodou.

Schematické znázornění zapojení aparatury a její fotografie zobrazují obr. 1 a 2.



Obr. 1. Schéma zapojení kolonových testů

Fig. 1. Columns tests diagram

Legenda: Vstup – vstupní nádoba o objemu 1 m³, Výstup – výstupní nádoba o objemu 1 m³, PI – odstředivé čerpadlo, V1 až V3 – cirkulační čerpadla

Počáteční optimalizační testy byly provedeny na uhlí Filtrasorb TL830 (dále označeném jako GAU1). Je možné je shrnout do těchto bodů:

1. Optimalizace analytické metodiky LC-MS pro skupinu polárních organických látek, měření standardních referenčních materiálů daných látek a komerčních směsí, kde se zkoumal matriční efekt. Použitá analytická technika: LC-MS systém, typ TSQ Quantum Access, Thermo Electron Corporation.

2. Výběr zkoumaných látek, který vycházel ze seznamu polárních organických látek (pesticidů) nalezených v povrchové vodě nebo surové vodě na VN Švihov a nejběžněji používaných pesticidů dostupných v komerčně používaných směsích.
3. Příprava vodného roztoku rostlinolékařských přípravků o definované počáteční koncentraci účinných látek. Počáteční objem roztoku ve vstupní nádobě byl vždy 500 litrů.
4. Naplnění kolony zvoleným druhem sorbentu v množství 25 kg.
5. Optimalizace počtu filtračních cyklů na čtyři.



Obr. 2. Kolonová aparatura

Fig. 2. Column tests setup

Po provedení prvotních optimalizačních testů na sorbentu GAU1 byly následně realizovány porovnávací kolonové testy pro pět vybraných typů aktivního uhlí GAU1 až GAU5.

Typy speciálního granulovaného aktivního uhlí byly vybírány podle schopnosti sorbovat perzistentní a polární organické látky, včetně pesticidů, z vody. Výběr byl proveden s ohledem na možné použití v objektu GAU filtrace na ÚV Želivka [4] a z literatury, kde testy na filtraci polárních látek probíhaly nejčastěji právě na GAU od námi vybraných světových výrobců, viz např. [7, 8]. Vybrané typy GAU, vhodné pro úpravu, se liší ve velikosti zrn, způsobu výroby a ostatních parametrech. Seznam druhů aktivního uhlí k testování sorpce a desorpce je uveden v tabulce 1.

V tabulce 2 jsou uvedeny vybrané parametry výše uvedených druhů GAU publikované výrobcí nebo dovozci. Z ekonomického hlediska jsme získali zkušenost z maloobchodní dodávky 100 kg GAU, kdy cenový rozptyl těchto pěti druhů GAU byl značný (od 78 do 209 Kč/kg bez DPH). V případě využití na úpravách vody je nutno kalkulovat taktéž s cenou za dopravu, množstevní slevou

Tabulka 1. Vybrané druhy filtračních náplní

Table 1. GAU filters types

Druh GAU	Označení	Výrobce
Chemviron Filtrasorb TL830	GAU1	Chemviron, Feluy, Belgie
Chemviron Filtrasorb 400	GAU2	
NORIT GAC 1240 W	GAU3	Cabot Norit Nederland B. V., Nizozemí
NORIT® GAC 1020 EN	GAU4	
AquaSorb 6300	GAU5	Jacobi Carbons Group, Švédsko

a zohlednit i další podmínky dodavatelů. Ekonomická rentabilita při výběru je také ovlivněna schopností daných GAU opakované regenerace, tzv. recyklační účinnost a ztrátě materiálu při regeneraci. V literatuře týkající se termické reaktivity [9] se uvádí, že vlivem oxidace a odírání materiálu dochází během regenerace k 5 až 15% ztrátě materiálu [7, 10]. Při testech GAU Filtrasorb s opakovanou termickou regenerací [5] byl učiněn závěr, že sorpční schopnosti opakovaně destruovaných vzorků byly prakticky stejné. V tomto článku prezentovaná regenerační metoda CDC, kdy se teplota materiálu pohybuje kolem 300 °C, by měla být šetrnější, a tudíž ještě vhodnější pro opakovanou regeneraci.

Při výběru pesticidů byly zohledněny v minulosti naměřené koncentrace reálně se vyskytujících pesticidních látek v povrchové vodě na přítocích do VN Švihov, v surové (neupravené) vodě a v upravené pitné vodě z ÚV Želivka např. [1, 11]. Taktéž bylo přihlíženo k výsledkům zjištěným pasivním vzorkováním vody na přítocích do VN Švihov a na úpravnu vody v rámci řešení projektu Čistá voda – zdravé město [3] a ke spotřebě účinných látek rostlinolékařských přípravků evidovaných ÚKZÚZ v okresech v povodí Želivky. Mezi kontaminanty ve VN Švihov byly zjištěny i polární nepesticidní látky, zejména benzotriazol (antikorozní složka komerčních a průmyslových přípravků) a DEET (součást repelentů), proto jsme je také přiřadili do našeho seznamu. Celkem bylo vybráno 15 zkoumaných polárních látek, které jsou uvedeny v *tabulce 3* společně s navázkou přípravku homogenizovaném v 500 l vody a z toho vyplývající vstupní koncentrace účinné látky v testovacím vodním roztoku. Koncentrace účinných látek byla značně vyšší než reálně dosahované hodnoty koncentrací v surové vodě vstupující do ÚV Želivka.

Během každého realizovaného filtračního cyklu byly odebrány a následně analyzovány jak vzorky roztoku (kontaminované vody), tak vzorky aktivního uhlí následovně:

1. Vzorky kontaminované vody – odběr byl proveden ze vzorkovací výpustě výstupní nádoby, a to před filtrací po promíchání roztoku a po každé ze čtyř filtrací.
2. Vzorky aktivního uhlí – GAU byly odebírány ze spodní části kolony. Z konstrukce samotných kolon vyplývá omezení, že nelze jednoduše provádět průřezovou analýzu úbytku pesticidních látek v jednotlivých vrstvách kolony. Odebrané vzorky GAU byly využity pro následné desorpční testy.

Tabulka 2. Vybrané základní vlastnosti jednotlivých filtračních náplní

Table 2. Selected basic characteristics of GAU filters

	GAU1	GAU2	GAU3	GAU4	GAU5
Měrná hmotnost („bed“ density) [kg.m⁻³]	450	450	420	480	380
Specifický povrch (BET) [m².g⁻¹]	1 000	1 050	1 100	1 150	1 000
Methylenová modř [mg.g⁻¹], min.	260	300	200	200	250 (ml.g ⁻¹)
Jodové číslo [mg/g], min.	1 000	1 000	950	1 000	970
Vlhkost (v dopravním obale) [%], max.	2	2	5	2	5
Tvrdość, min.	95	neuveđeno	97	97	90
Velikost částic [mesh]	10 × 20	12 × 40	12 × 40		12 × 30
Koeficient stejnoměrnosti	1,4	1,7	1,7	ve formě peletek Ø cca 3 mm	1,7
Střední velikost částic [mm]	1,4	1,0	1,0		0,6
Frakce [%] – ne více než [mm]	4 < 0,85	4 < 0,425	5 < 0,425		4 < 0,316
Frakce [%] – ne více než [mm]	5 > 2,0	5 > 1,7	5 > 1,7		5 > 1,7

Tabulka 3. Použité přípravky a koncentrace účinných látek ve vstupním médiu pro test sorpce

Table 3. Pesticides agents and active substances concentrations in sorption test input medium

Přípravek	Účinná látka	Hmotnost přípravku [g.m⁻³ vod. Ø]	Koncentrace účinné látky pro test sorpce [mg.l⁻¹]
Afalon	Linuron	3,6	1,6
Lumax	Terbutylazin	5,0	0,13
Butisan	Metazachlor	1,8	0,50
DEET	DEET	1,0	0,15
Benzotriazol	Benzotriazol	5,0	5,0
Chloridan	Chloridazon	4,6	2,3
Infito	Propamocarb	0,6	0,28
Pirimor	Pirimicarb	0,6	0,30
Ortiva	Azoxystrobin	1,4	0,74
Bandur	Aclonifen	6,0	3,4
Bofix	MCPA	20	4,4
Revus TOP	Difenoconazol	10	5,7
Touchdown Quattro	Glyfosát	50	18
Command	Clomazon	1,8	0,51
Bofix	Fluroxypyr	20	1,1

TESTY DESORPCE

Technologie katalytické destrukce CDC

Příspěvovatel se dlouhodobě zabývá nespalovací destrukcí perzistentních organických látek (POP) v různých matricích. Jedná se zejména o vývoj optimalizované technologie dehalogenace (detoxikace) pevného odpadu [12] obsahujícího vysoce chlorované POPs založené na metodě CDC (Catalytic Destruction using Copper) [13–15]. Principem metody je odtržení radikálu chloru ze skeletu molekuly a jeho převedení na chloridy za teploty kolem 300 °C. Vhodné aplikace pro tuto technologii jsou:

- odprašky a popílký z metalurgického průmyslu (Třinecké železářny, a. s.),
- kontaminované sedimenty z Labe (pesticidní látky),
- regenerace exponovaného aktivního uhlí na úpravně pitné vody.

Technologie CDC je chráněna patentem EU číslo PCT/CZ2004/000024 [16], předmětem českého patentu je použití pro nepolární organické látky. Aplikace pro vodárenské účely je modifikací této metody (detaily jsou předmětem probíhající patentové ochrany).

V rámci řešení projektu Čistá voda – zdravé město proběhla modifikace metody CDC pro polární pesticidní látky. Aplikace pro regeneraci GAU vychází z předpokladu, že skelety nepolárních látek, na kterých byla technologie odzkoušena, jsou stabilnější než skelety námi požadovaných látek polárních. V provedených modelových testech se tento předpoklad potvrdil, bylo dosaženo vysoké desorpční účinnosti. Významným faktorem pro určení účinnosti je řízení přenosu fáze, která je základem pro nasazení technologie v případě vysokých objemů.

Výsledky experimentů ukazují, že tato metoda je dobře aplikovatelná pro rozličné druhy materiálů [17], a to jak v matricích pevných, tak i kapalných a plyných. S ohledem na relativně velké objemy materiálu při regeneraci GAU lze použít dva možné postupy:

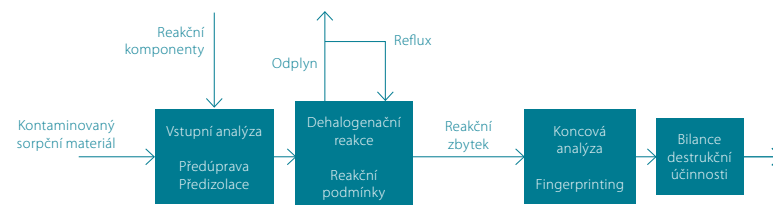
- regenerace, spojená s izolací vybraných látek do vhodné fáze, s následným nevratným odstraněním nežádoucích látek a jejich intermediátů,
- přímá regenerace na pevné fázi.

To, která cesta se použije, je zejména závislé na zachycovaných látkách, použitému sorpčnímu materiálu a požadované kapacitě metody.

Obdobná technologie s dostatečnou účinností v mobilním uspořádání není zatím na trhu dostupná. Naše technologie byla v předchozích generacích nasazena při pilotních sanačních pracích na kontaminovaném území skládky Organika Azot v Jaworznu (Polsko) s detoxifikací koncentrovaných materiálů vybraných nepolárních organických látek [18] s výbornými výsledky. Přednosti metody CDC proti potenciálním konkurenčním technologiím jsou:

- vysoká destrukční účinnost,
- možnost mobilního nasazení (in-situ), malý záběr plochy,
- široký rozsah kontaminantů – destrukce nezávisí na stupni chlorace,
- likvidace terminálních látek i prekurzorů,
- plně nespalovací metoda, se zcela uzavřeným cyklem záchytu (bez úniků residuů do ovzduší),
- bez použití agresivních médií,
- jednoduchost – reakční mechanismus dobře popsáný, možnost optimalizace metody např. volbou množství katalyzátoru,
- schopnost kontroly všech látkových toků procesu,
- schopnost znovuzpracovat materiály je-li potřeba proces opakovat kvůli dosažení maximální možné účinnosti,
- spolehlivost – pro širokou škálu koncentrací od stopových množství až po koncentráty kontaminantů,
- nenáročnost obsluhy.

Technologickou modifikací pro účelné, ekonomické recyklace sorpčního náplně GAU je možné chápat jako analogii technologie CDC, jejíž zjednodušené vývojové schéma je na obr. 3.



Obr. 3. Diagram procesu regenerace

Fig. 3. Regeneration process diagram

Některé parametry technologie CDC:

- reaktorem je tlaková nádoba s mícháním, s přívodem nosného plynu, chlazením odplynu, s děličem frakce (reflux) a elektrickým ohřevem,
- přibližný gradient ohřevu: cca 300 °C/45 minut,
- teplotní profil řízených reakcí: 100–300 °C,
- reakčními komponentami je modifikovaný směsný katalyzátor,
- doba reakce: 4 až 8 hodin,
- chlazení vsázky: volné,
- objem reaktoru v mobilním uspořádání: 0,2–5 m³,
- reprezentativní velikost vzorků každé vsázky: cca 250–1 000 kg,
- analytické stanovení destrukční účinnosti.

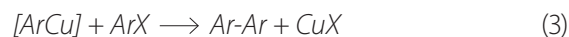
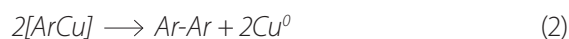
Princip metody CDC

V reaktoru probíhá katalytická reakce halogenových organických sloučenin za přítomnosti mědi a donoru vodíku nezávisle na stupni halogenace a pozici halogenu u těchto sloučenin. Nejedná se o spalovací technologii, což je její velkou výhodou. Katalytický mechanismus je podrobně publikován v [16]. Jeho vhodnou modifikací a užitým katalyzátorem je možné rozšířit využití CDC na širší skupinu látek, které jsou více polární a/nebo nemají ve svém skeletu halogen.

Při dehalogenaci se pak uplatňuje následující patentovaný reakční mechanismus (1):



a k Ullmanově reakci (biarylová tvorba) za vzniku netoxických a dále využitelných látek (2, 3):



V případě i termodynamicky méně stabilních skeletů, než jsou Ar-Ar pak dochází k jejich nevratnému rozpadu na netoxické fragmenty, přičemž halogeny přecházejí do anorganické formy soli nebo slabé kyseliny, jež se zachytávají v mokré pračce. Celkový proces je uzavřen, ke zbytkovým únikům zbytkových látek (např. do ovzduší) tak nedochází.

Pro regeneraci aktivního uhlí mohou testy probíhat ve dvou uspořádáních:

1. laboratorní modelový testovací reaktor pro malé objemy simulující podmínky v provozním reaktoru,
2. provozní reaktor.

Mobilní uspořádání

Jednotka CDC tak, jak je v současné době provozovaná, má možnost stacionárního i mobilního uspořádání. Mobilní jednotka je přenositelná na místo realizace, namísto logisticky komplikované přepravy materiálu. Na obr. 4 je ukázána současná verze mobilní jednotky. Všechny konstrukční prvky CDC jednotky jsou umístěny do robustního technologického rámu. Pro mobilní uspořádání je rám navržen tak, aby odpovídal umístění v technologickém kontejneru ISO. Proces je řízen centrální řídicí jednotkou podle různých, předem stanovených destrukčních programů. Sledování destrukční účinnosti se provádí analýzou odebraných vzorků během a po procesu destrukce ze vzorkovacích míst ze dna reaktoru.



Obr. 4. Mobilní technologie CDC

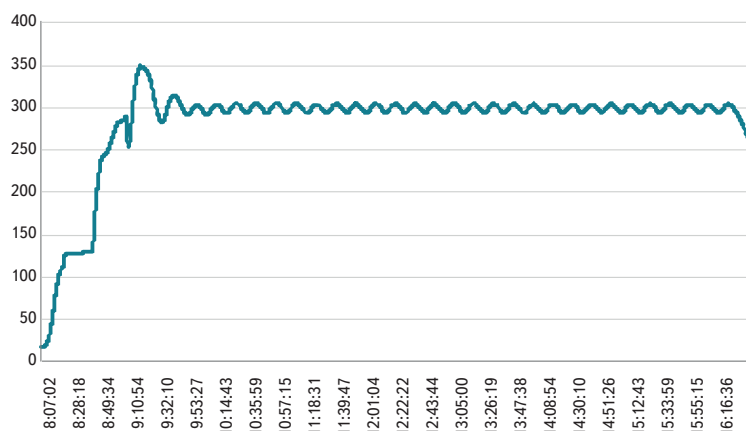
Fig. 4. CDC mobile technology

Modelové laboratorní uspořádání

V rámci řešení projektu Čistá voda – zdravé město byly destrukční testy realizovány v laboratorním uspořádání. V laboratorním reaktoru byly vyhodnocovány poměry vstupních reakčních komponent, jejich vhodnost a vliv matrice a druhu vstupního kontaminovaného materiálu. Jako reaktor byl použit auto-kláv s těmito parametry:

- reakční teplota: 100–300 °C sledována teplotním čidlem s automatickým záznamem (viz obr. 5),
- objem nerezové reaktorové nádoby: 400 ml,
- reakční doba: 4–8 hodin,
- prostředí: inertní atmosféra zamezující přístupu kyslíku je dosažena naplněním volného místa v reaktorové nádobě dusíkem před započítím zahřívání (přítomnost kyslíku by vedla k reakcím, kdy by vznikaly toxikologicky nebezpečnější sloučeniny nežli ty destruované),
- proces probíhal za stálého míchání, odběr vzorků po ukončení procesu (zchlazení materiálu),
- ke zkoumanému vzorku byly přidány příslušné reakční komponenty (složení vsázky a modifikovaný katalyzátor); poměr jednotlivých komponent závisí na druhu a míře kontaminace vzorku pesticidními látkami.

Teplotní křivka v laboratorním reaktoru
(ukázka prodlouženého 8hodinového cyklu)



Obr. 5. Průběh teploty v reaktoru

Fig. 5. Example of temperature course in reactor

Modelové testy

Při počátečních testech desorpce nasorbovaných organických látek katalytickou destrukcí na sorpční náplni GAU1 byly optimalizovány některé parametry metody, zejména hmotnost látek v reaktoru a doba výhřevu. Vyhodnocovanou veličinou byla destrukční účinnost v procentech, která je vypočtena jako poměr odezvy daného analytu (analytické plochy pod píkem) pro daný kontaminant před destrukcí (vstupní vzorek) ku vzorku výstupnímu po destrukci. Pro optimalizační testy byly použity vzorky obohacené předem definovanými koncentracemi vybraných pesticidů (účinných látek) obsažených v komerčních aplikačních přípravcích.

Optimalizované parametry destrukce CDC metodou pro porovnávací testy pro GAU1 až GAU5 byly následující:

- doba vyhřívání: 4 hodiny,
- hmotnost katalyzátoru: méně než 1%,
- hmotnost donoru vodíku: méně než 1%.

Pro porovnávací desorpční testy byly využity reálné vzorky nasorbovaných GAU z kolonových sorpčních testů.

VÝSLEDKY A DISKUSE

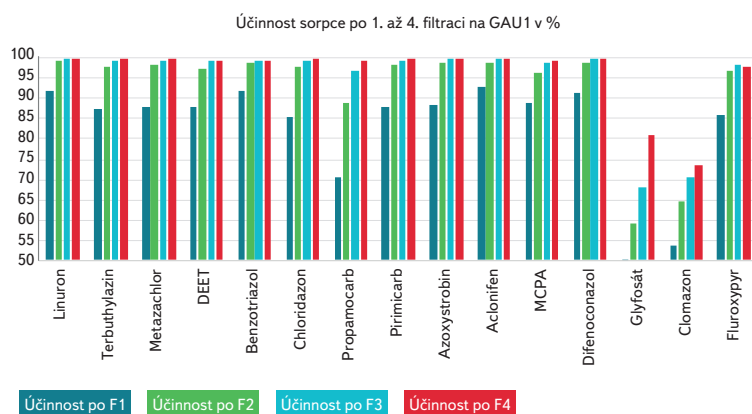
Modelové testy sorpce

Sorpční účinnost v procentech byla vypočtena jako poměr odezvy (plochy píku daného analytu) vzorku vody (filtrátu) po všech realizovaných filtračních cyklech a vzorku vstupního (počátečního) roztoku před započítím sorpčního testu. V tabulce 4, která uvádí srovnání sorpční účinnosti jednotlivých GAU1 až GAU5, jsou uvedeny sorpční účinnosti pro jednotlivé účinné látky po 4. (závěrečném) filtračním cyklu. Během experimentů byly tyto účinnosti zkoumány vždy po každé filtraci (F1–F4), což poskytuje informaci o míře úbytku dané látky v každém filtračním cyklu (viz obr. 6–10).

Uspořádání experimentu sorpčních kolonových testů se ukázalo jako vhodné pro stanovení sorpční účinnosti GAU. Z výsledků vyplývá velmi vysoká sorpční účinnost u všech zkoumaných typů GAU pro většinu zkoumaných polárních látek. Nejvyšší účinnost sorpce byla prokázána v případě GAU4, což je s velkou pravděpodobností dáno velikostí částic tohoto sorbentu.

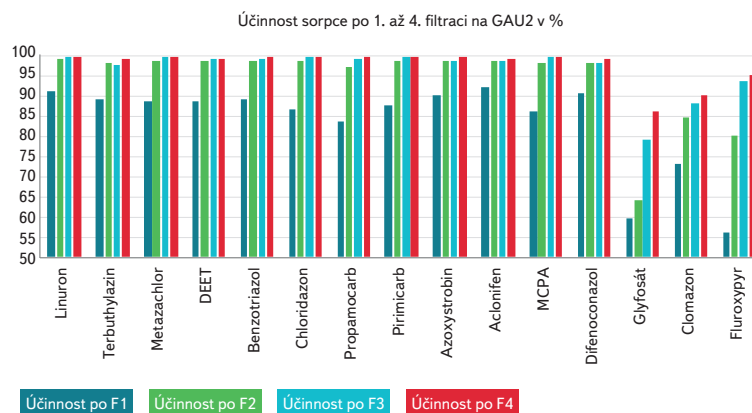
Tabulka 4. Porovnání zachytu pro jednotlivé druhy uhlí po 4. filtračním cyklu
Table 4. Sorption efficiency comparison after 4th filter cycles for five different GAUs

Polární látka	Sorpční účinnost [%]				
	GAU1	GAU2	GAU3	GAU4	GAU5
Linuron	99,81	99,73	99,83	98,81	99,83
Terbutylazín	99,74	99,07	99,55	98,12	99,98
Metazachlor	99,83	99,90	99,91	97,27	99,89
DEET	99,46	99,44	99,93	97,75	99,68
Benzotriazol	99,50	99,68	99,58	97,83	99,99
Chloridazon	99,72	99,81	99,78	99,36	99,73
Propamocarb	99,18	99,81	99,96	97,03	99,49
Pirimicarb	99,75	99,83	99,89	98,34	99,99
Azoxystrobin	99,82	99,56	99,83	97,57	99,93
Aclonifen	99,94	99,19	99,90	99,01	99,97
MCPA	99,25	99,91	99,98	98,49	99,97
Difenoconazol	99,90	99,17	99,74	97,76	99,77
Glyfosát	80,98	86,04	98,63	50,31	93,97
Clomazon	73,55	90,36	95,93	95,42	99,74
Fluroxypyr	97,99	95,06	99,20	88,03	98,81

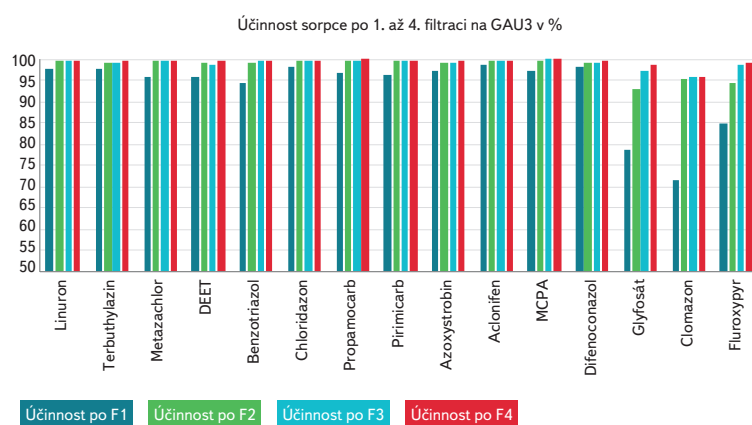


Obr. 6. Účinnost sorpce pro GAU1
Fig. 6. Sorption efficiency for GAU1

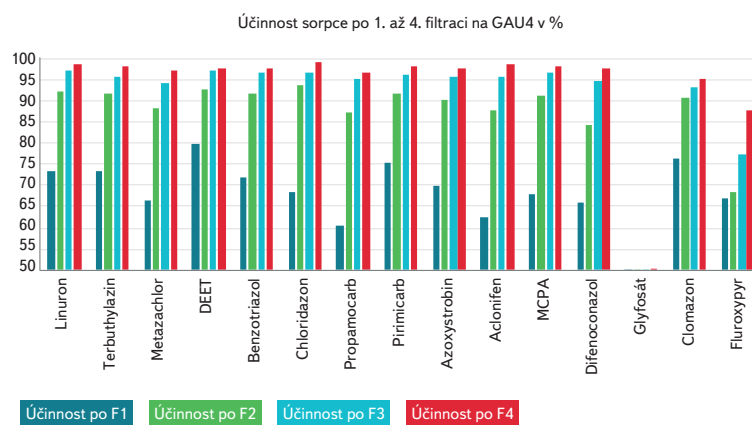
Jeho specifický povrch v $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ je sice mezi testovanými GAU nejvyšší, ale jeho využitelnost ve vnitřnějších partiích částic pro sorpci vyžaduje patrně větší čas, než který byl k dispozici v provedeném experimentu. Příčinou mohou být i stereochemické aspekty. Vyšší pozornost je potřeba věnovat posledním třem látkám ze seznamu testovaných látek: glyfosátu, clomazonu, fluroxypyr, jejichž sorpční účinnost byla zjištěna nejnižší. Sorpční účinnost glyfosátu může být ovlivněna jeho vysokou polaritou. U fluroxypyr (v přípravku Bofix) máme podezření na jeho nesnadnou rozpustitelnost ve vodě, výsledek může být



Obr. 7. Účinnost sorpce pro GAU2
Fig. 7. Sorption efficiency for GAU2

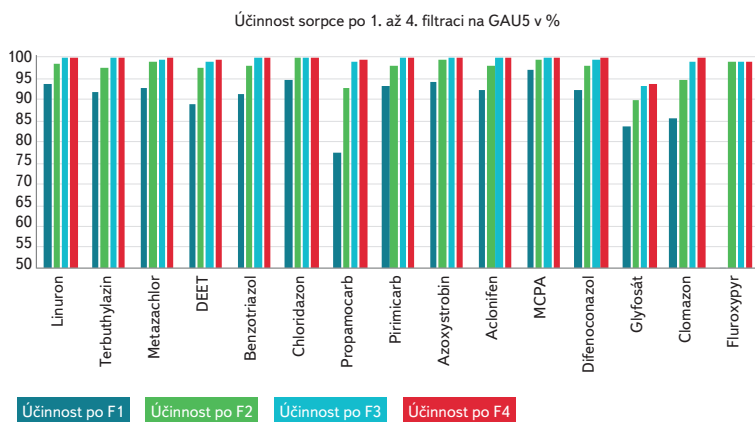


Obr. 8. Účinnost sorpce pro GAU3
Fig. 8. Sorption efficiency for GAU3

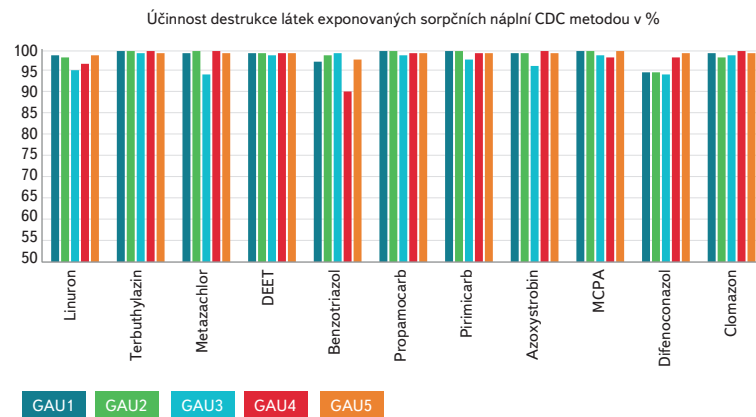


Obr. 9. Účinnost sorpce pro GAU4
Fig. 9. Sorption efficiency for GAU4

ovlivněn jeho koncentrační nehomogenitou ve vodním prostředí. Výsledné účinnosti sorpce jsou vztažené k dané vstupní koncentraci sledovaných látek, závislost účinnosti na stupni kontaminace ovlivňuje i sorpční kapacita daného GAU. Pro odhad této kapacity je vhodný například vsádkový-míchaný laboratorní test.



Obr. 10. Účinnost sorpce pro GAU5
Fig. 10. Sorption efficiency for GAU5



Obr. 11. Účinnost destrukce organických látek exponovaných sorpčních náplní CDC metodou
Fig. 11. Destruction efficiency of the exposed GAC by CDC method

Modelové testy desorpce

Výsledky modelových testů desorpce reálných vzorků katalytickou destrukcí v laboratorním reaktoru jsou uvedeny v *tabulce 5*. Experimenty byly provedeny pro dvě různé vstupní koncentrace rostlinolékařských přípravků získaných z kolonových sorpčních testů. Koncentrační úrovně (dané odezvou signálu chromatografické analýzy) se pro jednotlivé analyty pohybovaly v rozsahu až pěti řádů. V *tabulce 5* nejsou uvedeny zkoumané pesticidní látky glyfosát, fluroxypyr a chloridazon, u kterých byly počáteční koncentrace před provedením testů blízké limitům detekce analytického systému LC-MS.

Byla ověřena vysoká destrukční účinnost testovaných organických látek u všech typů GAU. Desorpční účinnost dosahovala v mnohých případech hodnot kolem 99 %. Rozdíly destrukční účinnosti mezi testem č. 1 a testem č. 2

lze vysvětlit odlišnou vstupní koncentrací analytů před desorpce. Nejnižší hodnoty destrukční účinnosti 80 až 90 % byly zjištěny vždy pouze u testu č. 2 v případě účinných látek, které měly relativně nízkou počáteční koncentraci (před provedením testu) blízkou limitům detekce. Nižší destrukční účinnosti byly zjištěny také v testu č. 2 pro GAU4, jehož zpracování je provedeno ve formě pelettek. Obecně vyšších destrukčních účinností bylo dosaženo u testů č. 1, kde byly vyšší počáteční koncentrace zkoumaných látek. Modelové experimenty prokázaly schopnost CDC katalytické metody destruovat zájmové polární látky z kontaminovaných vzorků u všech GAU s vysokou účinností (*obr. 11*).

Tabulka 5. Destrukční účinnost pro jednotlivé druhy GAU
Table 5. Destruction efficiency for five GAUs

Polární látka	GAU1		GAU2		GAU3		GAU4		GAU5	
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2
Linuron	98,83	97,65	98,69	99,60	95,41	93,42	97,18	93,49	99,14	94,43
Terbutylazín	99,81	99,44	99,77	99,12	99,57	92,79	99,81	95,94	99,67	99,87
Metazachlor	99,58	99,36	99,76	98,36	94,47	87,92	99,81	96,87	99,64	99,84
DEET	99,64	99,29	99,67	99,00	99,21	91,40	99,62	92,63	99,50	99,52
Benzotriazol	97,29	98,18	98,94	99,13	99,68	90,57	90,57	92,11	97,81	97,89
Propamocarb	99,82	99,65	99,87	93,82	98,84	86,70	99,72	86,17	99,69	99,51
Pirimicarb	99,76	99,54	99,87	98,97	97,95	92,28	99,75	93,38	99,65	99,57
Azoxystrobin	99,39	99,61	99,56	99,01	96,53	90,00	99,83	93,31	99,63	92,72
MCPA	99,93	99,87	99,91	98,87	99,18	94,29	98,43	96,10	99,76	98,29
Difenconazol	94,86	98,31	95,04	97,67	94,45	89,18	98,57	91,97	99,46	99,55
Clomazon	99,31	98,53	98,72	99,32	99,06	83,16	99,87	95,48	99,64	99,34

ZÁVĚR

Provedenými testy na vybraných pěti typech sorpčních náplní na bázi aktivního uhlí byla zjištěna vysoká účinnost sorpce a následná desorpce většiny účinných látek rostlinolékařských přípravků a dalších organických látek CDC metodou. Nižší účinnosti sorpce a desorpce byly ověřeny v případě sorpční náplně NORIT® GAC 1020 EN (GAU4), která je dána tvarovou a velikostní odlišností oproti ostatním typům granulovaného aktivního uhlí. V případě glyfosátu, clomazonu a fluroxypyru byla zjištěna nižší sorpční účinnost v prvním a druhém filtračním cyklu u všech typů testovaných GAU, ve třetím a čtvrtém cyklu však byla účinnost sorpce u testovaných GAU3 (NORIT GAC 1240 W) a GAU5 (AquaSorb 6300) srovnatelná s ostatními testovanými organickými látkami. Tyto dva poslední jmenované druhy sorpčních náplní se také potvrdily jako nejučinnější pro sorpci studovaných polárních organických látek. Nejvyšší účinnosti destrukce exponovaných sorpčních náplní CDC metodou bylo dosaženo v případě sorbentů GAU5 (AquaSorb 6300), GAU1 (Chemviron Filtrasorb TL830) a GAU2 (Chemviron Filtrasorb 400).

Poděkování

Príspevek byl zpracován v rámci projektu „Čistá voda – zdravé město: Cizorodé látky ve vodách podzemních, povrchových a odpadních“ (registrační číslo projektu CZ.071.02/0.0/0.0/16_040/0000378), Koncept I „Studie vnosu pesticidů do vodárenské nádrže Švihov (Želivka) s využitím nových vzorkovacích technik a odstranění organických látek ze sorpčních filtrů za ozonizací vysoce-účinnou chemickou destrukcí“.

Seznam zkratk

GAC	granular activated carbon
GAU	granulované aktivní uhlí
CDC	Catalytic Destruction using Copper
DRE	destrukční účinnost (Destruction and Removal Efficiency)
ÚV	úpravna vody
VN	vodárenská nádrž
LC-MS	kapalinová chromatografie ve spojení s hmotnostní spektrometrií
ÚKZÚZ	Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

Literatura

- [1] LIŠKA, M. a kol. Problematika výskytu pesticidních látek v povrchových vodách v povodí vybraných vodárenských zdrojů. *Vodní hospodářství*, 2015, č. 1, s. 14.
- [2] LIŠKA, M., SOUKUPOVÁ, K., DOBIÁŠ, J., METELKOVÁ, A., GOLDBACH, J. a KVÍTEK, T. Jakost vody ve vodárenské nádrži Švihov na Želivce a jejím povodí se zaměřením na specifické organické látky. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 2016, roč. 58, č. 3, s. 4–11. ISSN 0322-8916.
- [3] Online, staženo 15. 12. 2019. Dostupné z: <https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/projekty/polrustu2cistavoda>
- [4] TUŠIL, P. SWOT analýza modernizace úpravy vody Želivka. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 2016, roč. 58, č. 2, s. 28–37. ISSN 0322-8916.
- [5] PINKER, B. Význam reaktivace granulovaného aktivního uhlí používaného pro úpravu pitné vody. *Vodní hospodářství*, 1997, roč. 47, č. 5, s. 166–168.
- [6] KOPECKÝ, J. Aktivní uhlí – technologie pro úpravu pitných a bazénových vod. *Vodní hospodářství*, 2003, roč. 53, č. 7, s. 185–187.
- [7] MOHAN, D. and SINGH, K.P. Granular activated carbon. Domestic, municipal, and industrial water supply and waste disposal. Published by John Wiley & Sons. *Water Encyclopedia*, 2005, Vol. 1, p. 92–107.
- [8] DUC, L.D. Studium adsorpce přirozených organických látek na aktivním uhlí při úpravě pitné vody. Diplomová práce VUT, Brno, 2008.

[9] KOPECKÁ, I. Adsorpce pesticidů na granulovaném aktivním uhlí při úpravě vody. Diplomová práce, Ústav pro životní prostředí, PF UK, Praha, 2010.

[10] DAŇEK, L. Sorption of zinc from aqueous solutions on regenerated activated carbons. *Journal of Hazardous Materials*, 2003, p. 191–201.

[11] DOBIÁŠ, J., KOŽELUH, M., ZAJÍČEK, A., FUČÍK, P. a LIŠKA, M. Dynamika vyplavování pesticidních látek v povodí Čechtického potoka. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 2018, roč. 60, č. 4, s. 10–16. ISSN 0322-8916.

[12] General technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with persistent organic pollutants. UNEP/CHW.13/6/Add.1, 2018.

[13] PEKÁREK, V., OCELKA, T., GRABIC, R., and BUREŠ, M. The Application of Copper Mediated Destruction Method (CMD) for Destruction of Chlorinated Pesticides and some Pre-dioxin and POP Compounds. *8th International HCH and Pesticides Forum, Bulgaria*, 2005.

[14] OCELKA, T. and PEKÁREK, V. Copper Mediated Destruction: novel method for destruction of chlorinated pesticides and other halogenated POPs. *10th HCH FORUM, IHPA, Brno*, 2009.

[15] OCELKA, T., PEKÁREK, V., FIŠEROVÁ, E., ABBRENT, M., KOHUTOVÁ, J., HETFLEJŠ, J., and LOJKÁSEK, M. Copper mediated destruction (CMD) – a novel BAT technology for POPs destruction. *Organohalogen Compd.*, 2010, 72, p. 1258–1259.

[16] PEKÁREK, V., HAPALA, P., and FIŠEROVÁ, E. Process for Dehalogenative Detoxification of Halogen Aromatic and/or Cyclic Compounds. EU Patent application No.PCT/CZ2004/000024.

[17] ISHIDA, M., SHIJI, R., NIE, P., NAKAMURA, N., and SAKAI, S. Full-scale plant study on low temperature thermal dechlorination of PCDDs/PCDFs in fly ash. *Chemosphere*, 1998, Oct-Nov, 37, p. 9–12. ISSN 2299-308.

[18] OCELKA, T., NIKL, S., KURKOVA, R., and PAVLISKA, L. Application of Copper Mediated Destruction technology for trial dehalogenation of pesticides concentrates in Jaworzno dump site in mobile full scale unit. *11th HCH and Pesticides Forum, Azerbaijan*, 2011.

Autoři

Ing. Tomáš Mičaník, Ph.D.¹

✉ tomas.micanik@vuv.cz

Ing. Jiří Oceánský²

✉ jiri.oceansky@ehss.eu

Mgr. Jiří Lisník²

✉ jiri.lisnik@ehss.eu

Ing. Tomáš Ocelka, Ph.D.²

✉ tomas.ocelka@ehss.eu

¹Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., pobočka Ostrava

²E&H services, a. s.

Príspevek prošel lektorským řízením.

TEST OF SORPTION FILTERS ON THE BASE OF GRANULAR ACTIVATED CARBON FOR DRINKING WATER CLEANING

MICANIK, T.¹; OCEANSKY, J.²; LISNIK, J.²; OCELKA, T.²

¹TGM Water Research Institute, p.r.i., Ostrava Branch

²E&H services, a. s.

Keywords: sorption – desorption – catalytic destruction using copper – dehalogenation technology – GAC filtration – pesticides – water reservoir Švihov – sorbent regeneration

The contribution presents model tests of sorption efficiency and elimination of organic substances, especially pesticides from five different exposed granular activated carbon (GAC). Results can contribute to the understanding of suitable filter lines for the realized investment project GAC filtration. It provides the purification of treated water at the Želivka Drinking Water Treatment Plant. There were realised sorption efficiency tests in a column arrangement for selected 15 polar substances. The presence of this substances was proven in the Želivka river basin and in the Švihov water reservoir. High sorption efficiency was reached exceeding 99% was found in our tests for most of the test substances. Part of the project was to verify the possibility of using the technology of catalytic destruction of CDC (Catalytic Destruction using Copper) for GAC regeneration (reactivation). Destructive efficiency (as DRE) of CDC technologies was investigated in a laboratory reactor, for most substances high elimination values above 99% were achieved.

Zkvalitnění monitoringu biologické kvality pitných vod

PŘEMYSL SOLDÁN, LIBOR RAMBOUSEK

Klíčová slova: havarijní znečištění – teroristické útoky na vodní zdroje – kriminální činnost zaměřená na vodní zdroje – kontinuální biologický monitoring

SOUHRN

Príspevek podáva informáci o zavádění nové metody kontinuálního monitoringu biologické jakosti surových a upravených vod na Úpravně vod Želivka. Jedná se o největší úpravnu vody pro hlavní město Prahu. Kromě toho úpravna zásobuje pitnou vodou i oblasti Středočeského kraje a kraje Vysočina. Zaváděný biologický monitoring představuje v České republice zcela nový přístup ke sledování biologické jakosti pitných vod. To je dáno typem použitých monitorovacích zařízení (DaphTox), která jsou v České republice pouze ve dvou exemplářích. V článku jsou popsány zkušenosti se zaváděním zkušebního provozu monitorovacích zařízení včetně popisu nezbytná opatření pro zajištění jeho chodu.

ÚVOD

Úpravna vody Želivka, a. s., a její dceřiná společnost Želivská provozní, a. s., jsou vodárenské společnosti, které se podílejí na správě a provozování Středočeské vodárenské soustavy. Podle údajů, zveřejněných na webových stránkách akciové společnosti, byla úpravna uvedena do provozu v roce 1972. Surová voda je do úpravně dodávána z vodárenské nádrže Švihov, která má objem vody 266,5 milionů m³. Základní technologií úpravy vody je koagulační filtrace s dávkováním síranu hlinitého. Pitná voda je zdravotně zabezpečena ozonem a chlorem. Maximálním projektovaným špičkovým výkonem 7 m³/s pitné vody a současným výkonem okolo 3 m³/s pitné vody se řadí úpravna vody Želivka k největším úpravnám vody v Evropě a je největší úpravnou vody v České republice.

Úpravna vody Želivka je největší úpravnou vody pro hlavní město Prahu. Doprava pitné vody do Prahy je zajištěna štolovým přivaděčem o délce 51,97 km do vodojemu Jesenice I u obce Vestec. Podíl Úpravně vody Želivka na zásobování Prahy pitnou vodou se pohybuje okolo 74 % a zbytek zajišťuje dodávkami Úpravna vody Káraný, Úpravna vody Podolí slouží jako rezervní zdroj (z údajů Pražských vodovodů a kanalizací). Úpravna vody Želivka dále zásobuje pitnou vodou i oblasti Středočeského kraje a kraje Vysočina. Nezávadné pitné vody nesmí vykazovat nežádoucí biologické účinky. Bezpečný zdroj pitné vody má strategický význam pro jakékoliv lidské sídlo. S velikostí sídla se jeho význam zvyšuje, je tedy jasné, že zajištění bezpečného zdroje pitné vody pro Prahu a okolí má nejvyšší prioritu. Riziko náhlé kontaminace vod nebezpečnými látkami je samozřejmě vyšší u povrchových zdrojů surových vod, tak jako je to v případě Úpravně vod Želivka. V současné době k náhodným případům kontaminace přistupuje i riziko cílené kriminální či teroristické akce. Protože náhlé zhoršení kvality vody pro úpravu má charakter náhodného jevu, je nutné na

úpravnách vybudovat systém včasného varování, který by dostatečně rychle, s potřebnou citlivostí a hlavně spolehlivě detekoval změny kvality surových vod pro úpravu. Tento Koncept II se zabýval vylepšením systému včasného varování na Úpravně vod Želivka.

SYSTEM VČASNÉHO VAROVÁNÍ

Protože úprava pitných vod je nepřetržitý proces, musíme pro potřeby zajištění bezpečnosti produkce disponovat okamžitými informacemi jak o kvalitě surových vod, přitékajících na úpravnu, tak o vodách, odváděných z úpravně do vodovodní sítě. Zdrojem okamžitých informací může být pouze kontinuální monitoring. Rutinně prováděný kontinuální monitoring povrchových vod v České republice zahrnuje sledování vybraných fyzikálně-chemických parametrů (pH, obsah rozpuštěného kyslíku, vodivost, teplota, UV absorpance při vlnové délce 254 nm). Tyto údaje jsou zcela nedostatečné pro posouzení možných nežádoucích biologických vlastností vod, zejména těch způsobených toxickými účinky znečištění [1].

Ostatní, vysoce specializované chemické analýzy potřebám systému včasného varování rovněž nevyhovují. Nelze je totiž provádět v kontinuálním režimu a existuje tedy reálné riziko nezachycení vlny kontaminace vod. Navíc jsou tyto analýzy prováděny cíleně, velice přesně stanovujeme koncentraci určité látky ve vodě, avšak charakter a chemické složení náhodné kontaminace není známo, tím je detekční schopnost stanovení významně snížena. V neposlední řadě si také musíme uvědomit, že i velice přesná data o složení kontaminujících látek nic nevyovídají o jejich konečném biologickém účinku. Musíme si totiž uvědomit, že výsledný účinek je dán fyziologickou dostupností těchto látek a je také zásadně ovlivněn vzájemnou interakcí všech látek ve vodě obsažených. Z těchto skutečností vyplývá, že potřeby systému včasného varování nejlépe naplňuje kontinuální biologický monitoring, kdy jsou vybrané monitorovací organismy nepřetržitě vystaveny působení sledovaných vod a posouzení biologických vlastností těchto vod vychází z vyhodnocení reakce těchto organismů na celkové složení těchto vod. Z výše uvedených důvodů většina vodárenských firem v České republice zavedla kontinuální biologický monitoring pomocí sledování reakce pstruhů duhových na kvalitu surových vod, přitékajících nádržemi, v nichž jsou umístěni. Problematice použití pstruha duhového pro monitoring v úpravnách vod se věnují zejména rybářští odborníci z Jihočeské univerzity [2]. Tito autoři se však přednostně soustřeďují na histopatologická vyšetření monitorovacích ryb a analýzy obsahu polutantů v rybích tkáních, tedy na ukazatele dlouhodobých vlivů monitorovaných vod na ryby, nikoliv na krátkodobé výkyvy biologické jakosti vod, které sledujeme systémem včasného varování. Také na Úpravně vody Želivka je provozován kontinuální

monitoring pro potřeby systému včasného varování. Systém sledování je řízen Pracovním postupem provozního ředitele č. 3/2007. Na této úpravně jsou pstruzi umístěni ve dvou skleněných nádržích, kterými protéká surová voda přiváděná na úpravnu. Ryby jsou nepřetržitě monitorovány pomocí kamery a jejich reakce vyhodnocují určené zaměstnanci úpravy. Při šetření na místě bylo zjištěno, že ryby v obou nádržích jsou v dobrém zdravotním stavu a vykazují značné přírůstky, ty jsou dány zřejmě vyšším přísunem krmiva. S ohledem na velikost ryb je hustota ryb v obou nádržích značně vysoká, což může negativně ovlivnit „citlivost“ odečtu nestandardního chování jedinců při případné nevyhovující biologické jakosti vod. Důležité je si také uvědomit fakt, který uvádějí někteří autoři (např. [3]), že totiž vyšší hustota rybí obsádky může vést k zvýšení agresivity monitorovacích ryb a k jejich vzájemnému napadání. Sledovací kamera je umístěna relativně daleko od nádrží, což sice umožní komplexní pohled na nádrže, ale je tím snížena „citlivost“ odečtu. Biologický monitoring je nasazen pouze na vstupu vod do úpravy, nikoliv na výstupu. Není tedy monitorována biologická jakost vod odváděných do vodovodní sítě po procesu úpravy surových vod, který může vést ke vzniku různých reakčních meziproductů, které mohou působit negativní biologické účinky.

METODA ŘEŠENÍ

Podle doporučení americké agentury ochrany životního prostředí [4] by každý ucelený biologický systém včasného varování (BSVV), který je založen na vyhodnocování reakcí živých organismů, měl splňovat tři základní požadavky. Musí poskytovat rychlou odpověď, detekovat škálu odlišných kontaminantů, ale zároveň si musí zachovat dostatečnou citlivost. Posledním významným kritériem je, že musí pracovat jako automatizovaný systém, který umožňuje dálkovou kontrolu. Jakýkoliv BSVV, který nespĺňuje tyto tři základní charakteristiky, není považován za efektivní varovný systém.

Současný systém sledování kvality vod, přitékajících na úpravu vody Želivka tyto požadavky nespĺňuje. Vykazuje nedostatky, které významně ovlivňují jeho vypovídací schopnost a tím i celkovou úroveň kontroly biologických vlastností povrchových vod určených pro výrobu pitné vody především pro Prahu. Cílem aktivity bylo zavedení nové kontinuální metody sledování biologických vlastností vod, které výrazně zvýší efektivitu, citlivost a operativnost celého monitorovacího systému úpravy oproti v současnosti používané metodě. Současně má být tento kontinuální monitoring schopný zachytit případné negativní vlivy technologie úpravy vod na její biologické vlastnosti. Vytyčeného cíle lze dosáhnout zavedením použití přístrojů pro biologický monitoring, disponujících kontinuálním počítačovým vyhodnocováním reakce monitorovacích organismů, spojeným s automatickým upozorněním na závažnou změnu jakosti sledovaných vod. Základní myšlenka využívání automatických biologických senzorů ke sledování kvality vody byla poprvé vyslovena na počátku sedmdesátých let [5]. Od té doby došlo k výraznému rozvoji v této oblasti. Celosvětově existuje řada firem, které komerčně nabízejí přístroje pro provádění automatizovaného kontinuálního biologického monitoringu.

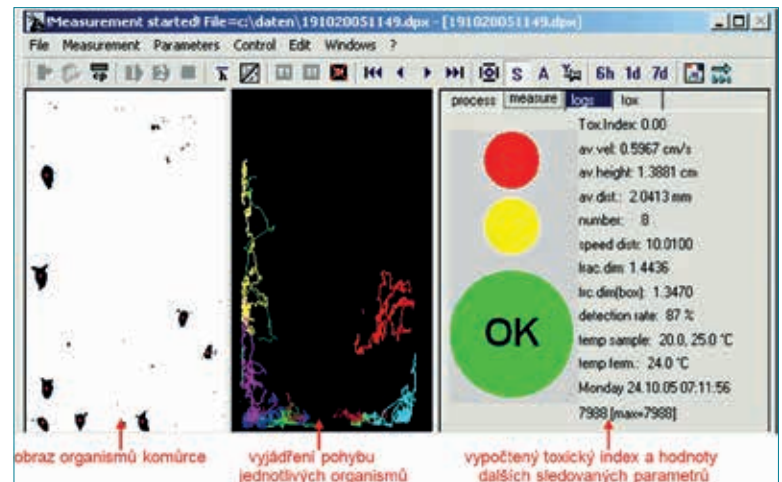
Tyto přístroje jsou využívány nejen k monitoringu jakosti vod v povodích, ale účelově také na úpravách vod. Jako příklad uvádíme Úpravnu vod Stakčín na Slovensku [3, 6]. Na této úpravně jsou na přívodu surové vody osazeny dva druhy přístrojů, FISH monitor firmy Kerren (SRN), využívající jako monitorovací organismus pstruha duhového a MOSSSEL monitor firmy Delta Consult (Nizozemsko), který využívá jako monitorovací organismus měkkýše druhu *Unio pictorum* a *Unio tumidus*. Obě zařízení fungují kontinuálně s automatickým vyhodnocováním biologického stavu monitorovaných vod a spuštěním alarmu v případě překročení limitních hodnot. Dunaj [3] v závěru své práce konstatuje, že zavedený systém biologického monitoringu se plně osvědčil. Systém umožňuje v případě nežádoucí změny kvality surových vod urychleně přikročit k odstavení úpravy, zjištění příčin této změny a přijetí potřebných opatření.

Oceňovaná je vysoká citlivost přístrojů a rychlost reakce na změny biologické jakosti vody. V případě Úpravy vody Želivka jsme zvolili nasazení přístrojů DaphTox firmy BBE Moldaenke (SRN) na vstupu a výstupu vod z úpravy. Pro výběr tohoto typu monitorovacího zařízení byly rozhodující následující parametry:

- citlivost zařízení,
- relativní nenáročnost obsluhy,
- úroveň prověření rutinním provozem.

Citlivost zařízení je dána použitím testovacího organismu a způsobem vyhodnocení jeho reakcí. V případě přístroje DaphTox jsou jako monitorovací organismy použity perloočky *Daphnia magna*. Tyto organismy vykazují vysokou citlivost na širokou škálu polutantů. Pro případ sledování jakosti vody z nádrže je také významná vysoká citlivost perlooček na vliv toxinů, produkováných sinicemi. Nebezpečí kontaminace vod těmito látkami je velmi vysoké v letním období. Řada autorů [7–14] považuje tyto organismy za nevhodnější pro zkoušky toxicity toxinů sinic pro jejich vysokou citlivost na dané látky. Naopak pstruzi a ryby obecně vykazují k těmto toxinům velice nízkou citlivost. Ani vysoké dávky na ně nepůsobily negativně, včetně nulového poškození hepatopankreatu.

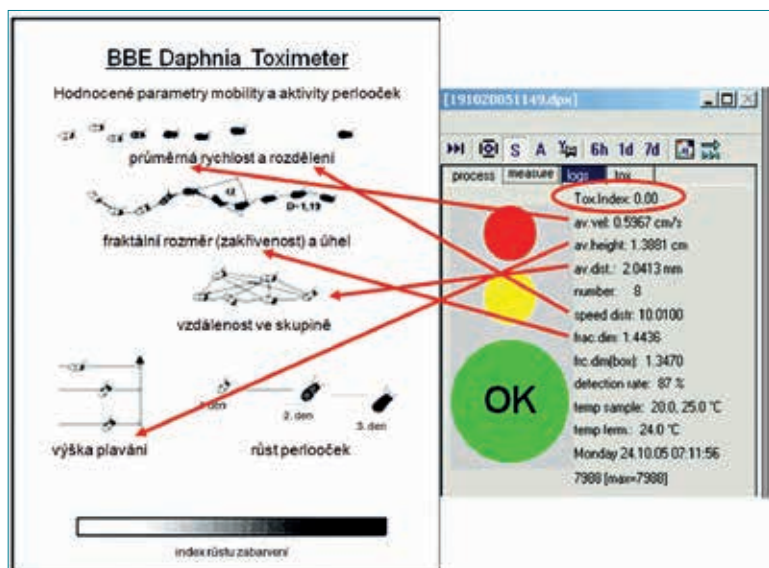
Vyhodnocení reakce perlooček, použitých k monitoringu v přístrojích DaphTox, zahrnuje už změny chování, tedy možné neletální negativní účinky znečištění vod. Pohyb organismů v měřicí cele kontinuálně snímá CCD kamera. Změny chování jsou průběžně vyhodnocovány integrovaným počítačem. Pro tyto potřeby firma BBE Moldaenke vyvinula specializovaný software. Jím je převáděn obrazový záznam do grafické a posléze numerické podoby (viz obr. 1).



Obr. 1. Kamerový obraz a jeho převod do grafické a numerické podoby
Fig. 1. Camera image and its conversion into graphic and numerical form

Chování organismů je vyhodnocováno na základě řady vypočtených parametrů, které zohledňují například průměrnou rychlost pohybu organismů, jejich polohu v komůrce a také jejich úhyn. Z řady dat je stanoven tzv. index toxicity 0 až 10 (viz obr. 2). Na základě jeho hodnoty je pak spuštěno varování či alarm. Hraniční hodnoty pro varování a alarm jsou různé v závislosti na volbě citlivosti monitoringu. Obecně platí nepřímá závislost hodnoty toxického indexu na výši zvolené citlivosti. K zařízení se lze za pomoci specializovaného programu připojit on-line v síti internet z kteréhokoliv počítače, který je daným softwarem vybaven. To umožňuje získávat odkudkoliv a kdykoliv aktuální informace o stavu biologické jakosti vod v monitorovaném profilu.

Náročnost obsluhy nevyžaduje specializované znalosti a obsluhu přístroje lze plnohodnotně zajistit po patřičném zaškolení.



Obr. 2. Vyhodnocení indexu toxicity na základě vyhodnocení různých parametrů chování monitorovacích organismů

Fig. 2. Evaluation of toxicity index based on the assessment of various behavioural parameters of monitoring organisms

Úroveň prověření rutinním provozem je u přístrojů DaphTox značná. Kromě toho, že jsou tyto přístroje instalovány na velké řadě monitorovacích stanic situovaných na řekách všech významných evropských povodí, slouží také celosvětově při monitoringu jakosti vod ve vodárenství a potravinářském průmyslu (viz *tabulka 1* uvádějící přehled uživatelů, poskytnutý výrobcem přístroje).

Oba přístroje DaphTox, které jsme osadili na Úpravně vod Želivka, byly dlouhodobě otestovány ve zkušebním provozu na říčních monitorovacích stanicích v povodí řeky Odry. Za dobu použití se plně osvědčily a jasně prokázaly svou užitečnost pro výrazné zlepšení systému včasného varování [1]. Přístroje jsou doplněny automatickým vzorkovačem, který v případě zaznamenaní havarijního snížení biologické jakosti sledovaných vod odebere vzorky pro následné analýzy, zaměřené na detekci příčin daného stavu.

PRŮBĚH ZAVÁDĚNÍ NOVÉHO TYPU MONITORINGU

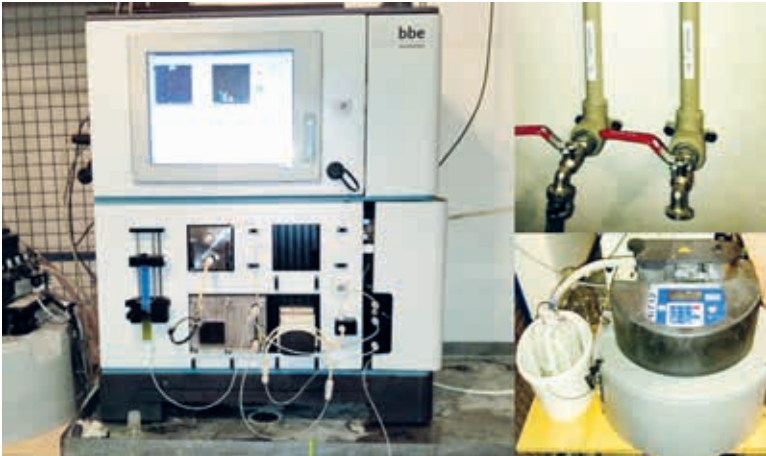
Instalace zařízení a zavedení chovu monitorovacích organismů

V přípravné fázi probíhaly konzultace s provozovatelem úpravní a šetření na místě osazení přístrojů, zaměřené na technické řešení napojení přístrojů na přívod surových a upravených vod úpravně. Zde musíme konstatovat, že provozovatel úpravní po celou dobu přistupoval k řešení problému velmi aktivně.

Tabulka 1. Užití přístroje DaphTox ve vodárenství a potravinářském průmyslu podle údajů BBE Moldaenke

Table 1. Use of DaphTox device in the waterworks and food industry according to BBE Moldaenke data

Země	Uživatel	Použití	Od roku	Typy vod
Brazílie	HEINEKEN Brasil Jacaref	pivovarnictví – monitoring jakosti vod	2011	povrchové/podzemní vody
	Stadtwerke Konstanz	monitoring pitných vod	2005	vody z nádrže
Německo	Warsteiner	pivovarnictví – monitoring jakosti vod	2013	podzemní vody
	Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung Sipplingen Lake Constance Water Supply Association – BWV	monitoring pitných vod	2009	vody z nádrže
Izrael	Mekorot Water Co. Nazareth – Illit National Water Company	monitoring pitných vod	2008	neznámé
Nizozemsko	Het Waterlaboratorium Nieuwegein	monitoring pitných vod	2007–2009	říční vody/vody z nádrže
	WML Maastricht	monitoring pitných vod	2009	říční vody/vody z nádrže
Švýcarsko	Zurich Water Company Zurich	monitoring pitných vod	2013	vody z nádrže
	IWB/Industrielle Werke Basel Water and Energy Company	monitoring jakosti vod	2011	neznámé
USA	Salt Lake City Water Works	monitoring pitných vod	2001–2002	podzemní vody
Ukrajina	Úpravna vod Desna	monitoring pitných vod	2015	podzemní vody



Obr. 3. Monitorovací zařízení s automatickým odběrákem nainstalované na Úpravně vod Želivka

Fig. 3. Monitoring device with automatic sampler installed at the Želivka Water Treatment Plant

Technicky zajistil prostory pro instalaci přístrojů i přívody obou druhů vod. Spolupracoval také v činnostech nezbytných k zajištění on-line připojení přístrojů k internetové síti. Provozovatel také poskytl prostory vhodné pro chov monitorovacích organismů (perlooček) a pěstování krmných planktonních řas.

Po laboratorním otestování plné funkčnosti a provedení nezbytných úprav byl ve vyhrazených prostorách nainstalován první monitorovací přístroj (obr. 3) propojený s automatickým vzorkovačem a zahájen chov monitorovacích organismů a pěstování řas. Nastavením připojení přes internetovou síť bylo rovněž zahájeno on-line sledování reakce monitorovacích organismů. Před zahájením zkušebního provozu byly v prostorách úpravně provedeny toxikologické zkoušky, zaměřené na detekci případných negativních biologických účinků sledovaných typů vod na monitorovací organismy, to je perloočky *Daphnia magna*.

Standardizovanými postupy [15] byly ověřeny účinky surových vod, vod pro úpravě a pro porovnání také standardizované ředící vody připravené podle ČSN EN ISO 6341 [15]. Zatímco standardizovaná ředící voda při době expozice 48 h nevykazovala žádné negativní účinky, surová voda již negativní účinky na monitorovací organismus v omezené míře vykazovala. K rychlému úhynu 100 % organismů došlo u testovaných vod prošlých úpravnickým procesem. Těmto výsledkům plně odpovídalo ověření v monitorovacím zařízení DaphTox, kdy v průběhu zkušebního monitoringu docházelo k úhynu monitorovacích organismů v rozsahu odpovídajícím výsledkům standardizovaných zkoušek. Problémy s oběma druhy vod tedy bylo nutné vyřešit.

Předúprava surových vod

U surové vody jsme vyvozovali, že má zřejmě odlišné biologické vlastnosti od standardní ředící vody, ve které byly monitorovací organismy původně chovány. Pro adaptaci organismů na tuto vodu byly chovy převedeny do surové vody. Předpokladem bylo, že nově narozené generace, chované v surové vodě, by měly být na dané médium adaptovány. Tento krok však nepřinesl žádoucí výsledek – k úhynu monitorovacích organismů v DaphToxu docházelo i u jedinců z nově založených chovů, i když samotné chovy vykazovaly plnou adaptaci na surovou vodu. Společným hledáním příčin provedeným jak řešitelem konceptu, tak pracovníkem úpravně byla jako možný negativní faktor určena nízká koncentrace rozpuštěného kyslíku v monitorované surové vodě. Tato voda je totiž odebírána z větších hloubek nádrže, kde výrazně klesá koncentrace rozpuštěného kyslíku. Daný předpoklad byl doložen výsledky měření prováděnými laboratořemi úpravně. Z těchto výsledků vyplynulo, že minimální

koncentrace kyslíku mohou dosahovat až hodnoty 4,19 mg/l, což je 36,7 % nasycení (údaj z roku 2019). Tato úroveň je pro život perlooček nevyhovující, například norma ČSN EN ISO 6341 [15] doporučuje vzorky s koncentrací kyslíku nižší než 40 % před provedením zkoušky toxicity provzdušnit (a to se zkoušky provádějí v otevřených nádobách, kde může docházet k volné difuzi kyslíku na rozdíl od komůrky DaphToxu, která je hermeticky uzavřena). Proto jsme provedli úpravu, při níž je monitorovaná surová voda nejdříve vedena do kanystru, ve kterém je provzdušňována, a poté je teprve nasávána do komůrky DaphToxu. Tímto opatřením jsme vyřešili nežádoucí úhyn monitorovacích organismů, způsobený nízkým obsahem kyslíku ve sledované vodě.

Předúprava vod po chloraci

U vody, která prošla technologickým procesem úpravy, bylo odstranění problému složitější. Do prostor, ve kterých je monitorovací přístroj umístěn, je totiž přivedena upravená voda již po ozonizaci a chloraci. Tato skutečnost značně komplikuje záměr Konceptu II monitorovat rovněž biologické vlastnosti upravené vody. Chlor je totiž toxická látka. Pro bezproblémové kontinuální sledování je tedy nutná kontinuální dechlorace upravené vody. Nejdříve jsme zkusili intenzivní aeraci upravené vody v nádobě, z které byla voda odčerpávána do měřicí komory s monitorovacími organismy. Toto opatření však nebylo dostatečně účinné, protože ve vodě stále zůstávala průměrná koncentrace zbytkového chloru 0,1 mg/l. Že je tato koncentrace pro monitorovací organismy toxická, bylo ověřeno zkušebním monitoringem. Naše pozorování plně odpovídalo závěrům rešeršní studie, kterou publikoval Mattingley [16]. Ten uvádí, že na celkový zbytkový chlor jsou z širokého spektra vodních organismů nejcitlivější perloočky druhu *Daphnia magna*. Pro organismy mladší 24 h (tedy ve stáří, ve kterém se nasazují do monitorovacího zařízení) je koncentrací, která způsobí 50% úhyn organismů při době expozice 48 h, hodnota 0,017 mg celkového zbytkového chloru na litr. Proto jsme museli hledat efektivnější způsob dechlorace. Pro dechloraci upravených vod jsme se rozhodli využít thiosíran sodný ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$). Tato látka vykazuje vysokou efektivitu při dechloraci vodních roztoků a zároveň má velice nízké toxické účinky na perloočky *Daphnia magna*. Basu a Dorner [17] uvádějí, že tato látka do koncentrace 200 mg/l neměla v testech akutní toxicity negativní účinky na perloočky. Danou látku úspěšně použili Zeng a kol. [18] při monitoringu chlorací upravených vod. K těmto vodám kontinuálně přidávali roztok thiosíranu sodného ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ve výsledné koncentraci v monitorovaných vodách 1,75 mg/l. Použití thiosíranu sodného k dechloraci vodních vzorků doporučuje také TNV 75 7768 [19]. Tato norma doporučuje použít thiosíran ve výsledné koncentraci 10 mg/l.

My jsme provedli vlastní testy akutní toxicity metodikou podle ČSN EN ISO 6341. Připravili jsme roztoky ve výsledných koncentracích 10 mg/l, 20 mg/l, 50 mg/l a 100 mg/l. Při expozici 48 h neměl žádný ze zkoumaných roztoků negativní účinky pro zkušební organismy, jimiž byly perloočky *Daphnia magna*. Proto jsme se rozhodli k monitorovaným vodám po úpravě přidávat thiosíran ve výsledné koncentraci v monitorovaném médiu 20 mg/l. K tomuto rozhodnutí nás vedlo ověření biologických účinků této látky při snaze o maximální efektivitu dechlorace. Náš záměr byl ověřen měřením, kdy po přidavku thiosíranu k vodám po úpravě opravdu klesl obsah celkového zbytkového chloru na nulovou hodnotu. Zkušební monitoring prokázal neškodnost upravených vod po dechloraci pro monitorovací organismy. Aby bylo možno provádět kontinuální přidávání roztoku thiosíranu k upraveným vodám, bylo třeba monitorovací zařízení (DaphTox) doplnit o další synchronizované peristaltické čerpadlo. Takto upravený přístroj přisává stejné objemy monitorované vody a roztoku thiosíranu. Ty jsou ještě vtokem do komůrky přístroje spojku sloučeny do jedné přívodní hadičky, takže do monitorovací komůrky přístroje vtéká již surová voda promíchaná s roztokem thiosíranu. Dané opatření se projevilo v negaci toxického účinku chloru na perloočky.

ZKUŠEBNÍ PROVOZ NAVRHOVANÉHO MONITORINGU

Po odstranění výše popsanych problémů nyní v prostorách Úpravny vody Želivka probíhá zkušební monitoring obou typů vod, surových i upravených, včetně produkce monitorovacích organismů a krmných řas v prostorách úpravny. V první polovině roku bude pokračovat zaškolení obsluhy a bude vyhotovena doporučená metodika provozování celého systému, která bude této obsluze předána.

ZÁVĚRY

Zavedení kontinuálního monitoringu pomocí přístrojů DaphTox na Úpravně vody Želivka, prováděné v rámci řešení Konceptu II: Zkvalitnění monitoringu biologické kvality pitných vod, představuje v České republice zcela nový přístup ke sledování biologické jakosti pitných vod. To je dáno typem použitých monitorovacích zařízení, která jsou v České republice pouze ve dvou exemplářích. Ty jsou ve vlastnictví Výzkumného ústavu vodohospodářského, v. v. i., a jsou Úpravně vody Želivka neúplatně zapůjčeny. Nová strategie systému včasného varování přinese zvýšení efektivity a přesnosti tohoto systému. Toto opatření má zaručit spolehlivější kontinuální kontrolu produkce bezpečné pitné vody pro Prahu a široké okolí, zásobované z této úpravny. Nová metoda monitoringu také reflektuje současnou bezpečnostní situaci, kdy mohou být zdroje pitných vod pro velké sídelní celky ohroženy kriminální či teroristickou činností. Tato situace je výraznou změnou oproti dobám, kdy dodržování zásad, daných pravidly ochranných pásem zdrojů pitných vod, zaručovalo relativně účinnou prevenci jejich nežádoucího znečištění. Pro Prahu a okolí to znamená posílení ochranných mechanismů zajišťujících základní životní zdroje pro danou oblast.

Poděkování

Publikované výsledky byly získány v rámci řešení Konceptu II, projektu „Čistá voda – zdravé město: Cizorodé látky ve vodách podzemních, povrchových a odpadních“ (registrační číslo projektu CZ.071.02/0.0/0.0/16_040/0000378), financovaného z fondů Operačního programu Praha – pól růstu ČR.

Literatura

- [1] SOLDÁN, P. Possible Way to Substantial Improvement of Early Warning System in the International Odra (Oder) River Basin. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2011, Vol. 178, No. 1–4, p. 349–359. ISSN 0167-6369.
- [2] RANDÁK, T., ŽLÁBEK, V., TUREK, J., VELÍŠEK, J. a KOLÁŘOVÁ, J. Využití pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*) pro účely ekotoxikologického monitoringu kvality vody. Edice Metodik (technologická řada) č. 111, FROV JU, Vodňany, 2011, 25 str.
- [3] DUNAJ, J. *Systém skorého varovania pomocou biologického monitoringu pri výrobe pitnej vody na ÚV Stakčín*. Dostupné z: http://wtwsk2ka.cz/upload/files/BEWS__UV_Stakcin.pdf
- [4] US EPA. *Technologies and Techniques for Early Warning Systems to Monitor and Evaluate Drinking Water Quality: A State of the Art Review*. U.S. Environmental Protection Agency Office of Water Office of Science and Technology Health and Ecological Criteria Division. Washington, 2005, 236 p.
- [5] GUNATILAKA, A. and DIEHL, P. A brief review of chemical and biological continuous monitoring of rivers in Europe and Asia. In: BUTTERWORTH, F.M. et al. *Biomonitoring and biomarkers as indicators of environmental change 2*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2000, p. 9–28.
- [6] BRATSKÁ, Z. a RIGANOVÁ, N. *Kvalita ve vodnej nádrži Starina*. Dostupné z: <https://www.smv.cz/res/archive/051/005760.pdf?seek=1429083269>
- [7] FERRO-FILHO, A.S., AZEVEDO, S.M.F.O., and DEMOTT, W.R. Effects of toxic and non-toxic cyanobacteria on the life history of tropical and temperate cladocerans. *Freshwater Biology*, 2000, 45, p. 1–19.
- [8] VASCONCELOS, V. Cyanobacteria Toxins: Diversity and Ecological Effects. *Limnetica*, 2001, Vol. 20, No. 1, p. 45–58. ISSN 0213-8409.
- [9] BLANCHETTE, M.L. and HANEY, J.F. The effect of toxic *Microcystis aeruginosa* on four different populations of *Daphnia*. *UNH Center for Freshwater Biology Research*, 2002, Vol. 4, No. 1, p. 1–10.
- [10] AGRAWAL, M., YADAV, S., PATEL, C., RAIPURIA, N., and AGRAWAL, M.K. Bioassay methods to identify the presence of cyanotoxins in drinking water supplies and their removal strategies. *European Journal of Experimental Biology*, 2012, Vol. 2, No. 2, p. 321–336.
- [11] BOWNIK, A. Effects of Cynobacterial Toxins, Microcistins on Freshwater Invertebrates. *Polish Journal of Natural Sciences*, 2013, Vol. 28, No. 2, p. 185–195.
- [12] ZANCHETT, G. and OLIVEIRA-FILHO, E.C. Cyanobacteria and Cyanotoxins: From Impacts on Aquatic Ecosystems and Human Health to Anticarcinogenic Effects. *Toxins*, 2013, 5, p. 1896–1917. DOI: 10.3390/toxins5101896.
- [13] SCHMIDT, J.R., WILHELM, S.W., and BOYER, G.L. The Fate of Microcystins in the Environment and Challenges for Monitoring. *Toxins*, 2014, 6, p. 3354–3387. DOI: 10.3390/toxins6123354.
- [14] HERRERA, N.A., ECHEVERRI, L.F., and FERRO-FILHO, A.S. Effects of phytoplankton extracts containing the toxin microcystin-LR on the survival and reproduction of cladocerans. *Toxicon*, 2015, 95, p. 38–45.
- [15] ČSN EN ISO 6341 (757751) Kvalita vod – Zkouška inhibice pohyblivosti *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea) – Zkouška akutní toxicity.
- [16] MATTINGLEY, L. *The impact of chlorine and chlorinated compounds in freshwater systems*. Salmon & Trout Conservation, 2017, 7 p. Dostupné z: <https://www.salmon-trout.org/wp-content/uploads/2017/09/STC-The-impact-of-chlorine-and-chlorinated-compounds-in-freshwater-systems.pdf>
- [17] BASU, O.D. and DORNER, S.M. Potential Aquatic Health Impacts of Selected Dechlorination Chemicals. *Water Qual. Res. J. Can.*, 2010, Vol. 45, No. 3, p. 353–363.
- [18] ZENG, Y., FU, X., and REN, Z. The Effects of Residual Chlorine on the Behavioural Responses of *Daphnia magna* in the Early Warning of Drinking Water Accidental Events. *Procedia Environmental Sciences*, 2012, 13, p. 71–79.
- [19] TNV 75 7768 Jakost vod – Hodnocení účinnosti čištění průmyslových odpadních vod pomocí toxikologického stanovení.

Autoři

RNDr. Přemysl Soldán, Ph.D.¹

✉ premysl.soldan@vuv.cz

Libor Rambousek²

✉ rambousek@zelivka.cz

¹Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., pobočka Ostrava

²Úpravna vody Želivka

Průspěvek prošel lektorským řízením.

IMPROVEMENT OF MONITORING OF BIOLOGICAL QUALITY OF DRINKING WATER

SOLDAN, P.¹; RAMBOUSEK, L.²

¹TGM Water Research Institute, p.r.i., Ostrava Branch

²Želivka Water Treatment Plant

Keywords: accidental pollution — terrorist attacks on water resources — criminal activities focused on water resources — continuous biological monitoring

The article provides information on the introduction of a new method of continuous monitoring of the biological quality of raw and treated waters at the Želivka Water Treatment Plant. It is the largest water treatment plant for the capital city of Prague. In addition, this water treatment plant also supplies drinking water to the Central Bohemia and Vysočina regions. Introduced biological monitoring represents a completely new approach to monitoring the biological quality of drinking water in the Czech Republic. This is due to the type of monitoring equipment used (DaphTox), which are only two devices of this type in the Czech Republic. The paper describes the experience with the implementation of trial operation of monitoring equipment, including the description of the necessary measures to ensure its operation.



Prioritní a prioritní nebezpečné látky v říčních sedimentech v blízkosti Prahy

STANISLAV JURÁŇ, PAVEL SEDLÁČEK, KATEŘINA SOVOVÁ, LUCIE VYSLOUŽILOVÁ

Klíčová slova: povodně – chemický stav – říční sedimenty – prioritní a prioritní nebezpečné látky

SOUHRN

Příspěvek představuje část projektu Čistá voda – zdravé město, který se zabývá mimo jiné hodnocením kvality říčních sedimentů z pohledu zátěže prioritními a prioritními nebezpečnými látkami (PPN látky), které mohou např. během povodní ohrozit vodní ekosystémy i lidské zdraví. Projekt je financován z Evropských strukturálních a investičních fondů prostřednictvím Operačního programu Praha – pól růstu ČR a byl navržen s trváním 2,5 roku s předpokládaným ukončením v pololetí roku 2020. Lokality pro vzorkování říčních sedimentů byly vytipovány v zájmovém území hlavního města Prahy, v povodí vodních toků nad hlavním městem, na řece Berounce, Sázavě a Vltavě. Protože v České republice ani v Evropské unii neexistuje legislativa stanovující limitní hodnoty koncentrací prioritních a prioritních nebezpečných látek v sedimentech, byly pro hodnocení použity limity právních předpisů Kanady a Austrálie.

ÚVOD

Projekt obsahuje pět částí (konceptů řešení). Smyslem řešení Konceptu III s názvem „Predikce možného výskytu nebezpečných chemických látek při haváriích a povodních, riziko úniků látek závadných vodám a preventivní opatření – podklad k havarijnímu plánu“, je zlepšení informovanosti o výskytu látek definovaných jako látky prioritní a prioritní nebezpečné (dále jen PPN látky) a vyhodnocení rizika pro hlavní město s ohledem na jejich možný výskyt a nakládání. Řešení se zaměřuje na specifickou skupinu chemických látek, která z hlediska šíření a akumulace v povodí vodních toků a jejich ekosystémů představuje nejvyšší riziko ohrožení.

Prioritní a prioritní nebezpečné látky jsou významným rizikem pro vodní prostředí, vyznačují se akutní a chronickou toxicitou pro vodní organismy, akumulují se ve vodních ekosystémech, způsobují úbytek přirozených biologických stanovišť a mohou ohrožovat i lidské zdraví. Látky byly poprvé definovány v roce 2001 v příloze č. X Rámcové směrnice o vodní politice [1] a byly následně doplněny Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2013/39/EU [2]. V rámci řešeného konceptu byla využita řada odborných databází a informací [3] a skutečně se monitoring těchto látek v říčních sedimentech.

SOUČASNÝ STAV

Výskyt PPN látek je ve vodních tocích monitorován pro potřeby plánování a posouzení chemického stavu vod [4] – jako součást dobrého stavu vod, kterého by mělo být postupně dosaženo. Dosavadní poznatky uvedeného monitoringu jsou obsaženy v *tabulce 1*.

Z dosavadních výsledků vyplývá, že PPN látky sledované v povrchových vodách ČR se vyskytují převážně ve velmi nízkých koncentracích na úrovni mezi stanovitelnosti daného monitoringu (MS). Pokud jsou zjištěny hodnoty nad MS, pak většinou nepřesahují NEK-RP (norma environmentální kvality vyjádřená jako roční průměrná hodnota) a NEK-NPK (norma environmentální kvality vyjádřená jako nejvyšší přípustná koncentrace).

Při orientačním porovnání s hodnotami NEK [5] jsou v povrchových vodách nejčastěji překračovány hodnoty NEK-RP anebo NEK-NPK u látek patřících do skupiny těžkých kovů (Hg, Cd, Ni), do skupiny polycyklických aromatických uhlovodíků – PAU (benzo(a)pyren a benzo(ghi)perylene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, fluoranthene) a dále isoproturon, diuron, pyren a bromovaný difenylether.

Tabulka 1. Vodní útvary povrchových vod v dílčích povodí zájmového území, nedosahující dobrý chemický stav vod
Table 1. The sub-basins of the area of interest where surface water bodies not in good chemical status

Dílčí povodí	Vod. útvary nedosahující dobrý chem. stav vod [%]	Prioritní a prioritní nebezpečné látky
Horní Vltava	15	fluoranthen, benzo[a]pyren, benzo[b]fluoranthen, benzo[k]fluoranthen, bromovaný difenylether, nikl a jeho sloučeniny, rtuť a jeho sloučeniny, benzo[g,h,i]perylene
Dolní Vltava	16	fluoranthen, benzo[a]pyren, benzo[b]fluoranthen, benzo[k]fluoranthen, bromovaný difenylether, nikl a jeho sloučeniny, rtuť a jeho sloučeniny
Berounka	30	pyren, izoproturon, kadmium a jeho sloučeniny, fluoranthen, benzo[a]pyren, benzo[b]fluoranthen, benzo[k]fluoranthen, bromovaný difenylether, rtuť a jeho sloučeniny, diuron, nikl a jeho sloučeniny, benzo[g,h,i]perylene, benzo[g,h,i]perylene

Vodní toky jsou recipientem PPN látek, které mj. mohou být do vodních toků vypouštěny spolu s odpadními vodami. Vypouštění odpadních vod s povoleným obsahem těchto látek nevede bezprostředně k překračování jakostních limitů v toku. Tento stav se však může změnit pohybem říčních sedimentů, ve kterých mohou být tyto látky ve zvýšené míře akumulovány. Riziko nadlimitních koncentrací PPN látek v povrchových vodách je tak zvýšené za povodní a při vysokých vodních stavech, kdy dochází k pohybu sedimentů a k uvolňování látek v nich obsažených. Vodní toky jsou prostřednictvím odpadních vod zatěžovány nejvíce těžkými kovy a látkami ze skupiny PAU. Látky ze skupiny adsorbovatelné organicky vázané halogeny – AOX [6] se nedají věrohodně hodnotit – jedná se o dnes běžně používaný „všeobecný ukazatel“, pro který existují sice limity, ale jednotlivé látky mohou být rozsahem značně více či méně rizikové a provedená hodnocení nelze proto považovat za objektivní.

Hodnocení sedimentů provedené v zájmové oblasti mělo za cíl doložit, jaké PPN látky se v říčních sedimentech akumulují v nadlimitních koncentracích, které by mohly být pro vodní tok a jeho ekosystémy rizikem a potažmo by mohly ohrozit kvalitu povrchových vod v hlavním městě.

ROZSAH MONITORINGU ŘÍČNÍCH SEDIMENTŮ A LABORATORNÍCH ANALÝZ

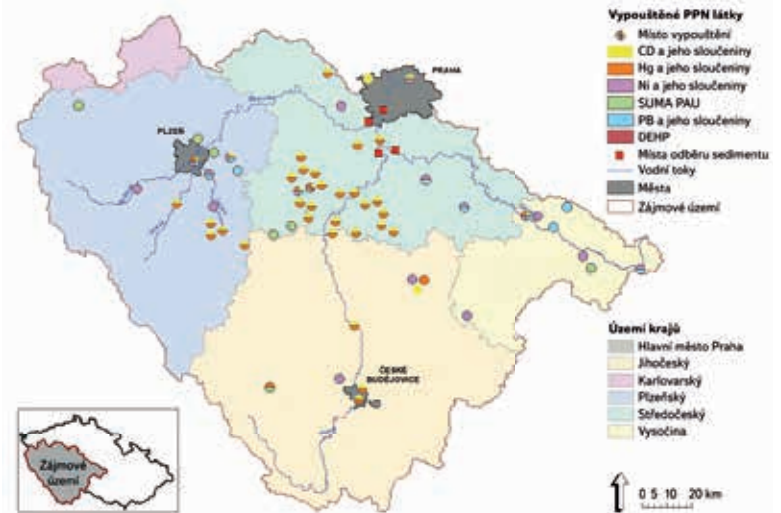
Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., se zabýval odběrem vzorků říčních sedimentů v rámci uvedeného řešení Konceptu III [7] v období let 2018 až 2019. V projektu bylo předně nutné na základě zadání řešit zainteresovanou oblast hlavního města Prahy a tím pokrýt povodí vodních toků, kterými by se mohly PPN látky do Prahy dostat. Před samotným zahájením odběrů vzorků říčních sedimentů proběhlo vytipování vhodných míst v zájmovém území Středočeského kraje v blízkosti hlavního města. Kritériem bylo získat lokality, které by pokryly zdroje vypouštějící odpadní vody s možným obsahem PPN látek do vodních toků zájmového území. Dalším velmi důležitým kritériem, které významně ovlivnilo výběr vlastních lokalit, byla znalost míst, která umožňují akumulaci říčních sedimentů. Protože sedimenty se ve zvýšené míře vyskytují ve vodních tocích se sníženou rychlostí vody, která je následně příčinou sedimentace plavených částic, byla vybrána místa v nadjezí vodních toků. Posledním kritériem byla samotná přístupnost odběrných míst. Na základě uvedených kritérií byla vybrána čtyři odběrná místa – lokality (obr. 1):

- *Vltava-Štěchovice nad jezem*, místo u hráze vodního díla,
- *Vltava-Modřany nad jezem*, jako závěrné místo, ve kterém se předpokládá případné ovlivnění z přítoků řek Berounky a Sázavy,
- *Berounka-Černošice nad jezem*, významný levobřežní přítok Vltavy, místo v nadjezí elektrárny v Černošicích,
- *Sázava-Žampach nad jezem*, významný pravobřežní přítok Vltavy.

Pro odběry říčních sedimentů ve větších hloubkách byly využity služby potápěčů, společnosti MT facility a loď společnosti Povodí Vltavy, s. p. (obr. 2).

Vzorky říčních sedimentů byly odebírány ručním odběrákem na teleskopické tyči nebo pomocí odběráku pro dnové sedimenty (typ Ekman-Birge) na laně. V odběrném místě Vltava-Štěchovice byl sediment odebrán potápěči do kbelíku na laně. Odebraný říční sediment byl následně ve všech případech odvodněn. Reprezentativní množství sedimentu bylo pomocí lopatky přemísťeno do plastových vzorkovnic o objemu 2 l. Vzorky byly následně umístěny do plastových chladicích boxů a takto ihned po ukončení odběrů transportovány do laboratoře k laboratorním analýzám.

Laboratorní analýzy byly prováděny na základě výběrového řízení komerční laboratoří ALS Czech Republic, s. r. o., se sídlem Praha-Vysočany. Výsledky laboratorních analýz z koncentracemi PPN látek v sušině byly předány v podobě předávacích protokolů.



Obr. 1. Zájmové území s vypouštěním odpadních vod s výskytem PPN látek a odběrná místa říčních sedimentů

Fig. 1. Area of interest with discharges of the PPH substances and river sediment sampling sites



Obr. 2. Potápěči při odběru říčních sedimentů

Fig. 2. Divers taking river sediments

Celkem byly prováděny laboratorní analýzy pro všechny PPN látky v každém odebraném vzorku říčního sedimentu. Za dobu řešení projektu bylo odebráno z uvedených odběrných míst celkem 48 vzorků říčních sedimentů (čtyři lokality, šest sérií odběrů a dva vzorky na lokalitu – litorál + proudnice vodního toku).

VÝSLEDKY A HODNOCENÍ

Prvotní hodnocení laboratorních analýz se zabývalo tím, které PPN látky se vyskytovaly nad mezí stanovitelnosti. Z výsledků vyplývá, že v monitorovaných místech byly v říčních sedimentech zjištěny koncentrace níže uvedených látek nad mezí stanovitelnosti (MS), viz následující tabulka 2.

Z uvedených celkem 11 PPN látek a skupin látek se látka PFOS vyskytovala nad mezí stanovitelnosti pouze ve dvou monitorovaných místech (Berounka-Černošice nad jezem a Sázava-Žampach nad jezem), a to v koncentracích překračujících tuto hodnotu o cca 20 % ve dvou vzorcích. V ostatních vzorcích říčních sedimentů byly hodnoty PFOSu pod mezí stanovitelnosti.

U *benzenu* byly zjištěny koncentrace nad hodnotou MS rovněž pouze na dvou lokalitách (Vltava-Modřany nad jezem ve čtyřech vzorcích a Sázava-Žampach nad jezem v jednom vzorku). Nejvyšší naměřená hodnota byla asi 3x vyšší než MS.

Látka *DEHP* se vyskytla nad mezí detekce ve třech lokalitách (Vltava-Štěchovice nad jezem ve dvou vzorcích, Berounka-Černošice nad jezem v jednom vzorku a Sázava-Žampach nad jezem v sedmi vzorcích říčních sedimentů). Nejvyšší naměřené hodnoty byly asi 3,5x vyšší než MS.

Ostatní PPN látky uvedené v *tabulce 2* se vyskytovaly nad hodnotou MS na všech čtyřech lokalitách, a to ve zvýšených koncentracích. Protože v České republice ani v Evropské unii neexistuje legislativní nástroj stanovující limitní hodnoty pro koncentrace polutantů v říčních sedimentech, byly pro účely dalšího hodnocení použity hodnoty používané v Kanadě a v Austrálii, viz následující *tabulka 3* [8].

Z australské legislativy jsou uvedeny hodnoty v současnosti platné i hodnoty z roku 2000, které byly platné do roku 2018, protože některé látky již ve stávající legislativě nejsou. Všechna data byla převzata ze stránek Australské vládní

iniciativy (Australian Government Initiative) [9]. Ze srovnání aktuálních limitů a limitů platných do roku 2018 je zřejmé, že většina hodnot zůstala beze změny, pouze byly některé hodnoty vypuštěny.

V aktuální směrnici je DGV výchozí směrná hodnota. Tato hodnota udává koncentraci, pod níž je nízké riziko výskytu nežádoucích vlivů a má být používána k ochraně vodního ekosystému. GV-high je dodatečná horní směrná hodnota udává koncentraci, při které lze očekávat nepříznivé účinky související s toxicitou.

Tabulka 2. Zjištěné monitorované PPN látky v říčních sedimentech nad mezí stanovitelnosti (MS) a přesnost výsledků laboratorních analýz udávaných společností ALS v µg/kg sušiny
Table 2. PPN substances in river sediments above the limit of determination and accuracy of results of laboratory analyses reported by ALS company

Č. PPN látky podle NV 401/2015 Sb.	Název PPN látky	MS [µg/kg]	Přesnost výsledků analýz podle společnosti ALS, s. r. o. [%]
2	anthracen	10	± 30
4	benzen	10	± 40
6	Cd a jeho sloučeniny	400	± 20
12	di-(2-ethylhexyl)ftalát (DEHP)	800	± 35
15	fluoranthen	10	± 30
20	Pb a jeho sloučeniny	1 000	± 20
21	Hg a její sloučeniny	10	± 20
22	naftalen	10	± 30
23	Ni a jeho sloučeniny	1 000	± 20
28	PAU (suma)	160	± 30
35	perfluoroktansulfonová kyselina (PFOS)	0,5	± 25

Tabulka 3. Kvalita sedimentů legislativně stanovená pro Kanadu a Austrálii; koncentrace jsou vztaženy k sušině sedimentu
Table 3. The sediment quality legislation limits in the Canada and Australia

Č. PPNL	Název PPN látky	Kanada		Austrálie aktuální		Austrálie původní	
		ISQG [µg/kg]	PEL [µg/kg]	DGV [µg/kg]	GV-High [µg/kg]	ISQG-Low [µg/kg]	ISQG-High [µg/kg]
2	anthracen	46,9	245			85	1 100
6	Cd a jeho sloučeniny	600	3 500	1 500	10 000	1 500	10 000
15	fluoranthen	111	2 355			600	5 100
20	Pb a jeho sloučeniny	35 000	91 300	50 000	220 000	50 000	220 000
21	Hg a její sloučeniny	170	486	150	1 000	150	1 000
22	naftalen	34,6	391			160	2 100
23	Ni a jeho sloučeniny			21 000	52 000	21 000	52 000
28	PAU (suma)			10 000	50 000	10 000	50 000

Vysvětlivky k tabulce:

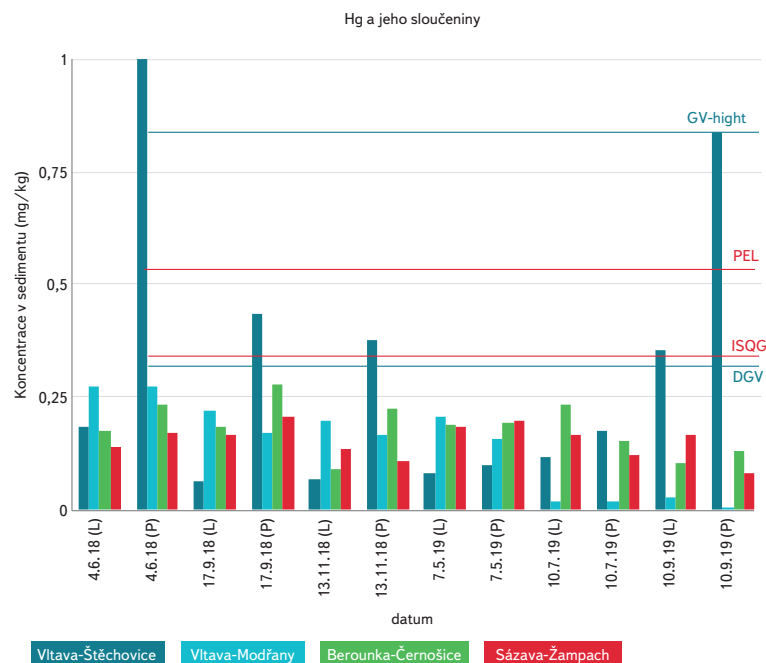
Limity platné v Kanadě byly převzaty ze stránek Kanadské rady ministrů životního prostředí (Canadian Council of Ministers of the Environment) [8]. Hodnota ISQG (interim sediment quality guideline) je navržena jako celková koncentrace látky v povrchovém sedimentu a je určena pro hodnocení potenciálu biologických účinků. Hodnota PEL (probable exposure limit) definuje hranici, nad kterou lze očekávat častý výskyt nepříznivých účinků.



Pozn.: L – litorál, P – proudnice

Obr. 3. Koncentrace Cd a jeho sloučenin v říčních sedimentech

Fig. 3. Concentration of Cd and its compounds in river sediments



Pozn.: L – litorál, P – proudnice

Obr. 5. Koncentrace Hg a jejích sloučenin v říčních sedimentech

Fig. 5. Concentration of Hg and its compounds in river sediments



Pozn.: L – litorál, P – proudnice

Obr. 4. Koncentrace Ni a jeho sloučenin v říčních sedimentech

Fig. 4. Concentration of Ni and its compounds in river sediments

V již neplatné australské směrnici byla ISQG doporučena směrná hodnota kvality sedimentu. Hodnoty „low“ a „high“ odpovídají velikosti účinků podle US National Oceanic and Atmospheric Administration (response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/SQQRts.pdf).

Pro přehlednost byly výsledné koncentrace jednotlivých PPN látek vyskytujících se v říčních sedimentech nad mezí stanovitelnosti zobrazeny v grafech; níže jsou zobrazeny grafy s výsledky analýz těžkých kovů – Cd, Ni a Hg (obr. 3–5).

ZÁVĚR

Uvedená část projektu se zabývala hodnocením říčních sedimentů, které mohou za zvýšených vodních stavů uvolňovat PPN látky akumulované v sedimentech. Protože se v případě říčního ekosystému jedná o interakci dvou odlišných složek, kde pro vodu existují dané limity a pro sediment ne, je dále žádoucí zabývat se společným hodnocením. Lze předpokládat, že další podrobný monitoring uvedených složek by mohl pomoci najít řešení, kde dobrému chemickému stavu vod odpovídá „definovaný stav sedimentů“. Způsoby hodnocení rizik pro říční ekosystémy vlivem působení chemických látek a hledání společných standardů se vyvíjí a znalost stavu nám hledání může usnadnit.

Asi pouze ¼ definovaných PPN látek se vyskytuje v říčních sedimentech nad mezemi stanovitelnosti. Z hodnocení vyplývá, že až na výjimky jsou téměř všechny prioritní a prioritní nebezpečné látky, vyskytující se v námi monitorovaných říčních sedimentech nad mezemi stanovitelnosti, současně i látkami vyskytujícími se v koncentracích, které by mohly znamenat riziko výskytu nežádoucích vlivů při ochraně vodních ekosystémů a zdraví obyvatel. Z provedeného monitoringu lze usuzovat, že mezi PPN látky, vyskytující se v říčních sedimentech ve zvýšených koncentracích na všech monitorovaných lokalitách, patří především olovo, anthracen a naftalen. Tyto látky se budou s velkou pravděpodobností vyskytovat v nadlimitních koncentracích při zvýšeném pohybu sedimentů v povrchových vodách.

Literatura

[1] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES.

[2] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2013/39/EU.

[3] JURÁŇ, S., FOREJTNÍKOVÁ, M., VYSLOUŽILOVÁ, L. a SOVOVÁ, K. Čistá voda – zdravé město: Využitelnost stávajícího systému sběru informací pro naplnění cílů projektu. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 2019, roč. 61, č. 6, s. 24–31. ISSN 0322-8916.

[4] Plánování v oblasti vod. Online. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/planovani-v-oblasti-vod>

[5] Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech.

[6] Halogenované organické sloučeniny (AOX). Online. Dostupné z: <https://arnika.org/halogenovane-organicke-slouceniny-aox>

[7] JURÁŇ, S. *Analýza proveditelnosti. Čistá voda – zdravé město. Koncept č. III*, Brno, 2018.

[8] Canadian Council of Ministers of the Environment. Online. Dostupné z: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/water-overview.html>

[9] Australian Government Initiative. Online. Dostupné z: <https://www.waterquality.gov.au/guidelines/anz-fresh-marine>: Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality.

Autoři

Ing. Stanislav Juráň

✉ stanislav.juran@vuv.cz

Ing. Pavel Sedláček

✉ pavel.sedlacek@vuv.cz

Mgr. Kateřina Sovová, Ph.D.

✉ katerina.sovova@vuv.cz

Ing. Lucie Vysloužilová

✉ lucie.vyslouzilova@vuv.cz

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.

Příspěvek prošel lektorským řízením.

PRIORITY AND PRIORITY HAZARDOUS SUBSTANCES IN THE RIVER SEDIMENTS NEAR PRAGUE

JURAN, S.; SEDLACEK, P.; SOVOVA, K.; VYSLOUZILOVA, L.

TGM Water Research Institute, p.r.i.

Keywords: flooding – chemical status – river sediments – priority and priority hazardous substances

The report presents a part of the Clean Water – Healthy City project, which deals with the assessment of the river sediments quality with view of the load of priority and priority hazardous substances (PPH substances) which may endanger the aquatic ecosystems and human health during the flood. There were selected locations for the sampling of river sediments in the area of interest of the capital (watercourses above the capital) on the rivers Berounka, Sázava and Vltava. As there is no legislation in the Czech Republic or the European Union setting limit values for priority and priority hazardous substances concentrations in sediments, the limits of Canada and Australia legislation were used for evaluation.

Komunální odpadní voda jako diagnostické médium hlavního města Prahy

VĚRA OČENÁŠKOVÁ, PETR TUŠIL, DIANA MAREŠOVÁ, DANICA POSPÍCHALOVÁ, NIKOLA CIELECKÁ

Klíčová slova: epidemiologický přístup k odpadním vodám – nezákonné drogy – nikotin – alkohol – monitoring

SOUHRN

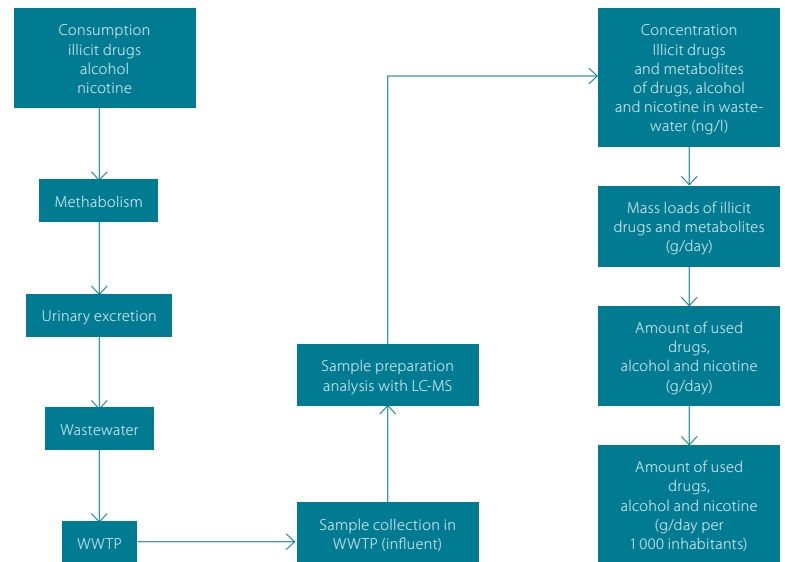
Príspevek informuje o pravidelném, téměř dvouletém monitoringu komunálních odpadních vod na vybraných odběrových místech pražské stokové sítě. V komunálních odpadních vodách jsou sledovány vybrané nezákonné drogy (např. metamfetamin, MDMA, THC, kokain), nikotin a jeho metabolity a metabolit ethanolu ethylsulfát. V tomto článku jsou prezentovány výsledky z prvního roku projektu, ze kterých jsou zřejmé výrazné rozdíly ve spotřebě jednotlivých drog v různých částech Prahy. Pro potřeby projektu byly rozšířeny analytické metody stanovení sledovaných látek. Součástí řešení projektu je Socioekonomická studie prostorového rozložení obyvatelstva a identifikace rizikových oblastí z hlediska životního stylu obyvatelstva (ACCENDO, z. ú.).

ÚVOD

Analýza odpadních vod je „relativně“ jednoduchá záležitost. S rozvojem instrumentální techniky v této oblasti jsme schopni při využití špičkových, vysoce citlivých analytických přístrojů zjistit přítomnost jednotlivých látek v subnanogramových množstvích. Koncept IV volně navazuje na projekt „Stanovení množství nelegálních drog a jejich metabolitů v komunálních odpadních vodách – nový nástroj pro doplnění údajů o spotřebě drog v České republice“, v jehož rámci byla sledována i kontaminace komunálních odpadních vod ve vybraných stokách kanalizační sítě hlavního města Prahy. Jedním z hlavních výstupů tohoto projektu byla Metodika [1], která byla využita také pro měření v tomto konceptu, v němž budou získány aktuální údaje o spotřebě nezákonných látek a údaje o nově sledovaných markerech.

Smyslem projektu je získat objektivní údaje, tzn. i údaje od té části populace, která nebyla zahrnuta do dotazníkových akcí na monitorované téma, nemá zdravotní potíže spojené s užíváním nezákonných látek atd.

Základ epidemiologie odpadních vod (wastewater-based epidemiology – WBE) byl položen na přelomu let 1999 až 2000 vyslovením hypotézy, že ke komunální odpadní vodě lze přistupovat jako ke zředěnému vzorku moči [2] a poprvé byla aplikována v povodí řeky Pád [3]. Zpočátku byl epidemiologický přístup k odpadním vodám využíván ke sledování spotřeby nezákonných látek v monitorované lokalitě a k upřesnění odhadu prevalence a užívání drog v populaci. Od doby svého vzniku se tento obor velmi rychle rozvíjí a díky stále se zdokonalující analytické technice je možno sledovat široké spektrum látek ve velmi nízkých koncentracích. Na obr. 1 je schematické znázornění epidemiologického přístupu k odpadním vodám.



Obr. 1. Schematické znázornění epidemiologického přístupu k odpadním vodám
Fig. 1. Schematic presentation of wastewater based epidemiological approach

Komunální odpadní vody obsahují komplexní směs chemických látek včetně humánních metabolitů – biomarkerů. Kvantitativní měření těchto specifických látek poskytne informaci např. o způsobu stravování, zdravotním stavu obyvatelstva, výskytu chorob, spotřebě alkoholu, léčiv a expozici populace environmentálním kontaminantům, např. pesticidům.

Ve VÚV TGM, v. v. i., je od počátku letošního roku řešen projekt: Čistá voda – zdravé město: Komunální odpadní voda jako diagnostické médium hlavního města Prahy. Do řešení Konceptu IV jsou zapojeny hydrochemické laboratoře z odboru analýz a hodnocení složek životního prostředí (Praha) a ostravské pobočky. Vedle nezákonných látek a některých léčiv jsou sledovány také metabolity alkoholu (ethylsulfát), nikotinu (kotinin a *trans*-3-hydroxykotinin) a pesticidů. Monitoring bude probíhat po dobu dvou let na vybraných místech kanalizační sítě hlavního města Prahy. Plánovaným výstupem je mapová vrstva do Geoportálu hl. m. Prahy, do které bude v případě pravidelného monitoringu zaznamenávána např. spotřeba drog v jednotlivých částech Prahy.

Součástí řešení projektu je také Socioekonomická studie prostorového rozložení obyvatelstva a identifikace rizikových oblastí z hlediska životního stylu obyvatel. Tuto studii zpracovává jako subdodávku projektu společnost ACCENDO – Centrum pro vědu a výzkum, z. ú.

Tabulka 1. Seznam monitorovaných látek
Table 1. List of monitored substances

Skupina látek	Název
„Klasické“ drogy	11-nor-9-karboxy-delta-9-THC
	3,4-methylen-dioxy-metamfetamin
	metamfetamin
	amfetamin
	kokain
	kokaethylen
	benzoyllegonin
	diethylamid kyseliny lysergové
	heroin
	morfin
Substituční léčba	metadon
	2-ethyliden-1,5-dimethyl-3,3-difenyropyridin (EDDP)
	buprenorfin
	ethylkatinon
Nové syntetické drogy	pentedron
	metylon
	4-methylethkatinon
	mefedron (4-methylmethkatinon)
	normefedron
	alfa-pyrolidinovalerofenon
Zneužívaná léčiva	cis-tramadol
	nordiazepam
	fentanyl
	norfentanyl
Nikotin a jeho metabolity	nikotin
	kotinin
	trans-3-hydroxykotinin
Metabolit ethanolu	ethylsulfát
Prekurzor pro výrobu drog	efedrin

ZDŮVODNĚNÍ REALIZACE DÍLČÍHO KONCEPTU A IDENTIFIKACE TRŽNÍCH PŘÍLEŽITOSTÍ

Zdůvodnění realizace projektu je již částečně uvedeno v předchozí kapitole. Cílem je získat aktuální data o spotřebě drog v jednotlivých částech Prahy (podle možností odběru na jednotlivých kanalizačních stokách), stejně tak jako o dalších látkách, které jsou v projektu sledovány. V rámci Konceptu IV je sledováno 29 látek. Jejich seznam je k dispozici v *tabulce 1*. Uvedené látky se dosud pravidelně nemonitorují, nejsou podchyceny příslušnou legislativou. Zjištění jejich výskytu a koncentrací v odpadních vodách je významné nejen z výše uvedených důvodů, ale vzhledem k tomu, že některé z těchto látek nejsou zcela odstraněny v procesu čištění odpadních vod, dostávají se i do vod povrchových, ve kterých mohou mít dopad na životní prostředí.

Získaná a analyticky zpracovaná data budou interpretována prostřednictvím mapového portálu. Potenciální možností je využití Geoportálu hl. m. Prahy, tzn. že výstupy projektu budou mít podobu mapových vrstev a databází, které by Magistrát hl. m. Prahy jakožto koncový uživatel výsledků šířil přes svůj Geoportál.

Na základě analýzy a měření v odpadních vodách budou vytvořeny metody pro hodnocení účelnosti, efektivity a hospodárnosti opatření prevence a kontroly užívání zmíněných látek. Metody budou nastaveny tak, aby byly využitelné pro různé typy hodnocení (ex-ante, ex-post, on-going atd.).

PRŮBĚH ŘEŠENÍ PROJEKTU

Odběry a základní předúprava vzorků

Ve spolupráci s pracovníky ÚČOV bylo vybráno šest odběrových profilů na kanalizační síti hlavního města Prahy, byl připraven plán vzorkování a domluveny podmínky vzorkování a dopravy vzorků do laboratoře VÚV TGM, v. v. i. Odběrové profily jsou na celkovém přítoku na ÚČOV a dále potom na jednotlivých stokách – ACK, B, D, E a F. Odběry probíhaly od začátku dubna 2018, v roce 2018 přibližně ve čtyřdenních intervalech, v roce 2019 v osmidenních intervalech. Kromě těchto odběrů byla v roce 2019 ještě realizována týdenní monitorovací kampaň pro mezinárodní projekt SCORE. Odebírány byly 24hodinové slévané vzorky komunální odpadní vody. Vzorky se odebírají do čistých vzorkovnic z vhodného materiálu (sklo, polypropylen (PP)). Po dopravě do laboratoře jsou tyto vzorky dále zpracovávány zavedenými operačními postupy.

Na *obr. 2* jsou ilustrační záběry z odběru 24hodinových slévaných vzorků ve stokové síti hlavního města Prahy.

Na *obr. 3* je mapa pražské stokové sítě s vyznačením oblastí spadajících pod jednotlivé stoky.

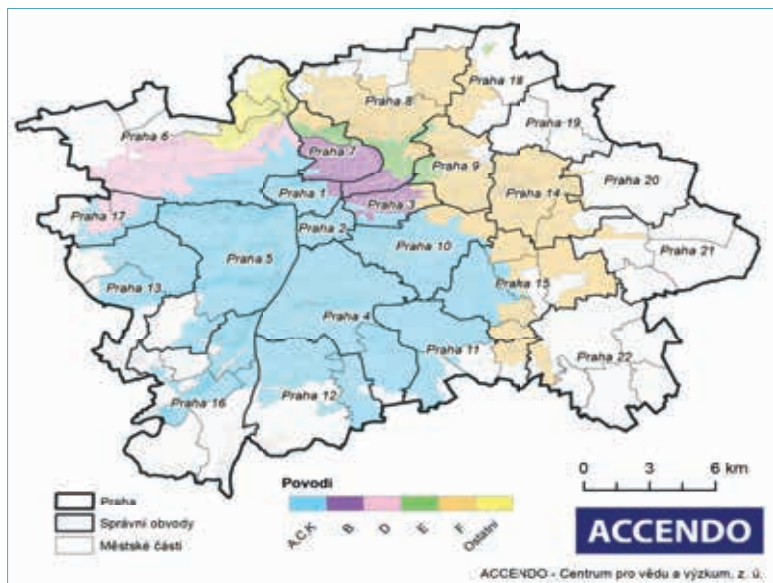
K analýze se použije alikvotní část odebraného vzorku, konzervace se neprovádí. Po odběru se vzorky uchovávají v chladu a temnu při teplotě do 8 °C. Nižší teplota uchování vzorků není závadou. Pokud nelze vzorek analyzovat do 72 h po odběru, vzorek je zamražen a do vlastní analýzy je skladován při teplotě -20 ± 4 °C. Nižší teplota uchování vzorků není závadou. Před vlastním



Obr. 2. Ilustrační záběry z odběru vzorků komunální odpadní vody

(zdroj: Pražské vodovody a kanalizace, a. s.)

Fig. 2. Illustrative shots of municipal wastewater sampling



Obr. 3. Pražská stoková síť (zdroj: Pražské vodovody a kanalizace, a. s., ACCENDO)

Fig. 3. Prague sewer network

stanovením jsou vzorky odstředěny (4 500 ot./min, 15 min) a filtrací přes jednorázové membránové filtry z regenerované celulózy o porozitě 0,45 μm jsou ze vzorku odstraněny pevné částice.

Vývoj analytických metod – zavedení postupů pro stanovení nikotinu a jeho metabolitů, ethylsulfátu (metabolit ethanolu) a nových psychotropních látek v odpadní vodě

Metodika stanovení nezákoných látek (drog), která byla v laboratoři zavedena v rámci řešení projektu „Stanovení množství nelegálních drog a jejich metabolitů v komunálních odpadních vodách – nový nástroj pro doplnění údajů o spotřebě drog v České republice“ [1], byla pro potřeby projektu Čistá voda – zdravé město rozšířena o stanovení nových psychotropních látek. Pro stanovení nikotinu a jeho metabolitů a stanovení ethylsulfátu byly zavedeny dvě zcela nové metody. Tyto metody byly validovány a akreditovány.

V návaznosti na chemické vlastnosti látek byly použity následující postupy:

- stanovení vybraných drog metodou kapalinové chromatografie s on-line prekoncentrací a hmotnostní detekcí v ESI + módu,
- stanovení vybraných drog metodou kapalinové chromatografie s on-line prekoncentrací a hmotnostní detekcí v ESI – módu,
- stanovení nikotinu a jeho vybraných metabolitů metodou kapalinové chromatografie s on-line prekoncentrací a hmotnostní detekcí v ESI + módu,
- stanovení ethylsulfátu metodou kapalinové chromatografie s hmotnostní detekcí v ESI – módu.

Analytické metody jsou podrobně popsány v článku „Stanovení vybraných drog a jejich metabolitů v odpadních vodách metodou kapalinové chromatografie“ (autoři: Pospíchalová, D. a kol.), který je rovněž prezentován v tomto čísle VTEI.

Zpětná kalkulace spotřeby monitorovaných látek

Ze zjištěných koncentrací (ng/l) sledovaných látek v analyzovaných vzorcích komunální odpadní vody lze zjišťovat další údaje, jako jsou např. denní odnosy monitorovaných látek či jejich spotřeba vyjádřená v g/den/1 000 obyvatel (jednotka hmotnosti může být podle potřeby jiná). K těmto přepočtům je třeba znát denní průtok odpadní vody v den odběru 24hodinového slévaného vzorku a počet obyvatel napojených na kanalizační síť v dané oblasti. Tak zjistíme denní odnosy jednotlivých látek. Ke zjištění spotřeby konkrétní látky je nezbytné ještě tzv. korekční (přepočítávací) faktor, který se stanoví jako poměr molekulárních hmotností monitorované látky a specifické látky (metabolitu nebo nezměněné monitorované látky) násobený průměrnou procentuální metabolizací monitorované látky na zvolený metabolit, případně nemetabolizací, prochází-li monitorovaná látka organismem částečně nezměněna.

Hodnoty denních průtoků komunální odpadní vody pro potřeby projektu poskytují Pražské vodovody a kanalizace, a. s. Odhad počtu obyvatel náležících do jednotlivých spádových oblastí stokové sítě na základě dat ze sčítání lidu, domů a obyvatel a registru obyvatel provedla společnost ACCENDO, z. ú. Korekční faktory jsou použity z literárních zdrojů.

Non-target (necílová) analýza

Necílová analýza slouží ke zjištění přítomnosti dalších látek ve vzorku. Hydroanalytické laboratoře VÚV TGM, v. v. i., nedisponují vhodným přístrojovým vybavením pro tento typ analýz, proto byly vybrané vzorky odpadní vody předány k analýze do Laboratoře forenzní analýzy biologicky aktivních látek na VŠCHT v Praze. Výsledky analýz se vyhodnocují.

Subdodávka – Socioekonomická studie

Součástí projektu je také zpracování Socioekonomické studie prostorového rozložení obyvatelstva a identifikace rizikových oblastí z hlediska životního stylu obyvatel. Tato studie byla řešena subdodavately společností ACCENDO – Centrum pro vědu a výzkum, z. ú.

Detailnější informace o této studii jsou uvedeny v článku „Využití moderních analytických metod při řešení rizik a tvorbě územních strategií“ (autoři: Hrušková, A. a Hruška, L.), který je také prezentován v tomto čísle VTEI.

PŘÍKLADY VÝSLEDKŮ

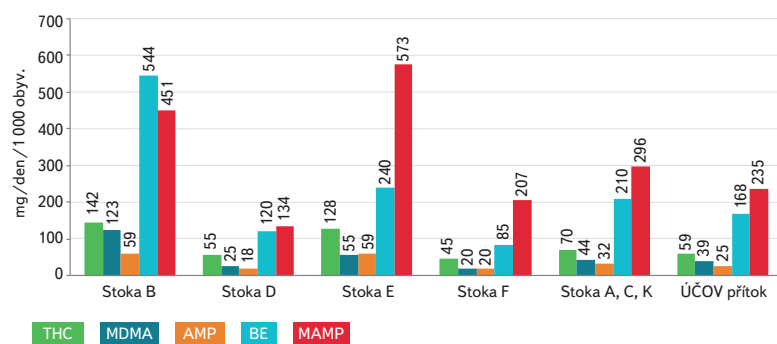
Odběry vzorků byly zahájeny v dubnu roku 2018, zpočátku byly monitorovány především „klasické“ drogy, později (červenec 2018) byly doplněny i látky, pro které byly vyvíjeny nové metody. Odběry byly ukončeny v prosinci 2019. Výsledky jsou postupně zpracovávány.

Bylo odebráno a zanalyzováno cca 500 vzorků odpadních vod. Nálezy monitorovaných drog ze skupiny označené v *tabulce 1* jako „klasické“ drogy (s výjimkou heroínu a LSD, které nebyly nalezeny v žádném vzorku) a dalších látek (*cis*-tramadol, nordiazepam, nikotin a jeho metabolity, ethylsulfát a efedrin) byly pozitivní ve všech odebraných vzorcích. Téměř ve všech vzorcích byl nalezen metadon a jeho metabolit 22-ethylidene-1,5-dimethyl-3,3-diphenylpyrrolidine (EDDP). Fentanyl se vyskytuje v koncentracích okolo meze stanovitelnosti. Buprenorfin a většina látek ze skupiny nových syntetických drog (NSD) nebyly nalezeny v žádném vzorku. Nálezy některých NSD (mefedron) jsou zcela ojedinělé – jednotky vzorků. Heroin je metabolizován na 6-acetylmorfin, který rychle degraduje, nepodařilo se ho stanovit v žádném, dosud v laboratoři odebraném, vzorku odpadních vod. Další metabolit této drogy, morfin, je však zároveň



Obr. 4. Denní odnosy extáze (stoka ACK); modrou barvou jsou vyznačeny pracovní dny, červenou víkendové dny, zelenou státní svátek, kterému předcházelo „pálení čarodějnic“

Fig. 4. Daily mass loads of ecstasy (ACK sewer); working days are marked in blue, weekend days in red and in green is marked national holiday, which was preceded by “witch burning”



Obr. 5. Průměrná spotřeba vybraných nelegálních drog v mg/den/1 000 obyvatel; THC – tetrahydrokanabinol (marihuana), MDMA – extáze, AMP – amfetamin, BE – benzoyllecgonin, hlavní metabolit kokainu, MAMP – metamfetamin (pervitin)

Fig. 5. Average consumption of selected illegal drugs in mg/day/1,000 inhabitant; THC – tetrahydrocannabinol (marijuana), MDMA – ecstasy, AMP – amphetamine, BE – benzoyllecgonine, main metabolite of cocaine, MAMP – methamphetamine (meth, Crystal)

metabolitem i dalších látek, včetně preskribovaných léčiv. Určit, jaký podíl nálezů morfinu vznikl degradací heroínu, je prakticky nereálné. Typickou víkendovou drogou je extáze. Velmi dobře je to vidět na obr. 4.

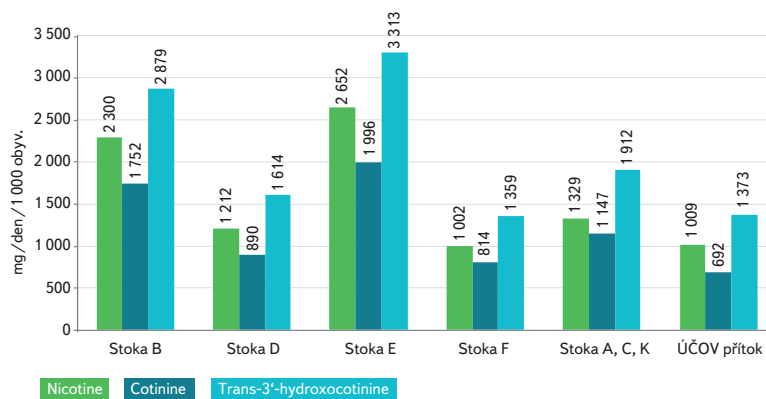
Na dalších obrázcích jsou výsledky monitoringu odpadních vod za rok 2018. Výsledky za rok 2019 se ještě zpracovávají.

Na obr. 5 jsou velmi dobře vidět rozdíly mezi spotřebou různých drog v různých částech Prahy, mapa s vyznačením spádových oblastí jednotlivých stok je na obr. 3.

V českém prostředí není amfetamin příliš užívanou drogou na rozdíl od západní Evropy. Je však také metabolitem metamfetaminu a nálezy v komunální odpadní vodě tomu odpovídají.

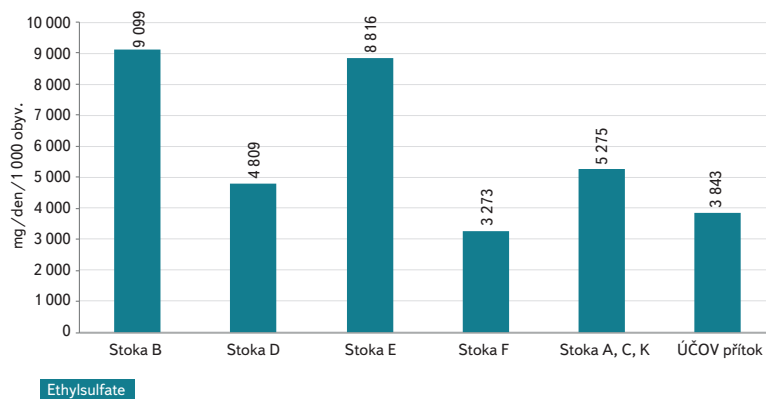
Spotřebě tabáku je věnován obr. 6. Důležitými metabolity jsou zejména kofein a *trans*-3-hydroxykofein, stabilní metabolity nikotinu. Nikotin se do odpadních vod dostává nejen jako nezmetabolizovaný z vykouřených cigaret a dalších tabákových výrobků, ale také např. z přípravků využívaných při odvykání [4, 5].

Alkohol je další drogou, i když legální, která byla v rámci projektu monitorována. Jeho spotřeba je sledována prostřednictvím metabolitu ethylsulfátu.



Obr. 6. Průměrná spotřeba tabáku a jeho metabolitů v mg/den/1 000 obyvatel

Fig. 6. Average consumption of tobacco and its metabolites in mg/day/1,000 inhabitants



Obr. 7. Průměrná spotřeba alkoholu v mg/den/1 000 obyvatel (ethylsulfát – monitorovaný stabilní metabolit ethanolu)

Fig. 7. Average alcohol consumption in mg/day/1,000 inhabitants (ethyl sulfate – monitored stable metabolite of ethanol)

Přestože se tímto způsobem vylučuje pouze < 0,1 % zkonzumovaného alkoholu [6], nálezy v odpadní vodě jsou jednoznačně nejvyšší ze všech monitorovaných látek (obr. 7).

ZÁVĚR

V rámci projektu bylo celkem odebráno a zpracováno téměř 500 vzorků odpadních vod a provedeno cca 2 000 analýz. Výsledky jsou postupně zpracovávány, jsou prováděny zpětné přepočty odnosů jednotlivých sledovaných látek jak v dílčích monitorovaných oblastech (jednotlivé stoky pražské kanalizační sítě, tak na přítoku na ÚČOV hlavního města Prahy). Z uvedených výsledků jsou zřejmé výrazné rozdíly ve spotřebě drog v rozdílných částech Prahy. Například spotřeba kokainu je nejvyšší v oblastech blízko centra, která jsou současně i oblíbenými čtvrtěmi k bydlení. Byla vypracována Socioekonomická studie prostorového rozložení obyvatelstva a identifikace rizikových oblastí z hlediska životního stylu obyvatelstva, subdodavatelem této studie je institut ACCENDO – Centrum pro vědu a výzkum, z. ú. Laboratoř se zapojila do mezinárodního projektu SCORE, jehož součástí je vedle týdenního monitoringu komunální odpadní vody ve sledované lokalitě, v tomto případě Prahy, i účast v mezilaboratorním porovnání zkoušek. Výsledky tohoto monitoringu budou prezentovány na stránkách EMCDDA (European monitoring centre for drugs and drug addiction).

Poděkování

Projekt „Čistá voda – zdravé město: Komunální odpadní voda jako diagnostické médium hlavního města Prahy“ financuje hlavní město Praha v rámci Operačního programu Praha – pól růstu ČR, Registrační číslo: CZ.071.02/0.0/0.0/16_040/0000378.

Realizace projektu by nebyla možná bez úzké spolupráce s akciovou společností Pražské vodovody a kanalizace.

Literatura

[1] OČENÁŠKOVÁ, V. a kol. *Metodika aplikace epidemiologie odpadních vod pro stanovení odnosu nezákonných látek (drog) v České republice*. Certifikovalo České ekologické manažerské centrum, 28. pluku 524/25, 101 00 Praha 10. Certifikováno 29. 12. 2015.

[2] DAUGHTON, CH.G. and TERNES, T.A. Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change? *Environmental Health Perspectives*, 1999, 107 (suppl 6), p. 907–938. DOI: 10.1289/ehp.99107s6907. ISSN 0091-6765. Dostupné z: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.99107s6907>

[3] DAUGHTON, CH.G. Illicit Drugs: Contaminants in the Environment and Utility in Forensic Epidemiology. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 2011, Vol. 210, p. 59–110. DOI: 10.1007/978-1-4419-7615-4_3. ISBN 978-1-4419-7614-7. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/978-1-4419-7615-4_3

[4] CASTIGLIONI, S., SENTA, I., BORSOTTI, A., DAVOLI, E., and ZUCCATO, E. A novel approach for monitoring tobacco use in local communities by wastewater analysis. *Tobacco Control*, 2014, 24, 1, p. 38–42. DOI: 10.1136/tobaccocontrol-2014-051553. ISSN 0964-4563. Dostupné z: <http://tobaccocontrol.bmj.com/lookup/doi/10.1136/tobaccocontrol-2014-051553>

[5] ORT, CH., VAN NUJIS, A.L.N., BERSSET, J.D., et al. Spatial differences and temporal changes in illicit drug use in Europe quantified by wastewater analysis. *Addiction*, 2014, 109, 8, p. 1338–1352. DOI: 10.1111/add.12570. ISSN 09652140. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/add.12570>

[6] MASTROIANNI, N., LOPEZ DE ALDA, M., and BARCELO, D. Analysis of ethyl sulfate in raw wastewater for estimation of alcohol consumption and its correlation with drugs of abuse in the city of Barcelona. *Journal of Chromatography A*, 2014, 1360, p. 93–99. DOI: 10.1016/j.chroma.2014.07.051. ISSN 00219673. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0021967314011443>

Autoři

Ing. Věra Očenášková¹

✉ vera.ocenaskova@vuv.cz

Ing. Petr Tušil, Ph.D., MBA²

✉ petr.tusil@chmi.cz

RNDr. Diana Marešová, Ph.D.¹

✉ diana.maresova@vuv.cz

Ing. Danica Pospíchalová¹

✉ danica.pospichalova@vuv.cz

Ing. Nikola Cielecká¹

✉ nikola.cielacka@vuv.cz

¹Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.

²Český hydrometeorologický ústav

Příspěvek prošel lektorským řízením.

MUNICIPAL WASTEWATER AS A DIAGNOSTIC MEDIUM OF THE CITY OF PRAGUE

OCENASKOVA, V.¹; TUSIL, P.²; MARESOVA, D.¹; POSPICALOVA, D.¹; CIELECKA, N.¹

¹TGM Water Research Institute, p.r.i.

²Czech Hydrometeorological Institute

Keywords: wastewater-based epidemiology – illicit drugs – nicotine – alcohol – monitoring

The article informs about regular, almost two-year long monitoring of municipal wastewater at selected sampling points of the Prague sewerage network. Selected illicit drugs (e.g. methamphetamine, MDMA, THC, cocaine), nicotine and its metabolites and the ethanol metabolite ethyl sulphate are monitored in municipal wastewater. Results of the first year of the project are presented in this article. There are obvious differences in consumption of individual drugs in different parts of Prague.

For the purposes of the project, analytical methods for the determination of monitored substances were extended.

The project includes a Socio-economic study of spatial distribution of the population and identification of risk areas in terms of population lifestyle (ACCENDO, z. ú.).

Stanovení vybraných drog a jejich metabolitů v odpadních vodách metodou kapalinové chromatografie

**DANICA POSPÍCHALOVÁ, DIANA MAREŠOVÁ, VĚRA OČENÁŠKOVÁ,
TEREZA ŠAFRÁNKOVÁ, EVA BOHADLOVÁ**

Klíčová slova: odpadní voda – drogy – nikotin – metabolity nikotinu – alkohol – ethylsulfát

SOUHRN

Epidemiologie odpadních vod byla navržena v roce 2001 ke sledování koncentrace nelegálních drog a jejich metabolitů v odpadních vodách přitékajících do komunálních čistíren odpadních vod, do kterých se zmíněné sloučeniny dostávají z moče konzumentů drog cestou kanalizační sítě. Poprvé byla použita v roce 2005 ke sledování kokainu v Itálii. Postupně byl přístup aplikován na sledování dalších nezákonných drog jako např. heroin, kanabis nebo stimulantů na bázi amfetaminu. Analýza odpadních vod je velmi slibný způsob k monitorování legálních stimulantů, jako je nikotin a jeho metabolity a alkohol, resp. metabolity alkoholu. Ve VÚV TGM, v. v. i., je od roku 2012 rozvíjena metoda LC-MS umožňující současné stanovení řady těchto látek. Příspěvek shrnuje analytické možnosti stanovení a metodiku vyvinutou na pracovišti se zaměřením na analyty nikotin a jeho metabolity a na metabolit alkoholu ethylsulfát, nově doplněné v rámci řešení projektu „Čistá voda – zdravé město: Komunální odpadní voda jako diagnostické médium hlavního města Prahy“ v rámci Konceptu IV.

ÚVOD

Epidemiologie odpadních vod byla navržena v roce 2001 [1] ke sledování koncentrace nelegálních drog a jejich metabolitů v odpadních vodách přitékajících do komunálních čistíren odpadních vod, do kterých se zmíněné sloučeniny dostávají z moče konzumentů drog cestou kanalizační sítě. Poprvé byla použita v roce 2005 ke sledování kokainu v Itálii [2]. Postupně byl přístup aplikován na sledování dalších nezákonných drog jako např. heroin, kanabis nebo stimulantů na bázi amfetaminu [3–6]. V České republice proběhlo např. sledování v rámci projektu Dragon (projekt Ministerstva vnitra, VG20122015101 Stanovení množství nelegálních drog a jejich metabolitů v komunálních odpadních vodách – nový nástroj pro doplnění údajů o spotřebě drog v České republice) [7]. Sledovány byly metamfetaminy, kokain a jeho metabolity, opioidy, LSD, buprenorfin, metadon a jeho metabolit EDDP, efedrin, tramadol a nor-THC s využitím dříve vyvinuté metodiky [8].

V rámci řešení projektu „Čistá voda – zdravé město: Komunální odpadní voda jako diagnostické médium hlavního města Prahy“ (dále jen Projekt) byly analyzovány možnosti rozšíření stávající metodiky o další zneužívané látky. Na základě literatury a dřívějších prací byly vybrány nikotin a jeho metabolity, metabolit alkoholu ethylsulfát a katinin (nové syntetické drogy).

Analýza odpadních vod je velmi slibný způsob k monitorování legálních stimulantů, jako je nikotin a jeho metabolity. Avšak koncentrace těchto látek značně kolísá v průběhu roku a často dosahuje velmi nízkých hodnot. Je to způsobeno hlavně nestabilitou nikotinu v odpadní vodě. Proto se sledují hlavně stabilní metabolity – kotinin a *trans*-3'-hydroxykotinin. V lidském těle je nikotin metabolizován na kotinin (70–80 %) a nikotin-N'-oxid (4–7 %). Kotinin je potom dále metabolizován na další submetabolity, tj. jenom 10–15 % zkonsumovaného nikotinu je vyloučeno jako kotinin [9]. Část nikotinu přechází do moči nemetabolizována. Nikotin se ale může dostávat do odpadní vody nejen s močí, ale i oplachem z nedopalků cigaret a popela [10, 11]. Dalším zdrojem nikotinu je substituční léčba (nikotinové náplasti a žvýkačky) a elektronické cigarety [11]. Analýza nikotinu v odpadní vodě není specifická a nevystihuje nebezpečnou konzumaci tabáku. Proto se pro kvantifikaci nikotinu v některých studiích využívají např. alkaloidy anabasin a anatabin, které jsou specifické pro sušený tabák, a stanovují se spolu s nikotinem a kotininem jako biomarkery pro konzumaci tabáku v odpadní vodě [12].

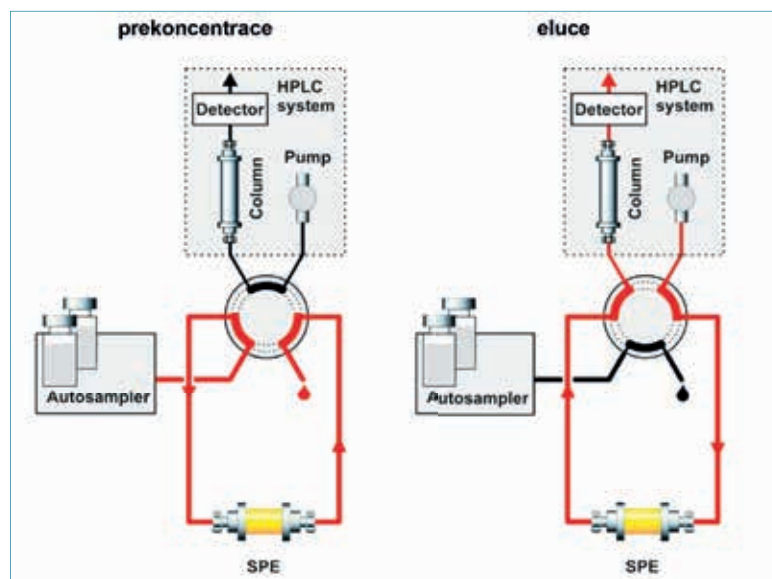
Alkoholické nápoje jsou jednou z nejpobulárnějších látek ve společnosti s obsahem psychoaktivní sloučeniny ethanol. Ethanol je v játrech oxidován především na acetaldehyd (90–95 %). Malá část (< 0,1 %) přechází na metabolity ethylsulfát (EtS) a ethylglukuronid [13]. Ethylglukuronid není vhodný jako biomarker v odpadních vodách, protože je v nich velmi nestabilní [14]. Ethylsulfát je specifický biomarker pro monitorování spotřeby alkoholu. Jedná se o metabolit ethanolu, který indikuje nedávnou konzumaci alkoholu s dobou detekce do 48 hodin u zdravých jedinců a je stabilní v odpadní vodě [14].

Ke stanovení nikotinu a jeho metabolitů se nejvíce používají přístroje LC-MS/MS [9, 11, 12, 15–20], výjimečně LC-QTOF [21] nebo hybridní MS Q-Exactive s vysokým rozlišením [22–25]. Detekce a kvantifikace se provádí s hmotnostním detektorem typu trojitého kvadrupolu s ionizací v pozitivním módu ESI+. Odpadní voda jako složitá matrice obsahuje velké množství koelujících sloučenin, které mohou ve velké míře ovlivňovat ionizaci sledovaných sloučenin. Proto se před extrakcí přidávají ke vzorku odpadní vody deuterované izomery stanovovaných analytů a kvantifikace se provádí metodou interního standardu [9–12, 15–28]. Ke zvýšení citlivosti stanovení a čištění se používá prekoncentrace vzorku extrakcí na pevné fázi (SPE) v zapojení on-line [25–27] nebo off-line [9, 11, 15–24, 28]. Používají se kolony Oasis HLB [11, 14, 19–21, 26–28], Oasis MCX [15], StrataX [12]. Pro on-line SPE se používá zejména kolonka Hypersil Gold [23–25]. Stanovení nikotinu a jeho metabolitů se provádí většinou s kolonami s reverzní fází C18 [9–12, 15–28] a středně polární mobilní fází, která obsahuje organickou fázi (nejčastěji acetonitril nebo methanol) a vodnou fázi (voda s přísadkou mravenčanu nebo octanu amonného v proměnlivém poměru podle nastaveného programu gradientu).

Tabulka 1. Přehled analytů, jejich základní charakteristiky a rozdělení do metod stanovení
 Table 1. Overview of analytes, their characteristics and methods of detection

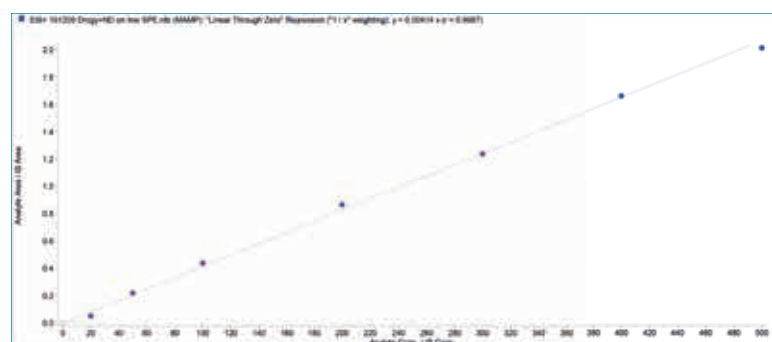
Látka	CAS Number	Zkratka	Charakteristika	Metoda
6-acetylmorfin	63690-08-4	6ACM	metabolit heroínu	ESI+
amfetamin	2706-50-5	AMP	stimulancium	ESI+
benzoylcegonin	519-09-5	BE	metabolit kokainu	ESI+
buprenorfin	53152-21-9	BUP	opioid, substituční léčba	ESI+
diethylamid kyseliny lysergové	50-37-3	LSD	halucinogen	ESI+
diethylamid kyseliny 2-oxo-3-hydroxy-lysergové	111295-09-1	OH-LSD	metabolit LSD	ESI+
efedrin	24221-86-1	EPH	prekurzor pro výrobu pervitinu	ESI+
ethylcathinon	51553-17-4	Eth-cat	syntetický kathinon	ESI+
2-ethylidene-1,5-dimethyl-3,3-diphenylpyrrolidin	66729-78-0	EDDP	metabolit metadonu	ESI+
ethylsulfát	546-74-7	EtS	metabolit alkoholu	ESI-
extáze	64057-70-1	MDMA	stimulancium	ESI+
fentanyl	437-38-7	FEN	opioidní analgetikum	ESI+
heroin	561-27-3	HER	opioid	ESI+
kokaethylen	529-38-4	COE	metabolit kokainu	ESI+
kokain	50-36-2	CO	stimulancium	ESI+
kotinin	486-56-6	COT	metabolit nikotinu	ESI+
mefedron	1189726-22-4	MMC	syntetický kathinon	ESI+
metadon	1095-90-5	MET	opioid, substituční léčba	ESI+
metamfetamin	300-42-5	MAMP	pervitin, stimulancium	ESI+
4-methylethcathinon	1266688-86-1	4-MEC	syntetický kathinon	ESI+
metylon	186028-80-8	bk-MDMA	syntetický kathinon	ESI+
morfin	6009-81-0	MOR	opioid	ESI+
nikotin	54-11-5	NIC	alkaloid	ESI+
nor-diazepam	1088-11-5	Nor-DZP	metabolit diazepamu, anxiolytikum	ESI+
nor-fentanyl	1609-66-1	Nor-FEN	metabolit fentanylu	ESI+
nor-mefedron	6941-17-9	Nor-MMC	metabolit mefedronu	ESI+
11-nor-9-karboxy-delta-9-THC	56354-06-4	nor-THC	metabolit THC	ESI-
pentedron	879669-95-1	PENT	syntetický kathinon	ESI+
tramadol	36282-47-0	TRAM	opioidní analgetikum	ESI+
trans-3-hydroxykotinin	34834-67-8	T3H-COT	metabolit nikotinu	ESI+
α-pyrrolidinovalerofenon	5485-65-4	Alfa-PVP	syntetický kathinon	ESI+

Pozn.: ESI+: ionizace elektrosprejem v pozitivním módu; ESI-: ionizace elektrosprejem v negativním módu



Obr. 1. Zapojení se šesticetným ventilem, eluce proti směru SPE

Fig. 1. Connection of six-way valve, elution against the direction of SPE



Obr. 2. Ukázka kalibrační křivky pro metamfetamin (MAMP)

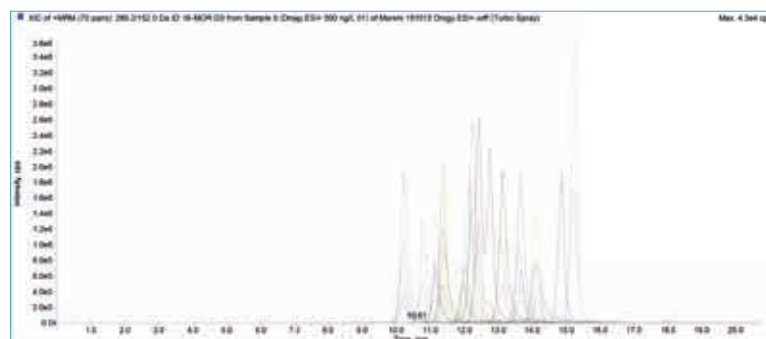
Fig. 2. Example of calibration curve (methamphetamine)



Obr. 3. Ukázka kalibrační křivky pro kotinin (COT)

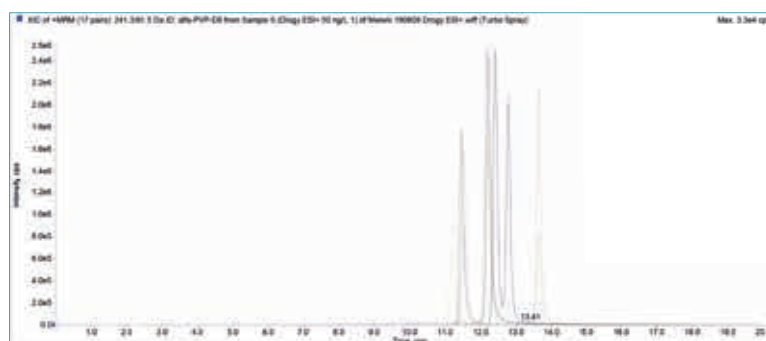
Fig. 3. Example of calibration curve (cotinine)

Ke stanovení ethylsulfátu v odpadní vodě se používá metoda kapalinové chromatografie s hmotnostním detektorem s trojitým kvadrupolem a elektrosprejem jako iontovým zdrojem v negativním módu (ESI-) [13, 29–35]. EtS je polární sloučenina a na tradičních kolonách C18, C8 s reverzní fází je málo zadržován. Proto se rozšířilo jeho stanovení pomocí iontově párové chromatografie. Používají se iontově párová činidla: 5 mM dibutylamonium acetát [24], 7 mM dihexylamonium acetát [12, 25]. Používané mobilní fáze jsou voda a methanol, iontově párové činidlo se přidává do jedné nebo obou fází. Úspěšně byla ke stanovení EtS použita kolona Synergi Polar-RP (polar endcapped phenylpropyl

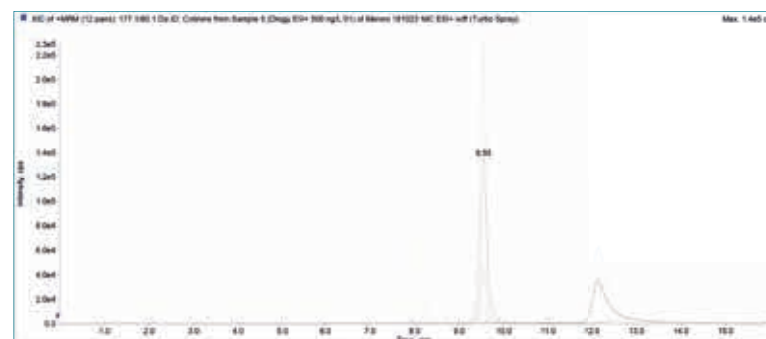


Obr. 4. Ukázka chromatogramu extrahovaných iontů v režimu ESI+ (amfetamin, benzoylcgonin, buprenorphin, EDDP, efedrin, extáze, fentanyl, heroin, kokaethylen, kokain, LSD, metadon, metamfetamin, morfin, nor-diazepam, nor-fentanyl, tramadol)

Fig. 4. Example of extracted ion chromatograms in ESI+ (amphetamine, benzoylcgonine, buprenorphine, EDDP, ephedrine, MDMA, fentanyl, heroin, cocaethylene, cocaine, LSD, methadone, methamphetamine, morphine, nor-diazepam, nor-fentanyl, tramadol)



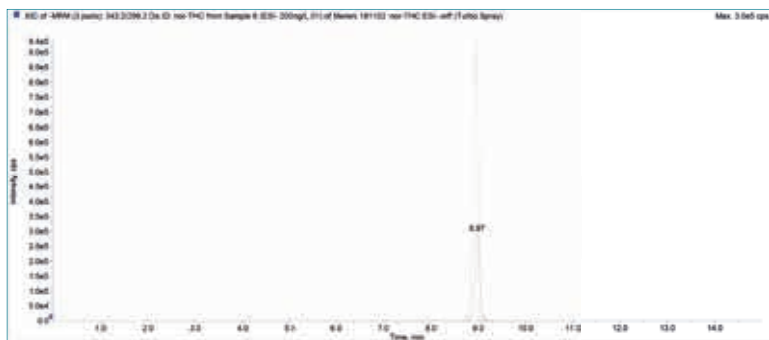
Obr. 5. Ukázka chromatogramu extrahovaných iontů v režimu ESI+ (ethylcathinon, mefedron, 4-methylethcathinon, metylon, nor-mefedron, pentedron, tramadol, trans-3-hydroxykotinin, α-pyrrolidinovalerofenon)

Fig. 5. Example of extracted ion chromatograms in ESI+ (ethylcathinone, mephedrone, 4-methylethcathinone, metylone, nor-mephedrone, pentedrone, tramadol, *trans*-3-hydroxykotinin, α-pyrrolidinovalerofenone)

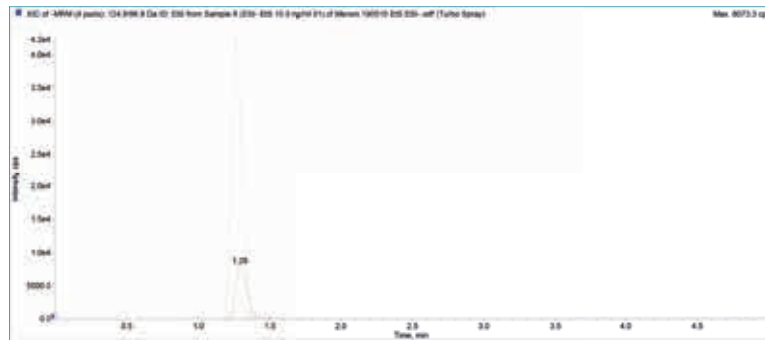
Obr. 6. Ukázka chromatogramu extrahovaných iontů v režimu ESI+ (nikotin, kotinin a trans-3-hydroxykotinin)

Fig. 6. Example of extracted ion chromatograms in ESI+ (nicotine, cotinine and *trans*-3-hydroxycotinine)

reverzní fáze) [31, 32]. K eluci se používá voda s 0,1 % kyselinou mravenčí a acetonitril. Ke zlepšení ionizace se za kolonu přidává acetonitril. V poslední době se vyrábějí inertní kolony s navázaným trifunkčním alkylovým ligandem C18, který podporuje retenci polárních sloučenin a eliminuje potřebu přídavku iontových párů [27, 33, 34]. Jsou to např. kolony: Atlantis T3 nebo Chrompack Inertsil ODS-3 (Varian). Používají se s mobilními fázemi voda s 0,1 % kyselinou mravenčí a acetonitrilem a s post column přídavkem acetonitrilu ke zvýšení ionizace.



Obr. 7. Ukázka chromatogramu extrahovaných iontů v režimu ESI- (nor-THC)
Fig. 7. Example of extracted ion chromatograms in ESI- (nor-THC)



Obr. 8. Ukázka chromatogramu extrahovaných iontů v režimu ESI- (ethylsulfát)
Fig. 8. Example of extracted ion chromatograms in ESI- (ethylsulfate)

Stanovení ethylsulfátu se dá provádět i s HILIC kolonami, např. SeQuant ZIC-HILIC (Merck) a mobilními fázemi 5 mM octan amonný (pH 6,8) a acetonitril [33].

METODIKA

Postupně bylo v závislosti na chemických vlastnostech a možnostech stanovení jednotlivých látek zavedeno stanovení tří desítek látek metodou kapalinové chromatografie s hmotnostní detekcí za podmínek ionizace elektrospřejem v pozitivním a negativním módu. Přehled stanovovaných analytů včetně jejich základní charakteristiky a rozdělení do postupů stanovení je uveden v *tabulce 1*.

Použitá technika: kapalinový chromatograf Agilent 1200 RR s binárním čerpadlem, hmotnostní detektor Applied Biosystem 4000 Q Trap s trojitým kvadrupólem, autosampler Aspec GX-271 (Gilson). Stanovení všech látek bylo prováděno s chromatografickou kolonou Synergi Hydro-RP80A (150 × 2,0 mm, 4 μm).

Multireziduální stanovení této skupiny analytů se nedalo provést vzhledem k jejich odlišným chemickým vlastnostem a koncentračním hladinám jejich výskytu. Z tohoto důvodu bylo stanovení rozděleno do čtyř separátních postupů.

Analýzy byly prováděny v odpadní vodě odebírané v nátoku na čistírnu komunálních odpadních vod. Tato voda je velmi komplexní matrice a jako nezbytné se jeví použití vnitřních standardů. Matrice silně ovlivňuje ionizaci. Bylo pozorováno potlačení ionizace vlivem látek přítomných ve vzorku. Proto bylo pracováno s deuterovanými standardy všech stanovovaných látek.

Pro analýzy se zpracovávají 24hodinové kompozitní vzorky odebírané na nátoku na čistírnu komunálních odpadních vod, které se po odběru uchovávají v chladu a temnu. Pokud nelze vzorek analyzovat do 72 hodin od odběru, vzorek se zmrazí a do vlastní analýzy se skladuje při teplotě -20 ± 4 °C.

Před vlastním stanovením se vzorky odstředí a ze vzorku se odstraní pevné částice filtrací přes jednorázové membránové filtry o porozitě 0,45 μm. Po přidavku směšného roztoku vnitřních standardů je vzorek připraven k LC-MS/MS analýze. Před chromatografickou analýzou se vzorky zakonzcentrují z objemu 1–5 ml on-line SPE (drogy, nikotin a jeho metabolity). K on-line prekoncentraci vzorků byl použit autosampler Aspec GX-271(Gilson) a kolonka Hypersil Gold (20 × 2,1 mm, 12 μm), na kterou bylo 1–5 ml vzorku vloženo průtokem 0,5 ml/min. Potom byla kolonka ještě promyta 1 ml UHQ vody, aby se dokončil transfer vzorku a odstranily některé interference. Eluce analytů na chromatografickou kolonu byla prováděna mobilní fází jejím průtokem koncentrační kolonkou v protisměru v zapojení podle *obr. 1*. Pouze analýza ethylsulfátu se vzhledem k jeho vysokým koncentracím (desítky μg/l) provádí bez prekoncentrace s nástřikem 5 μl vzorku na kolonu.

Všechny používané chemikálie jsou čistoty p. a. nebo vyšší. Pro kalibraci jsou používány certifikované referenční chemikálie, např. fy Merc, Lipomed, Chromservis. Jako vnitřní standardy jsou používány deuterované látky, také certifikované. Podmínky kapalinové chromatografie pro jednotlivé postupy shrnuje *tabulka 2*.

Tabulka 2. Podmínky kapalinové chromatografie
Table 2. Liquide chromatography settings

	ESI+		ESI-	
	Drogy	Nikotin a metabolity	nor-THC	EtS
SPE on-line prekoncentrace	Autosampler GX-271 Aspec		-	
	Hypersil Gold 20 × 2,1 mm, 12 μm		-	
	5 ml vzorku	1 ml vzorku	5 ml vzorku	
Předkolona	Security guard cartridge AQC18 4 × 20 mm			
Analytická kolona	Synergi Hydro – RP80A 150 × 2,00 mm, 4 μm			
Mobilní fáze A	5 mM vodný roztok mravenčanu amonného		0,1 % vodný roztok kyseliny mravenčí	10 mM vodný roztok octanu amonného, pH 7,6
Mobilní fáze B	5 mM roztok mravenčanu amonného v methanolu		0,1 % roztok kyseliny mravenčí v methanolu	ACN : MeOH (1 : 1)
Průtok mobilní fáze	300 μl/min	300 μl/min	300 μl/min	400 μl/min
Nástřik	-	-	-	5 μl

Tabulka 3. Meze stanovitelnosti (LOQ) v matrici odpadní voda
Table 3. Limits of quantification for wastewater

Analyt	Zkratka	LOQ [ng/l]
6-acetylmorfin	6ACM	5,5
amfetamin	AMP	1,1
benzoylecgonin	BE	3,5
buprenorfin	BUP	2,9
diethylamid kyseliny lysergové	LSD	0,9
efedrin	EPH	2,4
ethylcathinon	Eth-cat	3,5
2-ethylidene-1,5-dimethyl-3,3- dipenylpyrrolidin	EDDP	0,7
ethylsulfát	EtS	2,3*
extáze	MDMA	3
fentanyl	FEN	2,8
heroin	HER	2,3
kokaethylen	COE	0,9
kokain	CO	2,5
kotinin	COT	50
mefedron	MMC	2,5
metadon	MET	0,7
metamfetamin	MAMP	0,9
4-methylethcathinon	4-MEC	2,7
metylon	bk-MDMA	2,8
morfin	MOR	4,8
nikotin	NIC	300
nor-diazepam	Nor-DZP	4,3
nor-fentanyl	Nor-FEN	2,8
11-nor-9-karboxy-delta-9-THC	nor-THC	1,3
tramadol	TRAM	3,5
trans-3-hydroxykotinin	T3H-COT	40
α-pyrrolidinovalerofenon	Alfa-PVP	5,5

*µg/l

Identifikace a kvantifikace se ve všech případech provádí za pomoci vyhodnocovacího systému Analyst® Software. Jednotlivé látky se identifikují porovnáním retenčních časů s retenčními časy standardů a shodnosti poměru intenzit dvou sledovaných přechodů dané látky ve vzorku a v kalibračním roztoku. Kvantifikace se provádí na základě hodnot vypočtených pomocí kalibračních křivek metodou kalibrace na vnitřní standard (deuterovaný standard). Ve stanovovaném rozsahu byly všechny kalibrační křivky lineární (korelační koeficient 0,99 a lepší).

Pro ukázkou jsou na obr. 2–8 uvedeny kalibrační křivky a chromatogramy extrahovaných iontů standardů. Je zobrazen prekurzorový, produktový ion a vnitřní standard.

Meze stanovitelnosti (LOQ) dosažené popsány postupy v matrici odpadní voda jsou uvedeny v tabulce 3.

Podrobněji jsou použité analytické metody pro stanovení nikotinu a jeho metabolitů a ethylsulfátu popsány ve sborníku z konference Hydroanalytika 2019 [36].

Pro skupinu syntetických kationů byly hledány možnosti snížení mezí stanovitelnosti, protože nebyl zaznamenán pozitivní nález těchto látek (s výjimkou dvou hodnot mefedronu těsně na úrovni LOQ, období hodnocení 2018). Zkoušená metodika vycházela z dřívější metodiky off-line SPE vyvinuté v projektu Program IGA 2013 – Projekt „Nové drogy – analýza trhu epidemiologie užívání a identifikace možnosti pro snižování škod“ [37]. Ani při zpracování 500 ml vzorku nebylo dosaženo lepších mezí stanovitelnosti než při on-line SPE metodě [38].

ZÁVĚR

Pro řešení projektu „Čistá voda – zdravé město: Komunální odpadní voda jako diagnostické médium hlavního města Prahy“, ve kterém jsou monitorovány vedle nezákonných drog a jejich metabolitů (včetně syntetických kationů) také některá léčiva a další legální drogy, jako jsou ethanol a nikotin, resp. jejich metabolity, byly vypracovány a zvalidovány postupy pro stanovení těchto látek. V závislosti na chemických vlastnostech a možnostech stanovení jednotlivých látek byly o tyto látky rozšířeny již dříve používané metody kapalinové chromatografie s hmotnostní detekcí za podmínek ionizace elektrosprejem v pozitivním módu a v negativním módu. Metody byly akreditovány. Celkem jsou uvedenými metodami stanovovány tři desítky látek. Metody rozvinuté ve VÚV TGM, v. v. i., splňují požadavky na citlivost pro analýzu většiny zneužívaných drog a jejich metabolitů i dalších látek sledovaných v rámci Projektu.

Literatura

- [1] DAUGHTON, C.D. Illicit Drugs in Municipal Sewage: Proposed New Noninvasive Tool to Heighten Public Awareness of Societal Use of Illicit/Abused Drugs and Their Potential for Ecological Consequences, in Pharmaceutical and Personal Care Products in The Environment: Scientific and Regulatory Issues, American Chemical Society: Washington, D.C., 2001, p. 348–364.
- [2] ZUCCATO, E. et al Cocaine in surface waters: a new evidence-based tool to monitor community drug abuse. *Environ. Health Global Access Sci. Source*, 2005, 4, p. 14–20.
- [3] VAN NUIJS, A., MOUGEL, J.F., TARCOMNICU, I., et al. Sewage epidemiology: a real-time approach to estimate the consumption of illicit drugs in Brussels, Belgium. *Environment International*, 2011, 27, p. 612–621.
- [4] CASTIGLIONI, S., THOMAS, K.V., KASPRZYK-HORDERN, B., VANDAM, L., and GRIFFITHS, P. Testing wastewater to detect illicit drugs: State of the art, potential and research needs. *Science of the Total Environment*, 2014, 487, p. 613–620.
- [5] BEEN, F., BIJLSMA, L., BENAGLIA, L., et al. Assessing geographical differences in illicit drug consumption: A comparison of results from epidemiological and wastewater data in Germany and Switzerland. *Drug and Alcohol Dependence*, 2016, 161, p. 189–199.
- [6] DU, P. Methamphetamine and ketamine use in major Chinese cities, a nationwide reconnaissance through sewage-based epidemiology. *Water Research*, 2015, Vol. 84, p. 76–84.
- [7] OČENÁŠKOVÁ, V. Využití epidemiologie odpadních vod pro sledování spotřeby nelegálních drog a dalších látek v českém a mezinárodním kontextu. *VTEI*, 2016, roč. 58, č. 6, s. 27–30.
- [8] OČENÁŠKOVÁ, V. a kol. *Metodika aplikace epidemiologie odpadních vod pro stanovení odnosů nezákonných látek (drog) v České republice*. Certifikovalo České ekologické manažerské centrum, 28. pluku 524/25, 101 00 Praha 10. Certifikováno 29. 12. 2015.
- [9] LOPES, A., SILVA, N., BRONZE, M.R., FERREIRA, J., and MORAIS, J. Analysis of cocaine and nicotine metabolites in wastewater by liquid chromatography–tandem mass spectrometry. Cross abuse index patterns on a major community. *Science of the Total Environment*, 2014, 487, p. 673–680.
- [10] ORT, CH., ALEXANDER, L.N., VAN NUIJS, A.L.N., BERSET, J.D., LUBERTUS BIJLSM, L., CASTIGLIONI, S., COVACI, A., et al. Spatial differences and temporal changes in illicit drug use in Europe quantified by wastewater analysis. *Addiction*, 2019, p. 1338–1352.

- [11] CASTIGLIONI, S., SENTA, I., BORSOTTI, A., DAVOLI, E., and ZUCCATO, E. A novel approach for monitoring tobacco use in local communities by wastewater analysis. *Tob. Control*, 2015, 24, p. 38–42.
- [12] RICO, M., ANDRÉS-COSTA, M.J., and PICÓ, Y. Estimating population size in wastewater-based epidemiology. Valencia metropolitan area as a case study. *Journal of Hazardous Materials*, 2017, 323.
- [13] MASTROIANNI, N., LOPEZ DE ALDA, M., and BARCELO, D. Analysis of ethyl sulfate in raw wastewater for estimation of alcohol consumption and its correlation with drugs of abuse in the city of Barcelona. *Journal of Chromatography*, 2014, 1360, p. 93–99.
- [14] REID, M.J., LANGFORD, K.H., MØRLAND, J., and THOMAS, K.V. Analysis and Interpretation of Specific Ethanol Metabolites, Ethyl Sulfate, and Ethyl Glucuronide in Sewage Effluent for the Quantitative Measurement of Regional Alcohol Consumption. *Alcohol. Clin. Exp. Res.*, 2011, Vol. 35, No. 9, p. 1593–1599.
- [15] KINYUA, J., COVACI, A., MAHO, W., et al. Sewage-based epidemiology in monitoring the use of new psychoactive substances: Validation and application of an analytical method using LC-MS/MS. *Drug Test. Analysis*, 2015, 7, p. 812–818.
- [16] VAN NUIJS, A.L.N., GHEORGE, A., JORENS, P.G., MAUDENS, K., NEELS, H., and COVACI, A. Optimization, validation, and the application of liquid chromatography-tandem mass spectrometry for the analysis of new drugs of abuse in wastewater. *Drug Test. Analysis*, 2014, 6, p. 861–867.
- [17] CASTIGLIONI, S. Assessing illicit drugs in wastewater: Advances in wastewater-based drug epidemiology publication of the European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction. EMCDDA, 2016.
- [18] JONES, J. SPE-LC-MS/MS Method for the Determination of Nicotine, Cotinine, and Trans-3-hydroxycotinine in Urine, appl. Note 20709. Thermo Fisher Scientific, Runcorn, Cheshire, UK.
- [19] HUERTA-FONTELA, M., GARCELAN, M.T., and VENTURA, F. Ultraperformance liquid chromatography-tandem mass spectrometry analysis of stimulatory drugs of abuse in wastewater and surface waters. *Anal. Chem.*, 2007, 79, p. 3821–9.
- [20] BUENO, M.J., UDES, S., and HERNANDO, M.D. Evaluation of selected ubiquitous contaminants in the aquatic environment and their transformation products. A pilot study of their removal from a sewage treatment plant. *Wat. Res.*, 2011, 45, p. 2331–41.
- [21] BAZ-LOMBA, J.A., SALVATORE, S., GRACIA-LOR, E., et al. Comparison of pharmaceutical, illicit drug, alcohol, nicotine and caffeine levels in wastewater with sale, seizure and consumption data for 8 European cities. *BMC Public Health*, 2016, 16, p. 1035.
- [22] HERNANDEZ, F., CASTIGLIONI, S., COVACI, A., et al. Mass spectrometric strategies for the investigation of biomarkers of illicit drug use in wastewater. *Mass Spectrometry Reviews*, 2016 by Wiley Periodicals. DOI 10.1002/mas.
- [23] FEDOROVA, G., RANDAK, T., LINDBERG, R.H., and GRABIC, R. Comparison of the quantitative performance of a Q-Exactive high-resolution mass spectrometer with that of a triple quadrupole tandem mass spectrometer for the analysis of illicit drugs in wastewater. *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, 2013, 27, p. 1751–1762.
- [24] MACKULAK, T., GRABIC, R., GÁL, M., and BIROŠOVÁ, L. Evaluation of different smoking habits during music festivals through wastewater analysis. *Environ. Toxicol. and Pharmacology*, 2015, 40, p. 1015–1020.
- [25] MACKULAK, T., BIROŠOVÁ, L., GRABIC, R., and ŠKUBÁK, J. National monitoring of nicotine use in Czech and Slovak Republic based on wastewater analysis. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2015, DOI: 10.1007/s11356-015-4647-7.
- [26] SENTA, I., GRACIA-LOR, E., BORSOTTI, A., and ZUCCATO, E. Wastewater analysis to monitor use of caffeine and nicotine and evaluation of their metabolites as biomarkers for population size assessment. *Water research*, 2015, 7, 4, p. 23–33.
- [27] TSCHARKE, B.J., WHITE, J.M., and GERBER, J.P. Estimate of tobacco use by wastewater analysis of anabasine and anatabine. *Drug Test Anal.*, 2016, Jul 8(7), p. 702–707.
- [28] WANG, D.G., DONG, Q.Q., DU, J., et al. Using Monte Carlo simulation to assess variability and uncertainty of tobacco consumption in a city by sewage epidemiology. *BMJ Open* 2016, 6:e010583. doi:10.1136/bmjopen-2015-010583.
- [29] RYU, Y., BARCELÓ, D., BARRONE, L.P., et al. Comparative measurement and quantitative risk assessment of alcohol consumption through wastewater-based epidemiology: An international study in 20 cities. *Science of the Total Environment*, 565, 2016, p. 977–983.
- [30] BOOGAERTS, T., COVACI, A., KINYUA, J., NEELS, H., and VAN NUIJS, L.N. Spatial and temporal trends in alcohol consumption in Belgian cities: A wastewater-based approach. *Drug and Alcohol Dependence*, 2016, 160, p. 170–176.
- [31] DRESEN, S., WEINMANN, W., and WURST, F.M. Forensic Confirmatory Analysis of Ethyl Sulfate – A New Marker for Alcohol Consumption – by Liquid-Chromatography/Electrospray Ionization/Tandem Mass Spectrometry. *American Society for Mass Spectrometry*, 2004. Published by Elsevier Inc. 1044-0305/04, DOI: 10.1016/j.jasms.2004.08.004.
- [32] ALBERMANN, M.E., MUSSHOF, F., and MADEA, B. A High-Performance Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometric Method for the Determination of Ethyl Glucuronide and Ethyl Sulfate in Urine Validated According to Forensic Guidelines. *J. Chromatogr. Sci.*, 2012, Jan, 50(1), p. 51–56.
- [33] AL-ASMARI, A.I., ANDERSON, R.A., and APPELBLAD, P. Direct Determination of Ethyl Glucuronide and Ethyl Sulfate in Postmortem Urine Specimens Using Hydrophilic Interaction Liquid Chromatography-Electrospray Ionization-tandem Mass Spectrometry. *J. Anal. Tox.*, 2010, 34, p. 261–272.
- [34] POLITI, L., MORINI, L., GROPPA, A., et al. Direct Determination of the ethanol metabolites ethyl glucuronide and ethyl sulfate in urine by liquid chromatography/electrospray tandem mass spectrometry. *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, 2005, 19, p. 1321–1331.
- [35] LI, S., LAYNE, J., COUNTRYMAN, S., et al. A Sensitive, Specific, Accurate, and Fast LC-MS-MS Method for Measurement of 42 Ethyl Glucuronide and Ethyl Sulfate in Human Urine. *LCGC North America*, Jul 01, 2011, Vol. 29, Issue 7.
- [36] POSPÍCHALOVÁ, D., MAREŠOVÁ, D., ŠAFRÁNKOVÁ, T. a OČENÁŠKOVÁ, V. Metody stanovení nikotinu a jeho metabolitů a ethylsulfátu v odpadní vodě. In: ŠÝKORA, V. a KULAJOVÁ, H. *Sborník 8. konference Hydroanalytika 2019*. Praha, 2019, s. 61–67. ISBN 978-80-904986-4-8.
- [37] KVÍČALOVÁ, M. a POSPÍCHALOVÁ, D. *Nové psychoaktivní látky v České republice: výskyt, rizika a související opatření*. Klinika adiktologie 1. LF UK v Praze a VFN v Praze, 2015.
- [38] BOHADLOVÁ, E., OČENÁŠKOVÁ, V., ŠAFRÁNKOVÁ, T. a JANDA, V. Optimalizace metody stanovení vybraných syntetických drog v komunálních odpadních vodách. In: ŠÝKORA, V. a KULAJOVÁ, H. *Sborník 8. konference Hydroanalytika 2019*. Praha, 2019, s. 45–47. ISBN 978-80-904986-4-8.

Autoři

Ing. Danica Pospíchalová

✉ danica.pospichalova@vuv.cz

RNDr. Diana Marešová, Ph.D.

✉ diana.maresova@vuv.cz

Ing. Věra Očenášková

✉ vera.ocenaskova@vuv.cz

Bc. Tereza Šafránková

✉ tereza.safrankova@vuv.cz

Ing. Eva Bohadlová

✉ eva.bohadlova@vuv.cz

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DETERMINATION OF SELECTED ILLICIT DRUGS IN WASTEWATER USING LIQUID CHROMATOGRAPHY TANDEM MASS SPECTROMETRY

POSPICHALOVA, D.; MARESOVA, D.; OCENASKOVA, V.; SAFRANKOVA, T.; BOHADLOVA, E.

TGM Water Research Institute, p.r.i.

Keywords: wastewater — illicit drugs — nicotine — nicotine metabolites — alcohol — ethylsulfate

The wastewater-based epidemiology approach to the analysis of illicit drugs was conceptualized in 2001 and for the first time was applied in 2005 for cocaine estimation in Italy. Further, other illicit drugs as heroine, cannabis and amphetamine have been estimated. Illicit drugs have been measured in TGM Water Research Institute, p.r.i., since 2012. This paper describes analytical possibilities of determination of illicit drugs in wastewater and method evaluated in TGM Water Research Institute, p.r.i., focusing on nicotine and its metabolites and ethylsulfate, the analytes, what were implemented during the project within the Concept IV.

Využití moderních analytických metod při řešení rizik a tvorbě územních strategií

ANDREA HRUŠKOVÁ, LUBOR HRUŠKA

Klíčová slova: protidrogová politika — strategické řízení — sociální rizika — politika založená na důkazech

SOUHRN

V současné době se do popředí dostávají sociálně-ekonomická a bezpečnostní rizika v území, které dlouhodobě ovlivňují stabilitu lokálních komunit. Pro identifikaci rizik je možno využít současné moderní technologie sběru dat měření výskytu nelegálních drog v odpadních vodách ve městech. Aplikace strategického řízení území založená na znalostech je podporována Evropskou unií, jedná se o tzv. přístup Evidence Based Policy. Tento přístup umožňuje managementu krajů a měst zacílit strategické plány do území a zároveň vyhodnotit i jejich efektivitu. Preferován je integrovaný přístup k řešení rizik v území.

ÚVOD

V současné době dochází k proměně životního stylu obyvatel a do popředí se dostávají sociálně-ekonomická a bezpečnostní rizika v území. Pro identifikaci rizik je možno využít současné moderní technologie sběru dat a měření výskytu metabolitu návykových látek v odpadních vodách. Aplikace strategického řízení území založená na znalostech je podporována Evropskou unií, jedná se o tzv. přístup Evidence Based Policy¹ [1]. Projekt „Čistá voda – zdravé město: Cizorodé látky ve vodách podzemních, povrchových a odpadních jako důsledek lidské činnosti“² umožňuje managementu hlavního města Prahy a městských částí zacílit plány zdraví v souvislosti s agendou MA 21³, které podporují mimo jiné zdravý životní styl obyvatel. Výsledky lze také využít v rámci zacílení protidrogové prevence případně s měřením její efektivitu. V rámci projektu byla výzkumným ústavem ACCENDO – Centrum pro vědu a výzkum, z. ú., zpracována Socioekonomická studie prostorového rozložení obyvatelstva a identifikace rizikových oblastí z hlediska životního stylu obyvatel [2], kterou lze aplikovat podle potřeb veřejné správy.

Přínos článku spočívá v identifikaci možností využití výsledků moderních výzkumných metod v oblasti, kde je nedostatek empirických dat, a jejich implementaci do strategického plánování veřejné správy, což umožňuje přesnější zacílení veřejných intervencí. Článek má multidisciplinární charakter a je zacílen především na představitele státní správy a územní samosprávy, dále pak na odbornou veřejnost.

VYUŽITÍ EVIDENCE BASED POLICY VE VEŘEJNÉ SPRÁVĚ

Tvorba strategií k posilování zdravého životního stylu, a tím i zdraví obyvatel by měla využívat princip „Evidence Based Policy“, tzn. přístup politik založených na důkazech. K tomuto principu se přistoupilo na konci 20. století, jelikož řada nestátních organizací se snažila ovlivnit decizní orgány tj. orgány s rozhodující

pravomocí. V tomto období došlo k veřejné a politické skepsi, kdy veřejnost zpochybňovala rozhodnutí veřejných orgánů, pokud nebyla podložena odbornými informacemi od relevantních expertů. Nutnost realizace politik na základě exaktních důkazů byla tak logickým vyústěním několika faktorů, mezi které patří zvyšující se vzdělanost a informovanost veřejnosti, jednoduchá dostupnost široké škály různých dat nebo dostupnost informačních technologií [3].

Cílem Evidence Based Policy je využít informace, které máme či můžeme získat, a přeměnit je na nezbytnou znalost pro zlepšení našich budoucích rozhodnutí. Přístup upřednostňuje pečlivé analýzy a evaluace nad ideologií, marketingem či setrvačností aktuálního stavu. Samotný přístup Evidence Based Policy lze rozdělit do čtyř na sebe navazujících principů [4]:

1. sestavení souborů informací o aktuálním stavu a o tom, co může v budoucnu fungovat včetně stanovení nákladů a přínosů,
2. monitorování efektivitu provedených rozhodnutí prostřednictvím dopadových evaluací,
3. využití výsledků evaluací ke změnám v rozhodnutí směrem k neefektivnějším variantám,
4. realizace inovací a testování nových přístupů.

Princip Evidence Based Policy je nezbytný pro zajištění nejlepšího možného využití veřejných zdrojů a dosažení nevhodnějších dopadů zacílených strategií na život obyvatelstva. Politika založená na důkazech je efektivním prostředkem reakce na důležité aktuální i budoucí výzvy na všech úrovních veřejné správy a její správné využívání vede ke zvýšení efektivitu rozhodnutí a řešení sociálních, ekonomických a environmentálních problémů.

SOCIOEKONOMICKÁ STUDIE – PODKLAD PRO ROZHODOVÁNÍ V ÚZEMÍ

Zpracovaná Socioekonomická studie prostorového rozložení obyvatelstva a identifikace rizikových oblastí z hlediska životního stylu obyvatel [2] je rozčleněna do tematických částí:

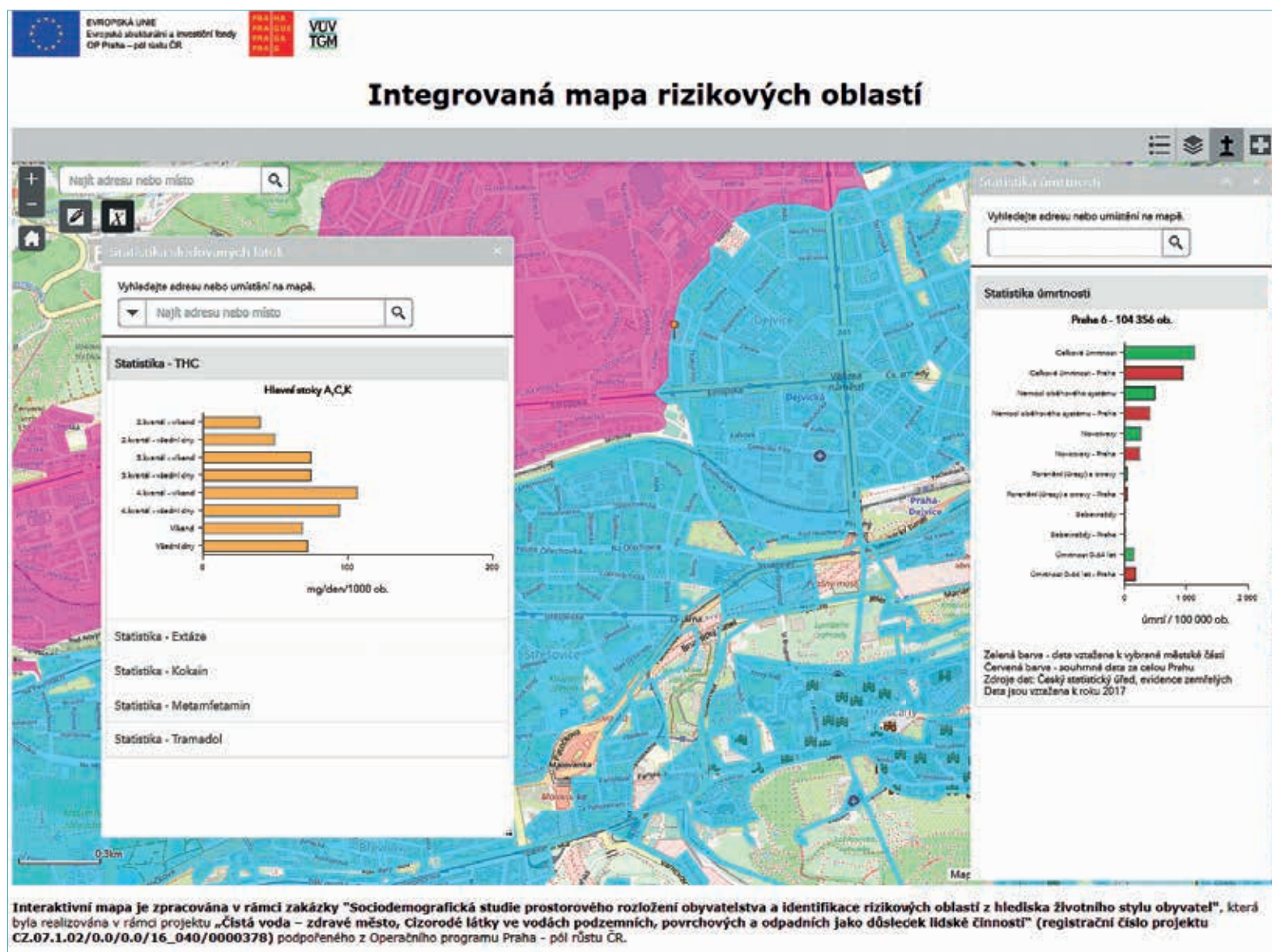
1. Uvedení do problematiky: Kapitola je zaměřena na stručný úvod do problematiky a dělena na podkapitoly Životní podmínky a jejich vliv na zdraví obyvatel, kde jsou rozebrána rizika, kterými může životní styl ovlivnit zdraví pražských obyvatel a možnosti ovlivňování životního stylu obyvatel městem (rozbor zákonů a strategických dokumentů Prahy ve vztahu k životnímu stylu obyvatel).

2. Praha, její vývoj a porovnání s vybranými městy ČR nad 100 000 obyvatel: Kapitola nastiňuje základní představu o Praze, obyvatelstvu na území Prahy, o obvyklých pohybech obyvatelstva, počtech trvalých a obvykle bydlících obyvatel a vývoji domácích a zahraničních turistů.
3. Vývoj Prahy v posledních 20 letech: Kapitola popisuje demografické údaje a další ukazatele v oblasti zdraví Prahy, opět v porovnání s vybranými městy ČR nad 100 000 obyvatel (Praha, Brno, Ostrava, Plzeň).
4. Vnitřní proměny Prahy, městské části, místa setkávání: Kapitola je podrobněji zaměřena na pohyby obyvatel v Praze, proměny jednotlivých městských částí, jsou v ní vybrána místa, kde bývá pravidelně zvýšená koncentrace obyvatel, jako jsou kulturní zařízení a turistické cíle, dále jsou zde zmapována pražská obyvatelská zařízení.

Součástí výstupu výzkumného ústavu ACCENDO je kromě výše uvedené studie i interaktivní Integrovaná mapa rizikových oblastí, kde je možno zobrazovat zdravotní stav obyvatelstva (resp. standardizovaná míra úmrtnosti podle jednotlivých diagnóz), naměřený výskyt návykové látky podle povodí a další charakteristiky (výstup viz obr. 1).

STRATEGICKÉ ŘÍZENÍ ÚZEMÍ

Při přípravě a implementaci veřejných strategií v ČR se vychází z Metodiky přípravy veřejných strategií (aktualizace 2019), přijaté usnesením vlády ČR č. 71/2019. V rámci všech plánovacích dokumentů tj. strategií, koncepcí i plánů je kladen důraz na analytickou část. V některých plánech byla tato část donedávna podceňována, např. ve střednědobých plánech rozvoje sociální služeb nebo v krajských strategiích protidrogové politiky (např. Strategie protidrogové politiky Moravskoslezského kraje na období 2015–2020 má analýzu resp. popis situace na dvě strany).



Obr. 1. Integrovaná mapa rizikových oblastí (zdroj: ACCENDO, 2019)

Fig. 1. Integrated map of risk areas

Tato nedostatečnost analytických částí u střednědobých plánů sociálních služeb byla upravena vyhláškou č. 387/2017 Sb., která s účinností od 1. ledna 2018 upravuje krom jiného strukturu a obsah analytických částí. Cílem analytické části je popsat situaci v základních sociálních procesech v území, zmapovat potřeby uživatelů, zmapovat situaci poskytovatelů z hlediska naplnění kapacit služeb a jejich ekonomické situace, potřeby obcí v území a jejich ochotu spolufinancovat sociální služby.

V oblasti protidrogových strategií na krajské úrovni žádné požadavky na analytickou část neexistují krom výše uvedené metodiky. Za kraje existují vybrané údaje uvedené ve Výroční zprávě o stavu ve věcech drog v České republice Národního monitorovacího střediska pro drogy a závislosti o drogové situaci.

V případě popisu drogové scény v území existuje datová nedostatečnost. Pro zmapování této situace lze využít kvantitativní i kvalitativní informační zdroje dat – Statistiky PČR o trestné činnosti související s užíváním a distribucí drog:

- postoj mládeže k užívání drog: dotazníkové šetření zkušeností a postojů s užíváním návykových látek,
- data o uživatelích: polostrukturované rozhovory s aktéry na protidrogové scéně (NNO terénní pracovníci, městská policie atd.),
- injekční užívání drog: statistika sběru použitých injekčních stříkaček,
- monitoring metabolitů drog v odpadních vodách.

Pro efektivní řešení této situace je nutný jednotný integrovaný přístup založený na rozvoji nových analytických metod a postupu v měření nelegálních drog v odpadních vodách. Klíčovou činností je měření a vyhodnocování socioekonomických procesů v území pomocí kvantitativních a kvalitativních výzkumných metod včetně interpretace výsledků. Pro zmapování je vhodné propojit měření odpadních vod se sběrem informací z terénní práce sociálních pracovníků, adiktologů, zdravotníků a bezpečnostních složek (Policie ČR, Městská policie).

Současné mezery v možné aplikaci integrovaného přístupu:

- není jednoznačný globální cíl protidrogové politiky,
- z toho plyne nejasnost, jaká opatření mají subjekty v protidrogové politice uplatňovat,
- jednotlivé subjekty naplňují rozličné cíle, to vede k roztržitosti, nepochopení a nízké efektivitě všech aktivit,
- celá situace přispívá k růstu prostoru pro uživatele a distributory nelegálních návykových látek,
- subjekty protidrogové politiky nemají jasně vymezeny takové kompetence, které by je vedly v jejich různorodé činnosti k uskutečňování společného globálního cíle,
- současná situace vede k vzájemnému konfliktu, názorovým střetům při naplňování specifických cílů.

Subjekty by měly při své činnosti respektovat globální cíl státní protidrogové politiky a tomu podřídit své specifické cíle. Globálním cílem pro všechny občany ČR je a vždy bylo snížení počtu uživatelů drog, zvýšení preventivní činnosti, tj. snížení nabídky a poptávky po drogách. Z výše uvedených důvodů obdobný globální cíl protidrogové politiky by měly mít i strategie v jednotlivých krajích a městech. Pro naplnění tohoto cíle je nutné zavést monitoring spotřeby drog, který bude vycházet ze všech dostupných zdrojů dat o drogové scéně. Je nutné využít argumenty a možnosti v aplikovaném výzkumu, který zrcadlí potřeby veřejného zájmu bez osobního zaujetí. Základním pravidlem při stanovování cílů je postupovat věcně k naplnění veřejného zájmu a k ochraně veřejného zdraví obyvatel.

DISKUSE A ZÁVĚR

Specifický nástroj regionální politiky a komunitního plánování pro uplatnění územní dimenze představují integrované přístupy, jejichž přínosem je zejména dosažení vyšší kvality strategického a komunitního plánování, řízení a efektivnější vynakládání finančních prostředků do jednotlivých oblastí. Jejich základním principem je věcná (vhodně a logicky provázané a potřebné tematické/ sektorové intervence), územní (intervence ve vhodném geograficky a ekonomicky spojeném území) a časová (realistický harmonogram a časové a věcné sladění intervencí) provázanost intervencí realizovaná na základě kvalitní strategie rozvoje území.

Integrovaný přístup v prevenci kriminality představuje nástroj pro dosažení zejména vyšší kvality plánování v daném území, řízení a efektivnější vynakládání finančních prostředků. Integrovaný přístup obecně vyžaduje určitou časovou, územní a i kauzální provázanost jednotlivých typů intervencí. Integrované principy strategického řízení, které propojují koncepce bydlení, plány prevence kriminality, komunitní plánování a další strategie, jsou za předpokladu efektivního sběru a využití dat, jejich vyhodnocení, tvorby analýz a následného doporučení vhodným přístupem vedoucím ke snížení sociálních a bezpečnostních rizik. Nutným předpokladem pro zajištění fungujícího integrovaného přístupu je zachování provázanosti kompetencí horizontálně napříč organizacemi na jednotlivých správních úrovních a zároveň na horizontální úrovni v jednotlivých správních celcích.

Užívání nedovolených návykových látek představuje jednu z hrozeb pro zdravé fungování společnosti. Řešení této otázky je proto zásadní. Kombinace moderních technologií a spolupráce různých subjektů územní správy umožňuje přístup k lokalizaci míst výskytu uživatelů těchto látek. Z konkrétní perspektivy by výsledky mohly přispět ke snížení užívání drog v těchto oblastech, na které budou zacíleny preventivní programy, ale z širšího pohledu by celá společnost mohla využít výhody z omezení celkové hrozby, ke kterému by došlo při cíleném odstranění rizikových faktorů.

Poznámky

1. Od začátku 21. století se Evropská komise princip Evidence Based Policy zavázala využívat při hodnocení a plánování svých legislativních návrhů za účelem maximalizace jejich pozitivních dopadů v ekonomické, sociální i environmentální oblasti. Výsledkem tohoto závazku je stav, kdy jsou v úrovni rozhodování Evropské unie zavedeny procesy, které zajišťují relevanci legislativních návrhů prostřednictvím hodnocení potenciálních dopadů [1].
2. Registrační číslo projektu: CZ.071.02/0.0/0.0/16_040/0000378), financováno z operačního programu Praha – pól růstu ČR.
3. Nástroj na zavádění udržitelného rozvoje na místní a regionální úrovni, přehled obcí/městských částí a regionů zapojených do agendy MA21 je dostupný na stránkách <https://ma21.cenia.cz/cs-cz/přehledy/ma21vmapách.aspx>.

Literatura

[1] LEE, N. and KIRKPATRICK, C. Evidence-based policy-making. In: *Europe: An Evaluation of European Commission Integrated Impact Assessments, Impact Assessment and Project Appraisal*. 24:1, 23–33. Abingdon on Thames (United Kingdom): Taylor & Francis, 2006, 11 p.

[2] HRUŠKA, L., FOLDYNOVÁ, I., HRUŠKOVÁ, A. a KUBÁŇ, D. Socioekonomická studie prostorového rozložení obyvatelstva a identifikace rizikových oblastí z hlediska životního stylu obyvatel – hlavní město Praha. 2018. Ostrava: ACCENDO – Centrum pro vědu a výzkum, z. ú.

[3] WILSON, J. *Evidence-based policy making in the European Commission*. Oslo (Norway): CICERO, 2015, 70 p.

[4] MILNER, J. and ELDRIDGE, M. *From Evidence to Outcomes: Using Evidence to Inform Pay for Success Project Design*. Washington, DC: Urban Institute, 2016, 11 p. Dostupné z: <http://urban.is/2bY8Ddh>

Autoři

PhDr. Andrea Hrušková

✉ andrea.hruskova@accendo.cz

doc. Ing. Lubor Hruška, Ph.D.

✉ lubor.hruska@accendo.cz

ACCENDO – Centrum pro vědu a výzkum, z. ú.

Příspěvek prošel lektorským řízením.

USING MODERN ANALYTICAL METHODS FOR RISK MANAGEMENT AND THE CREATION OF TERRITORIAL STRATEGIES

HRUSKOVA, A.; HRUSKA, L.

ACCENDO – Center for Science and Research

Keywords: drug policy – strategic management – social risks – Evidence Based Policy

Social-economic and safety risks in area are one of the main topics in these days, which in the long term affect the stability of local societies. For identification of these risks, we can use modern technology of data collection based on the analysis of illicit substances in city wastewater, as the cities are a high-risk areas from the social perspective in the Czech Republic. European Union supports application of knowledge-based strategic management. This so-called Evidence Based Policy Approach enables regional decision makers to develop strategic plans focused on current area problems and needs with possibility to evaluate the management effectivity. Integrated approach to deal with the social-economic risks is preferred in risk management.



Autoři VTEI

PhDr. Andrea Hrušková

ACCENDO, z. ú.

✉ andrea.hruskova@accendo.cz
www.accendo.cz



PhDr. Andrea Hrušková je senior expert v oblasti veřejné správy a sociologie. Rigorózní řízení v oboru sociologie na Filozofické fakultě Univerzity Karlovy. Vystudovala Veřejnou správu a sociální politiku na Fakultě veřejných politik Slezské univerzity v Opavě (Mgr.). Je řešitelkou mnoha projektů v oblasti sociální politiky především v oblasti výzkumu pro potřeby státu, např. Výkon sociální práce z hlediska prevence řešení sociálního vyloučení v rámci veřejné správy, poskytovatelů sociálních služeb a ostatních organizací; Využití nového nástroje na měření výskytu nelegálních drog ve městech Moravskoslezského kraje pomocí integrované strategie pro organizační složky státu a územní veřejnou správu; Míra potřeby zdravotně sociálních služeb pro zvládnání základních životních potřeb v rozsahu stanoveném stupněm závislosti u osob starších 50 let a její časová a finanční náročnost a dalších.

Ing. Stanislav Juráň

VÚV TGM, v. v. i., pobočka Brno

✉ stanislav.juran@vuv.cz
www.vuv.cz



Ing. Stanislav Juráň je zaměstnancem oddělení ochrany vod ve VÚV TGM, v. v. i., na brněnské pobočce od roku 1997. V roce 1984 ukončil studium vodního hospodářství na Fakultě stavební Vysokého učení technického v Brně. Následně pracoval v podniku Povodí Moravy, s. p., jako havarijní a povodňový technik a na městském úřadě ve Šlapanicích jako vedoucí odboru ekologie a životního prostředí. V současné době je vedoucím české části skupiny Ochrana vod, pracující v rámci Česko-slovenské komise pro hraniční vody, která se podílí na pracovních činnostech Mezinárodní komise pro ochranu Dunaje. Ing. Juráň se zaměřuje na modelování a pohyb nutrientů v povrchových a odpadních vodách a výskyt nebezpečných látek.

Ing. Tomáš Mičaník, Ph.D.

VÚV TGM, v. v. i., pobočka Ostrava

✉ tomas.micanik@vuv.cz
www.vuv.cz



Ing. Tomáš Mičaník, Ph.D., vystudoval Vysokou školu chemicko-technologickou v Pardubicích, obor Makromolekulárních látek. Do VÚV TGM, v. v. i., pobočky Ostrava nastoupil v roce 1993 jako pracovník hydrochemické laboratoře (organická stopová analýza) a řešitel výzkumných projektů. Od roku 1997 je vedoucím oddělení Ochrany jakosti vod. Zaměřuje se na problematiku nebezpečných látek v hydrosféře, metodickou a legislativní činnost pro tvorbu vodní politiky. V období 2003–2008 byl členem pracovních skupin Mezinárodní komise pro ochranu Odry před znečištěním se sídlem ve Wroclawi (Monitoring – fyzikálně-chemické aspekty, River basin management plan). Do současnosti byl řešitelem výzkumných projektů zaměřených na zjišťování a hodnocení emisí emergentních polutantů do vodního prostředí. Podílí se na přípravě metodických postupů v oblasti hodnocení stavu vod a na přípravě prováděcích právních předpisů a norem.

Ing. Věra Očenášková

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ vera.ocenaskova@vuv.cz
www.vuv.cz



Ing. Věra Očenášková je dlouholetým zaměstnancem Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v. v. i. Absolvovala Vysokou školu chemicko-technologickou v Praze, Fakultu potravinářských a biochemických technologií. Pracuje v hydrochemické laboratoři odboru Referenční laboratoř složek životního prostředí a odpadů, jehož vedoucí byla v letech 2008–2013. Dlouhodobě spolupracovala s mezinárodní asociací NORMAN a zastupovala Českou republiku v pracovní skupině CMPE (Chemical Monitoring and Emerging Polutants) spadající pod Common Implementation Strategy WFD. Věnuje se především sledování kontaminantů životního prostředí, zejména složek hydrosféry. Je řešitelkou několika projektů a autorkou řady publikací. V posledních letech se zabývá problematikou epidemiologického přístupu k odpadním vodám.

Ing. Danica Pospíchalová

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ danica.pospichalova@vuv.cz
www.vuv.cz



Ing. Danica Pospíchalová vystudovala obor Technologie vody na Vysoké škole chemicko-technologické v Praze a postgraduální studium Separací metody v analytické chemii na VŠCHT Pardubice. Od roku 2000 je zaměstnancem oddělení hydrochemie VÚV TGM, v. v. i., Praha. Zabývá se zaváděním a vývojem nových metod pro stanovení organických polutantů v hydrosféře pomocí chromatografických metod.

RNDr. Přemysl Soldán, Ph.D.

VÚV TGM, v. v. i., pobočka Ostrava

✉ premysl.soldan@vuv.cz
www.vuv.cz



RNDr. Přemysl Soldán, Ph.D., pracuje jako vedoucí pobočky Ostrava ve VÚV TGM, v. v. i. Vystudoval obor systematická biologie a ekologie na Univerzitě J. E. Purkyně v Brně. Mezi studii strávil jeden rok v Nizozemsku na International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering v městě Delft. O pár let později obdržel titul Ph.D. v oboru úpravnictví na Hornicko-geologické fakultě VŠB – Technické univerzity Ostrava. Specializuje se na vývoj a aplikace ekotoxikologických metod pro potřeby ochrany vodních ekosystémů. Od roku 1992 je soudním znalcem v oboru vodní hospodářství. Zabývá se pedagogickou činností jako externí přednášející na Vysoké škole báňské a je také vedoucí diplomových prací.

Rozhovor s RNDr. Markem Liškou, Ph.D., vedoucím útvaru laboratoří Povodí Vltavy

Jste vedoucí útvaru laboratoří státního podniku Povodí Vltavy. Dlouhodobě se zabýváte kvalitou vody a problematikou analytického stanovení široké škály mikropolutantů ve vodním prostředí. Jak jste se k této zajímavé práci dostal? Co Vás na tomto oboru oslovilo, že jste se v něm vypracoval na renomovaného odborníka?

Jsem původem vystudovaný hydrobiolog na přírodovědecké fakultě UK v Praze, v rámci postgraduálního studia jsem se zabýval bioakumulací stopových prvků v biomase vodních bezobratlých. Po nástupu do státního podniku Povodí Vltavy mě kromě jiného postupně začala zajímat problematika specifických organických látek a jejich pohyb ve vodním prostředí. Je to velká skupina látek, která je relativně nová a postupně se v čase rozvíjející s tím, jak pokračuje tzv. technický pokrok lidské společnosti. Jedná se zejména o pesticidy používané v zemědělství, humánní a veterinární farmaka a různé technologické látky a přísady (změkčovače plastů, antikoroziiva, diagnostické látky, látky snižující povrchové napětí, domácí a průmyslová chemie, „musk compounds“ a další látky). Před několika lety jsme se s kolegy z naší plzeňské laboratoře domluvili, že toto bude jeden z hlavních cílů naší činnosti. Jedná se o problematiku, která je v souladu s požadavky národní a evropské legislativy v oblasti monitoringu vod, téma, které je velmi zajímavé a atraktivní. Má rovněž důležitý zdravotní a environmentální aspekt a zatím provádění analýz těchto látek je i komerčně rentabilní. Postupně jsme naše laboratoře na tuto činnost vybavili, a to jak po stránce personální, tak i po stránce přístrojové.

V tomto čísle časopisu VTEI představujeme výsledky řešení projektu Čistá voda – zdravé město, mohl byste nám říci, jaké vy vnímáte potřeby zlepšení kvality zdrojů pitné vody pro Prahu a vlastně obecně v povodí řeky Vltavy?

V současné době má Praha dva nejdůležitější zdroje pitné vody, hlavním zdrojem je vodárenská nádrž Švihov na Želivce, druhým zdrojem je voda z řeky Jizery v Káraném. Jedná se tedy o povrchové zdroje pitné vody. Povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce má plochu přibližně 1 200 km², probíhá zde intenzivní zemědělská činnost a je zde poměrně velké osídlení. Tato fakta určují vlivy na kvalitu vody, v přítocích VN Švihov se vyskytují zvýšené koncentrace živin (zejména fosforu), pesticidů a jejich metabolitů a rezidua humánních a veterinárních farmak. Vzhledem k tomu, že se jedná o zdroj pitné vody pro cca 1,5 mil. obyvatel, je nutné zajistit snížení vstupů těchto látek do povrchových a podzemních vod, např. změnou systému zemědělského hospodaření, omezení pěstování technologických plodin a instalací technologií pro separaci farmak a dalších látek z odpadních vod u významných zdrojů (např. zdravotnických zařízení). Výstavba technologického stupně s granulovaným aktivním uhlím na úpravně vody v Hulicích řeší tento globální problém jen částečně a nelze jím nahrazovat řešení příčin vzniku tohoto znečištění.

Můžete nám říci něco bližšího o trendech vývoje kvality vod v povodí řeky Vltavy? Jak to vypadá s ukazateli hydrochemické a hydrobiologické jakosti? Změnilo se spektrum monitorovaných parametrů?

Obecně lze říci, že kvalita vody se v dlouhodobém horizontu zlepšila, na konci minulého století došlo k ukončení některých průmyslových výrobníků a bylo postupně zavedeno efektivní čištění odpadních vod prostřednictvím rekonstrukcí a intenzifikací ČOV. To mělo za následek výrazné snížení organického



zatížení povrchových vod z bodových zdrojů a významné snížení vstupu živin, zejména dusíku a fosforu. Tomu také na řadě lokalit odpovídá postupné zlepšování ekologického stavu toků, tj. vyšší druhová diverzita bentických organismů a druhové složení ryb a další. Postupně se přestaly v povrchových vodách používat a vyskytovat látky typu polychlorovaných bifenyly, organochlorových pesticidů typu DDT a další látky. „Nově“ se však v povrchových, drenážních

a podzemních vodách objevuje problém s látkami používanými v zemědělství, zejména s dusíkatými a jinými pesticidy, které často do určité míry nahrazují mechanické obdělávání půdy. Zejména při pěstování technických plodin (řepka, kukuřice, řepa) se používají ve velkém rozsahu a v širokém látkovém spektru látek, metabolity těchto látek, případně rodičovské látky pronikají do podzemních i povrchových vod. Dalším problémem jsou humánní a veterinární farmaka, jejichž rezidua nacházíme v odpadních a povrchových vodách, často ve velmi vysokých koncentracích (zejména metformin, oxypurinol, gabapentin, hydrochlorthiazid, karbamazepin, telmisartan a další látky). Mezi další látky, které v našich povrchových vodách nacházíme, patří např. bisfenol A, PFOS, PFOA, EDTA, benzotriazolové látky, pesticidy používané k ochraně dřeva např. propiconazol a řada dalších látek lidské denní potřeby – „musk compounds“ např. galaxolid. Dále jsou samozřejmě problémem ekologické havárie různých typů. V posledních letech jsme řešili havárie typu: únik impregnační látky z dřevozpracujícího podniku, kontaminace přítoku menší vodárenské nádrže atraziinem, únik digestátu do povrchových vod a některé další...

Vodní nádrž Švihov je nejvýznamnějším zdrojem vody pro Prahu. Můžete z titulu správce tohoto povodí Želivky a Vaší profese přiblížit aktivity realizované v posledních letech a včetně plánů do budoucna?

Ve prospěch ochrany množství a jakosti povrchové vody ve vodárenské nádrži Švihov na Želivce jsou rozhodnutí příslušných vodoprávních úřadů stanovena tzv. ochranná pásma vodárenské nádrže Švihov na Želivce. Státní podnik Povodí Vltavy se podílí na jejich aktualizacích a úpravách. V povodí nádrže probíhá intenzivní monitoring kvality vody, který realizuje útvar vodohospodářských laboratoří. V roce 2017 byla hejtmanem kraje Vysočina a generálním ředitelem státního podniku Povodí Vltavy založena pracovní skupina „Želivka – vodárenská nádrž Švihov“. V rámci této pracovní skupiny jsou diskutovány problémy zemědělských aktivit a jejich případné omezení, problematika řešení bodových zdrojů znečištění (zejména ČOV) a další aktivity. Povodí Vltavy, s. p., realizuje projekt „Příroda blízka a technická opatření v povodí VN Švihov na Želivce“, kde řeší problematiku plošných zemědělských zdrojů znečištění na zemědělském půdním fondu se zapojením dotčených zemědělských subjektů v jednotlivých subpovodích. Jedná se zejména o eliminaci původem erozních sedimentů a fosforu, kontaminovaných vod drenážních systémů (N, P, pesticidy) zaměřenou do nejkritičtějších lokalit. Dále jsou opatření zaměřena na retenci a akumulaci vody v krajině. V polovině roku 2019 byl zahájen detailní monitoring kvality vody v zemědělsky obhospodařovaných mikropovodích přítoků VN Švihov, zacílený na speciální potřeby Programu B4 Ministerstva zemědělství ČR pod názvem „Podpora opatření ke snížení dopadu zemědělské prvovýroby v ochranném pásmu vodárenské nádrže Švihov na řece Želivce“. Ve spolupráci s kolegy z VÚV TGM, v. v. i., PVK, a. s., a Želivské provozní, a. s., spolupracujeme na realizaci projektu Ministerstva vnitra ČR vedeného pod názvem „Ochrana kritické infrastruktury – vodního zdroje Želivka – před účinky PPCP a pesticidů v podmínkách dlouhodobého sucha“.

Jak spolupracujete s ostatními vodohospodářskými subjekty, například s Želivkou provozní, a. s., s Pražskými vodovody a kanalizací a jinými?

Spolupráce s kolegy ze společnosti Želivská provozní, a. s., a Pražské vodovody a kanalizace, a. s., je velmi intenzivní a na velmi dobré úrovni. Jednak dochází k předávání pravidelných informací o kvalitě vody, zejména v oblasti zde zmiňovaných reziduí pesticidů a farmak, dále jsou operativně řešeny problémy související s jakostí vody, případné havarijní stavy, důsledky povodní a sucha atd. V současné době probíhá trojstranný projekt zaměřený na snížení vstupů živin (zejména fosforu) z bodových zdrojů znečištění v povodí VN Švihov. Principem tohoto projektu je finanční motivace 16 obcí v povodí VN Švihov k tomu, aby snížily emise fosforu ve svých odpadních vodách na možné minimum. Želivská provozní, a. s., na základě smluvního vztahu s příslušnou obcí a státním podnikem Povodí Vltavy poskytuje finanční prostředky na zajištění tohoto „nadstandardního“ provozu 16 ČOV. Vodohospodářské laboratoře státního podniku Povodí Vltavy realizují kontrolní monitoring, jehož výsledky podmiňují další poskytování této finanční dotace.

Ing. Tomáš Mičaník, Ph.D.

Odborné akce ČVTVHS, z. s., v roce 2020

RADIONUKLIDY A IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

VE VODNÍM HOSPODÁŘSTVÍ XXVI – ZRUŠENO

Již tradičně se ve dnech 28.–29. dubna uskuteční v Clarion Congress Hotelu v Českých Budějovicích již 26. konference s tímto specifickým zaměřením. Odborným garantem je Ing. Barbora Sedlářová, vedoucí oddělení Radiologie ve VÚV TGM, v. v. i., a členka naší OS OVČV.

HYDROLOGIE MALÉHO POVODÍ

Ve dnech 11.–13. května 2020 se bude na Novotného lávce v Praze konat tradiční konference se zahraniční účastí a s tříletým intervalem opakování. Odbornou péči zabezpečuje Ing. Miroslav Tesař, CSc., vedoucí oddělení vodních zdrojů ÚH AV ČR a člen výboru ČVTVHS.

VALNÁ HROMADA ČVTVHS, Z. S.

Dne 20. května bude probíhat v sále č. 319 na Novotného lávce valná hromada, která tentokrát po pěti letech zvolí nový výbor a kontrolní komisi společnosti. Organizační přípravu má na starosti tajemník ČVTVHS, z. s., Ing. Václav Bečvář, CSc.

PITNÁ VODA 2020

Již 15. konference tohoto zaměření se uskuteční ve dnech 18.–21. května v hotelu Dvořák v Táboře. Odbornou i organizační garanci zabezpečuje W&ET Team České Budějovice, jmenovitě doc. Ing. Petr Dolejš, CSc., majitel firmy.

ČISTÁ VODA – ZDRAVÉ MĚSTO

Prezentace výsledků projektu VÚV TGM, v. v. i., se uskuteční dne 27. května v Praze na Novotného lávce. Vedoucím úkolu je RNDr. Přemysl Soldán, Ph.D., vedoucí ostravské pobočky VÚV TGM, v. v. i.

HODNOCENÍ STAVU POVRCHOVÝCH VOD V OBDOBÍ 2016–2018

Seminář konaný v návaznosti na předcházející, konaný v roce 2018 pro období 2013–2015, se uskuteční dne 10. září na Novotného lávce v sále č. 217. Odbornou garanci OS OVČV personifikuje její předseda Ing. Tomáš Mičanič, Ph.D., vedoucí oddělení ochrany jakosti vod v ostravské pobočce VÚV TGM, v. v. i., a předseda OS odpadní vody – čistota vod.

PODZEMNÍ VODA VE VODOPRÁVNÍM ŘÍZENÍ XVI

Po roce se opět bude konat seminář s mnohaletou tradicí v termínu 7. října v Praze na Novotného lávce. Odbornou garantkou je RNDr. Renáta Kadlecová, zástupkyně vedoucího odboru aplikované geologie v ČGS a předsedkyně OS pro podzemní vody.

MALÉ VODNÍ NÁDRŽE

Seminář pořádaný s dvouletou frekvencí proběhne tentokrát na Novotného lávce 14. října. Odborně zabezpečuje přípravu i průběh tradičně Ing. Jiří Poláček, specialista VD TBD, a. s., a člen výboru ČVTVHS, z. s., a OS Vodní toky a nádrže.

VODNÍ TOKY 2020

Již 18. ročník velké konference s mezinárodní účastí se bude konat opět v hotelu Černigov v Hradci Králové, tentokrát 24.–25. listopadu. Hlavní garanci zajišťuje VRV, a. s., Ing. Jan Plechatý, předseda představenstva VRV a člen výboru ČVTVHS, z. s., a předseda naší OS pro Vodovody a kanalizace.

SEMINÁŘ ADOLFA PATERY 2020

Po roční přestávce se 14. prosince uskuteční hojně navštěvovaný seminář, kterého se pravidelně účastní i zahraniční, zejména slovenští odborníci. Odbornou garanci má doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur, zástupce vedoucího katedry hydrotechniky ČVUT a člen výboru ČVTVHS, z. s.

NÁRODNÍ DIALOG O VODĚ 2020

Výbor ČVTVHS má zájem pořádat Národní dialog o vodě i v roce 2020, konkrétní téma, přesný termín a místo konání nejsou zatím stanoveny, ale bude to zřejmě v září a tradičně na Vysočině.

Při projednávání odborného programu na rok 2020 byl podán návrh na uspořádání semináře s názvem „Vodní zákon a stavební zákon v roce 2020“. Odbornou garanci převezme Ing. Michal Krátký, vedoucí útvaru Povrchové a podzemní vody ve státním podniku Povodí Vltavy a člen výboru ČVTVHS, z. s.

Autor

Ing. Václav Bečvář, CSc.

✉ voda@cvtvhs.cz

tajemník ČVTVHS, z. s.

Obsah časopisu VTEI – ročník 2019



- 4** Proč rybníky?
(Davidová, T.)
- 6** Možnosti využití starých topografických map z let 1763–1768 pro hodnocení vývoje vodních ploch a potenciál jejich obnovy
(Havlíček, M., Skokanová, H., David, V., Pavelková, R., Létal, A., Frajer, J., Netopil, P., Šarapatka, B.)
- 15** Pošli to dál – aneb z čeho Průhonický park vyrábí biomasu sinic pro nádrž Hostivař?
(Maršálková, E., Petřík, P., Maršálek, B.)
- 22** Vliv rybníků na kvalitu vody VN Jordán v Táboře
(Potužák, P., Duras, J., Faina, R., Fišer, J.)
- 26** Kvalita vody a zhodnocení antropogenního znečištění sedimentů fluválních jezer Labe
(Beranová, L., Chalupová, D.)
- 36** Rozhovor s hydrobiologem RNDr. Jindřichem Durasem, Ph.D.
(Davidová, T.)
- 38** Konference Rybníky
(Davidová, T.)
- 39** Rybníky jako předmět vědeckého výzkumu
(David, V.)
- 43** Informace o semináři ČTVVHS
(Poláček, J.)
- 46** Obsah časopisu VTEI – ročník 2018
(redakce)

1

Stanovení základní typologie věžových vodojemů
(Kořínek, R., Horáček, M., Vonka, M.) **4**

Databáze ochranných pásem vodních zdrojů v České republice
(Nováková, N., Fojtík, T., Zbořil, A.) **12**

Kvalita vody pražských potoků. Část 1: Motolský a Litovičský potok
(Desortová, B., Havel, L., Štátný, J.) **20**

Posúdenie obdobia 2001–2015 voči referenčnému obdobiu 1961–2000 z pohľadu zmien dlhodobých prietokových charakteristík vo vybraných vodomerných staniciach na Slovensku
(Blaškovičová, L., Danáčová, Z., Jeneiová, K., Melová, K.) **30**

Určení rozsahu půdy nechráněné vegetací v období přivalových srážek za účelem posouzení erozního rizika
(Krása, J., Tejkl, A., Stašek, J.) **39**

Rozhovor s Ing. Tomášem Urbanem, ředitelem ÚVU TGM, v. v. i.
(redakce) **48**

Společný průzkum Dunaje 4 – největší mezinárodní říční expedice roku 2019 se blíží
(Němějcová, D., Hudcová, H., Beděrková, I.) **50**

Klimatické změny v dryasu a na počátku holocénu – vzestup hladiny oceánů a jeho dopad na migraci civilizací na Blízkém východě a v prostoru Indického oceánu
(Kult, A.) **52**

Spolupráce mezi Českem a Dánskem v oblasti vodohospodářství bude pokračovat
(Andrýsová, L.) **64**

2





- 4** Kvalita vody pražských potoků. Část 2: přítoky do rybníka Šeberák a přehradní nádrže Hostivař (Havel, L., Desortová, B., Štátný, J.)
- 14** Matematické stanovení batymetrie vodního toku – software Bathy_supp (Bureš, L., Sychová, P., Pavlíčková, L., Marval, Š., Urban, F., Roub, R.)
- 23** Sledování formování odtoku na svazích Jizerských hor a Šumavy pomocí stopovacích experimentů, které jsou podkladem pro použití modelu MIPs (Kulasová, A., Blažková, Š., Vlček, L., Janský, B.)
- 31** Způsoby nakládání s bioodpadem v Praze a ve vybraných hlavních městech států Evropské unie (Vološinová, D., Kořínek, R., Čejka, E.)
- 38** Rozhovor s Ole Frijs-Madsenem, velvyslancem Dánského království v České republice (Oborný, R.)
- 40** Bjouhel – nová perspektiva v technologii dočišťování odpadních vod, nebo slepá ulička? (Štátný, V.)
- 45** Diskusní fórum Hospodaření s vodou v krajině (Rulík, M., Tůma, A.)
- 46** Putovní výstava ke 100. výročí založení VÚV TGM (Hrdinka, T.)
- 48** Workshop „Vodní stopa“ (Vološinová, D.)

3

4

- 4** Aktualizace empirických vztahů pro výpočet výparu z vodní hladiny na základě pozorování výparu ve stanici Hlásivo (Šuhájková, P., Kozín, R., Beran, A., Melišová, E., Vizina, A., Hanel, M.)
- 12** Ztráta vody výparem z volné vodní hladiny (Beran, A., Kašpárek, L., Vizina, A., Šuhájková, P.)
- 20** Dopad technického zasněžování na toky v Krkonoších (Tremel, P.)
- 31** Hydrotechnický výzkum kapacity sektorového uzávěru (Králík, M., Hlom, J.)
- 38** Rozhovor s Ing. Janem Uhlíkem, Ph.D., hydrogeologem ve společnosti PROGEO, s. r. o. (oddělení hydrologie)
- 42** Pozorování výparu z vodní hladiny ve VÚV TGM (Beran, A.)
- 44** Legislativní požadavky směrnice INSPIRE na hydrologická data (Rezník, T.)
- 47** Workshop na téma Water Footprint (Vološinová, D.)
- 48** Den otevřených dveří ve VÚV TGM (Hrdinka, T.)





5

- 4** První úvodník VTEI
- 6** Prvorepublikové hydrobiologické stanice aneb Počátky vědeckého výzkumu ryb na Moravě (Vyskočil, A.)
- 12** Vodní rekreace v Praze od historie po současnost (Mlejnková, H., Jašíková, L., Fojtík, T., Makovcová, M., Juranová, E., Pumann, P.)
- 22** Rozhovor s RNDr. Petrem Marvanem, CSc., významným českým odborníkem na rozsivky (Fránková, M., Němejcová, D.)
- 26** Příspěvek k historii výzkumu technologií čištění odpadních vod ve Výzkumném ústavu vodohospodářském (Štastný, V.)
- 30** Ohlédnutí za obdobím „transformace“ Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka v letech 1990–1997 (Punčochář, P.)
- 38** Největší povodně za 100 let
- 50** Aktivity Občanského fóra Výzkumného ústavu vodohospodářského v letech 1989 a 1990 (Kašpárek, L., Štastný, V., Drbal, K., Prchalová, H.)
- 52** Psali jsme před 50 lety
- 58** Zemřel Ing. Miroslav Kněžek, CSc. (kolegové)
- 60** Ohlédnutí za oslavami 100 let od založení VÚV TGM (Hrdinka, T.)
- 62** VÚV TGM byl svědkem unikátního mikrokonzertu „Hudba k siréně“ (Hrdinka, T.)

6

- Nerealizované věžové vodojemy (Kořínek, R., Kristová, A.) **4**
- Vlastnosti uměle generovaných srážek využívaných pro studium eroze půdy (Neumann, M., Zumr, D., Kavka, P., Laburda, T., Johannsen, L.L., Zambon, N., Dostál, T., Strauss, P., Klik, A.) **10**
- Expertní informační systém NAVAROSO (Soldán, P., Roček, J.) **18**
- Čistá voda – zdravé město: Využitelnost stávajícího systému sběru informací pro naplnění cílů projektu (Juráň, S., Forejtníková, M., Vysloužilová, L., Sovová, K.) **24**
- Systém pro kontinuální monitorování radioaktivní kontaminace povrchových vod (Fejgl, M., Hýža, M., Hůlka, J.) **32**
- Monitoring odpadové obslužnosti pro tříděné složky komunálního odpadu na území Hlavního města Prahy (Vološinová, D., Kořínek, R., Makovcová, M.) **40**
- Měření malých průtoků pomocí měrných přelivů (Hlom, J., Balvín, P.) **48**
- Rozhovor s RNDr. Evou Kočkovou, dlouholetou pracovnící VÚV TGM v oboru hydrochemie a hodnocení jakosti vod (Mlejnková, H.) **58**
- Srovnání výzkumu vodní stopy v ČR a ve světě – bibliometrická analýza (Ansorge, L., Stejskalová, L., Vološinová, D.) **60**
- Vodohospodářská padesátka 2019 (Richter, P., Jašíková, L., Mlejnková, H., Nováková, H., Makovcová, M., Nistler, J.) **63**



Zesnul prof. Ing. Pavel Gabriel, DrSc., dr. h. c.



Dne 23. ledna 2020 zemřel ve věku nedožitých devadesáti let dlouholetý pracovník Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v. v. i., pan prof. Ing. Pavel Gabriel, DrSc., dr. h. c. Profesor Gabriel nastoupil do výzkumného ústavu v březnu roku 2003 a svou prací se zařadil mezi významné hydrotechniky, kteří zde působili; jako byli pánové: akademik Smetana, prof. Čábelka, prof. Novák, Ing. Haindl, DrSc., či doc. Skalička, CSc. Hned od počátku se zapojil do významného hydrotechnického výzkumu spojeného se splavněním dolního úseku Labe, a to plavebním stupněm Děčín. Svým profesionálním přístupem a bezkonkurenční odborností z pohledu vodní dopravy a hydrotechniky jako takové, významně přispěl k úspěšnému dokončení tohoto výzkumu, kterému se věnoval až do konce svého působení ve výzkumném ústavu. Pan prof. Gabriel byl vždy zapálený do své práce a věnoval se jí do pozdního věku. Byl přísný sám na sebe a stejně tak i na svoje spolupracovníky, přesto byl velmi lidský, otevřený, ochotný pomoci a poradit. Vždy se snažil předat své obrovské vědomosti a zkušenosti ostatním kolegům, při svém působení ve výzkumném ústavu čerpal ze zkušeností dlouholetého pedagoga na Stavební fakultě ČVUT. Jeho výraznou vlastností byla jeho skromnost, která ve spojení s jeho inteligencí z něho činila velkého člověka. Rádi bychom touto vzpomínkou uctili člověka, který za sebou zanechal nesmazatelnou odbornou stopu v oboru vodního hospodářství a vodních staveb, a to nejen v rámci České republiky, ale i v zahraničí. Bude navždy zapsán v historii vodního hospodářství ČR jako člověk, který tímto technickým oborem žil a zároveň ho posunul i významným krokem dopředu. Čest jeho památce.

Odbor hydrauliky, hydrologie a hydrogeologie

VTEI/2020/2

Od roku 1959

**VODOHOSPODÁŘSKÉ
TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE**
**WATER MANAGEMENT
TECHNICAL AND ECONOMICAL INFORMATION**

Odborný dvouměsíčník specializovaný na výzkum v oblasti vodního hospodářství. Je uveden v Seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR.

Ročník 62



VTEI.cz

Vydává: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka,
veřejná výzkumná instituce, Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6

Redakční rada:

RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D., doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur, doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.,
Mgr. Róbert Chriateľ, Mgr. Vít Kodeš, Ph.D., Ing. Jiří Kučera, Ing. Milan Moravec, Ph.D.,
Ing. Jana Poórová, Ph.D., Mgr. Hana Sezimová, Ph.D., Dr. Ing. Antonín Tůma,
Mgr. Lukáš Záruba, Ing. Marcela Zrubková, Ph.D.

Vědecká rada:

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D., prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.,
prof. Ing. Radka Kodešová, CSc., RNDr. Petr Kubala, Ing. Tomáš Mičaník, Ph.D.,
Ing. Michael Trnka, CSc., Dr. rer. nat. Slavomír Vosika

Šéfredaktor:

Bc. Lenka Michálková
T: +420 220 197 465
E: lenka.michalkova@vuv.cz

Kontakt na redakci:

E: info@vtei.cz

Autoři fotografií tohoto čísla:

Archiv VÚV

Grafická úprava, sazba, tisk:

ABALON s. r. o., www.abalon.cz

Náklad 1500 ks

Příští číslo časopisu vyjde v červnu.
Pokyny autorům časopisu jsou uvedeny na www.vtei.cz.

ISSN 0322-8916
ISSN 1805-6555 (on-line)
MK ČR E 6365



FILTR ZA VŠECHNY PENÍZE

Koronavirus nekoronavirus, jaro přichází. Zatímco kola ekonomiky musí počkat na odeznění světové pandemie, roční období na nic nečekají. A tak nás, jako každý rok, čeká jarní „období průzračné vody“, jak bychom do češtiny mohli přeložit odborný termín z angličtiny „clear-water phase“. Všimli jste si také, že na jaře bývá v našich nádržích, rybnících a přehradách voda přeci jen o něco průhlednější, než třeba v létě? V principu jde o to, že se s příchodem teplých dní dokáže namnožit tzv. filtrující zooplankton, který vodu „čistí“ od planktonních řas. Nevydrží mu to zpravidla příliš dlouho, neboť brzy dorostou také ryby, které se zooplanktonem živí, a řasám se tak uvolní prostor pro jejich růst. A co že je tedy ta věc na fotce? To jsou prosím vypreparované filtrační brvy drobného planktonního korýše perloočky hortnatky velké (*Daphnia magna*) z lednického rybníka. Text a fotografii dodal Petr Jan Juračka, www.petr.juracka.eu.

**VÝZKUMNÝ ÚSTAV
VODOHOSPODÁŘSKÝ
T.G. MASARYKA**

veřejná výzkumná instituce

VTEI.cz