

Výskyt farmak a jejich metabolitů v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce

Josef Vojtěch Datel, Anna Hrabánková

Tento článek vyšel v časopise Vodní hospodářství, ročník 72, číslo 7-8/2022.

*Jakékoliv dotazy týkající se nakládání s tímto článkem z hlediska autorských a vlastnických práv směrujte prosím na **stransky@vodnihospodarstvi.cz***



***vodní
hospodářství®***

www.vodnihospodarstvi.cz

Výskyt farmak a jejich metabolitů v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce

Josef Vojtěch Datel, Anna Hrabánková

Abstrakt

V článku jsou shrnuty výsledky monitoringu povrchových, podzemních a odpadních vod na obsahy farmak a dalších látek PPCP v povodí vodárenské nádrže Švihov. Látky se přes odpadní vody prostřednictvím místních toků dostávají do vodárenské nádrže, a jejich reziduální koncentrace jsou detekovány i v surové vodě pro výrobu pitné vody. Monitoring obsahoval celkem 32 vzorkovacích kol, v jejichž rámci bylo odebráno 21 174 vzorků vody na analýzy látek PPCP, jejichž počet v průběhu projektu rostl od 46 přes 94 až k 112 látkám v jeho závěru. Byly identifikovány látky vyskytující se ve vodách často a ve vysokých koncentracích (tisíce a dokonce desetitisíce ng/l). Asi třetina ze sledovaných látek se vždy nebo téměř vždy nachází pod mezí detekce. Některé místní toky s vysokým podílem odpadních vod mají za jinak srovnatelných podmínek velmi vysoké obsahy látek PPCP, a některé naopak velmi nízké, důležitým aspektem může být účinnost místních ČOV. Zlepšení situace by přinesl optimální a nepřetížený provoz místních ČOV a jejich postupná modernizace.

Klíčová slova

léčiva – povrchová voda – podzemní voda – Želivka – nádrž Švihov – PPCP

Úvod

S rozvojem přesnosti analytických metod je možné v přírodních vodách detekovat stále více látek ze skupiny tzv. mikropolutantů, které se vyskytují ve vodách ve velmi nízkých koncentracích (obvykle v nanogramech až mikrogramech na litr). Velmi významnou skupinou těchto látek jsou PPCP (pharmaceuticals and personal care products) – léčiva, hormony, antibiotika, kosmetické látky, drogy a další látky, včetně metabolitů primárních polutantů [1, 2]. V povrchových a podzemních vodách jsou zjišťována rezidua řady těchto přípravků, případně jejich metabolitů, v koncentracích, které závisejí na intenzitě používání každého farmaka a jeho odolnosti k rozpadu v přírodním prostředí. Stopová množství některých léčivých přípravků mohou pronikat i do pitné vody a některých potravin [3].

Důležitá je otázka, do jaké míry jsou tyto látky schopné proniknout celým vodárenským systémem (akumulace vody, úprava vody) až do konečného produktu – pitné vody. Možný negativní dopad látek PPCP na lidské zdraví v běžně zjišťovaných koncentracích v přírodních vodách sice nebyl dosud prokázán [4, 5], problematiku reziduí léčivých přípravků však nelze ignorovat, protože nelze zcela vyloučit možné účinky dlouhodobé expozice na zranitelné populace, nebo tzv. „koktejlový efekt“ vznikající v důsledku kombinace souběžného výskytu několika léčivých přípravků a dalších chemických látek ve vodách.

Povrchové i podzemní zdroje pitné vody obsahují tyto kontaminanty především z komunálních odpadních vod z lidských sídel. Nejvyšších koncentrací dosahují tyto látky zvláště v odpadních vodách z nemocnic, sanatorií, domovů seniorů, hospiců a dalších míst, kde je vysoká spotřeba léčiv. Např. [6, 7] uvádí vysoké koncentrace léčiv ve „vyčištěné“ odpadní vodě vypouštěné do místního toku z psychiatrické léčebny Horní Beřkovice; nejvyšších koncentrací (až několik mikrogramů na litr) dosáhl gabapentin, hydrochlorothiazid a karbamazepin. Lokálně důležité jsou zdroje těchto látek i z intenzivní živočišné výroby, kde jsou běžně používány různé veterinární a výživové přípravky.

Běžně používané technologie čištění odpadních vod (mechanicko-biologické čistírny), zvláště v menších obcích, nejsou většinou dostatečně účinné a odstraňují jen část těchto látek, které se tak dostávají do povrchového recipientu a částečně i infiltrují do podzemní vody. Nízkou účinnost čištění komunálních odpadních vod z hlediska látek

PPCP uvádí např. [8, 9, 10]. Výrazného zvýšení účinnosti odstraňování mikropolutantů (tedy nejen farmak, ale i pesticidů a dalších látek) lze dosáhnout zařazením dalšího stupně čištění odpadních vod, např. zařazením sorpčních filtrů s aktivním uhlím (např. [11]), které se postupně zavádějí i ve velkých úpravnách v ČR, mj. i na Želivce.

Brzkému dosažení výzkumných výsledků potřebných pro stanovení kvalitativních limitů neprospívá ani velmi široké spektrum těchto látek, jejichž počet se s rychlým rozvojem analytických postupů stále zvyšuje, a dnes se běžně analyzují desítky až stovky jednotlivých látek v každém vzorku.

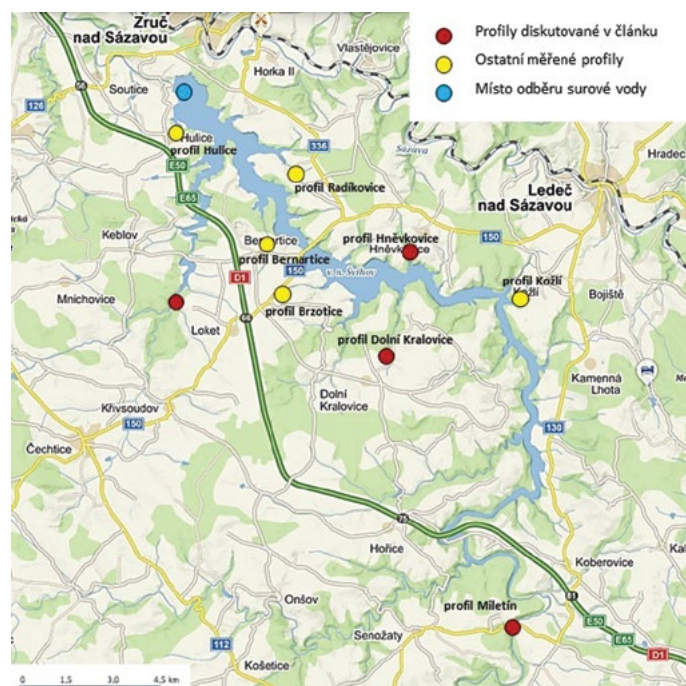
V Česku nejsou zatím stanoveny legislativní limity pro obsah léčiv v pitné vodě. Na úrovni Evropské unie také ne, ale existuje proces identifikace nových potenciálně škodlivých látek, podle Směrnice o prioritních látkách (2008/105/ES ve znění směrnice 2013/39/EU). Ze skupiny PPCP jsou v tomto seznamu v současné době uváděny tyto látky: 17-alfa-ethinylestradiol (EE2), 17-beta-estradiol (E2), estro (E1), makrolidová antibiotika (erythromycin, clarithromycin, azithromycin), methiokarb, neonikotinoidy (imidakloprid, thiacloprid, thiamethoxam, klothianidin, acetamiprid), amoxicillin, ciprofloxacin.

Z dalších přístupů lze zmínit mezinárodní memorandum IAWR/IAWD/RIWA [12], které definovalo tzv. „target value for pharmaceuticals in surface water for abstraction of drinking water“, na úrovni 100 ng/l pro každou jednotlivou chemickou látku ze skupiny mikropolutantů, včetně farmak. Z hlediska výskytu farmak a jejich metabolitů by možná mohl být tento limit vhodnou signální hodnotou pro posuzování kvality vod určených k zásobování pitnou vodou. Aspoň do doby, než se pro hlavní vyskytující se farmaka podaří na základě dlouhodobých výzkumů hodnocení zdravotních a environmentálních rizik stanovit konkrétní limitní hodnoty.

Vodní nádrž Švihov

Uvedené poznatky vedly k výzkumu vodárenské nádrže Švihov na řece Želivce, aby se zjistila situace výskytu látek PPCP v největším vodním zdroji v ČR, určeném pro zásobování obyvatelstva hlavního města Prahy a okolí pitnou vodou. Cílem výzkumu, který navázal na četné předchozí práce, např. [13], bylo ověřit, zda se ve vodě přítékající do vodní nádrže a akumulované vodě v nádrži Švihov farmaka vyskytují, v jakých koncentracích, a jak se to odráží na kvalitě surové vody používané pro výrobu pitné vody. Výsledky monitoringu farmak jsou podrobněji rozvedeny také v dalších cizojazyčných článcích autorů [14, 15, 16].

Vodní nádrž Švihov (obr. 1) na řece Želivce se nachází ve střední části Česka asi 50 km jv. od hlavního města Prahy, na Českomoravské vrchovině v nadmořské výšce 392 m. Jde o největší vodárenskou nádrž ve střední Evropě. Byla dokončena v roce 1975, délka vzdutí vodárenské nádrže Želivka–Švihov dosahuje 39,1 km, celkový ob-



Obr. 1. Vodní nádrž Švihov, situace hydrologických profilů a míst vzorkování



Obr. 2. Řeka Želivka na konci vzdutí hladiny nádrže, místo hydrologického profilu Miletín



Obr. 3. Profil a vzorkovací místo Bernartice

jem nádrže představuje 309,0 mil. m³, zatopená plocha je 1603 ha a plocha hydrologického povodí nádrže je 1178 km². Vodárenský zdroj má kapacitu 3100 l.s⁻¹ a pokrývá asi dvě třetiny potřeby pitné vody obyvatel hlavního města a jeho okolí. Průměrný dlouhodobý roční průtok na profilu hráze činí 6,93 m³/s, stoletá voda dosahuje 316,0 m³/s (Povodí Vltavy 2020).

Do nádrže vtéká množství drobných místních toků s vysokým podílem odpadních vod z malých obcí kolem nádrže, které jsou často nedostatečně čištěny, a byly v nich proto očekávány látky typu PPCP [17, 18]. Malá účinnost čištění místních komunálních odpadních vod souvisí se zastaralostí technologie na některých ČOV, malé obce často nemají odborný personál pro správný provoz ČOV, v některých případech mají ČOV i nedostatečnou kapacitu, zvláště za špičkových přítoků odpadní vody do ČOV [19, 20, 21].

Monitoring léčiv ve vodách

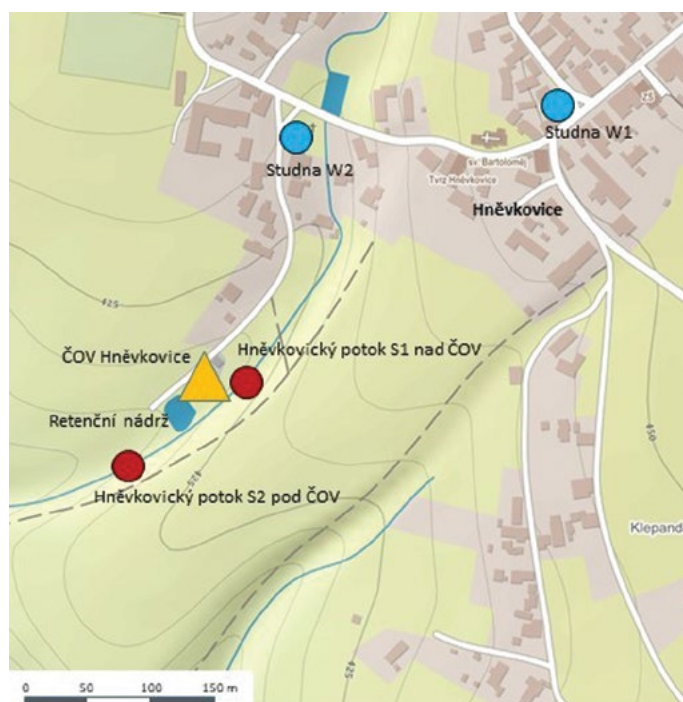
Pro monitoring bylo vybráno devět hlavních povrchových přítoků do nádrže Švihov, na nichž je významný podíl odpadní vody z místních obcí. Bylo na nich vybudováno 9 hydrologických profilů (obr. 1) charakterizujících zdrojovou vodu pro vodní nádrž Švihov. Profily sloužily pro měření průtoků a odběr vzorků vod. Největší přítok do nádrže tvoří řeka Želivka (průměrné měřené průtoky 2–3 tisíce l/s) viz obr. 2. Průtoky na ostatních přítocích byly jen v řádu jednotek l/s, s výjimkou Sedlického potoka s průměrným průtokem ve vyšších desítkách l/s. Obr. 3 ukazuje typický malý přítok do nádrže – profil Bernartice.

Průtoky byly měřeny pomocí Cipolettiho nebo Thomsonova měrného přelivu (ostrohranný lichoběžníkový nebo trojúhelníkový přeliv), přepadová výška byla měřena pomocí automatické sondy. Na tocích s větším průtokem (Želivka, Sedlický potok) byla využita data z monitoringu ČHMÚ.

Odběry probíhaly v období 2017–19 v měsíčním intervalu, v letním období (červenec–srpen), kdy jsme očekávali snížení průtoků a tím i zvýšení koncentrací sledovaných látek, byly odběry zaházeny s frekvencí 2–4x měsíčně. Místa odběrů na tocích se nacházela pod výtoky vycištěných odpadních vod z ČOV. Současně se vzorkováním 9 stanovených hydrologických profilů byl také odebírána vzorek surové vody z nádrže. Celkem bylo v 32 vzorkovacích kolech odebráno 21 174 vzorků vod. Při zahájení projektu v roce 2017 laboratoř Povodí Vltavy, s. p., nabízela stanovení 46 různých farmak; možnosti analytické praxe se však rychle rozšiřovaly, hlavní monitoring povrchových vod zahrnoval 94 látek, a v závěru projektu v roce 2019 se již sledovalo až 112 různých látek.

V rámci doplňkového monitoringu pro porovnání zatížení povrchových a podzemních vod byly odebrány vzorky podzemní vody ze dvou studní v obci Hněvkovice. Dále proběhlo i vzorkování předčištěných odpadních vod z komunální ČOV obce Hněvkovice, které mělo za úkol zjistit úroveň a denní kolísání koncentrací znečišťujících látek PPCP v odpadních vodách odtékajících do Hněvkovického potoka (a následně do vodárenské nádrže Švihov). Celkem 2 vzorkovací cykly s intervalem vzorkování 3 hodiny (tedy 8 vzorků za 24 hodin) proběhly ve dnech 27.–28. 6. a 21.–22. 10. 2019.

Výsledky monitoringu jsou pro přehlednost představeny ve 4 profilech (obr. 1): dva profily na největších přítocích do nádrže Švihov



Obr. 4. Hněvkovice – vzorkované studny, ČOV a Hněvkovický potok nad a pod ČOV

(Želivka–Miletín a Sedlický potok–Kačerov) a dva profily s nejvyššími koncentracemi a největší četností výskytu sledovaných látek PPCP (Hněvkovice a Dolní Kralovice).

Výsledky monitoringu umožnily rozdělit sledované toky na dvě základní skupiny – čtyři potoky s výrazně vyššími koncentracemi a častějším výskytem látek PPCP (Hněvkovice, Kožlí, Dolní Kralovice a Bernartice), a pět profilů s relativně nižšími koncentracemi a méně častým výskytem monitorovaných látek (Radíkovice, Hulice, Kačerov, Miletín a Brzotice). Kvůli přehlednosti jsou prezentovány hodnoty devíti látek PPCP, vybraných podle nejvyšších koncentrací, a nejvyšší frekvence výskytu v monitoringu povrchových vod.

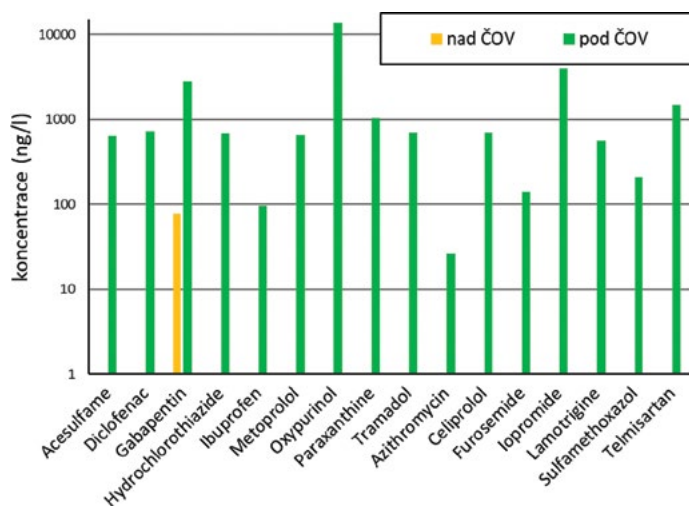
Profil Hněvkovice

Vzorkovací profil na Hněvkovickém potoce je umístěn na konci obce Hněvkovice pod výtokem z čistírny odpadních vod (bod S2 na obr. 4). Dále pod profilem pokračuje potok lesem a po cca 600 metrech ústí do nádrže Švihov. Místo odběru surové vody u hráze vodní nádrže se nachází cca 11 km od ústí potoka do nádrže. Plocha povodí je 0,543 km², převažuje venkovské osídlení (cca 300 obyvatel v rodinných domech s drobnými chovy hospodářského zvířectva), v okolí obce převažují intenzivně obdělávaná pole. Průměrný srážkový úhrn je 681,8 mm, průměrná teplota 8,04 °C (data za období 1961–2015), průměrná nadmořská výška 445,45 m n. m., průměrná sklonitost 3,4 % (interní databáze VÚVTGM). Průtok v potoce je silně ovlivněný kolísajícím výtokem z ČOV, kanalizace a retenčních nádrží, kolísá

Tab. 1. Seznam analyzovaných látek PPCP

Analyzované látky	Mez detekce (ng/l)	Nejistota stanovení (%)
<i>Látky sledované v monitoringu 2017–2018</i>		
17a-ethynilestradiol	2	35
17-alpha-estradiol	1	35
17-beta-estradiol	1	35
Acebutolol	10	35
Acesulfam	50	35
Alfuzosin	10	35
Atenolol	10	30
Azithromycin	10	35
Bezafibrate	10	35
Bisfenol A	50	35
Bisfenol B	50	35
Bisfenol S	50	35
Bisoprolol	10	35
Caffein	100	45
Celiprolol	10	35
Ciprofloxacin	20	35
Citalopram	20	35
Clarithromycin	10	35
Clindamycin	10	35
Clofibric acid	10	35
Cotinine	20	35
Cyclophosphamide	10	35
Diatrizoate	50	35
Diclofenac	20	30
Diclofenac-4-hydroxy	20	40
Diltiazem	10	35
Doxycyclin	50	35
Enrofloxacin	20	35
Erythromycin	10	30
Estriol	10	35
Estrone	1	35
Fexofenadine	10	35
Fluconazole	10	35
Fluoxetine	10	35
Furosemide	50	35
Gabapentin	10	35
Gemfibrozil	10	35
Hydrochlorothiazide	50	35
Chloramphenicol	20	35
Ibuprofen	20	35
Ibuprofen-2-hydroxy	30	40
Ibuprofen-carboxy	20	40
Iohexol	50	35
Iomeprol	50	35
Iopamidol	50	35
Iopromide	50	30
Irbesartan	10	35
Ivermectin	50	35
Karbamazepin	10	30
Karbamazepin-2-hydroxy	10	35
Karbamazepin-10,11-dihydroxy	10	40
Karbamazepin-10,11-dihydro-10-hydroxy	10	40
Karbamazepin-E	10	40
Ketoprofen	10	35
Lamotrigine	10	35
Lovastatin	10	35
Memantine	20	35

Analyzované látky	Mez detekce (ng/l)	Nejistota stanovení (%)
Metoprolol	10	30
Mirtazapine	10	35
Naproxen	50	30
Naproxene-O-desmeth.	20	40
Norfloxacin	20	35
Ofloxacin	20	35
Oxcarbazepine	10	40
Oxypurinol	50	35
Paracetamol	10	35
Paraxanthine	100	35
Peniciline G	10	30
Phenazone	10	35
Primidone	10	35
Progesteron	0,5	35
Propranolol	10	35
Propyphenazone	10	35
Ranitidine	10	35
Roxithromycin	10	35
Saccharin	50	35
Sertraline	10	35
Simvastatin	10	35
Sotalol	10	35
Sulfamerazine	10	35
Sulfamethazin	10	35
Sulfamethoxazol	10	30
Sulfanilamide	50	35
Sulfapyridin	10	35
Telmisartan	20	35
Testosteron	0,5	35
Tiamulin	10	35
Tramadol	10	35
Triclocarban	10	35
Triclosan	20	30
Trimetoprim	10	30
Valsartan	10	35
Venlafaxine	10	35
Warfarin	10	30
<i>Látky stanovované navíc v roce 2019 nad rámec monitoringu 2017–2018 (rozšíření nabídky laboratoře)</i>		
4-formylaminoantipyr	10	35
Atorvastatin	10	35
Benzotriazol	20	35
Benzotriazol methyl	20	35
Butylparaben	10	35
Climbazole	10	35
Cyclamate	100	35
DEET (diethyltoluamid)	10	30
Ethylparaben	10	35
Metformin	20	40
Methylparaben	30	35
Norverapamil	10	35
OMC (ethylhexyl methoxycinnamate)	1000	35
Propylparaben	20	35
Salbutamol	10	35
Sucralose	1000	35
Valsartan acid	10	35
Verapamil	10	35



Obr. 5. Koncentrace 16 vybraných farmak v profilech nad a pod ČOV Hněvkovice 27.–28. června 2019

mezi 0,4–5,6 l/s (průměr 1,6 l/s), přirozený průtok tvoří menší část celkového průtoku, zvláště za nízkých stavů.

Jde o profil s jednoznačně nejvyššími koncentracemi farmak, jen minimálně hodnot bylo pod mezí detekce. Všechny devět vybraných látek má maxima v tisících ng/l, čtyři látky dokonce v desetitisících ng/l (acesulfam, gabapentin, oxypurinol, paraxanthine). Také mediány jsou vysoké, extrémem je hodnota mediánu oxypurinolu 20250 ng/l (!). I u dalších – v tomto článku nevyhodnocovaných – látek jsou maxima koncentrací přes 1000 ng/l: azithromycin (1360 ng/l), celiprolol (1690 ng/l), clarythromycin (2600 ng/l), furosemide (1800 ng/l), ibuprofen-2-hydroxy (6700 ng/l), ibuprofen-carboxy (2200 ng/l), iopromide (34 400 ng/l, ale jen ojedinělý výskyt), kofein (3900 ng/l), lamotrigine (1310 ng/l), paracetamol (1800 ng/l), sacharin (10000 ng/l).

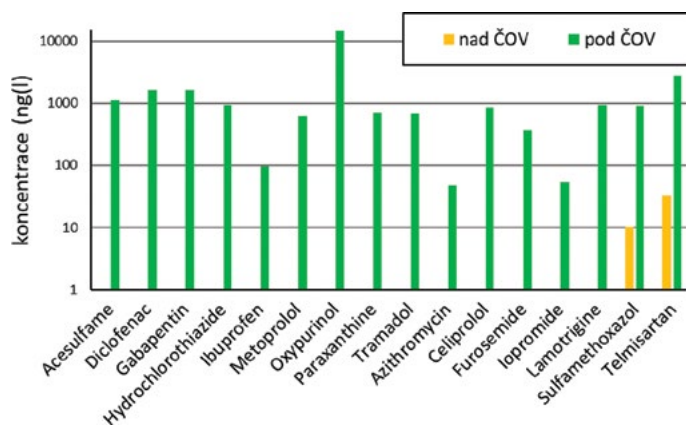
Profil Dolní Kralovice

Měřený profil je umístěn na dolním konci obce Dolní Kralovice pod výtokem z ČOV (obr. 1). Potok po cca 1600 metrech ústí do nádrže Švihov. Místo odběru surové vody z nádrže u hráze se nachází cca 11 km od ústí potoka do nádrže. Plocha povodí je 1,769 km², převažuje venkovské osídlení (cca 700 obyvatel v rodinných domech a malých bytových domech), v obci je velký zemědělský areál včetně objektů živočišné výroby a potravinářského průmyslu, na okolních pozemcích převažují pole s intenzivní rostlinnou výrobou. Průměrný srážkový úhrn je 670,8 mm, průměrná teplota 7,9 °C (data za období 1961–2015), průměrná nadmořská výška 478,6 m n. m. a průměrná sklonitost 3,4 % (interní databáze VÚV). Průtok v potoce je silně ovlivněný kolísajícím výtokem z ČOV, retenční nádrže a kanalizace, kolísá mezi 1,2–11,4 l/s (průměrný průtok 4 l/s), přirozený průtok tvoří menšinu celkového průtoku, zvláště za nízkých vodních stavů.

Profil Dolní Kralovice patří – podobně jako Hněvkovice – k těm s vysokými koncentracemi látek PPCP. Nejvyšší koncentrace dosahuje opět oxypurinol (maximum 20000 ng/l, medián 8205 ng/l), hodnoty maxim přes 1000 ng/l mají všechny další vybrané látky s výjimkou metoprololu a tramadolu; acesulfam, gabapentin a hydrochlorothiazide mají dokonce i hodnoty mediánu nad 1000 ng/l. I u některých dalších látek byla zjištěna maxima koncentrací přes 1000 ng/l: azithromycin (1600 ng/l), ibuprofen-2-hydroxy (12900 ng/l), irbesartan (1530 ng/l), kofein (4260 ng/l), naproxene (1050 ng/l), sacharin (6680 ng/l).

Profil Miletín na Želivce

Měřený profil se nachází na řece Želivce, na níž je postavena vodárenská přehradní nádrž Švihov, v místě vtoku řeky Želivky do nádrže Švihov. Jde o hlavní přítok nádrže, zajišťující cca 70 % celkového průměrného přítoku do nádrže. Hydrologické povodí náležející k měřenému profilu je velmi rozsáhlé, plocha povodí je 3 020 km². Místo odběru surové vody z nádrže u hráze se nachází cca 20 km od ústí potoka do nádrže. Povodí celého horního toku Želivky má mnoho obcí a měst, s celkem cca 40 tis. obyvateli. Využití území je smíšené, intenzivní zemědělská výroba, hospodářské lesy, z větších měst lze jmenovat Pelhřimov (16 tis. obyvatel), Pacov (5 tis. obyvatel) a Červenou Řečici



Obr. 6. Koncentrace 16 vybraných farmak v profilech nad a pod ČOV Hněvkovice 21.–22. října 2019

(1 tis. obyvatel), ostatní obyvatelstvo žije v množství venkovských obcí s méně než 1 tis. obyvatel. V povodí je průměrný srážkový úhrn 671,8 mm a průměrná teplota 8,03 °C (data za období 1961–2015), průměrná nadmořská výška je 433,44 m n. m. a průměrná sklonitost 3,3 % (interní databáze VÚV). Průtok v řece je ovlivněný množstvím vodních nádrží a rybníků, a z vypouštění odpadních vod v celém povodí. Průtok za měřené období kolísá mezi 300–6600 l/s (dlouhodobý průměrný průtok 2800 l/s podle dat Povodí Vltavy), podíl odpadních vod tvoří výraznou menšinu celkového průtoku (odhadem cca 40 l/s).

S ohledem na vysoké průtoky a velkou plochu povodí dochází k ředění vod a jejich časovému zdržení, a výsledkem jsou nižší koncentrace látek PPCP, hmotnostní tok je ale srovnatelný s ostatními menšími toky, relativně nižší koncentrace jsou vyrovnány vyššími průtoky. Nejvyšší koncentrace vykazuje opět oxypurinol (maximum 1820 ng/l, medián 483 ng/l), maximum přes 1000 ng/l vykazuje ještě paraxanthine.

Profil Kačarov na Sedlickém potoce

Měřený profil je umístěn na Sedlickém potoce u obce Kačarov v místě, kde potok vtéká do nádrže Švihov (okraj vzdutí hladiny nádrže). Jde o největší levostranný přítok do nádrže Švihov. Místo odběru surové vody z nádrže u hráze se nachází cca 6 km od ústí potoka do nádrže. Monitorované povodí je poměrně rozsáhlé, Sedlický potok s mnoha přítoky má plochu povodí 75 973 km². V povodí se nachází několik obcí s celkem cca 2300 obyvateli. Převažuje venkovské osídlení, mezi obcemi jsou intenzivně obdělávaná pole a hospodářské lesy. Hlavními obcemi jsou Lhota Bubeneč (obec s intenzivním chovem dobytka), Krivsoudov (obytná obec), Růžkovy Lhotice (obec s malou farmou), Černíči (menší zemědělský areál), Malá Paseka (obytná obec), Čechtice (větší středisková obec, dva velké zemědělské areály, dva průmyslové areály, objekty služeb), Chrástovice (bývalá obec, dnes zcela opuštěná). Monitorované povodí má průměrný srážkový úhrn 692,1 mm, průměrnou teplotu 7,87 °C (data za období 1961–2015). Průměrná nadmořská výška je 506,4 m n. m., a průměrná sklonitost 3,6 % (interní databáze VÚV). Průtok v potoce je ovlivněný množstvím rybníků, a z vypouštění odpadních vod v celém povodí. Průtok za měřené období velmi kolísá mezi 2–430 l/s, podíl odpadních vod netvoří větší část celkového průtoku, s výjimkou nízkých průtoků.

Z vybraných látek nejvyšších koncentrací s maximy přes 1000 ng/l dosahuje oxypurinol a hydrochlorothiazide, maxima těsně pod 1000 ng/l má acesulfam a paraxanthine. Z ostatních monitorovaných látek se limitu 1000 ng/l jen přiblížila jedna analýza azithromycinu (931 ng/l).

Kvalita surové vody

Součástí monitoringu vod byly i analýzy surové vody. Surová voda je odebrána z věžového objektu u hráze nádrže Švihov. Zjištěné látky nad mezí detekce shrnuje **tabulka 6**. Na rozdíl od předchozích tabulek jsou – z důvodu důležitosti pro celkovou kvalitu pitné vody – uvedeny všechny látky s aspoň jednou analýzou nad mezí detekce.

Hodnoty nad mezí detekce aspoň jednou za dobu 2letého monitoringu mělo v surové vodě 20 látek z 94 celkem, 74 látek bylo trvale pod mezí detekce.

Doplňkový monitoring odpadních a podzemních vod Hněvkovice

Za účelem přesnějšího průzkumu místní situace byl v obci Hněvkovice (profil s nejvyššími zjištěnými koncentracemi látek PPCP v monitoringu povrchových vod) realizován ještě doplňkový monitoring, který se skládal z detailního vzorkování odpadních vod na výtoku z ČOV, vzorkování potoka nad a pod ČOV a odběru vzorků podzemní vody ze dvou vybraných studní. Vzorky vody na výtoku z ČOV byly odebírané v 3hodinových intervalech v termínech 27.–28. června a 21.–22. října roku 2019. Detailní vyhodnocení v tomto článku se týká celkem 16 látek (devíti látek identických s monitoringem povrchových vod, doplněných o dalších sedm látek s vyššími zaznamenanými koncentracemi), celkově bylo analyticky sledováno až 112 látek (**tab. 1**).

Nejvyšší zjištěné koncentrace u 16 sledovaných látek ve vypouštěné odpadní vodě z ČOV byly v červnu zjištěny u iopromidu (73 600 ng/l) a oxypurinolu (33 100 ng/l). V podzimním období byly koncentrace vesměs nižší, nejvyšší byly u oxypurinolu (21 500 ng/l) a sulfamethoxazolu (16 100 ng/l).

U některých dalších látek byla také ještě zjištěna maxima koncentrací přes 1 000 ng/l (v závorce uvedeny naměřené maximální hodnoty) zjištěná na výtoku z ČOV. Červen 2019: 4-formylaminoantipyr (1 160 ng/l), benzotriazol (1 060 ng/l), metformin (1 730 ng/l), sucralose (5 900 ng/l), valsartan acid (1 060 ng/l). Říjen 2019: 4-formylaminoantipyr (4 800 ng/l), benzotriazol (1 460 ng/l), diclofenac-4-hydroxy (2 220 ng/l), sucralose (5 200 ng/l), valsartan acid (1 160 ng/l).

Grafy na **obr. 5 a 6** dokumentují změnu kvality vody v Hněvkovickém potoce vlivem vypouštění vyčištěných odpadních vod u 16 vybraných látek. V profilu potoka nad ČOV (profil S1 na **obr. 4**) byly jen mírně nad mezí detekce zjištěny v červnu 2019 gabapentin (77,1 ng/l), v říjnu 2019 sulfamethoxazol (10,3 ng/l) a telmisartan (32,2 ng/l). Pod výtokem z ČOV byly zjištěny koncentrace sledovaných látek v řádu stovek až tisíců ng/l, nejvyšší koncentrace byly zjištěny u oxypurinolu (13 700 ng/l na jaře a 14600 ng/l na podzim).

Na profilu S2 (**obr. 4**) Hněvkovice byly v roce 2019 (profil identický s profilem Hněvkovice z monitoringu 2017–18) jednorázově ještě zjištěny další látky s maximy koncentrací přes 1000 ng/l, které nebyly předmětem monitoringu 2017–18 (v závorce uvedena naměřená maxima koncentrací): sucralose (2 460 ng/l), metformin (1 340 ng/l), 4-formylaminoantipyr (1 320 ng/l) a benzotriazol (1 060 ng/l).

Vysoké koncentrace některých látek v povrchové i vyčištěné odpadní vodě vzbudily otázku, do jaké míry se tyto látky objevují i v mělké podzemní vodě, využívané domovními studnami pro lokální zásobování obyvatelstva pitnou vodou. Úplně nevýznamný není také fakt, že podzemní voda se odvodňuje do nádrže Švihov a tvoří jeden – byť minoritní – zdroj vody v nádrži (odhadovaný přítok mělké podzemní vody 10–20 l/s z území bezprostředně přiléhajícího k nádrži). V centru obce Hněvkovice byly vybrány dvě obecní studny (W1, W2, **obr. 4**), a v říjnu 2018 byla voda analyzována na stejný rozsah látek jako vody povrchové (94 látek, **tab. 1** první část). Podzemní vody jsou výrazně méně zasažené, byly v nich zaznamenány jen 4 látky z 94 analyzovaných, navíc v nízkých koncentracích (**tab. 7**).

Výsledky indikují, že hlavním problémem povodí nádrže Švihov z hlediska výskytu látek PPCP jsou komunální odpadní vody a úroveň jejich čištění v místních ČOV.

Diskuse výsledků

Devět vzorkovacích profilů na přítocích vody do vodárenské nádrže Švihov poskytlo velmi různé výsledky. Z hlediska koncentrací látek

Tab. 2. Souhrnné výsledky monitoringu – profil Hněvkovice

Látka	Počet hodnot	Počet hodnot pod mezí detekce	Mez detekce (ng/l)	MIN (ng/l)	medián (ng/l)	MAX (ng/l)
Acesulfam	16	0	50	443	1250	15000
Diclofenac	28	2	20	20	815,5	3400
Gabapentin	28	2	10	10	1900	33000
Hydrochlorothiazide	28	0	50	388	1030	3440
Ibuprofen	28	2	20	20	274	1200
Metoprolol	28	2	10	10	610	1350
Oxypurinol	16	1	50	50	20250	34700
Paraxanthine	26	0	100	306	1285	32000
Tramadol	28	1	10	10	955	1500

Tab. 3. Souhrnné výsledky monitoringu – profil Dolní Kralovice

Látka	Počet hodnot	Počet hodnot pod mezí detekce	Mez detekce (ng/l)	MIN (ng/l)	medián (ng/l)	MAX (ng/l)
Acesulfam	16	0	50	695	1900	11800
Diclofenac	28	2	20	20	360	1400
Gabapentin	28	2	10	10	1045	3120
Hydrochlorothiazide	28	0	50	370	1055	2300
Ibuprofen	28	2	20	20	200	2990
Metoprolol	28	0	10	22	205	429
Oxypurinol	16	2	50	50	8205	20000
Paraxanthine	26	0	100	163	576	11400
Tramadol	28	0	10	29	146	540

Tab. 4. Souhrnné výsledky monitoringu – profil Miletín na Želivce

Látka	Počet hodnot	Počet hodnot pod mezí detekce	Mez detekce (ng/l)	MIN (ng/l)	medián (ng/l)	MAX (ng/l)
Acesulfam	16	0	50	140	343	631
Diclofenac	28	20	20	20	20	91
Gabapentin	28	2	10	10	171	280
Hydrochlorothiazide	28	25	50	50	50	188
Ibuprofen	28	16	20	20	20	110
Metoprolol	28	17	10	10	10	25,3
Oxypurinol	16	2	50	1	483	1820
Paraxanthine	26	1	100	100	165	1020
Tramadol	28	5	10	10	20	36

PPCP (94 analyzovaných látek celkem) se jako nejhorší jeví profily Hněvkovice a Kožlí, kde se úhrnná suma maxim koncentrací analyzovaných látek blíží hodnotě 200 000 ng/l. Za nimi se řadí profily Dolní Kralovice a Bernartice s úhrnnou sumou maxim koncentrací PPCP kolem 100 000 ng/l. Zbylých pět profilů má výrazně nižší koncentrace látek PPCP: Miletín, Kačerov a Radčovice s hodnotami sumy maxim kolem 8–10 000 ng/l, a jako nejvyšší se jeví profily Hulice a Brzotice s hodnotami sumy maxim jen kolem 2 000 ng/l.

Vysvětlení není zcela zřejmé. Jasný je vliv ředění v tocích s vyšším průtokem (Miletín, Kačerov), to ale neplatí pro nejčistší profily Hulice a Brzotice, kde jsou zároveň i velmi nízké průtoky. Pokud pomíne možnost zásadně nižší spotřeby farmak obyvateli těchto obcí, dalším vysvětlením je lepší funkce jejich ČOV (delší čistící proces, intenzivnější funkce biologického stupně a oxidace apod.). A naopak, obce s nedobrou kvalitou vyčištěné odpadní vody mohou mít ČOV s přetíženou kapacitou a s příliš krátkým a málo intenzivním čistícím procesem.

Z hlediska hmotnostního toku látek PPCP do nádrže Švihov je situace ale odlišná, monitorované toky mají různý průtok a různé koncentrace. Rozdíl průtokových množství se odráží i v rozdílném hmotnostním toku látek (**tab. 8**). Přesný výpočet není možný kvůli velkému a častému kolísání koncentrací látek PPCP i výtoku z ČOV, tabulka obsahuje proto jen kvalifikované řádové odhady hmotnostního toku farmak do nádrže.

Celkem se jedná o hmotnostní tok cca 83,23 g/den na monitorovaných tocích, které tvoří větší část objemu přítoku vody do nádrže. Lze tedy odhadovat, že do nádrže Švihov může natékat průměrně kolem 100–150 gramů látek PPCP denně (v analyzovaném rozsahu látek, jak ukazuje **tab. 1**).

Z hlediska frekvence výskytu lze vyčlenit skupinu látek, která se vyskytuje velmi často, na většině profilů a často i ve vysokých koncentracích (tisíce a dokonce desetitisíce ng/l): acesulfam, azithromycin, kafein, gabapentin, hydrochlorothiazide, ibuprofen a jeho metabolity, oxypurinol, paraxanthine a sacharin. Vedle nich můžeme jmenovat další látky také se vyskytující ve větší části analýz, ale v nižší frekvenci a s nižšími koncentracemi (převažující stovky ng/l): iopromide, metoprolol, paracetamol, tramadol. A konečně existuje skupina 39 látek z celkem 112, které se vždy nebo téměř vždy nacházejí pod mezí detekce použité analytické metody (oranžově označené látky v **tab. 1**).

Neexistuje prakticky žádná korelace mezi průtokem a koncentracemi látek PPCP. To může být způsobeno vysokým a kolísajícím podílem výtoků odpadní vody z ČOV, značně kolísající kvalitou vypouštěné odpadní vody (různá doba zdržení v retenční nádrži, různá kvalita natékající vody, pravděpodobně i různá doba čištění vody na ČOV ve špičce a mimo ni apod.).

Doplňující monitoring odpadních vod na výtoku z ČOV Hněvkovice v roce 2019 potvrdil nejčastěji se vyskytující látky z předchozího monitoringu, a kromě toho byly zjištěny i další látky ve vysokých koncentracích na výtoku z ČOV (tisíce ng/l): celiprolol, diclofenac a diclofenac-4-hydroxy, furosemide, lamotrigine, metoprolol, sulfamethoxazol, telmisartan. Je otázka, proč jsou tyto látky v povrchové vodě toku pod ČOV detekovány v nižších koncentracích – nabízí se odpověď o rychlém rozkladu těchto látek ve vodním prostředí (voda z ČOV je zachycována v retenční nádrži, takže se do toku dostává se zpožděním několika dnů). Analýzy odpadní vody kromě toho prokázaly i časté a vysoké koncentrace dalších látek, které nebyly sledovány v předchozím monitoringu povrchových vod (viz výše), protože je laboratoř zavedla do nabídky až poté: 4-formylaminoantipyr, benzotriazol a sucralose.

Z analýzy monitoringu vyplývá, že existuje výrazný rozdíl v horší kvalitě vody v přítocích do nádrže a zásadně lepší kvalitou surové vody, která se odebírá u hráze pro úpravu na vodu pitnou. Protože je teoretická doba zdržení vody v nádrži 430 dnů, v objemu nádrže 309 mil. m³ dochází k procesům, které mají významný a příznivý dopad na zlepšování kvality vody, jistě nejen v parametrech PPCP. Bližší poznání těchto degradačních, sorpčních a dalších procesů je velmi důležité pro objasnění životního cyklu těchto látek v životním prostředí.

Zásadní úbytek koncentrací vlivem zdržení v nádrži nastal u následujících látek: azithromycin, diclofenac, hydrochlorothiazide, ibuprofen-2-hydroxy, lamotrigine, metoprolol, telmisartan a tramadol. Naopak existuje skupina látek, u kterých byl zaznamenán jen relativně menší úbytek vlivem zdržení vody v nádrži: estrone, chloramphenicol, oxypurinol, progesteron, sulfamerazine, acesulfam, gabapentin, ibuprofen, karbamazepin, karbamazepin E, paraxanthin, ranitidin, a trimetoprim.

Lze tedy shrnout, že vodárenská nádrž s dostatečnou dobou zdržení je mnohem lepší pro dosažení příznivější kvality vody z hlediska obsahu specifických organických látek typu PPCP, než odběr přímo z toku, ale tento vliv se liší u různých látek.

Ve vyrobené pitné vodě byly látky PPCP nacházeny v důsledku úpravárenského procesu dříve jen ojediněle, a po instalaci doplňkového stupně úpravy s filtry s granulovaným aktivním uhlím v letech 2020–2021 se situace dále zlepšila, tyto látky jsou dnes ve vyrobené pitné vodě vesměs pod mezí detekce, výjimečně na úrovni meze detekce použité analytické metody. Je vhodné zde zmínit, že byla identifikována skupina látek PPCP, se kterými si klasický úpravárenský proces (tedy

Tab. 5. Souhrnné výsledky monitoringu – profil Kačerov

Látka	Počet hodnot	Počet hodnot pod mezí detekce	Mez detekce (ng/l)	MIN (ng/l)	medián (ng/l)	MAX (ng/l)
Acesulfam	15	0	50	110	270	931
Diclofenac	26	15	20	20	20	170
Gabapentin	26	4	10	10	29	315
Hydrochlorothiazide	26	11	50	50	88	1380
Ibuprofen	26	18	20	20	20	69
Metoprolol	26	13	10	10	11	36
Oxypurinol	15	3	50	50	205	2800
Paraxanthine	25	10	100	100	112	933
Tramadol	26	9	10	10	17	92

Tab. 6. Kvalita surové vody z vodní nádrže Švihov

Látka	Počet analýz celkem	Počet analýz nad mezí detekce	Mez detekce (ng/l)	Maximální koncentrace (ng/l)
Acesulfam	16	8	100	318
Azithromycin	28	2	10	274
Diclofenac	28	1	20	58
Estrone	6	2	1	5
Gabapentin	28	25	10	157
Hydrochlorothiazide	28	2	50	99
Chloramphenicol	28	1	20	48
Ibuprofen	28	3	20	56
Ibuprofen-2-hydroxy	28	2	30	91
Karbamazepin	28	7	10	13
Karbamazepin-E	28	2	10	12
Lamotrigine	8	5	10	15
Oxypurinol	16	7	50	868
Paraxanthine	26	13	100	424
Progesteron	6	2	0,5	2
Ranitidine	28	2	10	75
Sulfamerazine	28	2	10	22
Telmisartan	8	7	20	55
Tramadol	28	5	10	13
Trimetoprim	28	1	10	16

Tab. 7. Látky zjištěné nad mezí detekce u zdrojů podzemních vod – studny Hněvkovice

Látka	Jednotka	Mez detekce	W1	W2
Acesulfam	ng/l	50	212	
Bisfenol A	ng/l	50		247
Estrone	ng/l	1	3,6	2,5
Gabapentin	ng/l	10	23,7	

Tab. 8 Odhad hmotnostního toku látek PPCP do nádrže Švihov

Profil	Dlouhodobý průměrný průtok (l/s)	Odhad podílu vyčištěné odpadní vody z ČOV (l/s)	Odhad sumy průměrných koncentrací látek PPCP (ng/l)	Rámcová hodnota hmotnostního toku (g/den)
Bernatice	0,2	0,2	8000	0,1
Brzotice	0,8	0,2	300	0,02
Dolní Kralovice	5,0	0,9	7000	3
Hněvkovice	1,7	0,3	12000	2
Hulice	0,5	0,2	300	0,01
Kačerov	80	2	1500	10
Kožlí	1,1	0,7	11000	1
Miletín	1300	40	600	67
Radčovice	1,3	0,2	800	0,1

i bez dodatečně instalovaných filtrů s aktivním uhlím) dobře poradil: acesulfam, hydrochlorothiazide, ibuprofen-2-hydroxy, karbamazepin, karbamazepin E, lamotrigine, oxypurinol, progesteron, telmisartan a tramadol. A naopak byla identifikována skupina látek s tendencí přetrvávat ve vodním prostředí delší dobu. Je proto důležité, aby koncentrace těchto látek byly nízké i v přítocích do nádrže a v surové vodě. Ze sledovaných látek jde především o estrone, chloramphenicol, ibuprofen, paraxanthine, sulfamerazine, azithromycin, gabapentin, ranitidin a trimetoprim.

Situaci kolem výskytu látek PPCP v povodí nádrže Švihov je třeba vnímat i z hlediska probíhajících klimatických změn. Výzkum probíhal v závěru delšího suchého období, průtoky na tocích byly proto podprůměrné, a nezaručovaly tak dostatečné ředění vypouštěných odpadních vod. Protože i do budoucna je nutné očekávat častá období sucha a nízkou průtočnost místních vodních toků, jako vhodné adaptační opatření se jeví zajištění vysoké účinnosti místních ČOV, ve formě jejich postupné modernizace, nepřetěžování jejich kapacity, důrazu na optimální provoz, a v některých případech bude nutné zvážit i doplňující stupeň čištění odpadních vod na tyto specifické organické látky.

Závěr

V článku jsou shrnuty výsledky monitoringu povrchových, podzemních a odpadních vod na obsahy farmak a dalších látek PPCP v povodí vodárenské nádrže Švihov. Výsledky monitoringu potvrdily obavy z nedostatečné účinnosti místních ČOV malých obcí v okolí nádrže, které nejsou schopné dostatečně zachycovat mnohé látky PPCP a které se tak prostřednictvím místních potoků dostávají do vodárenské nádrže, a jejich reziduální koncentrace jsou detektovány v surové vodě pro výrobu pitné vody.

Základní monitoring byl dvouletý, bylo vybráno celkem 9 přítoků do nádrže, z nichž jsou v tomto článku podrobně představeny 4 profily (**obr. 1**). V celkem 32 vzorkovacích kolech bylo odebráno 21 174 vzorků vody na analýzy látek PPCP. Rozsah analýz se řídil nabídkou laboratoře, na začátku šlo o 46 látek, které byly rychle rozšiřovány až na 94 (**tab. 1**). Další 18 látek přibýlo v roce 2019, kdy ještě proběhl doplňkový podrobný monitoring odpadních vod z ČOV Hněvkovice.

Z hlediska frekvence výskytu jednotlivých analyzovaných látek PPCP lze vyčlenit skupinu látek, která se vyskytuje velmi často, na většinu profilů a často i ve vysokých koncentracích (tisíce a dokonce desetitisíce ng/l na některých profilech): acesulfam, azithromycin, caffeine, gabapentin, hydrochlorothiazide, ibuprofen a jeho metabolity, oxypurinol, paraxanthine a sacharin. Vedle nich můžeme jmenovat další látky také se vyskytující ve větší části analýz, ale v nižší frekvenci a s nižšími koncentracemi (převažující stovky ng/l): iopromide, metoprolol, paracetamol, tramadol. Dále existuje skupina 39 látek (z celkového počtu 112), které se vždy nebo téměř vždy (v 95–100 % případů) nacházejí pod mezí detekce použité analytické metody (**tab. 1**).

Podle zjištěných maximálních koncentrací látek PPCP lze identifikovat místní toky vysoce znečištěné (Hněvkovice, Kožlí, Dolní Kralovice a Bernartice) s průměrnými koncentracemi sumy látek PPCP v hodnotách tisíců ng/l (a s maximy u některých látek až v desetitisících ng/l – gabapentin, oxypurinol, paraxanthine). Z nich jsou v článku podrobně diskutovány profily Hněvkovice a Dolní Kralovice. Ke středně znečištěným patří profily Miletín, Kačerov a Radčovice. S odhadem průměrných hodnot kolem 1000 ng/l, z nichž první dva profily jsou také podrobně uvedeny. Zároveň jde o profily s největšími průtoky, takže i když koncentrace látek PPCP nedosahuje nejvyšších hodnot, hmotnostní tok PPCP je z těchto profilů do nádrže Švihov největší. Nejnižší koncentrace PPCP mají profily Hulice a Brzotice s převažujícími koncentracemi blízko meze detekce v desítkách, výjimečně prvních stovkách, ng/l.

Do budoucna lze doporučit zajistit optimální a nepřetížený provoz místních ČOV, v některých případech bude možná nutné uvažovat o jejich celkové modernizaci nebo doplnění dalšího stupně čištění. Lze také doporučit další výzkum migračních parametrů a rozpadových procesů látek PPCP, zvláště těch, které mají tendenci dlouho zůstat v přírodním vodním prostředí a pronikat až do surové vody (např. ibuprofen, estrone, acesulfam, azithromycin).

ci udržitelnosti projektů Voda pro Prahu, č. CZ.07.1.02/0.0/0.0/16_02/3/0000118 a projektu Analýza adaptačních opatření ke snížení dopadů klimatických změn a urbanizace na vodní režim v oblasti vnější Prahy, č. CZ.07.1.02/0.0/0.0/16-040/0000380, které byly financovány z Operačního programu EU Praha-pól růstu České republiky.

Literatura/References

- [1] Ferrer, I., & Thurman, E. M. (2012). Analysis of 100 pharmaceuticals and their degradates in water samples by liquid chromatography/quadrupole time-of-flight mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1259, 148–157. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2012.03.059>
- [2] Richardson, S. D. (2006). Environmental mass spectrometry: Emerging contaminants and current issues. In *Analytical Chemistry* (Vol. 78, Issue 12, pp. 4021–4045). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/ac060682u>
- [3] European Commission (2019). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee. European Union Strategic Approach to Pharmaceuticals in the Environment.
- [4] Jones, O. A., Lester, J. N., & Voulvoulis, N. (2005). Pharmaceuticals: A threat to drinking water? *Trends in Biotechnology*, 23(4), 163–167. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2005.02.001>
- [5] Stackelberg, P. E., Gibbs, J., Furlong, E. T., Meyer, M. T., Zaugg, S. D., & Lippincott, R. L. (2007). Efficiency of conventional drinking-water-treatment processes in removal of pharmaceuticals and other organic compounds. *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.01.095>
- [6] Rozman, D., Hrkál, Z., Eckhardt, P., Novotná, E., & Boukalová, Z. (2015). Pharmaceuticals in groundwaters: a case study of the psychiatric hospital at Horní Beřkovice, Czech Republic. *Environmental Earth Sciences*, 73(7), 3775–3784. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3663-1>
- [7] Rozman, D., Hrkál, Z., Váňa, M., Vymazal, J., & Boukalová, Z. (2017). Occurrence of Pharmaceuticals in Wastewater and Their Interaction with Shallow Aquifers: A Case Study of Horní Beřkovice, Czech Republic. *Water*, 9(3), 218. <https://doi.org/10.3390/w9030218>
- [8] Chen, Y., Vymazal, J., Březinová, T., Koželuh, M., Kule, L., Huang, J., & Chen, Z. (2016). Occurrence, removal and environmental risk assessment of pharmaceuticals and personal care products in rural wastewater treatment wetlands. *Science of the Total Environment*, 566–567, 1660–1669. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.069>
- [9] Vymazal, J., & Dvořáková Březinová, T. (2016). Removal of saccharin from municipal sewage: The first results from constructed wetlands. *Chemical Engineering Journal*, 306, 1067–1070. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.08.043>
- [10] Vymazal, J., Dvořáková Březinová, T., Koželuh, M., & Kule, L. (2017). Occurrence and removal of pharmaceuticals in four full-scale constructed wetlands in the Czech Republic – the first year of monitoring. *Ecological Engineering*, 98, 354–364. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.08.010>
- [11] Rodriguez, E., Campinas, M., Acero, J. L., & Rosa, M. J. (2016). Investigating PPCP Removal from Wastewater by Powdered Activated Carbon/Ultrafiltration. *Water, Air, and Soil Pollution*, 227(6), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11270-016-2870-7>
- [12] Wirtz, F. (2009). Danube, Meuse and Rhine MEMORANDUM 2008. *Environmental Science and Pollution Research*, 16(SUPPL1), 112–115. <https://doi.org/10.1007/s11356-009-0127-3>
- [13] Dátl, J. V., Hrabánková, A. Pharmaceuticals Load in the Svihov Water Reservoir (Czech Republic) and Impacts on Quality of Treated Drinking Water. *Water* 2020, 12, 1387; doi:10.3390/w12051387. MDPI, Basel, Switzerland. ISSN 2073-4441.
- [14] Kvítek, T. (2017). *Retence a jakost vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce : význam retence vody na zemědělském půdním fondu pro jakost vody a současně i průvodec vodním režimem krystalinika. Povodí Vltavy. Praha.*
- [15] Dátl, J. V., Hrabánková, A., Hrkál, Z. Pharmaceuticals in the drinking water reservoir Svihov, Czech Republic, Abstract proceedings 15th specialized conference Small Water & Wastewater Systems, Technion- Israel Institute of Technology, Haifa, Izrael, 2018, ISBN 050-5288969, 124–25.
- [16] Dátl, J. V., Hrabánková, A., Hrkál, Z. Výskyt lévíc ve zdrojích pitné vody pro Prahu. Sborník z 15. slovenské hydrogeologické konference Hydrogeológia - vzdelávanie, veda a prax, Slovenská asociácia hydrogeológov, Kúpele Nimnica, Slovakia, 2018, ISBN 978-80-972651-1-3, 60–61.
- [17] Morteau, G., Möller, P., Fuganti, A., & Paces, T. (2006). Input and fate of anthropogenic estrogens and gadolinium in surface water and sewage plants in the hydrological basin of Prague (Czech Republic). *Environmental Geochemistry and Health*, 28(3), 257–264. <https://doi.org/10.1007/s10653-006-9040-6>
- [18] Swartz, C. H., Reddy, S., Mark J. Benotti, M. J., Yin, Larry, H., Bruce, B. B., J. Brownawell, J., Rudel, R. A. (2006). *Steroid Estrogens, Nonylphenol Ethoxylate Metabolites, and Other Wastewater Contaminants in Groundwater Affected*

Poděkování: Tento článek byl připraven v rámci projektů Technologické agentury ČR SS01010208 Řízená dotace podzemních vod jako nástroj k omezení dopadů sucha v ČR a SS02030027 Vodní systémy a vodní hospodářství ČR v podmínkách změny klimatu, a dále v rámci

by a Residential Septic System on Cape Cod, MA. <https://doi.org/10.1021/ES052595+>

- [19] Kožíšek, F., Pomykačová, I., Jelíková, H., Čadek, V., Svobodová, V. (2013). Survey of human pharmaceuticals in drinking water in the Czech Republic. *Journal of Water and Health*, 11(1), 84–97. <https://doi.org/10.2166/wh.2013.056>
- [20] Datel, J. V., Hartlová, L., Hrabánková, A., Pištora, Z., Kučera, J., Novotná, J., Pastuszek, F. (2015). *Specifika provozu a řízení malých vodních zdrojů*. VÚV TGM, Praha, 120 s., ISBN 978-80-87402-43-6.
- [21] Kožíšek F., Paul J., Datel, J. V. (2013). *Zajištění kvality pitné vody při zásobování obyvatelstva malými vodárenskými systémy*. VÚV TGM, Praha, 114 s., ISBN 978-80-87402-26-9.

RNDr. Josef Vojtěch Datel, Ph.D. (autor pro korespondenci)
Ing. Anna Hrabánková
Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.
Podbabská 2582/30
160 00 Praha 6
datel@vuv.cz

Occurrence of pharmaceuticals and their metabolites in the catchment area of the Švihov water reservoir; on the Želivka river (Datel, J. V.; Hrabankova, A.)

Abstract

The article summarizes the results of surface, groundwater and wastewater monitoring for the content of pharmaceuticals and other PPCP substances in the catchment area of the Švihov water reservoir. Substances from the wastewater enter the water reservoir through local streams, and their residual concentrations are detected in the raw water for drinking water production. The monitoring included 32 sampling rounds, in which 21,174 water samples were taken for analysis of PPCP substances, the number of which grew from 46 through 94 to 112 substances at the end of the project. Substances that occur frequently and in high concentrations have been identified (thousands and even tens of thousands of ng/l. About a third of the monitored substances have been below the detection limit. Some local streams with a high share of wastewater have (under otherwise comparable conditions) high levels of PPCPs, while some streams have low concentrations. An important aspect may be the efficiency of local WWTPs. The improvement of the situation would bring optimal and unloaded operation of local WWTPs, and their gradual modernization.

Key words

pharmaceuticals – surface water – groundwater – Želivka river – Švihov reservoir – PPCP
