

Nové znečišťující látky v odpadních vodách – výsledky Společného průzkumu Dunaje 4 pohledem šedé vodní stopy

LIBOR ANSORGE, LADA STEJSKALOVÁ, PŘEMYSL SOLDÁN

Klíčová slova: šedá vodní stopa – Společný průzkum Dunaje 4 – JDS4 – nové znečišťující látky – koncentrace bez účinku – predicted no-effect concentration – PNEC – emergentní polutanty – CECs – Contaminants of Emerging Concern

ABSTRAKT

Společný průzkum Dunaje 4 (JDS4) zorganizovaný v roce 2019, přinesl unikátní sadu dat o výskytu několika set nových znečišťujících látek vzbuzujících obavy (CECs) ve vodách v povodí Dunaje, včetně odpadních vod z vybraných čistíren odpadních vod. V této studii byla použita zveřejněná data z JDS4 k posouzení významnosti jednotlivých látek identifikovaných v odpadních vodách prostřednictvím šedé vodní stopy. Stanovování všech nově identifikovaných znečišťujících látek je časově i finančně náročné, proto má smysl zaměřit se na látky, které jsou „nejproblémovější“. Výhodou šedé vodní stopy pro tuto úlohu je skutečnost, že převádí množství emitované znečišťující látky na množství vody, které je třeba k naředění na úroveň neškodnou pro životní prostředí. Lze tak porovnávat nesourodé látky mezi sebou. Na základě dat JDS4 bylo z několika set nalezených látek identifikováno 33, jež byly podle zvolených kritérií označeny za potenciálně rizikové. Tento seznam však nelze brát jako definitivní, neboť úroveň poznání o škodlivosti jednotlivých látek se velmi rychle vyvíjí s ohledem na rizikovost, která je jim v současnosti příkládána. Stejně tak jsou data JDS4 obrazem určité metodiky sběru dat, jež nemusí postihnout některé souvislosti spojené s dopadem výskytu nových látek v životním prostředí.

ÚVOD

Nové či „emergentní“ znečišťující látky představují látky antropogenního původu, které jsou v životním prostředí monitorovány poměrně krátce, a proto jejich výskyt není jednoznačně zmapován a jejich účinky na organismy včetně člověka zatím nejsou zcela známy. Jde zejména o chemické látky, které člověk využívá, a tak se dostávají různými cestami do životního prostředí. Především jsou to zbytky léčiv a produktů osobní péče, pesticidy používané v zemědělství či chemikálie používané v průmyslu. Obecně jsou označovány anglickým názvem *Contaminants of Emerging Concerns* (CECs). Tyto látky jsou nacházeny nejen v odpadních, ale i v povrchových, podzemních, a dokonce i pitných vodách. Jedním z hlavních zdrojů CECs látek v životním prostředí jsou čistírny odpadních vod (ČOV), které nedokážou mnohé z nich plně odstranit [1].

Zmapování CECs látek ve vodách bylo součástí Společného průzkumu Dunaje 4 (Joint Danube Survey 4, JDS4), který proběhl v roce 2019 ve 13 zemích nacházejících se v povodí Dunaje, tj. včetně České republiky. Hlavním účelem společných průzkumů Dunaje je zajistit spolehlivé a vzájemně porovnatelné informace o vybraných ukazatelích kvality vody a stavu ekosystémů

Dunaje včetně jeho hlavních přítoků v krátkém časovém období [2]. Ve vzorcích vod odebraných v rámci JDS4 byl proveden širokospektrální cílový screening 2 362 chemických látek a jejich transformačních produktů a nalezeno bylo 586 CECs [3]. Jednou z matric, která byla analyzována v rámci JDS4, byly odpadní vody z 11 ČOV. Sledován byl přítok i odtok z jednotlivých ČOV. Seznam sledovaných ČOV uvádí *tab. 1*.

Tab. 1. Seznam sledovaných ČOV v rámci JDS4

Tab. 1. List of monitored WWTPs within JDS4

Kód profilu/Site code	Název/Name	Země/Country
JDS4-WW1	Donauwörth	Německo
JDS4-WW2	Linz-Asten	Rakousko
JDS4-WW3	Hodonín	Česká republika
JDS4-WW4	Vrakuňa (Bratislava)	Slovensko
JDS4-WW5	Győr	Maďarsko
JDS4-WW6	Novo mesto (Ločna)	Slovinsko
JDS4-WW7	Županja	Chorvatsko
JDS4-WW8	Šabac	Srbsko
JDS4-WW9	Giurgiu	Rumunsko
JDS4-WW10	Vratsa	Bulharsko
JDS4-WW11	Uzhgorod	Ukrajina

Šedá vodní stopa je součástí metodiky stanovení vodní stopy, která se zaměřuje na kvantifikaci spotřeby vody v celém životním cyklu nějakého produktu, procesu, služby či organizace. Šedá vodní stopa je definována jako množství vody, které je potřebné k naředění vypouštěného znečištění na koncentraci neškodné pro životní prostředí podle stanovených environmentálních limitů [4]. Jedná se tak o environmentální indikátor, který umožňuje vzájemně porovnávat různé znečišťující látky tím, že je převede na objem vody. Koncept vodní stopy byl představen již v roce 2002 [5], avšak zpočátku obsahoval pouze kvantitativní hodnocení pomocí modré a zelené složky. Rozšíření konceptu o kvalitativní hodnocení pomocí šedé vodní stopy proběhlo až v letech 2005–2008 [6]. Jednou z prvních studií zabývajících se šedou vodní stopou ČOV

je rumunská studie z roku 2011 [7]. Od té doby byla publikována řada dalších studií šedé vodní stopy na ČOV, jež se zabývají např. vlivem ČOV na snížení šedé vodní stopy [8–11], kvantifikací vodní a uhlíkové stopy ČOV [9, 12] či kvantifikací šedé vodní stopy průmyslových odpadních vod [13–16]. Několik prací se věnovalo i farmakům, které tvoří jednu část CECs, a jejich šedé vodní stopě [17–19].

Všechny tři zmíněné práce, jež se zabývají šedou vodní stopou farmak, byly omezeny v rozsahu sledovaných látek. Cílem předložené studie je pomocí šedé vodní stopy posoudit významnost jednotlivých CECs zjištěných v odpadních vodách během JDS4. Stanovování všech CECs v odpadních vodách je časově i finančně náročnou úlohou. Pro rutinní sledování má tedy smysl vybrat ty látky, které mají nejvyšší šedou vodní stopu.

DATA A METODIKA

Koncentrace nalezených CECs v podobě minimálních a maximálních hodnot naměřených v jednotlivých matricích byly zveřejněny formou doplňkového materiálu k článku Nq et al. [3]. Zároveň jsou s těmito hodnotami zveřejněny i hodnoty předpokládané koncentrace, při které nedochází k nepříznivým účinkům (*Predicted No Effect Concentration*, PNEC). PNEC je koncentrace chemické látky, jež označuje hranici, při níž dosud nebyly pozorovány nepříznivé účinky expozice v ekosystému. Tyto hodnoty nejsou určeny k předpovědi horní hranice koncentrace chemické látky, která má toxický účinek [20]. V ekotoxikologii se hodnoty PNEC často používají jako nástroj pro hodnocení rizik pro životní prostředí [21], např. Evropskou agenturou pro chemické látky (REACH – Nařízení o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek) a dalšími toxikologickými agenturami k posouzení rizik pro životní prostředí [20]. Hodnoty PNEC lze použít ve spojení s předpokládanými hodnotami koncentrace v prostředí (*Predicted Environmental Concentration*, PEC) k výpočtu poměru charakterizace rizika (RCR), nazývaného také rizikový kvocient (*Risk Quotient*, RQ nebo *Hazard Quotient* HQ) [22]. RCR se rovná podílu PEC/PNEC pro konkrétní chemickou látku a je deterministickým přístupem k odhadu environmentálního rizika v místním nebo regionálním měřítku. Pokud PNEC překročí PEC, znamená to, že chemická látka nepředstavuje riziko pro životní prostředí.

PNEC lze vypočítat z údajů o akutní toxicitě či chronické toxicitě pro jeden druh, nebo z údajů o distribuci citlivosti druhů (*Species Sensitivity Distribution*, SSD), případně také z údajů získaných z terénních studií či modelových zkoušek na ekosystémech [20, 23, 24]. V závislosti na typu použitých údajů se používá hodnotící faktor, jenž zohledňuje spolehlivost použitých ekotoxikologických údajů při jejich extrapolaci na celý ekosystém. Hodnota hodnotícího faktoru je závislá na nejistotě dostupných údajů a pohybuje se v rozmezí 1–1 000 [20].

V případě použití údajů z testů akutní toxicity pro výpočet hodnoty PNEC musí být prověřena úroveň jejich kvality a relevance. V ideálním případě by se tato data měla týkat druhů organismů z více trofických úrovní a/nebo taxonomických skupin [20]. Nejnížší stanovená hodnota koncentrace, vyvolávající 50% účinek (L – letální, E – jakýkoli, I – inhibiční) LC50, EC50 nebo IC50 se pak vydělí hodnotícím faktorem pro výpočet PNEC, který je pro tento případ obvykle 1 000 [20].

Při použití údajů o chronické toxicitě se pro výpočet PNEC používají stanovené hodnoty koncentrace bez pozorovaného účinku (*No Observed Effect Concentration*, NOEC). NOEC je nejvyšší testovaná koncentrace, u níž nebyl ve zkouškách chronické toxicity pozorován statisticky významný rozdíl v účinku ($p < 0,05$) ve srovnání s kontrolní skupinou. Nejnížší NOEC v souboru zkušebních údajů se vydělí hodnotícím faktorem mezi 10 a 100 v závislosti na rozmanitosti zkušebních organismů a množství dostupných údajů. Pokud je druhů nebo údajů více, hodnotící faktor je nižší [20].

Pro odvození PNEC se používá koncentrace (*Hazardous Concentration for 5% of species*, HC5), což je koncentrace, při které pět procent druhů v SSD vykazuje účinek [10]. Statistický odhad SSD hodnoty HC5 lze provést z výsledků velkého

počtu ekotoxikologických zkoušek provedených s jednou látkou za použití více trofických úrovní testovacích organismů (ryby – bezobratlí – řasy). Pro stanovení PNEC se pak hodnota HC5 dělí hodnotícím faktorem 1–5 [20]. V mnoha případech však nemusejí pro určení hodnoty HC5 statistickým postupem SSD existovat dostatečně velké soubory dat. V těchto případech se pro odvození PNEC použije hodnota NOEC [20].

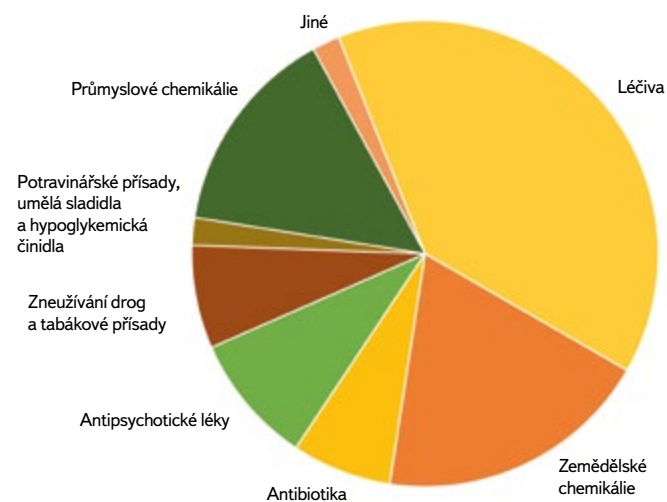
Při použití dat o vlivu látky z terénních studií či z modelových zkoušek je velikost hodnotícího faktoru specifická pro konkrétní studii či experiment [20].

Protože pro většinu nových znečišťujících látek nejsou k dispozici standardizované hodnoty maximální povolené koncentrace ve vodním prostředí (environmentální limity), byla právě hodnota PNEC použita při výpočtu šedé vodní stopy, a to dle rovnice:

$$GWF_i = \frac{L_i}{C_{max,i} - C_{nat,i}} = \frac{C_i \times Q}{PNEC_i - 0} = \frac{C_i}{PNEC_i} \quad (1)$$

kde:	GWF_i	je	šedá vodní stopy látky i
	L_i		množství vypouštěné znečišťující látky i
	$C_{max,i}$		maximální povolená koncentrace látky i ve vodním prostředí (environmentální standard)
	$C_{nat,i}$		přirozená koncentrace látky i ve vodním prostředí; pro antropogenní látky = 0
	C_i		koncentrace látky i v odpadních vodách
	Q		množství vypouštěných odpadních vod; s ohledem na cíl studie bylo uvažováno $Q = 1$
	$PNEC_i$		koncentrace látky i , u níž není předpokládán negativní vliv na životní prostředí

Celkem bylo do analýzy zahrnuto 419 CECs nalezených v odpadních vodách během JDS4. Z toho bylo 311 CECs zachyceno ve vyčištěných odpadních vodách vypouštěných z ČOV a 306 CECs v odpadních vodách přitékajících na ČOV. Jenom 198 látek bylo objeveno jak na přítoku na ČOV, tak na odtoku z ČOV. Největší podíl na nalezených CECs tvořila léčiva, kterých bylo odhaleno celkem 165, což představuje 39,4 % všech detekovaných CECs v odpadních vodách (obr. 1).



Obr. 1. Skupiny nových znečišťujících látek nalezené v odpadních vodách během JDS4
Fig. 1. Groups of emerging contaminants detected in wastewater within JDS4

Tab. 2. Rizikové CECs zjištěné v odpadních vodách během JDS4

Tab. 2. Risk CECs detected in wastewater during JDS4

Název	Kategorie	Koncentrace na odtoku [ng/l]		Koncentrace na přítoku [ng/l]		Významnost		PNEC [ng/l]	GWF na odtoku [l/l]		GWF na přítoku [l/l]	
		min	max	min	max	na přítoku	na odtoku		min	max	min	max
17beta-Estradiol	Léčiva	2,02	4,04	0,00	0,00	ANO		4,00E-04	5,04	10,09	N/A	N/A
4-tert-Octylphenol (4-t-OP)	Průmyslové chemikálie	41,00	236,00	74,00	284,00	ANO		1,00E-01	0,41	2,36	0,74	2,84
Amoxicillin	Antibiotika	89,93	272,97	22,00	163,00	ANO		7,80E-02	1,15	3,50	0,28	2,09
Azithromycin	Antibiotika	4,85	202,33	1,10	24,00	ANO		1,90E-02	0,26	10,65	0,06	1,26
Candesartan	Léčiva	7,40	44,00	15,00	24,00	ANO	ANO	3,10E-03	2,39	14,19	4,84	7,74
Carbamazepine	Léčiva	28,00	343,00	21,00	181,00	ANO		5,00E-02	0,56	6,86	0,42	3,62
Carbamazepine-10,11-dihydro-10,11-dihydroxy	Léčiva	1 041,96	5 726,77	270,00	4 950,00	ANO		3,65E+00	0,29	1,57	0,07	1,36
Celecoxib	Léčiva	188,00	188,00	19,00	19,00	ANO		9,00E-02	2,09	2,09	0,21	0,21
Ciprofloxacin	Antibiotika	28,96	617,27	0,00	0,00	ANO		8,90E-02	0,33	6,94	N/A	N/A
Cloxacillin	Antibiotika	16,00	154,00	91,00	2 025,00	ANO	ANO	4,50E-02	0,36	3,42	2,02	45,00
Diazinon	Zemědělské chemikálie	1,69	304,86	4,54	4,54	ANO		1,00E-02	0,17	30,49	0,45	0,45
Diclofenac	Léčiva	280,00	1 312,00	330,00	1 320,00	ANO	ANO	5,00E-02	5,60	26,24	6,60	26,40
Dicloxacillin	Antibiotika	5,30	12,00	3,80	12,00	ANO		5,10E-03	1,04	2,35	0,75	2,35
Dodecyl-benzenesulfonate	Průmyslové chemikálie	5,67	110,44	90,80	1 325,27		ANO	1,20E-01	0,05	0,92	0,76	11,04
Fendiline	Léčiva	171,00	171,00	0,00	0,00	ANO		2,40E-02	7,13	7,13	N/A	N/A
Fipronil	Zemědělské chemikálie	1,62	59,70	7,70	30,00	ANO	ANO	7,70E-04	2,10	77,53	10,00	38,96
Fipronil-sulfide	Zemědělské chemikálie	90,60	90,60	58,00	58,00	ANO	ANO	1,20E-02	7,55	7,55	4,83	4,83
Galaxolidone	Léčiva	859,00	9 884,00	20,00	2 947,00	ANO	ANO	1,00E-01	8,59	98,84	0,20	29,47
Imidacloprid	Zemědělské chemikálie	21,65	327,67	15,00	34,00	ANO	ANO	8,30E-03	2,61	39,48	1,81	4,10
Lorazepam	Antipsychotické léky	209,00	209,00	236,00	236,00	ANO		9,60E-02	2,18	2,18	2,46	2,46
Metazachlor	Zemědělské chemikálie	13,57	962,50	0,00	0,00	ANO		2,00E-02	0,68	48,13	N/A	N/A
Methoprene	Zemědělské chemikálie	1,00	5,50	0,00	0,00	ANO		1,40E-03	0,71	3,93	N/A	N/A
N-Methyldodecylamine	Průmyslové chemikálie	0,00	0,00	40,00	763,00		ANO	1,04E-01	N/A	N/A	0,38	7,34
Orlistat (Na)	Léčiva	0,00	0,00	16,00	35,00		ANO	8,00E-03	N/A	N/A	2,00	4,38

Název	Kategorie	Koncentrace na odtoku [ng/l]		Koncentrace na přítoku [ng/l]		Významnost		PNEC [ng/l]	GWF na odtoku [l/l]		GWF na přítoku [l/l]	
		min	max	min	max	na přítoku	na odtoku		min	max	min	max
PFOS	Průmyslové chemikálie	3,50	27,00	27,00	27,00	ANO	ANO	6,50E-04	5,38	41,54	41,54	41,54
Phosphate-2-Ethylhexyl diphenyl (EHDP)	Průmyslové chemikálie	9,50	129,59	0,00	0,00	ANO		1,80E-02	0,53	7,20	N/A	N/A
Phosphate-Tris(2-ethylhexyl) (TEHP)	Průmyslové chemikálie	1,57	142,72	0,00	0,00	ANO		3,90E-02	0,04	3,66	N/A	N/A
pp-DDD	Zemědělské chemikálie	0,29	0,97	0,00	0,00	ANO		5,00E-04	0,58	1,95	N/A	N/A
pp-DDE	Zemědělské chemikálie	0,26	1,26	0,00	0,00	ANO		4,00E-04	0,65	3,16	N/A	N/A
Rifaximin	Antibiotika	0,00	0,00	25,00	95,00		ANO	2,50E-03	N/A	N/A	10,00	38,00
Telmisartan	Léčiva	11,00	844,00	7,10	2 021,00	ANO	ANO	5,50E-04	20,00	1 534,55	12,91	3 674,55
Terbutryn	Zemědělské chemikálie	1,36	103,52	0,41	2,70	ANO		6,50E-02	0,02	1,59	0,01	0,04
Trenbolone	Léčiva	3,10	5,70	0,00	0,00	ANO		1,30E-03	2,38	4,38	N/A	N/A

Pozn.: Ve sloupcích maximálních koncentrací a PNEC jsou červeně označeny tři nejvyšší hodnoty.

Dále byly stanoveny hodnoty šedé vodní stopy jednotkového objemu podle rovnice 1 minimální a maximální koncentrace pro každou CECs na přítoku na ČOV a na odtoku z ČOV. Jako rizikové byly označeny CECs, které měly maximální hodnotu šedé vodní stopy vyšší než 0,1 % maximální hodnoty šedé vodní stopy látky s nejvyšší hodnotou na přítoku do ČOV, resp. na odtoku z ČOV. Hodnota 0,1 % byla zvolena s ohledem na velmi vysoké hodnoty šedé vodní stopy látky s nejvyšší hodnotou na přítoku do ČOV, resp. na odtoku z ČOV (viz kap. Výsledky), jež ze statistického pohledu představují odlehlou hodnotu. Dalším důvodem, který vedl k volbě takto vysokého rozpětí, jsou nejistoty spojené se stanovením PNEC (viz Diskuze), kdy je používán tzv. faktor hodnocení (*Assessment Factor*) 1 až 1 000.

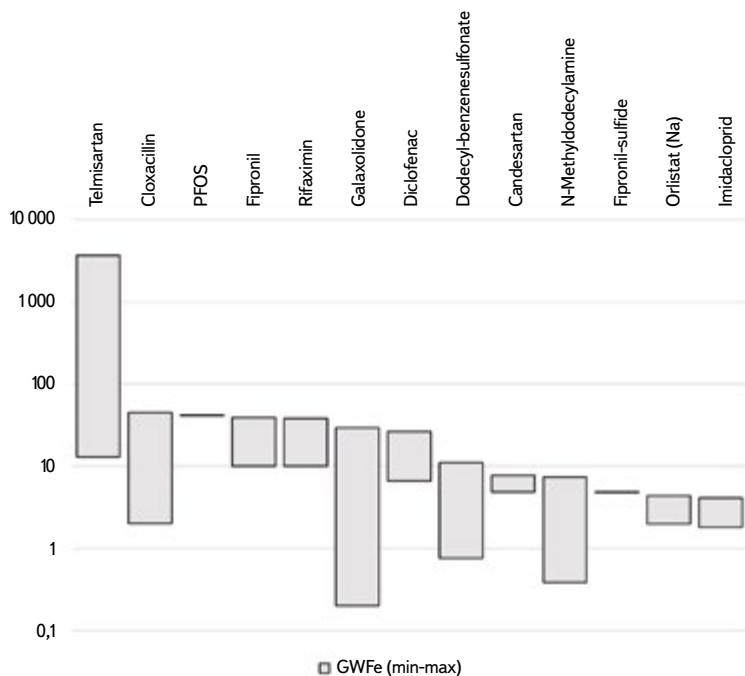
hodnoty šedé vodní stopy látky s nejvyšší šedou vodní stopou splňuje na přítoku na ČOV 13 látek (obr. 2) a na odtoku z ČOV 29 látek (obr. 3).

Nejvyšší hodnotu šedé vodní stopy na přítoku i odtoku do/z ČOV má látka Telmisartan používaná k léčbě vysokého krevního tlaku. Hodnota šedé vodní stopy Telmisartanu na přítoku na ČOV je více než 80x vyšší než druhá nejvyšší hodnota šedé vodní stopy, kterou vykazuje antibiotikum Cloxacillin. V případě odtoku z ČOV je šedá vodní stopa Telmisartanu více než 15x větší než šedá vodní stopa druhé látky v pořadí, jíž je Galaxolidone. Přitom Galaxolidone má skoro 12x vyšší maximální koncentraci než Telmisartan, a představuje tak látku s nejvyšší koncentrací ve vypouštěných odpadních vodách.

VÝSLEDKY

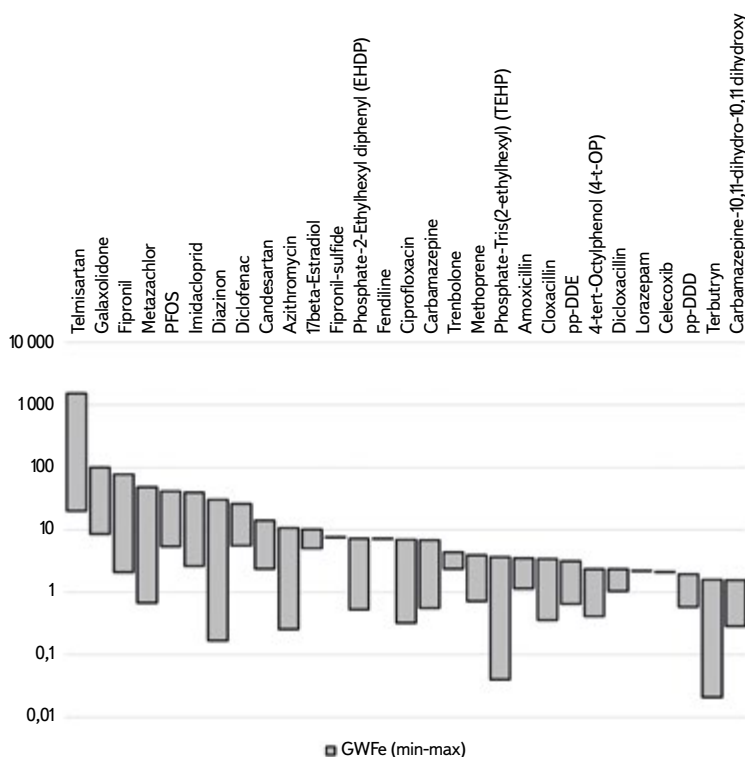
Na základě postupu popsaného v části Data a metodika bylo vybráno 33 CECs látek (tab. 2). Celkem bylo sledováno 11 látek ze skupiny léčiv, šest látek ze skupiny antibiotik, jedna látka ze skupiny antipsychotik, devět látek ze skupiny chemikálií používaných v zemědělství a šest látek ze skupiny průmyslových chemikálií.

Z 33 nalezených CECs látek nebyly v odtékajících odpadních vodách z ČOV nalezeny tři (Rifaximin, N-Methyl-dodecylamine a Orlistat (Na)). Naopak 10 látek (17beta-Estradiol, Ciprofloxacin, Fendiline, Metazachlor, Methoprene, Phosphate-2-Ethylhexyl diphenyl (EHDP), Phosphate-Tris(2-ethylhexyl) (TEHP), pp-DDD, pp-DDE, Trenbolone) nebylo nalezeno v nátoce na ČOV. Kritérium maximální hodnoty šedé vodní stopy dané látky vyšší než 0,1 % maximální



Obr. 2. Maximální a minimální hodnoty šedé vodní stopy látek označených jako rizikové na přítoku do ČOV

Fig. 2. Maximum and minimum GWF of risk substances at WWTP inflows



Obr. 3. Maximální a minimální hodnoty šedé vodní stopy látek označených jako rizikové na odtoku z ČOV

Fig. 3. Maximum and minimum GWF of risk substances at WWTP outflows

DISKUZE

Nejistoty spojené s použitím PNEC

Použití hodnot PNEC namísto maximální povolené koncentrace C_{max} v rovnici 1 vede k určitým nejistotám v dosažených výsledcích. První nejistota spočívá v reprezentativnosti stanovení hodnot PNEC pro jednotlivé látky. PNEC jsou založeny na testech toxicity a ekotoxikologie, které se provádějí na určitých druhích organismů a za určitých podmínek. Ekotoxikologická data používaná k určení PNEC mohou být získána z různých studií, jež se liší v použitých metodách a podmínkách. Tyto rozdíly mohou vést k různým hodnotám PNEC pro stejnou látku. Např. v této studii je nejproblématictější látkou Telmisartan. To je dáno kombinací vysokých koncentrací této látky v odpadních vodách a zároveň velmi nízkými hodnotami PNEC (55 ng/l), která byla převzata ze zdrojové studie [3] a zároveň použita v této studii. V jiných studiích však lze nalézt ještě nižší hodnoty PNEC pro Telmisartan, např. 37 ng/l [25] nebo 26 ng/l [26]. Naopak průběžně aktualizovaná ekotoxikologická databáze NORMAN [27] uvádí poslední platnou hodnotu 49 $\mu\text{g/l}$ (z 27. listopadu 2022), tedy o tři řády vyšší.

Při určování PNEC se musejí zohlednit různé faktory, jako jsou koncentrace a expozice látky v daném prostředí. Tyto faktory mohou být obtížně určitelné, což může vést k nejistotám v hodnotách PNEC. PNEC se často stanovují pomocí modelů. Při použití modelů pro predikci chování látek v prostředí mohou vznikat nejistoty, protože modely nemusejí přesně zohledňovat všechny faktory ovlivňující chování látek v daném prostředí. Pro nové znečišťující látky nejsou vždy k dispozici dostatečné toxikologické údaje pro robustní stanovení hodnoty PNEC. V takových případech může být těžké určit bezpečnou úroveň expozice pro životní prostředí.

Další nejistota spočívá v nejasné interakci mezi jednotlivými látkami. Hodnoty PNEC jsou stanoveny pro jednotlivé látky a neposkytují informaci o tom, jak se tyto látky mohou navzájem ovlivňovat s dalšími látkami v životním prostředí. Vzájemné interakce CECs látek se v ekotoxikologii řeší pomocí vyjádření účinku směsí [28–30].

Srovnání s jinými pracemi

Šedou vodní stopou farmak a jiných CECs v odpadních vodách se dosud zabýval jen omezený počet publikací [17–19]. Zmíněné práce však kvantifikovaly celkovou šedou vodní stopu, zatímco tento příspěvek se zabývá šedou vodní stopou jednotkového objemu vypouštěných odpadních vod. Přímé srovnání hodnot tak není možné. Lze však porovnat, zda látky, jež byly sledovány v předchozích studiích, patří mezi významné CECs i podle výsledků této studie. Martínez-Alcalá et al. [19] se ve své práci zabývali pouze čtyřmi nejběžnějšími léčivy (Karbamazepin, Diklofenak, Ketoprofen a Naproxen). Obdobně jako naše studie, tak i studie Martínez-Alcalá et al. [19] identifikovala jako více rizikové látky Karbamazepin a Diklofenak. Ze studie Wöhler et al. [17] vyplývá, že největší šedou vodní stopu má estrogen Ethinylestradiol, který však nebyl během JDS4 v odpadních vodách indikován. Hlavním důvodem pro nejvyšší šedou vodní stopu této látky je extrémně nízká hodnota PNEC = 0,00001 $\mu\text{g/l}$, použitá ve studii Wöhler et al. [17]. Jako látka s druhou nejvyšší vodní stopou v Nizozemsku bylo identifikováno léčivo pro zmírnění úzkosti a duševních depresí Oxazepam, které však v naší studii nebylo identifikováno jako riziková látka. Důvodem je použití velmi rozdílných hodnot PNEC – v naší studii byla použita hodnota 0,37 $\mu\text{g/l}$, zatímco ve studii Wöhler et al. [17] jen 0,0019 $\mu\text{g/l}$. Naopak v Německu vykazoval druhou nejvyšší šedou vodní stopu Diklofenak, což odpovídá zjištěním i v naší studii, která též řadí Diklofenak mezi rizikové látky z pohledu šedé vodní stopy.

Šedá vodní stopa jednotkového objemu stanovená podle rovnice 1 odpovídá RQ definovanému jako poměr mezi PEC a PNEC, pokud je aplikován na

odpadní vody. Obvykle je ale RQ aplikován na vodní útvar, jako jsou řeky, jezera a nádrže. V několika případech byl však aplikován i na odpadní vody, jako např. ve studii Chiffre et al. [31], kde mají nejvyšší rizikový kvocient antibiotika Sulfamethoxazol a Ofloxacin. Ofloxacin nebyl v rámci JDS4 na sledovaných ČOV v odpadních vodách indikován. Sulfamethoxazol byl v rámci JDS4 v odpadních vodách nalezen, ale hodnoty šedé vodní stopy (alias rizikový kvocient) byly velmi nízké, a proto v naší studii nebyl označen za rizikovou látku. Tento rozdíl mezi oběma studiemi je způsoben velmi rozdílnou hodnotou PNEC pro Sulfamethoxazol, která v této studii činila 0,6 µg/l, zatímco ve studii Chiffre et al. [31] byla 0,027 µg/l. Podobně velké rozdíly v hodnotách PNEC lze nalézt i u dalších dvou látek, Diklofenaku a Ciprofloxacinu, které byly zkoumány v obou porovnávaných studiích. V ostatních sledovaných látkách se však tyto dvě studie nepřekrývají. To ukazuje na velký význam používání co nejméně nejvyšších hodnot PNEC založených na nejnovějších poznacích, neboť vědecké znalosti v oblasti PNEC se v současnosti velmi rychle vyvíjejí v souvislosti s pozorností, která je těmto novým znečišťujícím látkám věnována společností.

Další studií, jež se zabývala RQ nových znečišťujících látek v odpadních vodách, je poměrně nová egyptská studie [32]. V této práci jsou jako látky s nejvyšším rizikovým kvocientem identifikovány Ampicilin, Diklofenak a Sulfamethoxazol. Všechny tyto látky byly nalezeny v odpadních vodách i v rámci JDS4, ale pouze Diklofenak byl zařazen mezi rizikové. Egyptská studie neuvádí zdroj použitých hodnot PNEC, ale ze srovnání množství jednotlivých látek ve vypouštěných odpadních vodách je zřejmé, že koncentrace na odtoku byly o 1–3 řády vyšší než maximální koncentrace těchto látek zjištěných na odtoku z ČOV v rámci JDS4. Z toho plyne, že množství těchto nových znečišťujících látek vypouštěných prostřednictvím vyčištěných odpadních vod může být závislé na mnoha různých faktorech. Jedním z faktorů je technologické vybavení ČOV a její schopnost odstraňovat tyto látky. Dalšími faktory jsou např. klimatické a provozní podmínky [33]. Významným faktorem je také množství těchto nových látek na přítoku na ČOV, což je ovlivněno strukturou odkanalizované oblasti, složením obyvatelstva, sociálními a zdravotnickými zvyklostmi atd. [34]. Např. koncentrace CECs v nečištěné odpadní vodě bývá v asijském regionu vyšší než v Evropě nebo Severní Americe [35].

Screening vs. dlouhodobá data

Data získaná během JDS4 reprezentují krátkodobé vzorky odpadních vod. Dynamika CECs v odpadních vodách však podléhá sezonní [36, 37] i denní variabilitě. Denní variabilita je eliminována odebráním 24hodinových vzorků, ale sezonní variabilitu není možno screeningovým měřením v rámci JDS4 postihnout. Velmi zajímavý pohled na sezonní variabilitu CECs látek v odpadních vodách přináší nedávno publikované studie dvou ČOV v Irsku [38], kde většina sledovaných CECs látek vykazuje vysokou variabilitu během roku. Vzhledem k tomu, že zveřejněná data nevykazují jednoznačnou závislost na ročním období a často kolísají v jednotlivých měsících zcela náhodně, lze předpokládat, že v těchto datech je promítnuta i krátkodobá variabilita způsobená řadou jiných faktorů.

Šedá vodní stopa kalového hospodářství

V této studii jsme se nezabývali problematikou vnosu CECs látek do vodního prostředí z odvodňování kalů a aplikací kalů na půdu, ačkoli jde o jeden z významných zdrojů vnosu těchto látek do životního prostředí [39–41]. Pro kvantifikaci vstupu CECs látek z kalového hospodářství však nejsou v současnosti dostatečné podklady.

ZÁVĚR

Provedená studie se zabývala významností jednotlivých CECs zjištěných v odpadních vodách v rámci JDS4. S ohledem na cíle studie, tj. stanovení významnosti jednotlivých látek, byla stanovena šedá vodní stopa jednotkového objemu odpadních vod, tedy nikoli celková šedá vodní stopa. Jako nejproblematictější se ukázala látka Telmisartan používaná k léčbě vysokého krevního tlaku. Hlavním důvodem jsou jednak poměrně vysoké koncentrace detekované v odpadních vodách, jednak i velmi nízká hodnota PNEC. Srovnání výsledků této studie s jinými studiemi však ukazuje na hlavní problémy, s nimiž se takové studie v současnosti potýkají. Prvním problémem je výběr hodnot PNEC. Pro jednotlivé CECs lze v literatuře nalézt velmi rozdílné hodnoty PNEC, často se lišící o několik řádů. Druhým problémem je výběrovost většiny studií, jež obvykle zahrnují pouze několik vybraných CECs látek. Z tohoto pohledu JDS4 přinesl unikátní sadu dat, ačkoli se jedná jen o 11 vybraných ČOV v povodí Dunaje. Dostupná data však neumožnila vyhodnocení absolutní významnosti, pro kterou by bylo třeba znát i celkové množství jednotlivých CECs látek v odpadních vodách jednotlivých ČOV, a nikoli jen jejich maximální a minimální koncentrace.

Literatura

- [1] RATHI, B. S., KUMAR, P. S., SHOW, P.-L. A Review on Effective Removal of Emerging Contaminants from Aquatic Systems: Current Trends and Scope for Further Research. *Journal of Hazardous Materials* [on-line]. 2021, 409, 124413 [vid. 12. březen 2023]. ISSN 0304-3894. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124413
- [2] NĚMEJCOVÁ, D., HUDCOVÁ, H., BEDĚRKOVÁ, I. Společný průzkum Dunaje 4 – největší mezinárodní říční expedice roku 2019 se blíží. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* [on-line]. 2019, 61(2), s. 50–51 [vid. 11. duben 2019]. ISSN 0322–8916, 1805–6555. Dostupné z: <https://www.vtei.cz/2019/04/spolecny-pruzkum-dunaje-4-nejvetsti-mezinarodni-ricni-expedice-roku-2019-se-blizi/>
- [3] NG, K., ALYGIZAKIS, N., NIKA, M.-C., GALANI, A., OSWALD, P., OSWALDOVA, M., ČIRKA, L., KUNKEL, U., MACHERIUS, A., SENGL, M., MARIANI, G., TAVAZZI, S., SKEJO, H., GAWLIK, B. M., THOMADIS, N. S., SLOBODNIK, J. Wide-Scope Target Screening Characterization of Legacy and Emerging Contaminants in the Danube River Basin by Liquid and Gas Chromatography Coupled with High-Resolution Mass Spectrometry [on-line]. *Water Research*. 2023, 230, 119539 [vid. 28. únor 2023]. ISSN 0043-1354. Dostupné z: doi: 10.1016/j.watres.2022.119539
- [4] HOEKSTRA, A.Y., CHAPAGAIN, A. K., ALDAYA, M. M., MEKONNEN, M. M. *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. London; Washington, DC: Earthscan, 2011. ISBN 978-1-84971-279-8.
- [5] HOEKSTRA, A.Y., HUNG, P. Q. *Virtual Water Trade – A Quantification of Virtual Water Flows between Nations in Relation to International Crop Trade*. 12 [on-line]. Delft, The Netherlands: UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2002 [vid. 16. leden 2019]. Value of Water Research Report Series. Dostupné z: https://waterfootprint.org/media/downloads/Report11_1.pdf
- [6] ANSORGE, L., STEJSKALOVÁ, L. Citation Accuracy: A Case Study on Definition of the Grey Water Footprint [on-line]. *Publications*. 2023, 11(1), s. 8 [vid. 16. únor 2023]. ISSN 2304-6775. Dostupné z: doi: 10.3390/publications11010008
- [7] ENE, S.-A., TEODOSIU, C. Grey Water Footprint Assessment of the Wastewater Treatment Plants in the Prut-Bârlad Catchment. *Buletinul Institutului Politehnic din Iași. Chimie și inginerie chimică*. 2011, LVII (LXI)(2), s. 127–143. ISSN 0254-7104.
- [8] GÓMEZ-LLANOS, E., DURÁN-BARROSO, P., MATÍAS-SÁNCHEZ, A. Management Effectiveness Assessment in Wastewater Treatment Plants through a New Water Footprint Indicator [on-line]. *Journal of Cleaner Production*. 2018, 198, s. 463–471. ISSN 0959-6526. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jclepro.2018.07.062
- [9] GU, Y., DONG, Y., WANG, H., KELLER, A., XU, J., CHIRAMBA, T., LI, F. Quantification of the Water, Energy and Carbon Footprints of Wastewater Treatment Plants in China Considering a Water–Energy Nexus Perspective [on-line]. *Ecological Indicators*. 2016, 60, s. 402–409 [vid. 5. listopad 2022]. ISSN 1470-160X. Dostupné z: doi: 10.1016/j.ecolind.2015.07.012
- [10] ANSORGE, L., STEJSKALOVÁ, L., DLABAL, J., ČEJKA, E. Wpływ oczyszczalni ścieków na redukcję zanieczyszczeń odprowadzanych w czeskiej części dorzecza Odry [on-line]. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*. 2020, 29(2), s. 123–135 [vid. 29. červen 2020]. ISSN 1732-9353. Dostupné z: doi: 10.22630/PNIKS.2020.29.2.11
- [11] STEJSKALOVÁ, L., ANSORGE, L., KUČERA, J., ČEJKA, E. Role of Wastewater Treatment Plants in Pollution Reduction: Evaluated by Grey Water Footprint Indicator [on-line]. *Scientific Review Engineering and Environmental Studies*. 2022, 31(1), s. 26–36 [vid. 10. březen 2022]. ISSN 2543-7496. Dostupné z: doi: 10.22630/srees.2313
- [12] GÓMEZ-LLANOS, E., MATÍAS-SÁNCHEZ, A., DURÁN-BARROSO, P. Wastewater Treatment Plant Assessment by Quantifying the Carbon and Water Footprint [on-line]. *Water*. 2020, 12(11), 3204 [vid. 12. březen 2022]. ISSN 2073-4441. Dostupné z: doi: 10.3390/w12113204

- [13] YAN, F., KANG, Q., WANG, S., WU, S., QIAN, B. Improved Grey Water Footprint Model of Noncarcinogenic Heavy Metals in Mine Wastewater [on-line]. *Journal of Cleaner Production*. 2021, 284, s. 125–340 [vid. 26. září 2021]. ISSN 0959-6526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2020.125340
- [14] SARAIVA, A., RODRIGUES, G., MAMEDE, H., SILVESTRE, J., DIAS, I., FELICIANO, M., OLIVEIRA E SILVA, P., OLIVEIRA, M. The Impact of the Winery's Wastewater Treatment System on the Winery Water Footprint [on-line]. *Water Science and Technology*. 2019, 80(10), s. 1 823–1 831 [vid. 6. prosinec 2020]. ISSN 0273-1223. Dostupné z: doi:10.2166/wst.2019.432
- [15] JOHNSON, M. B., MEHRVAR, M. An Assessment of the Grey Water Footprint of Winery Wastewater in the Niagara Region of Ontario, Canada [on-line]. *Journal of Cleaner Production*. 2019, 214, s. 623–632 [vid. 9. únor 2020]. ISSN 0959-6526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2018.12.311
- [16] HUANG, Y., ZHOU, B., HAN, R., LU, X., LI, S., LI, N. China's Industrial Gray Water Footprint Assessment and Implications for Investment in Industrial Wastewater Treatment [on-line]. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020, 27(7), s. 7 188–7 198 [vid. 25. srpen 2020]. ISSN 1614-7499. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-019-07405-y
- [17] WÖHLER, L., NIEBAUM, G., KROL, M., HOEKSTRA, A. Y. The Grey Water Footprint of Human and Veterinary Pharmaceuticals [on-line]. *Water Research X*. 2020, 7, 100044 [vid. 3. květen 2020]. ISSN 2589-9147. Dostupné z: doi:10.1016/j.wroa.2020.100044
- [18] WÖHLER, L., BROUWER, P., AUGUSTIJN, D. C. M., HOEKSTRA, A. Y., HOGEBOOM, R. J., IRVINE, B., LÄMMCHEN, V., NIEBAUM, G., KROL, M. S. An Integrated Modelling Approach to Derive the Grey Water Footprint of Veterinary Antibiotics [on-line]. *Environmental Pollution*. 2021, 288, 117746 [vid. 11. prosinec 2021]. ISSN 0269-7491. Dostupné z: doi:10.1016/j.envpol.2021.117746
- [19] MARTÍNEZ-ALCALÁ, I., PELLICER-MARTÍNEZ, F., FERNÁNDEZ-LÓPEZ, C. Pharmaceutical Grey Water Footprint: Accounting, Influence of Wastewater Treatment Plants and Implications of the Reuse [on-line]. *Water Research*. 2018, 135, s. 278–287 [vid. 9. únor 2020]. ISSN 0043-1354. Dostupné z: doi:10.1016/j.watres.2018.02.033
- [20] ECB. *Technical Guidance Document on Risk Assessment – Part II* [on-line]. B. m.: European Commission – Joint Research Centre Institute for Health and Consumer Protection European Chemicals Bureau (ECB), 2003 [vid. 21. březen 2023]. Dostupné z: https://echa.europa.eu/documents/10162/987906/tgdpart2_2ed_en.pdf/
- [21] LEI, B. L., HUANG, S. B., JIN, X. W., WANG, Z. Deriving the Aquatic Predicted No-Effect Concentrations (PNECs) of Three Chlorophenols for the Taihu Lake, China. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* [on-line]. 2010, 45(14), s. 1 823–1 831 [vid. 21. březen 2023]. ISSN 1093-4529. Dostupné z: doi:10.1080/10934529.2010.520495
- [22] BELDEN, J. Chapter 28 – Introduction to Ecotoxicology. In: POPE, C. N., LIU, J. (eds.) *An Introduction to Interdisciplinary Toxicology* [on-line]. B. m.: Academic Press, 2020 [vid. 11. březen 2023], s. 381–393. ISBN 978-0-12-813602-7. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-813602-7.00028-4
- [23] FOX, D. R., VAN DAM, R. A., FISHER, R., BATLEY, G. E., TILLMANN, A. R., THORLEY, J., SCHWARZ, C. J., SPRY, D. J., MCTAVISH, K. Recent Developments in Species Sensitivity Distribution Modeling. *Environmental Toxicology and Chemistry* [on-line]. 2021, 40(2), s. 293–308 [vid. 21. březen 2023]. ISSN 1552-8618. Dostupné z: doi:10.1002/etc.4925
- [24] JIN, X., ZHA, J., XU, Y., GIESY, J. P., RICHARDSON, K. L., WANG, Z. Derivation of Predicted No Effect Concentrations (PNEC) for 2,4,6-trichlorophenol Based on Chinese Resident Species [on-line]. *Chemosphere*. 2012, 86(1), s. 17–23 [vid. 21. březen 2023]. ISSN 0045-6535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2011.08.040
- [25] FIGUËRE, R., WAARA, S., AHRENS, L., GOLOVKO, O. Risk-Based Screening for Prioritisation of Organic Micropollutants in Swedish Freshwater [on-line]. *Journal of Hazardous Materials*. 2022, 429, 128302 [vid. 19. duben 2022]. ISSN 03043894. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhazmat.2022.128302
- [26] ZHOU, S., DI PAOLO, C., WU, X., SHAO, Y., SEILER, T.-B., HOLLERT, H. Optimization of Screening-Level Risk Assessment and Priority Selection of Emerging Pollutants – The Case of Pharmaceuticals in European Surface Waters [on-line]. *Environment International*. 2019, 128, s. 1–10 [vid. 25. říjen 2021]. ISSN 0160-4120. Dostupné z: doi:10.1016/j.envint.2019.04.034
- [27] DULIO, V., KOSCHORRECK, J., VAN BAVEL, B., VAN DEN BRINK, P., HOLLENDER, J., MUNTJE, J., SCHLABACH, M., AALIZADEH, R., AGERSTRAND, M., AHRENS, L., ALLAN, I., ALYGIZAKIS, N., BARCELO, D., BOHLIN-NIZZETTO, P., BOUTROUP, S., BRACK, W., BRESSY, A., CHRISTENSEN, J. H., CIRKA, L., COVACI, A., DERKSEN, A., DEVILLER, G., DINGEMANS, M. M. L., ENGWALL, M., FATTA-KASSINOS, D., GAGO-FERRERO, P., HERNÁNDEZ, F., HERZKE, D., HILSCHEROVÁ, K., HOLLERT, H., JUNGHANS, M., KASPRZYK-HORDERN, B., KEITER, S., KOOLS, S. A. E., KRUIVE, A., LAMBROPOULOU, D., LAMOREE, M., LEONARDS, P., LOPEZ, B., LÓPEZ DE ALDA, M., LUNDY, L., MAKOVINSKÁ, J., MARIGÓMEZ, I., MARTIN, J. W., MCHUGH, B., MIÈGE, C., O'TOOLE, S., PERKOLA, N., POLESSELLO, S., POSTHUMA, L., RODRIGUEZ-MOAZ, S., ROESSINK, I., ROSTKOWSKI, P., RUEDEL, H., SAMANIPOUR, S., SCHULZE, T., SCHYMANSKI, E. L., SENGL, M., TARÁBEK, P., TEN HULSCHER, D., THOMAIDIS, N., TOGOLA, A., VALSECCHI, S., VAN LEEUWEN, S., VON DER OHE, P., VORKAMP, K., VRANA, B., SLOBODNIK, J. The NORMAN Association and the European Partnership for Chemicals Risk Assessment (PARC): Let's Cooperate [on-line]! *Environmental Sciences Europe*. 2020, 32(1), 100 [vid. 9. březen 2023]. ISSN 2190-4715. Dostupné z: doi:10.1186/s12302-020-00375-w
- [28] BARATA, C., BAIRD, D. J., NOGUEIRA, A. J. A., SOARES, A. M. V. M., RIVA, M. C. Toxicity of Binary Mixtures of Metals and Pyrethroid Insecticides to *Daphnia Magna* Straus. Implications for Multi-Substance Risks Assessment [on-line]. *Aquatic Toxicology*. 2006, 78(1), s. 1–14 [vid. 21. březen 2023]. ISSN 0166-445X. Dostupné z: doi:10.1016/j.aquatox.2006.01.013
- [29] GINEBREDA, A., KUZMANOVIC, M., GUASCH, H., DE ALDA, M. L., LÓPEZ-DOVAL, J. C., MUÑOZ, I., RICART, M., ROMANÍ, A. M., SABATER, S., BARCELÓ, D. Assessment of Multi-Chemical Pollution in Aquatic Ecosystems Using Toxic Units: Compound Prioritization, Mixture Characterization and Relationships with Biological Descriptors [on-line]. *Science of The Total Environment*. 2014, 468–469, s. 715–723 [vid. 19. březen 2023]. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2013.08.086
- [30] BACKHAUS, T., FAUST, M. Predictive Environmental Risk Assessment of Chemical Mixtures: A Conceptual Framework [on-line]. *Environmental Science & Technology*. 2012, 46(5), s. 2 564–2 573 [vid. 21. březen 2023]. ISSN 0013-936X. Dostupné z: doi:10.1021/es2034125
- [31] CHIFFRE, A., DEGIORGI, F., BULETÉ, A., SPINNER, L., BADOT, P.-M. Occurrence of Pharmaceuticals in WWTP Effluents and their Impact in a Karstic Rural Catchment of Eastern France [on-line]. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016, 23(24), s. 25 427–25 441 [vid. 11. březen 2023]. ISSN 1614-7499. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-016-7751-5
- [32] BADAWY, M. I., EL-GOHARY, F. A., ABDEL-WAHED, M. S., GAD-ALLAH, T. A., ALI, M. E. M. Mass Flow and Consumption Calculations of Pharmaceuticals in Sewage Treatment Plant with Emphasis on the Fate and Risk Quotient Assessment [on-line]. *Scientific Reports*. 2023, 13(1), 3500 [vid. 11. březen 2023]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-023-30477-3
- [33] RODRIGUEZ-NARVAEZ, O. M., PERALTA-HERNANDEZ, J. M., GOONETILLEKE, A., BANDALA, E. R. Treatment Technologies for Emerging Contaminants in Water: A Review [on-line]. *Chemical Engineering Journal*. 2017, 323, s. 361–380 [vid. 11. březen 2023]. ISSN 1385-8947. Dostupné z: doi:10.1016/j.cej.2017.04.106
- [34] HAWASH, H. B., MONEER, A. A., GALHOUM, A. A., ELGARAYH, A. M., MOHAMED, W. A. A., SAMY, M., EL-SEEDI, H. R., GABALLAH, M. S., MUBARAK, M. F., ATTIA, N. F. Occurrence and Spatial Distribution of Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) in the Aquatic Environment, their Characteristics, and Adopted Legislations [on-line]. *Journal of Water Process Engineering*. 2023, 52, 103490 [vid. 3. březen 2023]. ISSN 2214-7144. Dostupné z: doi:10.1016/j.jwpe.2023.103490
- [35] TRAN, N. H., REINHARD, M., GIN, K.Y.-H. Occurrence and Fate of Emerging Contaminants in Municipal Wastewater Treatment Plants from Different Geographical Regions. A Review [on-line]. *Water Research*. 2018, 133, s. 182–207 [vid. 11. březen 2023]. ISSN 0043-1354. Dostupné z: doi:10.1016/j.watres.2017.12.029
- [36] CASTIGLIONI, S., BAGNATI, R., FANELLI, R., POMATI, F., CALAMARI, D., ZUCCATO, E. Removal of Pharmaceuticals in Sewage Treatment Plants in Italy [on-line]. *Environmental Science & Technology*. 2006, 40(1), s. 357–363 [vid. 11. březen 2023]. ISSN 0013-936X. Dostupné z: doi:10.1021/es050991m
- [37] ČESEN, M., HEATH, D., KRIVEC, M., KOŠMRLJ, J., KOSJEK, T., HEATH, E. Seasonal and Spatial Variations in the Occurrence, Mass Loadings and Removal of Compounds of Emerging Concern in the Slovene Aqueous Environment and Environmental Risk Assessment [on-line]. *Environmental Pollution*. 2018, 242, s. 143–154 [vid. 12. březen 2023]. ISSN 0269-7491. Dostupné z: doi:10.1016/j.envpol.2018.06.052
- [38] RAPP-WRIGHT, H., REGAN, F., WHITE, B., BARRON, L. P. A Year-Long Study of the Occurrence and Risk of over 140 Contaminants of Emerging Concern in Wastewater Influent, Effluent and Receiving Waters in the Republic of Ireland. *Science of the Total Environment* [on-line]. 2023, 860, 160379 [vid. 11. březen 2023]. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2022.160379
- [39] SAIDULU, D., GUPTA, B., GUPTA, A. K., GHOSAL, P. S. A Review on Occurrences, Eco-Toxic Effects, and Remediation of Emerging Contaminants from Wastewater: Special Emphasis on Biological Treatment Based Hybrid Systems [on-line]. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2021, 9(4), 105282 [vid. 12. březen 2023]. ISSN 2213-3437. Dostupné z: doi:10.1016/j.jece.2021.105282
- [40] ASTUTI, M. P., NOTODARMOJO, S., PRIADI, C. R., PADHYE, L. P. Contaminants of Emerging Concerns (CECs) in a Municipal Wastewater Treatment Plant in Indonesia [on-line]. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023, 30(8), s. 21 512–21 532 [vid. 12. březen 2023]. ISSN 1614-7499. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-022-23567-8
- [41] LAPWORTH, D. J., BARAN, N., STUART, M. E., WARD, R. S. Emerging Organic Contaminants in Groundwater: A Review of Sources, Fate and Occurrence. *Environmental Pollution* [on-line]. 2012, 163, s. 287–303 [vid. 12. březen 2023]. ISSN 0269-7491. Dostupné z: doi:10.1016/j.envpol.2011.12.034

Autoři

Ing. Libor Ansorge, Ph.D.¹

✉ libor.ansorge@vuv.cz

ORCID: 0000-0003-3963-8290

Mgr. Lada Stejskalová¹

✉ lada.stejskalova@vuv.cz

ORCID: 0000-0003-2271-7574

RNDr. Přemysl Soldán, Ph.D.²

✉ premysl.soldan@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-8892-5117

¹Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

²Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Ostrava

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2023.11.002

ISSN 0322–8916/© 2024 Autoři. Tuto práci je kdokoliv oprávněn šířit a využívat za podmínek licence CC BY-NC 4.0.

EMERGING CONTAMINANTS IN WASTEWATER – RESULTS OF JOINT DANUBE SURVEY 4 EVALUATED VIA THE GREY WATER FOOTPRINT

ANSORGE, L.¹; STEJSKALOVÁ, L.¹; SOLDÁN, P.²

¹T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

²T. G. Masaryk Water Research Institute, Ostrava

Keywords: grey water footprint – Joint Danube Survey – JDS4 – emerging contaminants – no-effect concentration – predicted no-effect concentration – PNEC – emerging contaminants – CEC – Contaminants of Emerging Concern

The Joint Danube Survey 4 (JDS4) organized in 2019, provided a unique dataset on the occurrence of several hundred newly identified contaminants of emerging concern (CEC) in waters of the Danube river basin, including wastewater from selected wastewater treatment plants. In this study, published JDS4 data were used to assess the significance of individual substances identified in wastewater using the grey water footprint approach. Determining all newly identified contaminants is time-consuming and expensive, so it is reasonable to focus on the “most problematic” substances. The advantage of the grey water footprint assessment is the conversion of the amount of discharged pollutants into the volume of water needed for dilution to an environmentally “safe level”, allowing comparison of different substances. Based on JDS4 data, out of several hundreds of substances detected, 33 were identified as potentially risky, according to set criteria. However, this list can not be taken as definitive, as the level of knowledge about the harmfulness of individual substances quickly develops with regard to the risk currently attributed to them. Similarly, the JDS4 dataset reflects a specific data collection methodology, which may not capture all connections related to the impact of the occurrence of new substances on the environment.