

Šedá vodní stopa jako ukazatel udržitelného vypouštění odpadních vod – případová studie Povodí Ohře

Grey water footprint as an indicator of sustainable waste water discharge - Ohře River Basin case study

Libor Ansorge¹ | Lada Stejskalová² | Jiří Dlabal³ | Jiří Kučera⁴

INFORMACE O ČLÁNKU

DOI

10.35933/ENTECHO.2019.12.001

HISTORIE

Datum doručení: 8. 11. 2019

Datum revize: 7. 1. 2020


Datum akceptace: 8. 1. 2020

AFILACE

¹Výzkumný ústav vodohospodářský

T. G. Masaryka, Praha

libor.ansorge@vuv.cz

 0000-0003-3963-8290

²Výzkumný ústav vodohospodářský

T. G. Masaryka, Praha,

lada.stejskalova@vuv.cz

 0000-0003-2271-7574

³Výzkumný ústav vodohospodářský

T. G. Masaryka, Praha

jiiri.dlabal@vuv.cz

 0000-0002-2401-2917

⁴Výzkumný ústav vodohospodářský

T. G. Masaryka, Praha

jiiri.kucera@vuv.cz

 0000-0002-7540-4750

KLÍČOVÁ SLOVA

hodnocení vodní stopy; šedá vodní stopa; cíle udržitelného rozvoje; čistírny odpadních vod

KEYWORDS

water footprint assessment; grey water footprint; sustainable development goals; wastewater treatment plants

SOUHRN

Cíle udržitelného rozvoje OSN požadují mimo jiné i zlepšit kvalitu vody snížením jejího znečištění, zamezením vyhazování odpadů do vody a minimalizací vypouštění nebezpečných chemických látek do vody. Jedním z nástrojů, který lze využít pro posouzení udržitelnosti vypouštění znečištění do vod je vodní stopa. V článku je popsána analýza šedé vodní stopy velkých komunálních čistíren v dílčím povodí Ohře, dolního Labe a dalších přítoků Labe. Pro analýzu byly vybrány komunální čistírny odpadních vod uvedené státním podnikem Povodí Ohře ve zprávách vodohospodářské bilance. Byla stanovena asimilační kapacita toku pro jednotlivé znečišťující látky hlášené provozovateli čistíren odpadních vod pro účely vodohospodářské bilance, spočtena šedá vodní stopa látek vstupujících na čistírnu odpadních vod (produkované znečištění) a vypouštěných do recipientů v odpadní vodě. Posouzení udržitelnosti bylo provedeno k dlouhodobému průměrnému průtoku recipientem. Analýza ukázala, že asimilační kapacita vodních toků je nejvíce vytěžována vypouštěním celkového fosforu a amoniakálního dusíku. Zároveň z analýzy vyplynulo, že čistírny odpadních vod, až na výjimky, čistí vodu dostatečně a asimilační kapacita vodního toku nebývá vyčerpána.

SUMMARY

The Sustainable Development Goals (SDGs), adopted by all United Nations Member States in 2015, call, among others, for the improvement of water quality by reducing water pollution, avoiding waste disposal in water and minimizing hazardous chemicals discharge into water. One of the tools that can be used for the sustainability assessment of pollution discharge into water is the water footprint. The paper calculates the grey water footprint of large municipal wastewater treatment plants in the Ohře River basin, located in the Czech Republic. Municipal wastewater treatment plants listed by the state-owned enterprise Povodí Ohře in Water Balance Management reports were selected for the analysis. The receiving body assimilation capacity for individual pollutants was determined and the grey water footprint at the inlet and outlet of the WWTP was calculated. Subsequently, the sustainability assessment of the WWTP discharges were carried out and related to the long-term average flow rates in the receiving water body. The analyses showed that the assimilation capacity of the watercourse is mostly utilized by the discharge of total phosphorus and ammonia nitrogen. The analysis also showed that (with some exceptions) the wastewater treatment plants treat water sufficiently and the assimilation capacity of the watercourse is not exhausted.

1 Úvod

Voda je základní složkou života a nezbytným předpokladem rozvoje lidské společnosti. Zároveň však lidská společnost produkuje značné množství znečištění, včetně znečištění vypouštěného formou odpadních vod do říční sítě, případně do podzemních vod. V roce 1987 definovala Organizace spojených národů (OSN) udržitelný rozvoj jako „vývoj, který vyhovuje potřebám současnosti, aniž by byla ohrožena schopnost budoucích generací uspokojit své

vlastní potřeby” (Commission on Environment and Development World, 1991). V roce 2015 OSN definovala celkem 17 Cílů udržitelného rozvoje (Sustainable Development Goals - SDGs) představujících program rozvoje na období 2015 až 2030, které navazovaly na Rozvojové cíle tisíciletí (Millennium Development Goals – MDGs) z roku 2000. SDG č. 6 je zaměřen na zajištění dostupné vody a sanitálních zařízení pro všechny a udržitelné hospodaření s nimi. SDG 6 se dále dělí na dílčí cíle a úkoly (tabulka 1).

Dílčí cíl 6.3 se zaměřuje na ochranu životního prostředí pomocí zlepšení kvality vody snížením jejího znečišťování, snížením podílu nečištěných odpadních vod na polovinu a celosvětovým zvýšením recyklace a bezpečného opětovného použití odpadních vod. Má-li být ochrana životního prostředí udržitelnější, musí zajistit, aby využívání přírodních zdrojů a přírodních cyklů lidstvem nevedlo ke snížení kvality života v důsledku ztrát v budoucích ekonomických příležitostech nebo nepříznivých dopadů na sociální podmínky, lidské zdraví a životní prostředí (Mihelcic et al., 2003). Toto je v případě čištění odpadních vod podle české právní úpravy v podobě nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, dosahováno požadavkem na čištění do úrovně nejlepších dostupných technologií (Best Available Techniques – BAT). Tzv. BATy jsou v zákoně č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezení znečištění, jenž transponuje Evropskou směrnici č. 1/2008/EU, definované jako neúčinnější a nejpokročilejší stadium vývoje technologií a způsobů jejich provozování, které ukazují praktickou vhodnost určitých technik pro stanovení emisních limitů a dalších závazných podmínek provozu zařízení, jejichž smyslem je předejít vzniku emisí, nebo pokud to není možné, omezit emise a jejich nepříznivé dopady na životní prostředí jako celek, přičemž:

1. technikami se rozumí jak použitá technologie, tak způsob, jakým je zařízení navrženo, vybudováno, provozováno, udržováno a vyrážováno z provozu,
2. dostupnými technikami se rozumí techniky vyvinuté v měřítku umožňujícím zavedení v příslušném průmyslovém odvětví za ekonomicky a technicky přijatelných podmínek s ohledem na náklady a přínosy, pokud jsou provozovateli zařízení za rozumných podmínek dostupné bez ohledu na to, zda jsou používány nebo vyráběny v České republice,
3. nejlepšími se rozumí neúčinnější techniky z hlediska dosažení vysoké úrovně ochrany životního prostředí jako celku.

Ve světě lze nalézt několik přístupů k hodnocení udržitelnosti čištění odpadních vod, například posuzování životního cyklu (Life Cycle Assessment – LCA) (Roeleveld et al., 1997), exergy analýza (Hellström, 1997), ekonomická udržitelnost (Rebitzer et al., 2003), multikriteriální analýza (Balkema et al., 2002; Høiby et al., 2008; Molinos-Senante et al., 2014) a v poslední době též šedá vodní stopa (Hoekstra et al., 2017; Stejskalová et al., 2019). Udržitelnost decentralizovaných systémů se zabýval např. Capodaglio et al. (2017). V předloženém článku jsme použili šedou vodní stopu k posouzení udržitelnosti vypouštění odpadních vod z významných čistíren odpadních vod v dílčím povodí Ohře, dolního Labe a ostatních přítoků Labe.

Tabulka 1 Dílčí cíle a úkoly Sustainable Development Goal 6

6.1	Do roku 2030 zajistit univerzální a rovný přístup k bezpečné a cenově dostupné pitné vodě pro všechny.
6.2	Do roku 2030 zajistit spravedlivě všem odpovídající sanitální a hygienická zařízení a skoncovat s vylučováním na volných prostranstvích, se zvláštním ohledem na potřeby žen, dívek a lidí v těžké situaci.
6.3	Do roku 2030 zlepšit kvalitu vody snížením jejího znečišťování, zamezením vyhazování odpadů do vody a minimalizací vypouštění nebezpečných chemických látek do vody, snížit na polovinu podíl znečištěných odpadních vod a podstatně zvýšit recyklaci a bezpečné opětovné využívání vody v celosvětovém měřítku.
6.4	Do roku 2030 podstatně zvýšit efektivitu využívání vody ve všech sektorech a zajistit udržitelný odběr a dodávky pitné vody tak, aby byl vyřešen nedostatek vody a podstatně se snížil počet lidí trpících jejím nedostatkem.
6.5	Do roku 2030 zavést integrovanou správu vodních zdrojů na všech úrovních, a to i pomocí přeshraniční spolupráce tam, kde je to vhodné.
6.6	Do roku 2020 zajistit ochranu a obnovu ekosystémů související s vodou, včetně hor, lesů, mokřadů, řek, zvodní (aquifers) a jezer.
6.a	Do roku 2030 rozšířit mezinárodní spolupráci a podporu budování kapacit v rozvojových zemích v rámci programů a činností souvisejících s vodou a sanitálními zařízeními zahrnující zadržování, odsolování a efektivní využívání vody, čištění odpadních vod a využívání technologií pro recyklaci a opětovné využívání vody.
6.b	Podporovat a posilovat zapojení místních komunit do zlepšování správy vodních zdrojů a sanitálních zařízení.

2 Data a metody

2.1 Šedá vodní stopa

Šedá vodní stopa je definována jako množství sladké vody, které je nezbytné pro asimilaci zátěže znečišťujících látek na úroveň platných standardů kvality vody (Hoekstra et al., 2011), a počítá se podle rovnice 1. Vodní stopa představená v roce 2002 (Hoekstra, 2003) se skládá ze tří složek, kromě šedé je to ještě modrá a zelená vodní stopa. Modrá vodní stopa představuje množství vody odebrané a spotřebované z vodních zdrojů a zelená vodní stopa představuje spotřebovanou vodu, která však nebyla odebrána z vodních zdrojů, jedná s např. o vodu v půdě či dešťové srážky, kterou využijí rostliny pro svůj růst apod.

$$VS_{s,j,i} = \frac{L_{j,i}}{C_{max,j,i} - C_{nat,j,i}} \tag{1}$$

$$VS_{s,j} = \max\{VS_{s,j,1}, VS_{s,j,2}, \dots, VS_{s,j,i}\} \tag{2}$$

$$VS_s = \sum_{j=1}^n VS_{s,j} \tag{3}$$

Kde $VS_{s,j,i}$ je vodní stopa znečišťující látky i do vod v místě j , $VS_{s,j}$ je vodní stopa znečišťující látky v místě j , VS_s je vodní stopa posuzovaného systému, $L_{j,i}$ je množství emitované znečišťující látky i do vod v místě j , $C_{max,j}$ je max. přípustná koncentrace látky i v recipientu v místě j , $C_{nat,j}$ je přirozená koncentrace látky i v recipientu v místě j a n je počet míst vypouštění.

2.2 Údaje o vypouštění znečištění

Pro výpočet šedé vodní stopy byly použity údaje o vypouštění znečištění z komunálních čistíren odpadních vod v období 2017 a 2018 s roční produkcí znečištění nad 500 tun BSK₅, zveřejněné státním podnikem Povodí Ohře v rámci vodohospodářské bilance (<https://www.poh.cz/vodni-bilance/ds-1048/>). Celkem se jedná o 14 čistíren odpadních vod (tabulka 2), pro které jsou zveřejněny údaje podle vyhlášky č. 431/2001 Sb., o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci:

- Biochemická spotřeba kyslíku (BSK₅) [tun/rok]
- Chemická spotřeba kyslíku (CHSK_C) [tun/rok]
- Nerozpuštěné látky (NL) [tun/rok]
- Rozpuštěné anorganické soli (RAS) [tun/rok]
- Amoniakální dusík (N-NH₄) [tun/rok]
- Anorganický dusík (N_{anorg}) [tun/rok]
- Celkový fosfor (P_{celk}) [tun/rok]

K těmto čistírnám byly z databáze Hydroekologického informačního systému provozovaného ve VÚV TGM, v. v. i. (HEIS VÚV, <https://heis.vuv.cz>) týkající se užívání vody doplněny údaje o vypouštění odpadních vod, případně i o produkci v letech, která nebyla zveřejněna na stránkách s. p. Povodí Ohře.

2.3 Koncentrační limity

Rovnice 1 pracuje s přirozenou koncentrací $C_{nat,i}$ látky i a s maximální povolenou koncentrací $C_{max,i}$. Přirozenou koncentrací $C_{nat,i}$ látky i představuje taková koncentrace, která by byla v daném místě za situace bez antropogenního ovlivnění s ohledem na přírodní a geologické podmínky. Franke (2013) doporučuje použít lokální data ke stanovení přírodního pozadí. Referenční profily pro přímé stanovení antropogenně neovlivněných koncentrací lze v současné hustě obydlené a intenzivně využívané krajině v České republice a vlastně i v Evropě nalézt jen stěží. Proto se používají

různé přístupy k odvození těchto hodnot. Např. pro fosfor lze použít metodiku vyvinutou ve VÚV TGM (Rosendorf et al., 2015). Pro nutrienty existuje v literatuře velké rozpětí hodnot (např. Liu et al., 2017), neboť dusík a fosfor jsou poměrně často řešeny ve studiích šedé vodní stopy. Pro některé látky, mezi něž lze počítat i fosfor, ovšem platí, že je problematické stanovit univerzálně platnou hodnotu vzhledem k proměnlivosti environmentálních charakteristik a složitosti procesů, které určují úroveň pozadí látek ve vodním prostředí (EEA, 2004).

Hodnoty přirozené koncentrace představují z hlediska rámcové směrnice vodní politiky (2000/60/ES) tzv. velmi dobrý stav a cílem směrnice je dosažení dobrého stavu, jenž je ve směrnici popsán jako stav jen mírně horší než „velmi dobrý“. Pro znečišťující látky vypouštěné do vod zavádí směrnice tzv. normy environmentální kvality (NEK), což z pohledu šedé vodní stopy je maximální přípustná koncentrace C_{max} . Pro látky, které se v přírodě přirozeným způsobem nevyskytují nebo jejichž přirozená koncentrace ve vodách je zanedbatelná, lze uvažovat hodnotu přirozené koncentrace $C_{nat} = 0$, čímž dojde ke zjednodušení rovnice 1. Hodnoty NEK lze nalézt v nařízení vlády č. 401/2015 Sb. či pro jednotlivé typy vodních útvarů v Metodice pro hodnocení fyzikálně-chemických ukazatelů (Rosendorf et al., 2011). Metodika hodnocení fyzikálně-chemických ukazatelů uvádí též hodnoty velmi dobrého stavu, tj. C_{nat} . Pro ukazatel C_{max} lze použít též hodnoty uváděné v novelizované ČSN 75 7221 Kvalita vod – Klasifikace kvality povrchových vod pro II. třídu kvality vody, které představují „mírně znečištěnou vodu“ a pro ukazatel C_{nat} hodnoty pro I. třídu kvality vody (neznečištěná voda) dle ČSN 75 7221. Předmětem novely bylo zohlednit požadavky na současnou úroveň ochrany povrchových vod, a to jak z hlediska ukazatelů znečištění, tak i úroveň přípustného znečištění (Mičaník et al., 2017). Neznečištěná voda je v ČSN 75 7221 popsána jako stav povrchové vody, který nebyl významně ovlivněn lidskou činností, při kterém ukazatele jakosti vody nepřesahují hodnoty odpovídající běžnému přirozenému pozadí v tocích. Mírně znečištěná voda je definována jako stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které umožňují existenci bohatého vyváženého a udržitelného ekosystému.

Tabulka 2 Seznam ČOV zařazených do analýzy

Název místa	Název vodního toku	ř. km	ČHP	Vodní útvar	ID vodního útvaru
ČOV Aš	Ašský p.	11,328	1-13-01-1453-0-00	14111000	OHL_0340
ČOV Bystřany	Bystřice	1,94	1-14-01-0770-0-00	14460000	OHL_0820
ČOV Česká Lípa	Ploučnice	34,53	1-14-03-0540-0-00	14572000	OHL_1020
ČOV Cheb	Ohře	239,1	1-13-01-0140-0-00	13979000	OHL_0080
ČOV Jirkov	Bílina	67,21	1-14-01-0043-0-00	14422120	OHL_0780
ČOV Kadaň	Ohře	123,83	1-13-02-1170-0-00	14233090	OHL_0560
ČOV Karlovy Vary	Ohře	172,65	1-13-02-0400-0-00	14182000	OHL_0500
ČOV Litvínov	Bílina	54,46	1-14-01-0230-0-00	14446000	OHL_0820
ČOV Louny	Ohře	51,93	1-13-04-0050-0-00	14397000	OHL_0730
ČOV Most-Chanov	Bílina	46,71	1-14-01-0250-0-00	14446000	OHL_0820
ČOV Údlice	Chomutovka	27,26	1-13-03-1120-0-20	14347000	OHL_0670
ČOV Varnsdorf	Bílina	54,454	1-14-01-0230-0-00	14446000	OHL_0820
ČOV Velké Březno	Homolský p.	14,256	1-13-01-1430-0-00	14111000	OHL_0340
ČOV Žatec	Ohře	87,69	1-13-03-0280-0-00	14277000	OHL_0620

Tabulka 3 Hodnoty asimilační kapacity použité pro výpočet v mg/l

BSK ₅	CHSK _{Cr}	NL	RAS	N-NH ₄	N _{anorg}	P _{celk}
2	10	10	150	0,2	2,8	0,1

Použité imisní standardy a hodnoty přirozeného pozadí nejvíce ovlivňují výsledky vodní stopy (Liu et al., 2017; Miglietta et al., 2017). Pro některé znečišťující látky však nejsou v literatuře uváděny hodnoty NEK. Pro takové látky je možným řešením stanovit asimilační kapacitu recipientu $C_{max}-C_{nat}$ (Jamshidi, 2019). Asimilační kapacitu recipientu $C_{max}-C_{nat}$ použitou pro výpočet uvádí tabulka 3. Pro všechny ukazatele byla asimilační kapacita stanovena na základě ČSN 75 7221 s výjimkou rozpuštěných anorganických solí (RAS). Hodnota asimilační kapacity pro RAS byla odvozena od asimilační kapacity rozpuštěných látek, která dle ČSN 75 7221 činí 200 mg/l. Na základě úvahy, že RAS jsou podmnožinou rozpuštěných látek byla asimilační kapacita pro RAS stanovena na úrovni ¼ asimilační kapacity rozpuštěných látek.

2.4 Posouzení udržitelnosti

Udržitelnost byla vyjádřena pomocí WPL – water pollution level (Liu et al., 2012) podle rovnice 4:

$$WPL_j = \frac{VS_{s,j,i}}{Q_j} \times 100 \% \quad (4)$$

Kde WPL_j je úroveň znečištění vody v místě j , Q_j je průtok recipientem v místě j . Ostatní symboly jsou stejné jako v rovnici 1.

Protože v jednotlivých profilech vypouštění odpadních vod nejsou známy údaje o průtocích v daném roce, byly v rovnici 4 použity hodnoty dlouhodobého ročního průměrného průtoku v daném vodním útvaru či hydrologickém povodí připravené Českým hydrometeorologickým ústavem. WPL je třeba stanovit co nejpřesněji s ohledem na dopady, které má na posouzení udržitelnosti (Pellicer-Martínez a Martínez-Paz, 2016). Vzhledem k nejistotám ve výpočtu WPL na základě použití dlouhodobého průměrného ročního průtoku namísto skutečného ročního průtoku jsme zavedli do výpočtu hranici nejistoty prohlášení udržitelnosti na úrovni $\pm 30 \%$. Tj. pokud:

$WPL < 70 \%$ – udržitelné užívání vod

$70 \% \leq WPL \leq 130 \%$ – potenciálně ne/udržitelná situace

$WPL > 130 \%$ – neudržitelná situace.

3 Výsledky

3.1 Šedá vodní stopa vypouštěného znečištění

V souladu s metodikou (Hoekstra et al., 2011) byla vypočtena vodní stopa pro každou vypouštěnou znečišťující látku podle rovnice 1 a následně stanovena šedá vodní stopa znečištění vypouštěného z příslušné ČOV podle rovnice 2. V 17 případech je determinujícím polutantem celkově šedé vodní stopy (rovnice 2) ukazatel celkový fosfor, v 10 případech amoniakální dusík (N-NH₄) a v jednom případě rozpuštěné anorganické soli (viz tabulku 4).

Tabulka 4 Hodnoty šedé vodní stopy (tis. m³/rok), ukazatel, který má nejvyšší vodní stopu, a WPL

Název místa	VS(2017)	ukazatel	WPL	VS(2018)	ukazatel	WPL
ČOV Aš	37 292,0	N-NH ₄	248 %	12 687,2	P _{celk}	84 %
ČOV Bystřany (Teplice)	80 214,7	P _{celk}	329 %	98 807,3	P _{celk}	406 %
ČOV Česká Lípa	41 657,1	P _{celk}	23 %	33 879,6	P _{celk}	19 %
ČOV Cheb	43 986,0	P _{celk}	20 %	30 063,6	N-NH ₄	14 %
ČOV Jirkov	19 418,1	N-NH ₄	39 %	17 501,9	P _{celk}	35 %
ČOV Kadaň	13 449,0	P _{celk}	1,3 %	15 921,6	P _{celk}	1,6 %
ČOV Karlovy Vary	77 976,5	P _{celk}	8 %	64 075,1	P _{celk}	6,7 %
ČOV Litvínov	26 099,8	N-NH ₄	20 %	36 236,9	N-NH ₄	27 %
ČOV Louny	11 226,2	P _{celk}	0,9 %	14 233,2	P _{celk}	1,1 %
ČOV Most-Chanov	31 446,7	N-NH ₄	24 %	23 866,7	P _{celk}	18 %
ČOV Údlice (Chomutov)	51 406,1	P _{celk}	157 %	75 887,6	N-NH ₄	232 %
ČOV Varnsdorf	37 079,4	P _{celk}	97 %	22 826,9	P _{celk}	59 %
ČOV Velké Březno (Ústí n/L)	876,8	RAS	0,01 %	1 405,6	N-NH ₄	0,01 %
ČOV Žatec	16 641,2	N-NH ₄	1,6 %	18 544,7	N-NH ₄	1,8 %

3.2 Hodnocení udržitelnosti

Z pohledu udržitelnosti vypouštěného znečištění (ukazatel *WPL*) se ukazuje, že až na výjimky u amoniakálního dusíku a celkového fosforu je současná míra čištění odpadních vod udržitelná (viz tabulku 5). Nejhorší situace je v případě vypouštění odpadních vod z ČOV Bystřany (Teplice), u které šedá vodní stopa překračuje dlouhodobý průměrný průtok 3–4krát. To je způsobeno zejména použitím hodnoty dlouhodobého průtoku přímo pro povodí vodního toku Bystřice; v případě použití průměrných hodnot pro vodní útvar *OHL_0820 Bílina od toku Loupnice po tok Bouřlivec* již hodnota *WPL* je 74 % v roce 2018 a 60 % v roce 2017. Neuspokojivá situace je ještě v případě ČOV Aš a ČOV Údlice (Chomutov).

3.3 Zhodnocení efektivity čištění odpadních vod na redukcii šedé vodní stopy

Pro každou čistírnu byla spočtena šedá vodní stopa na vstupu na

ČOV z údajů o produkovaném znečištění (tabulka 6) stejným způsobem jako v případě vypouštěného znečištění. Celková redukce šedé vodní stopy v roce 2017 činí 7,563 mld. m³/rok což představuje redukcí o 93,9 %. V roce 2018 pak redukce představuje 7,652 mld. m³/rok, resp. 94,3 %. V roce 2017 došlo v 10 případech ke změně ukazatele, který determinoval celkovou vodní stopu dané čistírny na vstupu (produkované znečištění) a na výstupu (vypouštěné znečištění), v roce 2018 to bylo v 11 případech. Hodnota ukazatele *WPL* pro vodní stopu produkovaného znečištění je nižší než 70 % pouze u ČOV Kadaň, Žatec, Louny a Velké Březno, v případě ČOV Karlovy Vary dosahuje *WPL* hodnoty 120 %, resp. 123 % a leží tak v intervalu nejistoty prohlášení. U všech zbývajících posuzovaných čistíren překračuje *WPL* pro šedou vodní stopu produkovaného znečištění hodnotu 130 %. Nejhorší případ je opět ČOV Bystřany, kde by při vypouštění nečištěných odpadních vody byla asimilační kapacita recipientu překročena 50krát.

Tabulka 5 Hodnoty *WPL* pro jednotlivé znečišťující látky

Rok	Název místa	BSK ₅	CHSK _{Cr}	NL	RAS	N-NH ₄	N _{anorg}	P _{celk}
2018	ČOV Aš	39 %	30 %	7,8 %	41 %	77 %	36 %	84 %
2017	ČOV Aš	45 %	29 %	6,4 %	43 %	248 %	48 %	103 %
2018	ČOV Bystřany (Teplice)	38 %	37 %	8,9 %		98 %	100 %	406 %
2017	ČOV Bystřany (Teplice)	37 %	41 %	5,0 %		108 %	112 %	329 %
2018	ČOV Česká Lípa	0,8 %	4,5 %	0,1 %		2,8 %	5,0 %	23 %
2017	ČOV Česká Lípa	0,6 %	3,7 %	0,1 %		3,9 %	4,9 %	19 %
2018	ČOV Cheb	3,0 %	3,4 %	0,4 %	5,2 %	14 %	4,3 %	12 %
2017	ČOV Cheb	2,4 %	3,8 %	0,4 %	6,4 %	9 %	5,3 %	20 %
2018	ČOV Jirkov	6,1 %	9,4 %	1,5 %		35 %	12 %	35 %
2017	ČOV Jirkov	6,8 %	12 %	1,6 %		39 %	14 %	33 %
2018	ČOV Kadaň	0,2 %	0,2 %	0,1 %		0,4 %	0,4 %	1,6 %
2017	ČOV Kadaň	0,2 %	0,2 %	0,1 %		0,4 %	0,3 %	1,3 %
2018	ČOV Karlovy Vary	2,1 %	2,4 %	0,4 %	2,9 %	3,8 %	2,3 %	6,7 %
2017	ČOV Karlovy Vary	1,5 %	2,4 %	0,3 %	3,1 %	4,0 %	2,8 %	8,2 %
2018	ČOV Litvínov	3,9 %	6,1 %	1,3 %		27 %	6,4 %	5,1 %
2017	ČOV Litvínov	4,3 %	6,5 %	1,4 %		20 %	7,2 %	5,7 %
2018	ČOV Louny	0,2 %	0,2 %	0,0 %		0,3 %	0,4 %	1,1 %
2017	ČOV Louny	0,2 %	0,2 %	0,0 %		0,5 %	0,3 %	0,9 %
2018	ČOV Most-Chanov	4,9 %	5,6 %	1,6 %		13 %	5,7 %	18 %
2017	ČOV Most-Chanov	4,3 %	6,8 %	1,5 %		24 %	6,0 %	19 %
2018	ČOV Údlice (Chomutov)	15 %	17 %	3,4 %		232 %	45 %	125 %
2017	ČOV Údlice (Chomutov)	19 %	27 %	3,9 %		117 %	45 %	157 %
2018	ČOV Varnsdorf	5 %	18 %	0,4 %		19 %	22 %	59 %
2017	ČOV Varnsdorf	10 %	24 %	0,8 %		20 %	33 %	97 %
2018	ČOV Velké Březno (Ústí n/L)	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,01 %	0,01 %	0,00 %	0,01 %
2017	ČOV Velké Březno (Ústí n/L)	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,01 %	0,01 %	0,00 %	0,01 %
2018	ČOV Žatec	0,2 %	0,3 %	0,0 %		1,8 %	0,4 %	1,5 %
2017	ČOV Žatec	0,2 %	0,3 %	0,0 %		1,6 %	0,4 %	1,5 %

Tabulka 6 Hodnoty šedé vodní stopy produkovaného znečištění (tis. m³/rok), ukazatel, který má nejvyšší vodní stopu, a *WPL*

Název místa	<i>VS</i> (2017)	ukazatel	<i>VS</i> (2018)	ukazatel
ČOV Aš	252 150,0	BSK ₅	245 488,1	BSK ₅
ČOV Bystřany (Teplice)	1 223 000,0	N- NH ₄	1 169 500,0	N- NH ₄
ČOV Česká Lípa	625 389,2	N- NH ₄	692 500,0	N- NH ₄
ČOV Cheb	591 000,0	N- NH ₄	555 500,0	N- NH ₄
ČOV Jirkov	591 500,0	N- NH ₄	526 500,0	N- NH ₄
ČOV Kadaň	241 437,6	N- NH ₄	264 450,0	BSK ₅
ČOV Karlovy Vary	1 176 500,0	N- NH ₄	1 141 500,0	N- NH ₄
ČOV Litvínov	395 500,0	N- NH ₄	384 000,0	N- NH ₄
ČOV Louny	380 500,0	N- NH ₄	397 500,0	N- NH ₄
ČOV Most - Chanov	901 500,0	N- NH ₄	986 000,0	N- NH ₄
ČOV Údlice (Chomutov)	706 800,0	BSK ₅	826 500,0	BSK ₅
ČOV Varnsdorf	409 500,0	N- NH ₄	382 808,1	N- NH ₄
ČOV Velké Březno (Ústí n/L)	253 900,0	BSK ₅	166 423,1	BSK ₅
ČOV Žatec	303 000,0	N-NH ₄	379 000,0	N- NH ₄

4 Diskuse

Šedá vodní stopa již ze svého principu vyjádřeného rovnicí 1 nevyovídá o skutečných dopadech na recipient, do kterého jsou znečišťující látky vypouštěny, neboť „předpokládá“, že v přijímacím recipientu je úroveň znečištění na hodnotách přirozeného pozadí. Taková situace ovšem nastává pouze výjimečně např. v horních částech povodí a nikoliv na dolních úsecích toků. Proto použití šedé vodní stopy má smysl na úrovni ucelených povodí (makroměřítko) a její vypovídací schopnost pro úroveň konkrétních vypouštěných látek (mikroměřítko) je omezená. I relativně malé vypouštění znečišťující látky, které (posuzováno individuálně) má hodnotu *WPL* výrazně pod asimilační kapacitou toku, může způsobit celkové překročení asimilační kapacity v místě vypouštění z důvodu vysokého přítékajícího znečištění v recipientu. Ovšem i na úrovni celých povodí může docházet ke „zkreslení“ závěrů, neboť v říční síti probíhají složité fyzikálně-chemické i biologické procesy (např. samočištění) a skutečný stav vodního toku tak může být lepší či horší, než by z výsledků hodnocení vodní stopy v makroměřítku vyplývalo.

Jako nejproblematičtější se z výsledků provedené analýzy jeví vypouštění amoniakálního dusíku a celkového fosforu. Amoniakální dusík je však ve vodě velmi nestálý, podléhá nitrifikaci, kterou přechází postupně na dusitaný až dusičnaný (Pitter, 1999). Proto není obvykle limitováno vypouštění amoniakálního dusíku vodoprávním úřadem a provoz ČOV není na tento ukazatel optimalizován.

Fosfor je jedním z prvků, který významně přispívá k eutrofizaci vodního prostředí. Produkce fosforu čistírnami odpadních vod je z cca 90 % tvořena fosforečnanovým fosforem (Rosendorf et al., 2015), jenž je snadno dostupný pro proces eutrofizace. Z posuzovaných čistíren mají už dnes jeho zvýšené odstraňování zavedeny všechny 4 rizikové ČOV, u nichž hodnota *WPL* přesáhla 70 %.

Do analýzy nejsou zahrnuty veškeré velké zdroje v povodí Ohře, dolního Labe a ostatních přítoků Labe, ale jen ty, které produkují více jak 500 tun BSK₅ za rok. Např. města jako Sokolov, Ostrov a Litoměřice mají více jak 15 tisíc obyvatel a mohou též vypouštět

značné množství odpadních vod. Je třeba však dodat, že tato města leží na řece Ohři. Výsledky posouzení jejich šedé vodní stopy mohou být horší nežli v případě čistíren zahrnutých do analýzy pouze výjimečně při nezládnutí provozu ČOV.

S ohledem na obvyklou změnu polutantu, který determinuje hodnotu šedé vodní stopy na vstupu a výstupu z ČOV, lze prohlásit, že postup pro výpočet redukce vodní stopy popsany Gu et al. (2016) a námi použitý při posouzení vodní stopy ČOV Hostivice (Stejskalová et al., 2019) nemůže dávat přesné výsledky.

5 Závěry

Do analýzy byly zahrnuty prakticky všechny čistírny odpadních vod z větších měst v dílčím povodí Ohře, dolního Labe a ostatních přítoků Labe. Pro hodnocení udržitelnosti se jako rozhodující ukazuje vodnost recipientu, do kterého jsou odpadní vody vypouštěny. Velké zdroje, tj. města s desítkami tisíc obyvatel, ležící na málovodných tocích, mohou mít zvýšené požadavky na čištění. V dílčím povodí Ohře, dolního Labe a ostatních přítoků Labe se tato situace týká zejména Teplic, Chomutova a Aše. Zatímco v případě Teplic je překročena asimilační kapacita recipientu čtyřikrát, v případě Chomutova a Aše je to cca dvakrát. Jako potenciálně riziková vyšla v roce 2017 i ČOV Varnsdorf.

Analýza zároveň ukázala obrovský vliv čistíren odpadních vod na zatížení našich řek. Šedou vodní stopu komunálního znečištění snižují posuzované čistírny o 94 %. S výjimkou vodních toků, které v dílčím povodí Ohře, dolního Labe a ostatních přítoků Labe představuje pouze řeka Ohře, by vypouštění nečištěných odpadních vod přesáhlo asimilační kapacitu recipientu prakticky pokaždé.

6 Literatura

Balkema, A. J.; Preisig, H. A.; Otterpohl, R.; Lambert, F. J. D., 2002. *Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems*. Urban Water 4(2), 153–161. <https://doi.org/>

10.1016/S1462-0758(02)00014-6

- Capodaglio, A. G.; Callegari, A.; Cecconet, D.; Molognoni, D., 2017. *Sustainability of decentralized wastewater treatment technologies*. *Water Practice and Technology* 12(2), 463–477. <https://doi.org/10.2166/wpt.2017.055>
- Commission on Environment and Development World, 1991. *Naše společná budoucnost: Zpráva Světové komise pro životní prostředí a rozvoj*, ed. Academia: Ministerstvo životního prostředí České republiky, Praha.
- EEA, 2004. *Nitrogen and phosphorus in rivers*. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/nitrogen-and-phosphorus-in-rivers>.
- Franke, N. A.; Boyacioglu, H.; Hoekstra, A. Y., 2013. *The grey water footprint accounting: tier 1 supporting guidelines*, Water research report series. UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands.
- Gu, Y.; Dong, Y.; Wang, H.; Keller, A.; Xu, J.; Chiramba, T.; Li, F., 2016. *Quantification of the water, energy and carbon footprints of wastewater treatment plants in China considering a water–energy nexus perspective*. *Ecological Indicators* 60, 402–409. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.07.012>
- Hellström, D., 1997. *An Exergy Analysis for a Wastewater Treatment Plant: An Estimation of the Consumption of Physical Resources*. *Water Environment Research* 69(1), 44–51. <https://doi.org/10.2175/106143097X125173>
- Hoekstra, A. Y., 2003. *Virtual Water Trade – Proceedings of the international expert meeting on Virtual Water Trade* (No. Value of Water Research Report Series No. 12). IHE, Delft.
- Hoekstra, A. Y.; Chapagain, A. K.; Aldaya, M. M.; Mekonnen, M. M., 2011. *The water footprint assessment manual: setting the global standard*. Earthscan, London; Washington, DC.
- Hoekstra, A. Y.; Chapagain, A. K.; van Oel, P. R., 2017. *Advancing Water Footprint Assessment Research: Challenges in Monitoring Progress towards Sustainable Development Goal 6*. *Water* 9(6), 438. <https://doi.org/10.3390/w9060438>
- Højbye, L.; Clauson-Kaas, J.; Wenzel, H.; Larsen, H. F.; Jacobsen, B. N.; Dalgaard, O., 2008. *Sustainability assessment of advanced wastewater treatment technologies*. *Water Science and Technology* 58(5), 963–968. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.450>
- Jamshidi, S., 2019. *An approach to develop grey water footprint accounting*. *Ecological Indicators* 106, 105477. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105477>
- Liu, C.; Kroeze, C.; Hoekstra, A. Y.; Gerbens-Leenes, W., 2012. *Past and future trends in grey water footprints of anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs to major world rivers*. *Ecological Indicators* 18, 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.10.005>
- Liu, W.; Antonelli, M.; Liu, X.; Yang, H., 2017. *Towards improvement of grey water footprint assessment: With an illustration for global maize cultivation*. *Journal of Cleaner Production* 147, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.072>
- Mičaník, T.; Hanslík, E.; Němejcová, D.; Baudišová, D., 2017. *Klasifikace kvality povrchových vod*. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* 59(6), 4–11.
- Miglietta, P. P.; Toma, P.; Fanizzi, F. P.; De Donno, A.; Coluccia, B.; Migoni, D.; Bagordo, F.; Serio, F., 2017. *A Grey Water Footprint Assessment of Groundwater Chemical Pollution: Case Study in Salento (Southern Italy)*. *Sustainability* 9(5), 799. <https://doi.org/10.3390/su9050799>
- Mihelcic, J. R.; Crittenden, J. C.; Small, M. J.; Shonnard, D. R.; Hokanson, D. R.; Zhang, Q.; Chen, H.; Sorby, S. A.; James, V. U.; Sutherland, J. W.; Schnoor, J. L., 2003. *Sustainability Science and Engineering: The Emergence of a New Metadiscipline*. *Environ. Sci. Technol.* 37(23), 5314–5324. <https://doi.org/10.1021/es034605h>
- Molinos-Senante, M.; Gómez, T.; Garrido-Baserba, M.; Caballero, R.; Sala-Garrido, R., 2014. *Assessing the sustainability of small wastewater treatment systems: A composite indicator approach*. *Science of The Total Environment* 497–498, 607–617. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.026>
- Pellicer-Martínez, F.; Martínez-Paz, J. M., 2016. *The Water Footprint as an indicator of environmental sustainability in water use at the river basin level*. *Science of The Total Environment* 571, 561–574. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.022>
- Pitter, P., 1999. *Hydrochemie*. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha.
- Rebitzer, G.; Hunkeler, D.; Jolliet, O., 2003. *LCC—The economic pillar of sustainability: Methodology and application to wastewater treatment*. *Environmental Progress* 22(4), 241–249. <https://doi.org/10.1002/ep.670220412>
- Roeleveld, P. J.; Klapwijk, A.; Eggels, P. G.; Rulkens, W. H.; van Starckenburg, W., 1997. *Sustainability of municipal waste water treatment: Nutrient removal and anaerobic processes* 35(10), 221–228. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00199-6](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00199-6)
- Rosendorf, P.; Ansorge, L.; Dostál, T.; Zahrádka, V.; Krása, J.; Beránek, J., 2015. *Metodika pro posuzování vlivů zdrojů znečištění na eutrofizaci vodních nádrží*. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22204.13444>
- Rosendorf, P.; Tušil, P.; Durčák, M.; Svobodová, J.; Beránková, T.; Vyskoč, P., 2011. *Metodika hodnocení všeobecných fyzikálně-chemických složek ekologického stavu útvarů povrchových vod tekoucích* (Závěrečná zpráva). Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Praha.
- Stejskalová, L.; Ansorge, L.; Kučera, J.; Vološinová, D., 2019. *Využití indikátoru šedé vodní stopy k posouzení role ČOV v malém povodí*, In: 13. bienální konference Voda. CzWA, Poděbrady, 198–205.