

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

Katedra aplikované ekologie



Fakulta životního
prostředí

Organické mikropolutanty v šedé vodě: zdroje, rizika a monitorování

Bakalářská práce

Autorka práce:

Valentina Tenglerová

Vedoucí práce:

Ing. Adam Jan Sochacki, Ph.D.

© Praha, 2024

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Valentina Tenglerová

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

Organické mikropolutanty v šedé vodě: zdroje, rizika a monitorování

Název anglicky

Organic micropollutants in greywater: sources, risks and monitoring

Cíle práce

Cílem této práce bude identifikovat běžně uváděné a dosud neznámé, avšak hypoteticky předpokládané kontaminanty v šedé vodě a prezentovat jejich rizika a metody monitorování.

Metodika

Na základě literárních dat a výsledků monitorování šedé vody na kampusu ČZU bude poskytnut přehled organických mikropolutantů v šedé vodě. Dále budou podrobeny analýze a diskuzi dosud nezveřejněné, avšak hypoteticky předpokládané zdroje mikropolutantů v šedé vodě. Kromě toho budou zhodnoceny zdroje těchto mikropolutantů a jejich dopady na životní prostředí a lidské zdraví. Nakonec bude vypracována strategie pro efektivní monitorování mikropolutantů v šedé vodě, která bude vycházet z výběru reprezentativních kontaminantů.

Doporučený rozsah práce

60 stran

Klíčová slova

mikropolutanty, šedá voda, environmentální a lidská rizika, monitorování

Doporučené zdroje informací

- Donner, E., Eriksson, E., Revitt, D. M., Scholes, L., Lützhøft, H. H., & Ledin, A. (2010). Presence and fate of priority substances in domestic greywater treatment and reuse systems. *Science of the Total Environment*, 408(12), 2444-2451.
- Etchepare, R., & van der Hoek, J. P. (2015). Health risk assessment of organic micropollutants in greywater for potable reuse. *Water Research*, 72, 186-198.
- Hernández-Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G., & Buisman, C. J. N. (2011). Removal of micropollutants from aerobically treated grey water via ozone and activated carbon. *Water research*, 45(9), 2887-2896.
- Shaikh, I. N., & Ahammed, M. M. (2020). Quantity and quality characteristics of greywater: a review. *Journal of Environmental Management*, 261, 110266.
- Turner, R. D., Warne, M. S. J., Dawes, L. A., Thompson, K., & Will, G. D. (2019). Greywater irrigation as a source of organic micro-pollutants to shallow groundwater and nearby surface water. *Science of The Total Environment*, 669, 570-578.
-

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FŽP

Vedoucí práce

Adam Jan Sochacki

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 6. 2. 2024

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 6. 2. 2024

prof. RNDr. Michael Komárek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 20. 02. 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „*Mikropolutanty v šedé vodě: zdroje, rizika a monitorování*“ vypracovala samostatně pod vedením Ing. Adama Jana Sochackého, Ph.D. Odcitovala jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala, jež uvádím na konci práce v přehledu literatury a použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů především ustanovení § 35 odst. 3 zmíněného zákona, tj. o užití tohoto díla.

Taktéž jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů bez ohledu na výsledek její obhajoby

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém České zemědělské univerzity v Praze a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze, dne 28. března 2024

.....

Valentina Tenglerová

Poděkování

Ráda bych poděkovala panu Ing. Adamovi Janovi Sochackému, Ph.D. za odborné vedení práce, vstřícnost a cenné rady, které mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnoval a které mi pomohly tuto práci zkompletovat. Dále děkuji za poskytnutá data, na základě, kterých jsem práci zpracovala. Rovněž děkuji rodině a blízkým za obrovskou podporu při psaní bakalářské práce.

ABSTRAKT

Ochrana životního prostředí je ve světě široce diskutovaným tématem, které bude i nadále zůstat aktuálním z důvodu neustálého rozvoje, potřeby zlepšení kvality života a inovace technologií. Všechny zmíněné důvody vytváří proud nových chemických látek, mezi které lze zařadit organické mikropolutanty, což jsou látky vyskytující se ve všech složkách životního prostředí ve stopových koncentracích. Tyto látky jsou obsažené ve většině výrobcích, což vysvětluje jejich široké zastoupení v odpadních vodách z domácností, zejména v šedých vodách. Šedé vody jsou vhodné pro opětovné využití a rovněž jsou považovány za jednu z možností pro trvale udržitelnou a ekologickou alternativu, která by dokázala ochránit přírodní zdroje sladké vody (resp. snížit poptávku po sladké vodě), avšak i přes nadějnou vidinu má opětovné využití svá úskalí. Práce se zaměřuje na zhodnocení koncentrací organických mikropolutantů naměřených v šedých vodách a rovněž na identifikaci těchto látek, dále se věnuje jejich zdrojům a potenciálním rizikům, která mohou nastat především v důsledku opětovného využití šedé vody. Díky monitoringu a identifikaci jednotlivých organických mikropolutantů v šedých vodách vzniká zpětná vazba vypovídající o důležitosti kontrolování kvalit recyklovaných odpadních vod před aplikací zpět do životního prostředí a taktéž o důležitosti navržení jednotné legislativy, která by zahrnovala přípustné koncentrace konkrétních chemických látek, čímž by se stanovily určité limity pro opětovné využití těchto vod. V současné době není proces opětovného využití šedých vod na takové úrovni, na které by měl být, aby naplnit svůj potenciál a zároveň ochránil životní prostředí a veřejné zdraví před nepříznivými dopady, proto je nutné najít účinnou metodu, která by dokázala odstranit organické mikropolutanty z vodního prostředí.

Klíčové slova: mikropolutanty, šedá voda, enviromentální a lidská rizika, monitorování

ABSTRACT

Environmental protection is a widely discussed topic around the world and will continue to be relevant due to the constant development, the need to improve the quality of life and the innovation of technology. Due to these reasons, there is a creation of new chemicals. One of these chemicals are organic micropollutants. Organic micropollutants are substances found in all environmental compartments in trace concentrations. These substances are present in most products, which explains their widespread presence in household wastewater, especially grey water. Grey water is suitable for reuse and is also considered as one of the options for a sustainable and environmentally friendly alternative that could protect natural freshwater resources (or reduce the demand for freshwater). Nevertheless, despite the promising vision, reuse has its pitfalls. The bachelor thesis focuses on the evaluation of the concentrations and identification of organic micropollutants measured in grey water. It targets their sources and potential risks that may arise mainly as a result of grey water reuse. The monitoring and identification of individual organic micropollutants in grey water provides feedback on the importance of controlling the quality of recycled wastewater before it is returned to the environment, and on the importance of proposing unified legislation that would include acceptable concentrations of specific chemicals, thereby setting limits for the reuse of this water. Currently, the grey water reuse process is not at the level it should be to fulfil its potential while protecting the environment and public health from adverse impacts. It is necessary to find an effective method that can remove organic micropollutants from the aquatic environment.

Key words: micropollutants, grey water, environmental and human risks, monitoring

OBSAH

1	Úvod.....	12
2	Cíle práce	13
3	Literární rešerše	14
3.1	Šedé vody	14
3.1.1	Zdroje odpadních vod	15
3.1.2	Opětovné využití a recyklace šedé vody	16
3.1.3	Kvalita šedých vod	18
3.1.4	Mikropolutanty v šedých vodách	21
3.2	Identifikované organické mikropolutanty v šedých vodách	22
3.2.1	Farmaceutické produkty	23
3.2.2	Produkty osobní péče	25
3.2.3	Vonné látky	27
3.2.4	UV-filtry	29
3.2.5	Zpomalovače hoření	30
3.2.6	Povrchově aktivní látky	31
3.2.7	Plastifikátory	33
3.2.8	Umělá sladidla a stimulanty	34
3.3	Predikované organické mikropolutanty v šedých vodách	36
3.3.1	Perfluorované a polyfluorované alkylové látky	36
3.3.2	Siloxany	39
3.4	Vliv organických mikropolutantů na životní prostředí a veřejné zdraví....	41
4	Metodika	48
4.1	Analýza odborné literatury a případových studií	48
4.2	Obsah organických mikropolutantů v šedých vodách	48
4.3	Obsah organických mikropolutantů v ČOV	48
4.4	Obsah organických mikropolutantů v bílé vodě	48
5	Výsledky	49
5.1	Zastoupení organických mikropolutantů v šedých vodách	49
5.2	Nejvyšší hodnoty organických mikropolutantů v šedých vodách	50

5.3	Obsah organických mikropolutantů v ČOV.....	51
5.4	Porovnání organických mikropolutantů z ČOV a ČZU.....	52
5.5	Opatření pro opětovné využití šedých vod.....	53
6	Diskuze	54
6.1	Zastoupení organických mikropolutantů	54
6.2	Nejvyšší koncentrace organických mikropolutantů v šedých vodách	54
6.3	Výskyt organických mikropolutantů v ČOV	54
6.4	Srovnání organických mikropolutantů z ČOV a ČZU.....	55
6.5	Opatření pro opětovné využití šedých vod.....	55
7	Závěr a přínos práce.....	56
8	Přehled literatury a použitých zdrojů.....	60
9	Seznam příloh	70

Seznam obrázků

Obrázek 1: Rozdělení šedé vody	14
Obrázek 2: Zdroje a cesty expozice člověka triclosanem	27
Obrázek 3: Zdroje látek PFAS	39
Obrázek 4: Vlastnosti vzbuzující obavy	42
Obrázek 5: Klasifikace a značení nebezpečnosti	47
Obrázek 6: Nejběžnější zastoupení organických mikropolutantů.....	50
Obrázek 7: Nejvyšší naměřené hodnoty koncentrací.....	51
Obrázek 8: Nejvyšší naměřené hodnoty zobrazené v kruhovém diagramu.....	51
Obrázek 9: Obsah organických mikropolutantů v ČOV	52
Obrázek 10: Porovnání obsahu organických mikropolutantů z ČOV a ČZU	53

Seznam tabulek

Tabulka 1: Podíl odpadních vod vyprodukovaných v domácnosti	16
---	----

Seznam zkratek

BSK	Biochemická spotřeba kyslíku
ČOV	Čistírna odpadních vod
ČZU	Česká zemědělská univerzita
DEHP	Di-(2-ethylhexyl) phthalate
DEP	Diethyl phtalate
EU	Evropská unie
HCA	Hexyl cinnamic aldehyde
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku
PBT	Perzistentní, bioakumulativní, toxický
PCPs	Produkty osobní péče (personal care products)
PFAS	Perfluoroalkylové a polyfluoroalkylové látky
PFBS	Perfluorbutansulfonát
PFOA	Kyselina perfluoroktanová
PFOS	Kyselina perfluoroktansulfonová
PPCP	Léčiva a produkty osobní péče (pharmaceuticals and personal care products)
PVC	Polyvinylchlorid
US EPA	Agentura pro ochranu ŽP (United States Enviromental Protection Agency)
VZ	Veřejné zdraví
WHO	Světová zdravotnická organizace (World Health Organization)
XOC	Xenobiotické organické sloučeniny
ŽP	Životní prostředí

1 Úvod

V současné době je pitná voda ve vyspělých zemích vnímána jako samozřejmost na rozdíl od rozvojových zemích, které se potýkají s jejím nedostatkem. V mnoha případech je pitná voda využívána k nepitným účelům, a tudíž dochází k její nadměrné spotřebě a tím i k úmyslnému či neúmyslnému plýtvání, proto je nutné zajistit pro tyto účely jiné typy vod, které by nemusely splňovat kvality pitné vody. Jednou z variant může být např. opětovné využití odpadních vod, zejména šedých vod, které představují do budoucna trvale udržitelnou a ekologickou alternativu, jež by dokázaly snížit poptávku po sladké vodě (Revitt et al. 2011a). Avšak je nutné brát v úvahu potenciální rizika, která mohou vznikat v důsledku nedostatečné úpravy, čištění a rovněž následné aplikace recyklovaných šedých vod zpět do životního prostředí, jelikož i upravená odpadní voda z domácností může obsahovat značné množství organických mikropolutantů, jejichž výskyt v životního prostředí představuje závažný problém, který je diskutován mezi širokou veřejností, neboť přítomnost těchto nežádoucích látek se stává předmětem zájmu zkoumání v oblasti ochrany životního prostředí po celém světě (Van de Walle et al. 2023).

Z výše uvedeného vyplývá současná problematika nakládání se sladkou vodou, kvůli které vznikají obavy spojené s možností vyčerpání přírodních zdrojů sladké vody pro další generace. S ohledem na nadměrnou spotřebu sladké vody vnímám jako nezbytně nutné postupně přecházet na již zmiňovanou alternativu opětovného využití odpadních vod, a proto se má bakalářská práce bude věnovat rizikům, jež se pojí s využíváním recyklovaných vod se zaměřením na organické mikropolutanty v ní obsažené, neboť pro jednotlivé druhy a koncentrace organických mikropolutantů nebylo doposud provedeno jednoznačné shrnutí v odborné literatuře.

Daná problematika mi dala důvod k zamyšlení a k objasnění výskytu organických mikropolutantů v šedých vodách, které zhoršují kvalitu těchto vod a které by potenciálně mohly mít negativní dopad na životní prostředí a veřejné zdraví v důsledku právě opětovného využití.

2 Cíle práce

Cílem práce je zpracování podrobné literární rešerše o odpadních vodách, zejména o šedých vodách, z domácností se zaměřením na organické mikropolutanty v nich obsažené, o jejich výskytu, zdrojích a potenciálních rizicích, které mohou vznikat v důsledku opětovného využívání šedých vod.

Cílem bakalářské práce je odpovědět na otázky:

- Jak lze definovat šedé vody z domácností a jak lze charakterizovat jejich původ a kvalitu?
- Jaké organické mikropolutanty jsou v šedých vodách identifikovány?
- Jaké organické mikropolutanty můžeme hypoteticky predikovat?
- Jakým způsobem se organické mikropolutanty dostávají do životního prostředí (ŽP)?

Dílčím cílem práce je odpovědět na následující otázky vycházející z odborné literatury, dat získaných prostřednictvím vědeckých studií a z dat naměřených v kampusu České zemědělské univerzity (ČZU):

- Jaká je charakteristika a zdroje nejčastějších organických mikropolutantů?
- Co vyplývá z monitoringu organických mikropolutantů v rámci literárních dat a z dat poskytnutých kampusem ČZU?
- Jaká mohou být potenciální rizika spojená s opětovným využíváním šedých vod za přítomnosti organických mikropolutantů na ŽP a veřejné zdraví (VZ)?
- Proč je nutné věnovat problematice výskytu organických mikropolutantů ve vodním prostředí větší pozornost?

Postup, který jsem zvolila, abych odpověděla na stanovené cílové otázky:

- identifikuji šedé vody a jednotlivé organické mikropolutanty v ní obsažené;
- sumarizuji poznatky z vědeckých článků ohledně identifikovaných a predikovaných organických mikropolutantů (např. vlastnosti, využití, výskyt a jejich vlivy na ŽP a VZ);
- analyzuji podrobně data získaná z odborných článků a z kampusu ČZU;
- porovnam a zhodnotím výsledky práce.

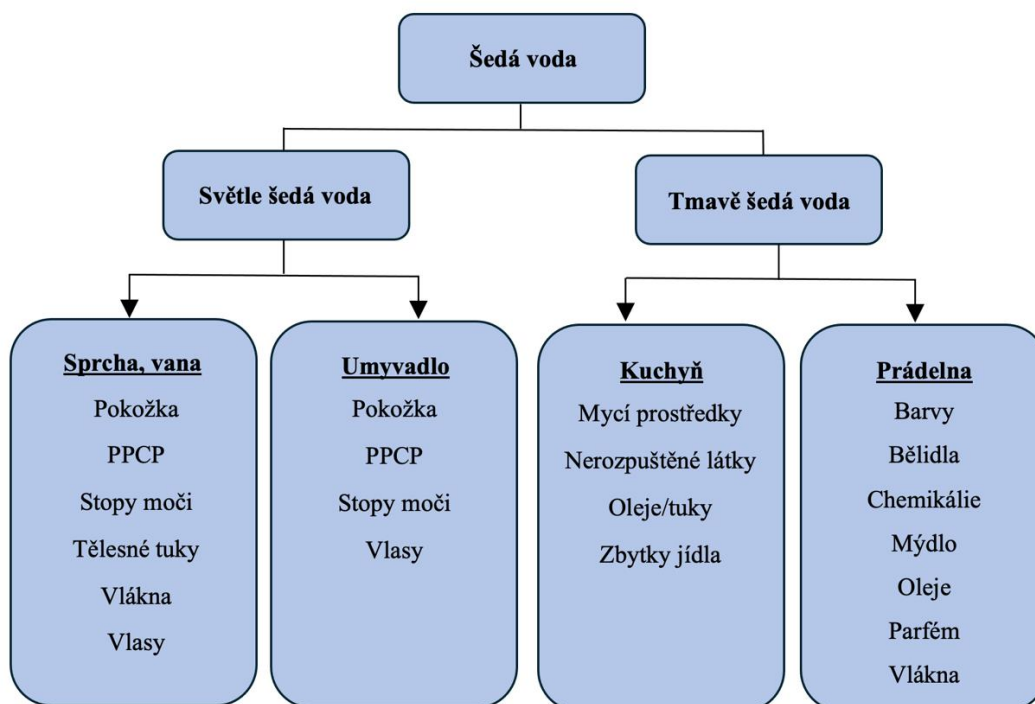
3 Literární řešerše

3.1 Šedé vody

Domáci odpadní vody lze rozčlenit do dvou hlavních kategorií. Konkrétně se rozdělují na základě původu a složení, a to na černou a šedou vodu (Shaikh a Ahammed 2020).

Šedá voda je souhrnné označení pro odpadní vody vzniklé z domácností (s výjimkou odpadních vod z toalet). Šedé vody se dále dělí podle množství a koncentrace znečišťujících látek ve zdroji na dvě skupiny (viz obrázek 1). Jednou z nich je světle šedá voda, která má srovnatelně menší zatížení znečišťujícími látkami a představuje tak odpadní vodu z koupelnových van, sprch a umyvadel, zatímco druhou skupinou jsou tmavě šedé vody, které nesou výrazně vyšší zatížení znečišťujícími látkami vzhledem k původu, neboť jsou tvořeny odpadní vodou z praní prádla, mytí nádobí, resp. myček nádobí a kuchyňských dřezů. Je podloženo, že světle šedá voda je méně znečištěná než tmavě šedá voda (Shaikh a Ahammed 2020). Zároveň je šedá voda, jakožto kombinace světle a tmavě šedé vody, považovaná za obecně čistější a lépe recyklovatelnou, jelikož obsahuje menší množství organicky znečišťujících látek a patogenů než kombinovaná odpadní voda (Revitt et al. 2011b).

Obrázek 1: Rozdělení šedé vody (Ghaitidak a Yadav 2013)



Druhou již zmíněnou kategorií v oblasti odpadních vod je černá voda (odpadní voda z toalet), která vzniká každodenní lidskou činností a která je součástí komunálních odpadních vod, jež se zpracovávají v čistírnách odpadních vod (ČOV), kde probíhají fyzikální, chemické a biologické procesy. Černá voda se dále rozděluje na hnědou vodu, která je tvořena černou vodou obsahující fekálie, a žlutou vodu, která tvoří část černé vody obsahující moč. Černé vody jsou koncentrovaným proudem obsahující nejen většinu dusíku a fosforu, ale také velkého množství organické hmoty, avšak jsou nositelem mnohých patogenů, které představují určitá rizika pro veřejné zdraví (Hernández Leal 2010).

3.1.1 Zdroje odpadních vod

Odpadní vody z domácností jsou rozmanitým zdrojem šedé vody, přičemž každý z nich má své specifické vlastnosti a odlišné složení. Hlavními zdroji šedé vody jsou odpadní vody z koupelen, prádelen a kuchyní. Šedá voda pocházející z koupelňových umyvadel, sprch a van představuje přibližně 38 % z celkového objemu odpadních vod z domácností (viz tabulka 1). Odpadní voda z umyvadel, sprch a van obsahuje řadu produktů osobní péče, jako jsou šampony, mýdla, zubní pasty, ale také stopy lidské moči, vlasů a pokožky. Přestože voda z koupelen obsahuje širokou škálu chemických látek obsažených v řadě produktů, je považována za nejméně znečištěný typ šedé vody. Dalším příkladem zdroje šedé vody je odpadní voda z prádelen, která tvoří 23 % odpadních vod z domácností (viz tabulka 1) a obsahuje značné množství chemikálií z pracích prostředků – především fosfor, povrchově aktivní látky, dusík, sodík, ale i řadu bělidel, barev, parfémů, olejů či biologicky nerozložitelných vláken z textilních oděvů (Alfiya et al. 2018a).

Zbývajícím zdrojem šedé vody, který představuje přibližně 7 % (viz tabulka 1) z celkové odpadní vody, je odpadní voda z kuchyní. Šedá voda z kuchyňského dřezu a myček nádobí obsahuje mycí prostředky, pěnu, oleje, tuky a zbytky potravin. Rozdíl mezi složením šedé vody pocházející z kuchyňských dřezů a myček na nádobí je ve zvýšeném množství bakterií a vyšších hodnotách pH, které se obvykle vyskytují u myček nádobí. Právě kvůli potravinovému odpadu, který se rozkládá a podporuje tak růst mikroorganismů, mají odpadní vody z kuchyňských dřezů vyšší obsah

organických látek, a proto se častokrát nepoužívají a jsou vynechávána ze schémat pro opětovné použití (Shaikh a Ahammed 2020; Rakesh et al. 2020).

Kvalitativní rozdíly mezi jednotlivými zdroji jsou výrazně odlišné, šedé vody pocházející z koupelen a umyvadel obvykle vykazují nízkou koncentraci bakterií a chemikálií, zatímco šedá voda z prádelen a kuchyní obsahuje značně větší množství pevných látek, uhlíku a bakterií (Kariuki et al. 2011).

Tabulka 1: Podíl odpadních vod vyprodukovaných v domácnosti (NSW Health 2000)

Zdroje odpadních vod	Celková odpadní voda		Celková šedá voda	
	%	l/den	%	l/den
Toaleta	32	186	–	–
Umyvadlo	5	28	7	28
Sprcha, vana	33	193	48	193
Kuchyň	7	44	11	44
Prádelna	23	135	34	135
Celkem	100	586	100	400

3.1.2 Opětovné využití a recyklace šedé vody

S rozsáhlým rozšiřováním území a nárůstem populace se naskytují závažné problémy spojené s nedostatkem vody a vznikají otázky ohledně vyčerpání přírodních zdrojů. Celosvětová poptávka po sladké vodě prudce stoupá, což podněcuje zájem o využívání alternativních zdrojů vody jako jsou např. recyklované odpadní vody. Opětovné použití právě šedé vody, jako alternativa nahrazující sladkou vodu určenou pouze k nepitným účelům, kterými se rozumí např. splachování toalet, umývání automobilů či zavlažování, vede k trvale udržitelnému a ekonomicky efektivnímu využívání zdrojů (Alfiya et al. 2018b; Revitt et al. 2011b).

Opětovné využití šedé vody přináší řadu výhod, a to např. ochranu přírodních zdrojů a efektivní opatření pro úsporu vodních zásob, omezení vypouštění látek znečišťující vodu z domácností a tím samotné zlepšení kvality odpadní vody. Dalším pozitivem je snížení nákladů spojených s dodávkou vody a snížení zatížení v ČOV, což může vést k minimalizaci či eliminaci potenciálních negativních dopadů na ŽP spojených s těmito procesy (Beck et al. 2013).

Využití recyklované šedé vody přináší s sebou nejen řadu výhod v ochraně přírodních zdrojů, ale také mnoho možností aplikací do běžného života. Před aplikací šedé vody

je třeba zvážit veškerá rizika, která by mohla, ať už po aplikaci, anebo v budoucnosti, nastat a mít negativní vliv na ŽP a VZ. Je potřeba se věnovat jejím chemickým, fyzikálním a mikrobiálním vlastnostem, které spadají pod biologické vlastnosti (Vuppaladadiyam et al. 2019).

Je důležité poznamenat, že úprava šedé vody je nezbytně nutná před jakoukoliv aplikací. Různé aplikace šedé vody vyžadují odlišné typy úprav – od základních až po pokročilejší. Šedá voda pro opětovné použití by měla splňovat určité podmínky, jedná se především o hygienickou nezávadnost, estetické parametry, dopad na ŽP a VZ. V jednotlivých zemích existují odlišnosti mezi národními směrnicemi pro opětovné užití šedé vody a většina zemí včetně České republiky nemá stále přesně určené normy či pokyny pro hospodaření s nimi, jsou zpravidla vydávána pouze jako doporučení obecného charakteru na základě mezivládních organizací, např. Světová zdravotnická organizace známá pod názvem World Health Organization (WHO) vydala v roce 2006 směrnici týkající se opětovného využití šedé vody pro zavlažování půd. Avšak tato doporučení pro opětovné využití odpadních vod mohou být vydána i federálními agenturami, jako je např. Agentura pro ochranu životního prostředí (United States Environmental Protection Agency, US EPA), nicméně mají pouze doporučující charakter, resp. nejsou nijak právně závazné (He et al. 2022; Van de Walle et al. 2023). Nedostatek vhodných norem týkající se kvalit a recyklace šedé vody častokrát brání a komplikují efektivní využití tohoto zdroje (Li et al. 2009).

Recyklovaná šedá voda může sloužit k nepitným účelům, jako je zavlažování parků, zahrad či ekologických prvků ve městě (zelené střechy a fasády). Hlavní výhodou zavlažování těmito vodami je úspora pitné vody a zároveň podpora trvalé udržitelnosti. Své uplatnění nachází recyklované šedé vody i v zemědělství, kde se využívají k zavlažování půd pro nepotravinářské plodiny. Další možností aplikace šedé vody ve městě je v podobě čištění ulic, klimatizací, protipožárních systémů a splachování toalet, které se ve většině rozvinutých zemí stále splachují vodou kvality pitné vody, která představuje až 32 % z celkové odpadní vody z domácnosti. Vyčištěná šedá voda se může objevit v podobě oplachování a praní i v chemickém, hutnickém a papírenském průmyslu (Baykal 2019; Corona et al. 2019).

Větší pozornost je nutné přikládat opětovnému použití a nakládání s odpadními vodami (konkrétně s šedými vodami) především kvůli nedostatečným a odlišným

právním předpisům a norem. Jedním z dalších důvodů, proč je větší pozornost důležitá, je dosažení většího povědomí ve společnosti, jelikož širší znalost informací v této oblasti může vést k lepšímu porozumění problematice a motivaci společnosti k tomu, aby se zabránilo zvyšování dopadů na ŽP a VZ. Jednotlivé státy přistupují k nakládání s šedými vodami jiným způsobem vzhledem k odlišnosti ve vyspělosti státu či životní úrovni populace. Potíže v této situaci nastávají ve chvíli, kdy určité země vyžadují povolení pro úpravu šedé vody a instalaci čistírny, zatímco jiné (rozvojové země) udělují obecné povolení pro bezrizikové používání neupravené šedé vody. Hlavním důvodem nevyužívání šedé vody v rozvinutých i rozvojových zemích je především doporučující charakter jednotlivých pokynů států a nedostatečná finanční podpora k zajištění správného opětovného použití této vody, aby se předcházelo vzniku potenciálních rizik, které by mohly ohrozit ŽP a VZ. Jako jedno z možných řešení se nabízí stanovení úrovně rizik a vytvoření jednotných směrnic, které by mohly tvořit základ účinné politiky v oblasti šedých vod (Vuppaladiyam et al. 2019).

3.1.3 Kvalita šedých vod

Složení šedé vody je založeno na fyzikálních, chemických a biologických – především tedy těch mikrobiologických vlastnostech, které mohou být velmi proměnlivé (Khanam a Patidar 2022). Na kompozici se podílí řada sociálních a ekonomických faktorů, jedná se především o počet obyvatel a jejich věk, ale souvisí i s životním stylem, zvyky, kulturou a životní úrovní (Donner et al. 2010). Objem a kvalita šedé vody se mění v závislosti, na jakém území nebo v jaké oblasti se nachází. V zemích, které nejsou dostatečně rozvojové či v zemích s nízkými příjmy, může objem vyprodukované vody klesnout na pouhých 15 litrů na osobu za den či méně, tato situace je převážně způsobena nedostatkem vody nebo nedostatečným zásobováním. Naopak ve vyspělých zemích je patrný rozdíl ve výrobě i objemu vyprodukované šedé vody především kvůli odlišné životní úrovni a dostatečné zásobě vody, zde se může objem zvětšit až na několik stovek litrů za den na osobu. Rozdíly v kvalitě světle šedé a tmavě šedé vody jsou patrné zejména při srovnání zemí s vysokou životní úrovní a zemí, které se potýkají celkově s nedostatečným rozvojem. Je zřejmé, že téměř veškeré fyzické, chemické i mikrobiologické (biologické) parametry a jejich hodnoty budou odlišné a často vyšší v rozvojových zemích, jelikož

nemají dostatečné vybavení na oddělení odpadních vod z domácností a finanční zdroje na modernizaci infrastruktury a systémů pro zpracování odpadní vody. Zatímco ve vyspělých zemích jsou díky pokročilým systémům a moderním technologiím nižší hodnoty zákalu, celkového množství nerozpuštěných látek, CHSK, BSK, ale i živin (viz příloha 2). Procentuální zastoupení šedé vody se liší v závislosti na specifickém využití vody v domácnostech, avšak lze konstatovat, že obecně se pohybuje v rozmezí mezi 50–80 % (Allen a Pacific Institute. 2010).

Mezi fyzikální vlastnosti lze zařadit celkové množství pevných látek (rozpuštěných i nerozpuštěných), zákal a elektrickou vodivost. Jeden ze základních parametrů fyzikálních vlastností je teplota, kdy její stanovení je možné pouze na místě. Teplota šedé vody je mnohdy daleko vyšší, než je tomu u městského obvodu, což souvisí především s využitím teplé vody použité na osobní hygienu a praní prádla. Teplotní rozdíly se tedy mění v závislosti na tom, z jakého zdroje pochází. Obvykle se teplota pohybuje v rozmezí 18–35 °C. Při zvýšené teplotě šedé vody může docházet k navýšení mikrobiologické aktivity, která následně může vést k zhoršení kvality vody a zapříčinit nárůst patogenních organismů (Shaikh a Ahammed 2020; Khajvand et al. 2022). Dalšími parametry fyzikálních vlastností, které jsou ovlivněny původem šedé vody, jsou zákal a celkové množství nerozpuštěných látek, které poskytují informace o obsahu částic a koloidů (Eriksson et al. 2002). Obecně platí, že v tmavě šedých vodách, jakožto odpadních vodách z prádelny a kuchyní, je srovnatelně vyšší zákal a celkové množství nerozpuštěných látek než ve vodách světle šedých. Nejvyšší koncentrace celkového množství nerozpuštěných látek byla naměřena z prádelny a kuchyní v důsledku praní oděvů a mytí nádobí, kdy textilní vlákna a detergenty přispívají k navýšení koncentrace suspendovaných částic (Khajvand et al. 2022). Obsah nerozpuštěných pevných látek v šedé vodě je obvykle velmi nízký, což naznačuje, že většina kontaminantů se zde nachází v rozpuštěné formě. Zdrojem nerozpuštěných látek, které se mohou vyskytovat v šedé vodě, jsou produkty osobní péče, zubní pasty, odpad z holení, kůže, vlasy a tělesné tuky (Rakesh et al. 2020).

Chemické vlastnosti jsou stanoveny na základě široké škály parametrů. Do této kategorie řadíme pH hodnotu udávající kyselost či zásaditost roztoku, kde získané hodnoty pH kolísají v rozmezí od 5,9–10. Hodnoty pH se mění v závislosti

na původu šedé vody. Obecně platí, že průměrné pH u všech zdrojů šedé vody je téměř neutrální s výjimkou vody z prádelen, které vykazují mírně zásadité pH, což je ovlivněno zejména přítomností alkalického materiálu používaného v detergitech, které jsou hojně využívány ve výrobcích pro domácnost, jako jsou např. prací prášky, saponáty a mnohé čisticí látky. Dalšími významnými vlastnostmi, které jsou součástí spektra charakteristik šedé vody, jsou chemická spotřeba kyslíku (CHSK), která udává množství kyslíku spotřebovaného při chemických procesech během oxidace látek ve vodě, a rovněž biochemická spotřeba kyslíku (BSK), která poskytuje informace o množství kyslíku spotřebovaného při biochemických procesech rozkladu organických látek ve vodě (Shaikh a Ahammed 2020; Khajvand et al. 2022). Naměřené hodnoty chemické spotřeby kyslíku jsou uvedeny v rozsahu 26–2950 miligramů na litr (viz příloha 1), kdy nižší hodnoty indikují menší obsah organických látek, zatímco vyšší hodnoty naznačují vyšší obsah organických látek a potřebu kyslíku pro jejich rozklad. Taktéž hodnoty biologické spotřeby kyslíku, které jsou uvedeny v rozsahu 48–1460 miligramů na litr (viz příloha 1), znázorňují množství organických látek ve vodě. Obecně platí, že šedé vody ze všech zdrojů vykazují dobrou biologickou rozložitelnost (Li et al. 2009). V neposlední řadě do této kategorie spadají parametry určující množství dusíku vázaného v amoniakové formě, množství dusíku v nitrátech a celkové množství dusíku a fosforu, které nám poskytují informace o celkovém zatížení fosforem a dusíkem ve sledovaném vodním prostředí (Khanam a Patidar 2022).

Mikrobiologické parametry se zaměřují na přítomnost a měření mikroorganismů ve vodním prostředí. Tyto parametry jsou důležité především při opětovném použití šedé vody, neboť patogenní organismy představují určitá rizika pro veřejné zdraví. Přestože je mikrobiální kontaminace v šedé vodě podstatně nižší než v kombinovaných odpadních vodách, je jedním ze zásadních cílů při ošetření a recyklaci šedé vody odstranit tyto organismy (Van de Walle et al. 2023). Do kategorie mikrobiologických parametrů jsou zařazeny koliformní bakterie a fekální bakterie, tyto bakterie jsou považovány za indikátory fekální kontaminace a poskytují informace o hygienickém stavu vody a potenciálním riziku na veřejného zdraví. Odpadní voda obsahuje rozmanitou skupinu mikroorganismů včetně bakterií, prvoků a virů, které se dostávají do oběhu šedých vod prostřednictvím hygienických činností (např. mytí rukou, sprchování, praní znečištěného prádla především dětských

plen, omývání syrového masa, zeleniny či ovoce). Hlavním zdrojem fekální kontaminace jsou především odpadní vody z prádeln a koupelen, které mohou obsahovat části odumřelé pokožky, stopy potu, moči a fekálií. Druhotně přispívají k fekální kontaminaci odpadní vody z kuchyní (Shaikh a Ahammed 2020; Khajvand et al. 2022).

Je důležité zmínit, že kvalita šedé vody závisí na schopnosti využití vod a množství použitých domácích prostředků a produktů osobní péče. Nedostatečná osvěta o správné likvidaci chemikálií, způsoby mytí nádobí a odlišné koupací návyky se následně odráží v kvalitě šedé vody, neboť veškeré zmíněné činnosti a produkty přímo souvisejí s kontaminací šedé vody mikropolutanty. Tyto nežádoucí látky pronikají do šedých vod v důsledku rozmanitých forem jejich využití (Shaikh a Ahammed 2020).

3.1.4 Mikropolutanty v šedých vodách

Světová populace stále čelí rostoucím problémům způsobených kontaminací životního prostředí, neboť dochází k neustálému nárůstu počtu nových chemických látek, které jsou zastoupeny především organickými a anorganickými kontaminanty (Bertram et al. 2021). Tyto kontaminanty vznikají zejména antropogenní činností v důsledku nadměrné výroby a spotřeby chemických látek, kdy celý tento proces souvisí s rychlým rozvojem průmyslových odvětví, zdravotnictví a nárůstem městské populace.

Skupina organických a anorganických kontaminantů zahrnuje rozšiřující se řadu nově vznikajících znečišťujících látek, jež získala jednotný název – mikropolutanty. V zájmu čtenáře by měl být v tomto textu výraz „*mikropolutant*“ chápán jako „*organický mikropolutant*“, pokud není uvedeno jinak. Mikropolutanty se objevují v ŽP ve stopových koncentracích od několika mikrogramů (μg), nebo nanogramů (ng), až po pikogramy (pg) na litr či kilogram. Skládají se z různých materiálů a mohou obsahovat různé sloučeniny. Cesty, kterými mikropolutanty pronikají do ŽP, jsou mnohotvárné a téměř všechny mají svůj původ v domácnostech, průmyslu, zemědělství a nemocnicích (Bhatt et al. 2022).

Mezi mikropolutanty, které byly naměřené v šedé vodě ve významných koncentracích řadíme xenobiotické organické sloučeniny (XOC), jež jsou uměle vytvořené chemikálie nacházející se ve všech složkách ŽP, tedy v ovzduší, vodě, půdě a rostlinách, neboť se nemohou přirozeně rozložit, jelikož jejich rozložení trvá několik desítek let. V důsledku obtížného rozložení se mohou tyto sloučeniny objevovat ve stopových koncentracích i v tělech živočichů.

Xenobiotické organické sloučeniny našly své uplatnění v široké škále produktů pro domácí použití a průmysl (Štefanac et al. 2021). Vyskytují se zejména v čistících prostředcích, prostředcích na mytí nádobí, mýdlech, parfémeh, ale i v řadě agrochemikálií. Lze je rozdělit do jednotlivých tříd, jako jsou povrchově aktivní látky, konzervační látky, vonné látky, UV filtry, plastifikátory, ale také léčiva a produkty osobní péče, které jsou souhrnně nazývány jako PPCP (pharmaceuticals and personal care products) (Shaikh a Ahammed 2020; Štefanac et al. 2021).

Všechny výše vyjmenované třídy xenobiotických organických sloučenin, jež představují znečišťující látky v podobě mikropolutantů, jsou obvykle detekovány v šedé vodě, zmíněnými třídami se bude podrobněji zabývat následující kapitola 3.2. „*Identifikované organické mikropolutanty v šedé vodě*“. S ohledem na různé cesty, kterými se mikropolutanty dostávají do šedých vod, je zřejmé, že existuje mnoho dalších potenciálních kontaminantů, jako jsou organické mikropolutanty, které zůstávají často opomíjené. Mezi ně můžeme zařadit perfluoroalkylové a polyfluoroalkylové látky (PFAS), siloxany a mnoho dalších, kterými se bude zabývat kapitola 3.3. „*Předvídatelné organické mikropolutanty v šedých vodách*“ (Bertram et al. 2021).

3.2 Identifikované organické mikropolutanty v šedých vodách

Hodnoty naměřených koncentrací organických mikropolutantů nacházejících se v šedých vodách, které uvádějí jednotlivé případové studie a odborné články byly sjednoceny a vyhodnoceny včetně minimálních a maximálních naměřených hodnot (viz příloha 3) (Leal et al. 2010; Etchepare a van der Hoek 2015; Turner et al. 2019; Glover et al. 2021; He et al. 2022; Rivadulla et al. 2024). Koncentrace některých organických mikropolutantů jsou uvedeny pouze v rozsahu jednorázových hodnot, to znamená, že zdroje literatury se shodovaly v naměřených koncentracích

nebo se koncentrace objevily pouze v rozsahu jednoho autora. V důsledku toho není možné vyhodnotit minimální a maximální hodnoty pro danou látku.

Pro následné zkoumání a hodnocení byla provedena podrobná analýza, kde bylo vybráno 39 organických mikropolutantů z jednotlivých případových studií a odborných článků, které byly detekovány v šedých vodách. Kontaminanty byly rozděleny do 9 skupin na základě jejich využití. Jednotlivé skupiny nesou označení farmaceutické produkty (diclofenac, ibuprofen, metoprolol, paracetamol, salicylic acid, sulfamethoxazole, trimethoprim), plastifikátory (benzyl butyl phthalate, di-(2-ethylhexyl) phthalate, di-isobutyl phthalate, dibutyl phthalate, diethyl phthalate, dimethyl phthalate, bisphenol A), produkty osobní péče (butylated hydroxytoluene, butylparaben, DEET, ethylparaben, methylparaben, propylparaben, triclosan), vonné látky (galaxolide, hexyl cinnamic aldehyde, musk xylene, tonalide) zpomalovače hoření (dibromobiphenyl, triphenyl phosphate), UV-filtry (2-ethylhexyl salicylate, 4-methylbenzylidene, camphor, avobenzone, benzophenone-3, benzotriazole, ethylhexyl methoxycinnamat, octocrylene, polysilicone-15), povrchově aktivní látky (nonylphenol, octylphenol), stimulanty (caffein) a umělá sladidla (acesulfame).

3.2.1 Farmaceutické produkty

Během let se vyrobí a spotřebuje velké množství léčiv, které se uvolní do ŽP, zejména do odpadních vod z domácností (Kokkinos et al. 2020). Lidské tělo není schopno snadno odbourávat farmaceutické produkty a jejich metabolity, a proto jsou tyto látky často vylučovány v podobě stolice či moči do kombinovaných odpadních vod. Nicméně tyto látky se mohou objevit v důsledku vyloučení lidské moči i v některých zdrojích šedých vod, konkrétně se jedná o sprchové kouty, vany, v některých případech jsou zahrnuty i umyvadla v koupelnách (Margot et al. 2015).

Farmaceutické produkty, které byly naměřeny ve smíšeních zdrojích šedé vody (koupelna, prádelna, kuchyň) (viz příloha 3) jsou zastoupeny v největší míře analgetiky, protizánětlivými léky a antibiotiky. Jednu z látek využívaných v lékařství, která byla naměřena v šedých vodách s nejvyšší hodnotou 7,1 µg/l, představuje salicylic acid. Tato látka je základním materiálem pro tvorbu léku s názvem Aspirin a je využívána k léčbě bolesti, otoků a snížení horečky, rovněž lze využívat jako

prevence k předcházení srdečním problémům, jako je např. infarkt. Dále snižuje riziko mrtvice a výskyt možných rizik spojených s rakovinou. Salicylic acid může přispívat v lékařství jednak svými protizánětlivými účinky, tak těmi analgetickými (Sambyal a Singh 2021). Podobné účinky můžeme připsat i dalším farmaceutickým produktům, jako je diclofenac, ibuprofen a paracetamol.

Diclofenac se řadí mezi nejprodávanější a nejběžněji používané analgetikum, především kvůli jeho snadné dostupnosti v lékárnách bez nutnosti potřeby lékařského předpisu. Diclofenac se objevuje na trhu v podobě účinné látky pod obchodním názvem Voltaren, který je obvykle vyráběn ve formě gelu (Gan 2010). Tento gel se právě díky smývání při běžné denní hygieně, či pouze umýváním rukou dostává do šedých vod. Koncentrace této látky byla naměřena jednorázovou hodnotou 0,01 µg/l.

Jak již bylo zmíněno v kategorii léčiv s analgetickými a antipyretickými účinky se nachází paracetamol a ibuprofen, což jsou jedny z nejznámějších volně prodejných léků, které se používají ke snížení horečky, zmírnění bolesti a zánětu. Mezi všemi látkami v této kategorii je ibuprofen považován za nejmírnější, protože jeho užívání obvykle nezpůsobuje žádné závažné vedlejší účinky a je dle případových studií pravděpodobně nejméně toxický (Rainsford 2009). Zjištěná koncentrace ibuprofenu v šedých vodách dosahovala hodnoty 2,2 µg/l a u paracetamolu byly hodnoty naměřeny v rozsahu 0,09–1,5 µg/l (Turner et al. 2019; Etchepare a van der Hoek 2015; Glover et al. 2021; He et al. 2022; Rivadulla et al. 2024; Leal et al. 2010).

Antibiotika zastoupená sulfamethoxazole a trimethoprim jsou využívána zejména k léčbě infekcí způsobených bakteriemi (Thiebault 2020). Tyto látky byly detekovány v šedých vodách v nízkých koncentracích, přičemž sulfamethoxazole dosáhl hodnoty 0,45 µg/l a trimethoprim dosáhl hodnoty 0,06 µg/l. Antibiotika jsou známá vysokou odolností vůči biologickému rozkladu. Zatímco některé léky jsou biologicky snadno rozložitelné, většina antibiotik je neodstranitelná nebo pouze částečně odstranitelná z vodního prostředí (Yang et al. 2021). Přítomnost antibiotik v odpadních vodách z domácností může vést k problémům v důsledku nárůstu bakteriální rezistence a šíření genů rezistence (Thiebault 2020).

Poslední ze skupiny farmaceutických produktů je látka s názvem metoprolol. Tato látka je hojně využívána v lékařství zejména k léčbě srdečního

onemocnění, podává se jako lék proti vysokému krevnímu tlaku a srdeční arytmií (Kriikku et al. 2021). Koncentrace metoprololu byla naměřena 0,045 µg/l, což představuje nejnižší hodnotu koncentrace z celé skupiny farmaceutických produktů (Turner et al. 2019; Etchepare a van der Hoek 2015; Glover et al. 2021; He et al. 2022; Rivadulla et al. 2024; Leal et al. 2010).

Je třeba zmínit, že farmaceutické produkty jsou rozsáhnou skupinou několika chemických látek, které se mohou dostat do šedých vod. Přestože byla kapitola věnována zejména analgetikům, protizánětlivým lékům a antibiotikům v šedé vodě mohou být naměřeny vysoké koncentrace léků, jako jsou antidiabetika, antihistaminika, nebo také léky používané k léčbě duševních onemocnění, snížení cholesterolu či hormony, které se obvykle ve vodním prostředí objevují v nižších koncentracích (Margot et al. 2015).

3.2.2 Produkty osobní péče

Produkty osobní péče, často označovány zkráceným výrazem PCPs (personal care products), zaujímají místa s nejvyšší četností výskytu naměřených koncentracích v šedých vodách díky svým širokým možnostem uplatnění a využití. Zahrnují složky, které jsou součástí mnoha běžných výrobků využívaných především v koupelnách pro každodenní hygienu, jako jsou šampony, mýdla, krémy, zubní pasty, ale také jsou využívány pro zlepšení kvality života a zdokonalení vzhledu, neboť jsou obsaženy v produktech pro péči o pleť, úpravu vlasů či v kosmetice, parfémeh a opalovacích krémech (Margot et al. 2015). Pravidelné užívání a každodenní aplikace, která následně vede k smývání přípravku při sprchování, koupání nebo mytí rukou přispívá k navýšování koncentrací látek v odpadních vodách, což se následně odráží v hodnotách naměřených v šedé vodě (Kokkinos et al. 2020). Pod skupinu produktů osobní péče spadají další skupiny, kterými jsou vonné látky, UV-filtry, repelenty proti hmyzu (příkladmo DEET), konzervační látky a dezinfekční činidla. Z již zmíněných skupin se tato podkapitola bude zabývat výhradně konzervačními látkami a dezinfekčními činidly. Ostatními vyjmenovanými skupinami produktů osobní péče se budou zabývat následující podkapitoly (3.2.3 „*Vonné látky*“, 3.2.4 „*UV-filtry*“).

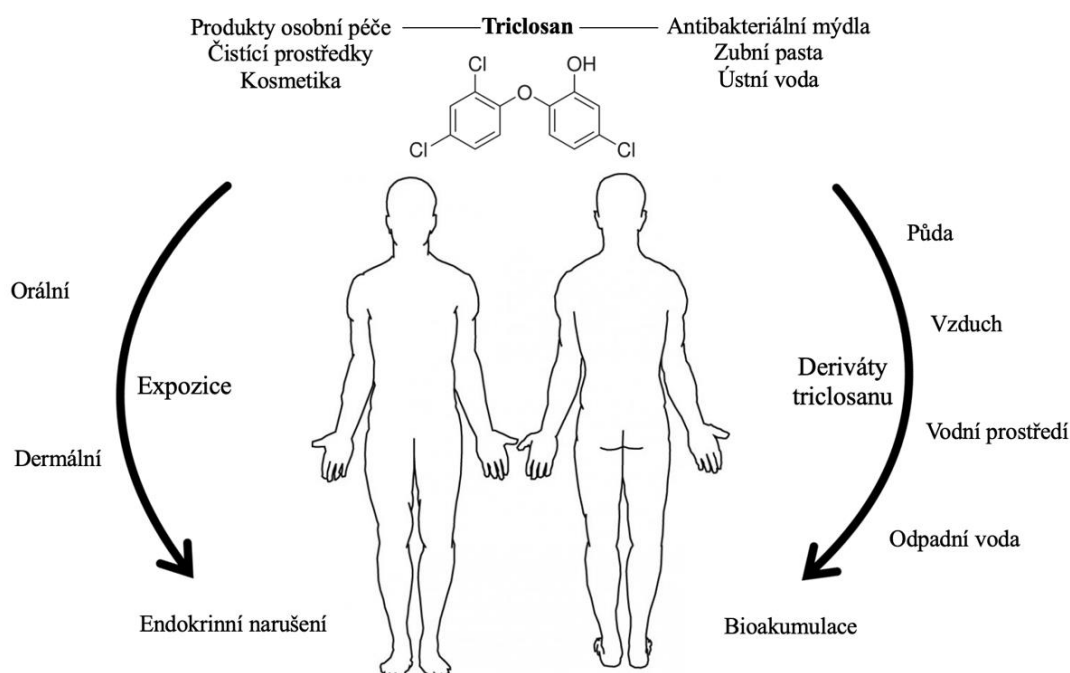
Konzervační látky jsou zastoupeny primárně parabeny, které jsou využívány nejen v produktech osobní péče, ale také v mnoha farmaceutických a potravinářských

výrobci. Zabraňují růstu bakterií neboli mikrobiologické kontaminaci a přidávají se do výrobků osobní péče, byť mnohdy v malém množství, za účelem prodloužení životnosti. Jejich toxický účinek je minimální a jsou velmi snadno biologicky odbouratelné z vodního prostředí. Jediné riziko spojené s konzervačními látkami je jejich schopnost působit jako endokrinní disruptor, což znamená, že mohou narušovat hormonální rovnováhu v těle (Itzhari a Ronen 2023). Cesty, kterými se dostávají konzervační látky do odpadních vod z domácností, jsou vzhledem k jejich využití podobné s cestami produktů osobní péče, objevují se v šedých vodách převážně z běžné hygienické činnosti. V šedých vodách jsou detekovány ve větším množství parabeny s krátkým řetězcem, jako je ethylparaben, propylparaben a methylparaben, neboť jsou hojně využívány jako účinné konzervanty v kosmetickém průmyslu (Shaikh a Ahammed 2020). Koncentrace těchto parabenu (viz příloha 3) ukazují minimální hodnotu $<0,1 \mu\text{g/l}$ ve dvou případech, a to u ethylparabenu a propylparabenu, avšak maximální hodnoty jsou rozdílné. U ethylparabenu byla naměřená maximální hodnota $41 \mu\text{g/l}$ a u propylparabenu $40 \mu\text{g/l}$. Methylparaben, poslední zmiňovaný paraben s krátkým řetězcem, byl naměřen v rozsahu hodnot $0,1\text{--}37 \mu\text{g/l}$. I přes to, že parabeny s krátkým řetězcem jsou v šedých vodách běžnější, vyskytují se zde i parabeny s dlouhým řetězcem, avšak v menší míře. Jedná se o butylparaben s naměřenou minimální a maximální hodnotou v rozsahu $0,19\text{--}4,4 \mu\text{g/l}$ (Hernández Leal 2010).

Další ze skupiny produktů osobní péče je dezinfekční činidlo triclosan. Triclosan je antimikrobiální chemická látka používaná ve výrobci osobní péče, včetně deodorantů, mýdel a dermatologických přípravků na ochranu pokožky. Taktéž je součástí zubních past, ústních vod a dalších produktů, jelikož je schopen zabránit tvorbě zubního plaku a zubního kamene. V omezené míře se může vyskytovat v plastech, kosmetice a textilním průmyslu. Zkrátka objevuje se tam, kde je potřeba využít dezinfekčních účinků. Triclosan působí na metabolismus bakterií, který narušuje, což vede k jejich následnému zneškodnění. Je účinný proti mnoha různým typům bakterií, a to včetně některých bakterií odolných vůči antibiotikům (Milanović et al. 2023). Koncentrace triclosanu (viz příloha 3) se pohybuje ve vodním prostředí v rozmezí $0,075\text{--}36 \mu\text{g/l}$ (Leal et al. 2010; Etchepare a van der Hoek 2015; Turner et al. 2019; Glover et al. 2021; He et al. 2022; Rivadulla et al. 2024). Potenciální rizika spojená s touto látkou mohou spočívat v dlouhodobém

setrvání v ŽP a následném hromadění v živých organismech. Nicméně některé zdroje uvádí, že dlouhodobé vystavení této látky může vyvolat vedlejší účinky a mít negativní dopady na VZ (viz obrázek 2). Kromě toho je triclosan spojován s reprodukční a vývojovou toxicitou a je známý svou schopností působit jako endokrinní disruptor (Wang a Liang 2021). V mnoha zemích Evropské unie (EU) je používání triclosanu regulováno, EU se snaží látku eliminovat, a to postupným snižováním povolené koncentrace této látky a taktéž se snaží o eliminaci či regulaci obdobných látek, které byly prokázány jako potenciálně škodlivé. Evropská unie povolila využívání triclosanu v produktech osobní péče v maximální povolené koncentraci 0,3 % stanovené dle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (REACH) (Milanović et al. 2023).

Obrázek 2: Zdroje a cesty expozice člověka triclosanem (Milanović et al. 2023)



3.2.3 Vonné látky

Vonné látky byly rozřazeny (viz příloha 3) a uvedeny jako samostatná skupina chemických látek, ale častokrát jsou spojovány se skupinou produktů osobní péče, jak již bylo zmíněno v podkapitole 3.3.3 „Produkty osobní péče“. Důvodem, proč jsou tyto dvě skupiny spojovány, je, že většinu vonných látek obsahují výrobky PCPs, jako jsou parfemovaná mýdla, krémy, deodoranty a parfémy

(Shaikh a Ahammed 2020). Vzhledem k tomu, že jsou vonné látky obsaženy v produktech osobní péče, dostávají se do šedých vod stejnou cestou, a to smýváním přípravků při běžné denní hygieně. Je známo přibližně 3000 různých látek a aromatických olejů, které jsou využívány jako vonné látky, jež mohou být přírodního nebo syntetického charakteru. Syntetické vonné látky se dále rozdělují na nitro-pižma a polycyklická aromatická pižma. Nitrátové pižma jsou v EU zakázána využívat v kosmetickém průmyslu. Polycyklická aromatická pižma jsou stále využívaná a vyznačují se jemnějším aroma, silnější afinitou k textilií a jsou snadno dostupné díky nízké ceně. Mezi nejznámější a nejvíce rozšířené patří tonalide a galaxolide (Li et al. 2020; David 2020).

V minulosti byl galaxolide využíván jako hlavní složka pracích prášků a textilních aviváží, které sloužily k zjemnění textilních vláken a zlepšení měkkosti. Jeho role spočívala v udržení dlouhotrvající vůně. Nicméně, kvůli obavám z dopadů na ŽP a potenciálním rizikům pro vodní organismy, jsou v dnešní době vyhledávány a preferovány různé alternativy, které zajišťují menší ekologické zatížení. Galaxolide je nyní sledován a regulován, což omezuje jeho použití, přesto se spolu s dalšími materiály objevuje v nejznámějších parfémeh jako fixační látka k prodloužení trvanlivosti a dlouhotrvajícímu dojmu intenzivní vůně (David 2020). Tonalide je využíván rovněž jako galaxolide v různých produktech, od čistících prostředků po osvěžovače vzduchu a kosmetiku. Koncentrace tonalidu byla naměřena v šedých vodách v rozmezí 1,5–5,8 $\mu\text{g/l}$ a 5,7–24 $\mu\text{g/l}$ pro galaxolide (Leal et al. 2010; Etchepare a van der Hoek 2015; Turner et al. 2019; Glover et al. 2021; He et al. 2022; Rivadulla et al. 2024). Kromě těchto látek jsou do skupiny vonných látek zařazeny i méně známé látky, jako jsou musk xylene s naměřenou jednorázovou hodnotou 36 $\mu\text{g/l}$ a hexyl cinnamic aldehyde, který je známý pod zkráceným označením HCA s naměřenou hodnotou v rozmezí 0,6–11,5 $\mu\text{g/l}$ (Leal et al. 2010; Etchepare a van der Hoek 2015; Turner et al. 2019; Glover et al. 2021; He et al. 2022; Rivadulla et al. 2024).

Všechny výše uvedené vonné látky se stejně jako většina organických mikropolutantů špatně biologicky odbourávají kvůli své chemické struktuře a mají vysokou schopnost hromadit se v živých organismech či ŽP. Monitorování a snaha odstranit vonné látky

ve vodním prostředí je především kvůli obavám spojených s prokazatelným potenciálem narušení endokrinního systému (Hernández Leal 2010).

3.2.4 UV-filtry

UV-filtry jsou sloučeniny používané od poloviny 20. století v řadě produktů osobní péče, jako jsou opalovací krémy a kosmetika. Mají schopnost pohlcovat UV-záření v rozsahu 280 do 315 nm. pro UV-B záření či v rozsahu 315–400 nm. pro UV-A záření. Opalovací krémy s UV-filtry, též označované jako ultrafialové filtry, pomáhají předcházet poškození lidského zdraví a slouží k ochraně pokožky před jejím přímým vystavením škodlivým vlnovým délkám slunečního záření. (Yang et al. 2021; Giokas et al. 2007). Obecně lze konstatovat, že všechny zmíněné UV-filtry (viz příloha 3) mají takřka stejnou funkci, a to absorbovat UV záření. Avšak některé z nich jsou schopné absorbovat jak UV-B záření, které proniká do horních vrstev pokožky a způsobuje zejména spálení, tak UV-A záření, které proniká hlouběji do pokožky a zapříčiňuje rychlejší stárnutí kůže. UV-filtry, které jsou schopny absorbovat oba typy zmíněných UV záření jsou přidávány do opalovacích krémů, aby zajistily odpovídající sluneční ochranný faktor, jedná se např. o avobenzone, benzophenone-3, ethylhexyl methoxycinnamate a octocrylene, UV-filtry uvedené v příloze 3 a další.

Opalovací krémy a kosmetické produkty s UV-filtry jsou určeny pouze pro vnější aplikaci na pokožku. Vzhledem ke své aplikaci se snadněji dostávají do přímého kontaktu s vodním prostředím (Giokas et al. 2007). Do odpadních vod z domácností, zejména do šedých vod, se UV-filtry dostávají prostřednictvím sprch, van a umyvadel, resp. smýváním opalovacích krémů a kosmetických produktů z pokožky během běžné denní hygieny. Nejvyšší detekovaná koncentrace 85 µg/l byla naměřena v šedé vodě u sloučeniny s názvem octocrylen. Druhá nejvyšší detekovaná koncentrace byla naměřena v rozsahu 3,9–67,7 µg/l u sloučeniny ethylhexyl methoxycinnamat. Ve zvýšených koncentracích byly naměřeny i sloučeniny avobenzone 0,3–17,4 µg/l a polysilicone-15 v rozsahu hodnot 0,1–15,3 µg/l (Leal et al. 2010; Etchepare a van der Hoek 2015; Turner et al. 2019; Glover et al. 2021; He et al. 2022; Rivadulla et al. 2024).

Povědomí o nutnosti ochrany před přímým slunečním zářením se zvyšuje, a tudíž se zvyšuje i aplikace ochranných produktů na pokožku, která se následně promítá ve zvyšujících se naměřených koncentracích UV-filtrů ve vodním prostředí (rovněž v šedých vodách). Bylo zjištěno, že UV-filtry, jako jsou octocrylene a benzophenone-3, se nachází téměř ve všech vodních zdrojích po celém světě. UV-filtry mají nízkou rozpustnost ve vodě a zároveň vysokou rozpustnost v tucích, což vede k obtížnějšímu odstranění. Obavy, které vycházejí z používání UV-filtrů v produktech osobní péče se týkají především dopadů na VZ a ŽP (Schneider a Lim 2019). Opalovací krémy mohou po aplikaci na pokožce vyvolat vedlejší účinky, jako jsou alergická reakce či zánětlivé onemocnění kůže zvané dermatitida. Některé UV-filtry, jako je benzophenone-3, jsou známé svou schopností vyvolávat estrogenní aktivitu a reprodukční toxicitu u určitých organismů a mohou být považovány za endokrinní disruptory (Wang et al. 2016).

3.2.5 Zpomalovače hoření

Zpomalovače hoření jsou chemické látky, které se přidávají jako přísady do různých druhů výrobků. Jsou např. obsaženy ve stavebních materiálech, elektronice, plastech, textilních látkách, nábytku a mnoha dalších výrobcích (Margot et al. 2015). Zpomalovače hoření jsou používány především jako prevence k zabránění požáru a rovněž k samotné požární bezpečnosti (Waaaijers a Parsons 2016).

Časté používání a následné opotřebování může vést k uvolňování těchto chemikálií, tudíž ke kontaminaci šedé vody. Do šedé vody tyto chemické látky pronikají především v důsledku čištění povrchů nábytků či praním textilních materiálů, do kterých se tyto látky přidávají s cílem snížit nebo zpomalit schopnost hoření (Margot et al. 2015). V jednotlivých případových studiích a v odborné literatuře byly v šedé vodě zaznamenané dvě chemické látky spadající do skupiny zpomalovačů hoření, a to dibromobiphenyl a triphenyl phosphate.

Dibromobiphenyl, který byl naměřen v šedých vodách v koncentraci 121 µg/l (viz příloha 3) je součástí skupiny bromovaných zpomalovačů hoření. Ty jsou využívány již několik let, neboť jsou velmi účinné v poměrně malém množství a jsou relativně cenově dostupné. Nicméně je důležité poznamenat, že některé země EU podléhají omezením týkající se používání bromových zpomalovačů hoření

při výrobě určitých výrobků kvůli negativním dopadům na životní prostředí a veřejné zdraví (Waaikers a Parsons 2016). Bylo zjištěno, že některé z těchto látek mohou vykazovat určitá rizika spojená s perzistencí v životním prostředí, bioakumulací v živých organismech a potenciální toxicitou. Zmíněná rizika zapříčinila nahrazení nejrozšířenějších bromových zpomalovačů hoření za organofosfátové zpomalovače hoření, pod které spadá i látka triphenyl phosphate (Choi et al. 2020).

Organofosfátové zpomalovače hoření se používají ve stejných výrobcích a za stejným účelem jako bromované zpomalovače hoření. Tato alternativa je využívána pro své efektivní vlastnosti, resp. pro nízké náklady na výrobu a taktéž pro menší pravděpodobnost uvolnění do ŽP v důsledku snížené těkavosti. Triphenyl phosphate, jakožto nejčastější používaná alternativa pro bromované zpomalovače hoření, byl naměřen v šedé vodě s výrazným rozdílem mezi minimální a maximální hodnotou koncentrace (Choi et al. 2020). Nejnížší naměřená hodnota této látky byla 0,5 µg/l a nejvyšší naměřená hodnota dosahovala 133 µg/l (viz příloha 3) (Leal et al. 2010; Etchepare a van der Hoek 2015; Turner et al. 2019; Glover et al. 2021; He et al. 2022; Rivadulla et al. 2024). Vzhledem k naměřeným koncentracím triphenyl fosphatu ve vodním prostředí vzniká mnoho obav souvisejících s vysokou toxicitou pro vodní organismy a potenciálními nepříznivými účinky (např. narušení endokrinního systému) na veřejné zdraví (Peng et al. 2023).

3.2.6 Povrchově aktivní látky

Povrchově aktivní látky jsou skupinou chemických látek, které jsou přidávány jako aktivní látka do mnoha domácích i průmyslových výrobků, jsou obsaženy v čistících prostředcích, textiliích, barvách a plastech (Margot et al. 2015). Nicméně se objevují i v řadě produktů osobní péče, neboť mají schopnost odstraňovat nečistoty a mastnotu z pokožky. Jsou používány také jako stabilizátory, které pomáhají udržet rovnováhu složek v produktech a prodlužují tak životnost výrobků. Četný výskyt a využití povrchově aktivních látek lze vysvětlit jejich speciálními vlastnostmi, jednou z vlastností je schopnost snižovat povrchové napětí mezi dvěma látkami, obvykle se jedná o rozhraní mezi dvěma kapalinami, kapalinou a plynem nebo kapalinou a pevnou látkou. Vynikají také schopností rozpouštět se v jakékoliv směsi polárních

i nepolárních rozpouštědel. Dalšími vlastnostmi jsou hydrofilnost a hydrofobnost, které umožňují těmto látkám interakci s vodou, tuky a oleji (Kronberg et al. 2014).

Povrchově aktivní látky jsou nejčastěji klasifikovány podle jejich chemické struktury do tříd aniontových, kationtových a neiontových (Hernández Leal 2010). Aniontové látky jsou nejrozšířenější z celé skupiny, neboť jsou snadno dostupné díky své jednodušší chemické struktuře a nižším nákladům na výrobu (Kronberg et al. 2014). Druhou nejrozšířenější skupinu jsou neiontové látky, které jsou charakteristické pro výrobu produktů v různých průmyslových odvětví (např. průmysl čistících prostředků či kosmetický, farmaceutický nebo agrochemický průmysl). Neiontové látky jsou často využívány v produktech osobní péče, jelikož jsou šetrnější k pokožce (Kronberg et al. 2014; Bhandari et al. 2021).

Třetí největší a poslední zmíněnou třídou jsou kationtové látky, které mají podobné využití jako předešlá třída neiontových povrchově aktivních látek, avšak mohou v řadě čistících prostředků působit svými dezinfekčními a antimikrobiálními účinky. Kationtové povrchově aktivní látky se vzhledem k zvýšené schopnosti vázat se na různé povrchy a materiály, zejména pak vlasy a pokožku, obvykle přidávají do přípravků, jako jsou kondicionéry. Používají se zpravidla tam, kde není potřeba dosáhnout pěnivosti výrobků (Kronberg et al. 2014; Salama a Gliksberg 2021).

Existují různé cesty, jak povrchově aktivní látky pronikají do šedých vod, avšak většina z těchto látek pochází z koupelen a až druhotně ze zdrojů ostatních. Obsah povrchově aktivních látek v šedé vodě se zvyšuje v důsledku vyšší spotřeby čistících a mycích prostředků v domácnostech, ale i nadměrnou spotřebou kosmetiky, mýdel, vlasových a pleťových přípravků (Khajvand et al. 2022). V jednotlivých případových studiích a odborných článcích byly detekovány v šedé vodě látky nonylphenol a octylphenol, které jsou součástí třídy neiontových povrchově aktivních látek. Nejnižší naměřená hodnota nonylphenolu (viz příloha 3) představuje 0,35 µg/, zatímco nejvyšší hodnota činí 38 µg/l. Octylphenol byl naměřen v rozsahu minimálních a maximálních hodnot koncentrací 0,07–0,16 µg/l, tudíž ani dvojnásobek nejvyšší hodnoty octylphenolu by nedosahoval nejnižším hodnotám naměřených u nonylphenolu (Leal et al. 2010; Etchepare a van der Hoek 2015; Turner et al. 2019; Glover et al. 2021; He et al. 2022; Rivadulla et al. 2024).

Mnohé ze skupiny povrchově aktivních látek (např. lineární alkylbenzensulfonáty) nepředstavují zátěž spojenou s odstraněním z vodního prostředí, neboť jsou tyto látky snadno biologicky odbouratelné. Avšak některé látky včetně nonylphenolu a octylphenolu vyžadují složitý proces, kde za pomoci kombinace různých metod a technik (filtrace, adsorpce, oxidace, koagulace atd.) dochází k požadovanému odstranění (Margot et al. 2015). Obavy z povrchově aktivních látek vznikají v důsledku používání nonylphenolu a octylphenolu, které jsou považovány za sloučeniny narušující endokrinní systém (Ryu et al. 2024). Podobně jako u ostatních organických mikropolutantů není překvapením, že některé povrchově aktivní látky jsou perzistentní v ŽP a jsou schopné bioakumulace v živých organismech. Zároveň tyto látky představují rizika pro jednotlivé složky ŽP, neboť vykazují vysokou ekologickou toxicitu (Bhandari et al. 2021).

3.2.7 Plastifikátory

Plastifikátory jsou chemické látky, které se přidávají v podobě příměsí do různých obdob polymerů, jako jsou např. plasty, s cílem snížit tvrdost a hustotu materiálu, zároveň mohou měnit některé mechanické vlastnosti polymerů, tudíž zajišťují lepší zpracovatelnost, pružnost a tvárnost. Díky těmto vlastnostem mohou být polymery uplatněny v široké škále produktů (Vieira et al. 2011; Erythropel et al. 2014).

Nejběžněji využívanými plastifikátory jsou ftaláty, což jsou organické sloučeniny tvořeny přibližně 40 látkami, mezi které lze zahrnout téměř veškeré látky uvedené v příloze 3 nacházející se pod skupinou plastifikátorů, které byly naměřené v jednotlivých studiích a odborných článcích v šedé vodě (vyjma látky bisfenol A) (Erythropel et al. 2014). Zjištěné hodnoty některých látek ukázaly zvýšené koncentrace, zejména látka di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP), u které byla naměřena maximální koncentrace 160 µg/l. Vysoké koncentrace DEHP v šedé vodě mohou být vysvětleny tím, že tento plastifikátor patří mezi nejčastěji používané a vyskytuje se především v termoplastickém polymeru polyvinylchloridu (PVC), který je jedním z nejběžněji používaných plastů na světě. Druhá nejvyšší naměřená koncentrace, avšak s podstatně nižšími hodnotami, náleží látce diethyl phthalate (DEP), která dosahovala 38 µg/l. Obecně platí, že výrobky obsahující tyto chemické látky, které nejsou v produktu pevně vázané se mohou snadno uvolňovat do ŽP (Erythropel et al. 2014).

Chemická látka bisfenol A není součástí ftalátů ani není považovaná za typický plastifikátor, avšak je zařazená do skupiny plastifikátorů na základě společných vlastností, které vykazuje a na základě podobnosti ve využití v průmyslu. Obvykle se využívá v průmyslových procesech jako materiál na výrobu epoxidových pryskyřic a polykarbonátových plastů, které jsou následně využity ve výrobcích pro každodenní užití. Bisfenol A, jako složka v polykarbonátových plastech, je používána zvláště kvůli svým vlastnostem, jako je výkonnost, odolnost a tvrdost k výrobě nádob, obalů na potraviny a plastových láhví (Konieczna et al. 2015). Během častého používání výrobků, které obsahují látku bisfenol A, nebo při zvýšené teplotě v blízkosti těchto výrobků může docházet k uvolňování této látky do ŽP. V šedé vodě byl bisfenol A naměřen v rozmezí 0,42–35,7 µg/l. Uvolněné látky bisfenolu A mohou kromě ŽP ovlivnit i expozici člověka, a to třemi způsoby. Jedním z těchto způsobů je přímý kontakt s výrobkem obsahujícím bisfenol A. Dalšími způsoby mohou být vdechnutí nebo požití této látky (Konieczna et al. 2015). Kvůli snadnému uvolňování bisfenolu A do ŽP a expozici člověka vznikají obavy ohledně zdravotních rizik. Tyto obavy jsou zejména způsobeny možnými hormonálními účinky, neboť bisfenol A je považován za endokrinní disruptor (Kang et al. 2006).

3.2.8 Umělá sladidla a stimulanty

Umělá sladidla jsou syntetické organické sloučeniny, které se využívají zejména k nahrazení bílého cukru známého jako sacharóza. Obvykle jsou používány jako přídatné látky do potravin a nápojů kvůli své vysoké úrovni sladkosti a nízkému kalorickému obsahu (Marazuela et al. 2023). Mohou se však nacházet i v léčivech a produktech osobní péče (Li et al. 2023b).

Mezi nejčastěji využívaná umělá sladidla, která jsou schválená EU, řadíme acesulfame, aspartam, cyklamát, neohesperidin dihydrochalkon, sacharin a sukralózu (Lalas et al. 2024). Všechny výše uvedené látky i přesto, že jsou schválené EU, mohou být považované za nově vznikající znečišťující látky, neboť mají schopnost setrvat po dlouhou dobu v ŽP a jsou celosvětově detekované ve vodním prostředí (Lalas et al. 2024). Zmíněné vlastnosti těchto látek mohou představovat určitá rizika pro ŽP a mohou vyvolávat obavy z potenciálních negativních dopadů na VZ (Li et al. 2023a).

Do šedé vody se umělá sladidla dostávají zejména z kuchyňských dřezů a myček nádobí v důsledku omývání nádobí od potravinových zbytků nebo vylitím nápojů, které obsahují umělá sladidla. Většina umělých sladidel vyjma aspartamu, se nedokáže v lidském těle snadno metabolizovat a dochází k vyloučení těchto látek v podobě stolice a moči, která se následně může objevit v koupelnových zdrojích šedé vody (Marazuela et al. 2023). Z jednotlivých případových studií a odborných článků byla zjištěna jediná hodnota v šedé vodě pro látku acesulfame, a to 0,4 µg/l (viz příloha 3) (Leal et al. 2010; Etchepare a van der Hoek 2015; Turner et al. 2019; Glover et al. 2021; He et al. 2022; Rivadulla et al. 2024). Je třeba zmínit, že většina umělých sladidel je snadno biologicky odbouratelná, s výjimkou acesulfamu, který představuje výzvu i pro ČOV, jež byly hlášeny jako neúčinné při jeho odstranění (Lalas et al. 2024).

Další znečišťující látkou objevující se v šedých vodách je caffeine, který řadíme do skupiny stimulantů (viz příloha 3). Caffeine je chemická látka, která je čím dál častěji využívána, zejména pro své stimulační účinky, je obsažena v mnoha výrobcích včetně potravin a nápojů, jako jsou káva, zelený čaj, černý čaj, energetické nápoje, ale také v léčivech a produktech osobní péče (Teoh et al. 2023). Cesty, kterými se tato látka dostává do šedých vod, jsou různé v závislosti na typech výrobků. Jedna z nejčastějších cest tohoto stimulantu do šedých vod je podobná jako u umělých sladidel, tedy prostřednictvím kuchyňských dřezů a myček na nádobí v důsledku omývání nádob od potravinových zbytků nebo odstraňování nápojů obsahující caffeine. Caffeine se také využívá v produktech osobní péče, jako jsou vlasové přípravky, které podporují růst vlasů díky stimulačním vlastnostem, nebo v dalších kosmetických výrobcích. Proto další cesty, které přispívají k zvýšení koncentrace caffeine v šedých vodách, jsou prostřednictvím koupelnových sprch, van a umyvadel v důsledku používání produktů osobní péče při každodenní hygieně (Turner et al. 2019; Choque-Quispe et al. 2024).

Zjištěné koncentrace caffeine z jednotlivých studií a odborných článků (viz příloha 3) se pohybovaly od minimální hodnoty 0,5 µg/l do maximální hodnoty 450 µg/l, což představuje poměrně široké rozmezí, které poukazuje na významnou variabilitu v obsahu caffeine v různých prostředích a vzorcích šedé vody, která byla zkoumána

(Leal et al. 2010; Etchepare a van der Hoek 2015; Turner et al. 2019; Glover et al. 2021; He et al. 2022; Rivadulla et al. 2024).

3.3 Predikované organické mikropolutanty v šedých vodách

Mezi již uvedenými a identifikovanými organickými mikropolutanty, které byly zjištěny v šedé vodě prostřednictvím jednotlivých případových studií a vědeckých článků, se mohou vyskytovat další znečišťující chemické látky, jež spadají do kategorie organických mikropolutantů. Detekce těchto znečišťujících látek v šedých vodách lze předpokládat na základě přítomnosti v různých výrobcích a s ohledem na jejich využití. Avšak těmto látkám není obvykle věnovaná dostatečná pozornost a bývají mnohdy přehlíženy. Mezi tyto látky patří např. perfluorované a polyfluorované alkylové látky, siloxany a mnoho dalších (Włodarczyk-Makuła 2024).

3.3.1 Perfluorované a polyfluorované alkylové látky

S ohledem na cesty, které vedou k výskytu látek v šedé vodě, je předpokládáno, že se bude mezi širokou škálou tvořící mikropolutanty objevovat i skupina antropogenně vzniklých látek zvaných perfluorované a polyfluorované alkylové látky (PFAS). Skupina látek PFAS dohromady zahrnuje více než 3 000 organických i anorganických chemických látek obsahující perfluoroalkylovou část znázorňovanou jako $C-F_{n2n+1}$, což je fluorovaný alifatický řetězec obsahující jeden nebo více atomů uhlíku (C), přičemž je většina atomů vodíku (H) nahrazena atomy fluoru (F) (Buck et al. 2011; Bertram et al. 2021).

Perfluoroalkylové látky jsou organické sloučeniny, které se zpravidla skládají z krátkých a dlouhých uhlíkatých řetězců. Na jednom konci mají připojenou nabitou část funkční skupiny, kdy se převážně jedná o karboxylovou či sulfonovou kyselinu. Na uhlíkovém řetězci se nacházejí vazebná místa, ke kterým jsou připojeny atomy fluoru vyjma poslední části uhlíkové skupiny a vytvářejí tak vícenásobné vazby uhlík-fluor (C-F) (Shahsavari et al. 2021).

Polyfluoroalkylové látky jsou organické sloučeniny, které nejsou plně fluorované, což znamená, že mají na uhlíkovém řetězci alespoň jedno volné místo, které není

fluorované. K jednomu z uhlíkových řetězců se připojí fluorovaný atom především se jedná o vodík či kyslík a vytváří tak řetězce obsahující vazby uhlík-vodík (C-H) (Shahsavari et al. 2021).

Ve 40. letech 20. století, resp. v období, které se považuje za vznik celé skupiny látek s více než tisíci sloučenin, vyšly první zmínky o výrobě dvou nejznámějších a nejrozsáhleji zkoumaných látek z celé skupiny perfluoroalkylových látek. Jedná se o kyselinu perfluoroktansulfonovou známou také jako PFOS, která byla využívána v průmyslových čistících látkách a výrobě hasičských prostředků díky své schopnosti potlačit hoření paliv, a poté o kyselinu perfluoroktanovou známou pod zkráceným výrazem PFOA, která se využívala především při výrobě nepřilnavých povrchů, voděodolných a mastnotě-odpudivých textilních materiálů (Fàbrega et al. 2014; Reinikainen et al. 2022). V 70. letech 20. století se začalo spekulovat o negativních vlastnostech, které mohou mít nepříznivé účinky jak pro ŽP, tak pro zdraví člověka. Studie zjistily, že expozice PFOS a PFOA u člověka souvisí s vysokým výskytem onemocnění štítné žlázy, vysokého cholesterolu, hypertenzí, sníženou reakcí na očkování a další (Gagliano et al. 2020; Crone et al. 2019). V roce 2000 bylo oznámeno ukončení výroby těchto látek a pozdější výzkumy a zprávy potvrdily, že tvrzení o nepříznivých účincích byly pravdivé a podceňované (Grandjean a Clapp 2015). V následujících letech byla kyselina perfluoroktansulfonová a její příbuzné sloučeniny označeny za cílové chemické látky, které mají být regulovány Stockholmskou úmluvou o perzistentních organických polutantech (2001), která představuje mezinárodní dohodu ratifikovanou signatářskými státy o eliminaci látek, které zůstávají dlouhodobě v ŽP a ohrožují lidské zdraví i ve velmi malé koncentraci (Domingo a Nadal 2019; Sheriff et al. 2022).

Perfluorované alkylové kyseliny a jejich podtřídy zastoupily nové alternativy jako jsou například GenX a perfluorbutansulfonát (PFBS). Zmíněné chemické sloučeniny měly za úkol nahradit unikátní vlastnosti kyselin PFOA a PFOS bez negativních dopadů na ŽP a VZ, kterými byly např. riziko vysoké toxicity či karcinogenita (Wanninayake 2021).

Jedním z hlavních důvodů, proč jsou tyto látky v hojném počtu stále vyráběny a používány, je jedinečná chemická struktura a vysoká polární a silná vazba mezi uhlíkem a fluorem, která zajišťuje unikátní fyzické, chemické a biologické vlastnosti

látek. K nejvýznamnějším vlastnostem patří hydrofobie, hydrofilie a lipofobie – termíny, které popisují vlastnosti látek, resp. materiálů, v souvislosti s jejich interakcí s vodou a tuky. Dalšími kvalitami jsou tepelná a chemická stabilita, smáčivost a nízká povrchová energie (Vu a Wu 2022).

Mimo používání v průmyslu a výrobcích denní potřeby, kde vlastnosti látek PFAS představují výrazná pozitiva, na ŽP, živočichy i člověka mohou mít vlastnosti těchto látek negativní dopad a způsobovat určitou hrozbu a rizika. Jednou z negativních vlastností, která vede k obavám, je všudypřítomnost, perzistence a mobilita chemikálií, díky které jsou látky schopné přemístění na velké vzdálenosti a snadněji se přenášejí mezi jednotlivými složkami ŽP. Některé látky vykazují vysokou bioakumulaci, toxicitu a představují tak polutanty vzbuzující velké obavy a možné nepříznivé dopady na veřejné zdraví (Franke et al. 2019; Reinikainen et al. 2022).

Látky PFAS jsou využívány především v domácnostech, průmyslu a zemědělství (viz obrázek 3), což se může v důsledku rozsáhlého používání odrazit na složení šedé vody. Tyto látky najdeme zejména tam, kde jiné látky nedokážou zajistit požadovaný výkon. V zemědělství se objevují v podobě agrochemikálií, v textilním průmyslu jsou obsaženy v materiálech oděvů, které mají voděodolné a nepromokavé vlastnosti, a zároveň jsou součástí nejznámějšího membránového materiálu Gore-Tex. Během opotřebování z nošení a opětovného praní mohou tyto materiály způsobit postupné uvolňování látek PFAS do šedých vod. V největší míře jsou PFAS používány v potravinovém průmyslu, neboť jsou schopné zpomalit proces rozkladu potravin, taktéž jsou součástí obalů rychlého občerstvení, ať už se jedná o papírové nádoby, sáčky či pečicí papír. Díky vlastnosti odpuzování vody a oleje jsou látky využity v domácnostech jako nátěry kuchyňského nádobí (Teflon), ale objevují se i v řadě produktů jako jsou barvy, repelenty, vosky, protipožární pěny, produkty osobní péče a kosmetice. V důsledku používání těchto produktů dochází k částečnému uvolňování a postupnému úniku látek PFAS do šedých vod (Yin a Villagrán 2022; Jane L Espartero et al. 2022).

Obrázek 3: Zdroje látek PFAS (Yadav et al. 2022)



3.3.2 Siloxany

Dalšími hypoteticky předpokládanými znečišťujícími látkami, které by mohly být detekovány v šedé vodě, jsou siloxany. Siloxany jsou syntetické sloučeniny, běžně známé také pod názvem silikony, které jsou součástí organokřemičitých sloučenin, neboť jejich základními skladebními prvky jsou křemík, kyslík a organická skupina. Tyto sloučeniny se vyznačují svými výjimečnými fyzikálními a chemickými vlastnostmi, jež získaly díky své specifické struktuře. Mezi charakteristické vlastnosti patří schopnost těchto látek snižovat napětí na rozhraní mezi nimi a jinými látkami. Dále vykazují vlastnosti, jako jsou hydrofilnost a amfifilnost, a zároveň disponují svou inertností, což vysvětluje jejich vysokou tepelnou stabilitu a odolnost (Xu et al. 2013; Mojsiewicz-Pienkowska et al. 2016). Díky těmto kvalitám jsou siloxany ve velkém množství vyráběny, spotřebovány a mají široké uplatnění v řadě průmyslových odvětvích, včetně lékařství, kosmetiky, textilního a potravinářského průmyslu a mnoha dalších oblastí (Zhang et al. 2011).

V textilním průmyslu jsou siloxany využívány jako ochranné nátěry, které slouží k ochraně textilií před poškozením. Dále se používají jako impregnace, které jsou aplikované především na oděvy a obuv určenou pro venkovní aktivity.

Tato impregnace poskytuje voděodolnost materiálu, ochranu proti větru a zabraňuje pronikání vlhkosti do textilních vláken (Bertaux et al. 2009; Nedel'kin et al. 2023).

V kosmetickém průmyslu siloxany představují důležité složky, které jsou přidávány téměř do většiny produktů osobní péče. Nejčastěji se objevují ve výrobcích dekorativní kosmetiky, kde působí jako složka pro snadnější roztírání, což následně umožňuje rovnoměrnější a dokonalejší aplikaci na pokožku, dále se objevují v hydratačních mycích prostředcích, kde napomáhají k lepší vstřebatelnosti a hydrataci pokožky. Nachází se také v opalovacích krémech, kde tyto složky tvoří jemnou vrstvu na pokožce a poskytují voděodolný film, který chrání před nepříznivými účinky slunečního záření. Siloxany jsou dále využívány v přípravcích vlasové péče, konkrétně v šamponech a kondicionérech, kde vytváří ochrannou vrstvu před tepelným poškozením a zároveň zajišťují snížení tření a dodávají vlasům lesklost a hladkost (Bains a Kaur 2023; Ivanova et al. 2023). Siloxany jsou rovněž přidávány do antiperspirantů a deodorantů s cílem vytvořit ochranný film na pokožce, který pomáhá snižovat pocení a zabraňuje tvorbě nepříjemného zápachu (Ivanova et al. 2023).

Obecně lze konstatovat, že s ohledem na používání siloxanů v produktech osobní péče, textilních materiálech a dalších výrobcích z různých průmyslových odvětví existuje předpoklad, že tyto látky mohou pronikat do odpadních vod z domácností, zejména do šedých vod (Xu et al. 2013). Nejčastější způsob, jak by se tyto látky mohly dostávat do šedých vod, je v důsledku používání produktů osobní péče během běžné denní hygieny. Dalším způsobem, jak siloxany mohou pronikat do šedých vod, je prostřednictvím praní voděodolných textilních materiálů. Tyto materiály se během používání opotřebovávají, čímž mohou být tyto látky uvolňovány z ochranných nátěrů a impregnací do vody během praní, což následně může způsobovat pronikání těchto látek do šedých vod (Nedel'kin et al. 2023; Ortiz-Ardila et al. 2024).

Většina siloxanů je snadno biologicky odbouratelná, není nijak toxická a nemá potenciál se hromadit v živých organismech, tudíž nepředstavují téměř žádná rizika pro VZ, ba naopak některé siloxany slouží jako prospěšné látky vhodné pro citlivou pokožku a jsou využívány např. k léčbě ekzémů, vyrážek, akné a hojení ran (Ivanova et al. 2023). Nicméně existují obavy týkající se menší skupiny siloxanů, které jsou těkavé a mají menší molekulovou hmotnost. Tyto látky se mohou snadněji

uvolňovat do všech složek ŽP a jsou vysoce stabilní a mají nízkou rozpustnost ve vodě, což může vést k potenciálním toxickým účinkům a bioakumulaci v živých organismech (Xu et al. 2013; Zhang et al. 2011).

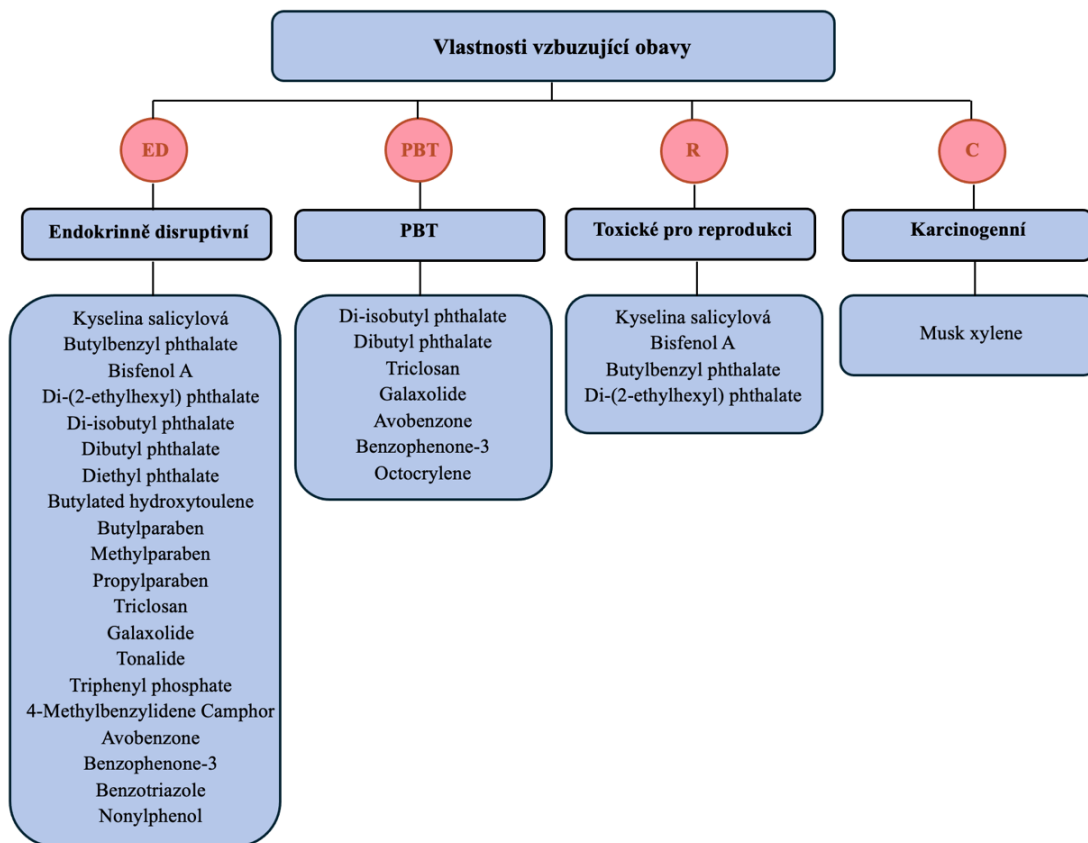
3.4 Vliv organických mikropolutantů na životní prostředí a veřejné zdraví

Inovace a pokrok v technologii přispívají ke vzniku a rozvoji mnoha sloučenin používaných ke zlepšení kvality každodenního života, avšak nepřispívají životnímu prostředí (Bhatt et al. 2022). V dnešní době získávají mikropolutanty výraznou pozornost, neboť jsou používány v řadě průmyslových oblastí a jejich nadměrné rozšíření zapříčinilo přítomnost těchto nežádoucích látek do všech složek ŽP. I přes své velmi nízké koncentrace mikropolutanty představují určitá rizika, zejména pokud není provedeno jejich dostatečné odstranění ze sledovaného prostředí vzhledem k jejich vlastnostem (Revitt et al. 2011a).

Mezi specifické vlastnosti většiny mikropolutantů patří velmi nízká biologická odbouratelnost, tento termín označuje omezenou schopnost rozkladu látky biologickými procesy v ŽP, což znamená, že se daná látka velmi obtížně či pomalu rozkládá. Špatná biologická odbouratelnost dále souvisí s perzistencí neboli schopností daných látek setrvávat po dlouhou dobu v ŽP – od několika dní, týdnů až po několik desítek či stovek let (Kokkinos et al. 2020). Bylo prokázáno, že sloučeniny s nižší rozpustností ve vodě jsou obvykle perzistentnější, toxikologicky významnější a mají tendenci se hromadit v organismech ve srovnání se sloučeninami s vyšší rozpustností (Arslan et al. 2017). Mnohé obavy z mikropolutantů a jejich metabolitů jsou zapříčiněny skutečností, že vykazují vysokou odolnost vůči degradaci a mají obecně vysoký potenciál bioakumulace. Zdali bude potenciál bioakumulace v živých organismech vysoký nebo nízký, závisí na citlivosti jednotlivých druhů organismů. Některé organismy mohou mít rozdílný potenciál pro bioakumulaci i přesto, že jsou vystaveny stejným koncentracím určitých znečišťujících látek, navíc jedinci stejného druhu nemusí určitou látku akumulovat ve stejném rozsahu (Rogowska et al. 2020). Nicméně největší obavou, která souvisí se všemi již zmíněnými vlastnostmi je skutečnost, že některé mikropolutanty vykazují krátkodobé i dlouhodobé toxické účinky na živé organismy a mohou působit jako endokrinní disruptory (Trapido et al. 2014). S cílem poskytnout ucelený přehled

vlastností vzbuzující obavy byl vytvořen „obrázek 4“, který se zaměřuje na data mikropolutantů získaných prostřednictvím jednotlivých studií a odborných článků (ECHA, 2007).

Obrázek 4: Vlastnosti vzbuzující obavy (data aktualizována ke dni 6. 9. 2023) (ECHA, 2007)



S ohledem na charakteristiku těchto kontaminantů je nezbytně nutné zhodnotit jejich vliv a negativní dopady na ŽP a VZ, zejména v kontextu opětovného využívání šedých vod, které jsou v současné době primárně využívány pro účely zavlažování a splachování toalet (Van de Walle et al. 2023). Recyklovaná šedá voda se využívá na zavlažování půd rostlin a nepotravinářských plodin zejména v oblastech, které se potýkají se suchým klimatem a nedostatkem vodních zdrojů. Opětovné použití šedé vody se v současnosti nabízí jako vhodná a udržitelná alternativa oproti využívání pitné vody pro tyto účely. Na druhou stranu upravené šedé vody nemusí být vždy zaručeně bezpečné a vhodné pro přímou aplikaci v krajině, neboť mnohdy i upravené šedé vody obsahují několik potenciálně nebezpečných kontaminantů, jako jsou organické mikropolutanty a další látky, o jejichž environmentálním osudu je známo

jen velmi málo informací (Benami Maya et al. 2016). Avšak lze předpokládat, že tyto nežádoucí látky mohou negativně ovlivňovat půdní prostředí a mít nepříznivý vliv na ŽP. Především v důsledku opakovaného používání mohou vznikat rizika spojená s obsahem znečišťujících látek, které se mohou akumulovat v půdě a vyvolat její kontaminaci, což úzce souvisí s dalším problémem, který se může vyskytnout při opětovném použití šedé vody, a to kontaminace podzemní vody. Ke kontaminaci podzemní vody dochází filtrací nežádoucích látek, které následně pronikají skrze půdní profil až do podzemních vod, kde mohou zhoršit její kvalitu a potenciálně ohrozit zdroje pitné vody. Pokud není šedá voda řádně zpracovaná, může její použití vést k rizikům související taktéž s kontaminací povrchových vod. Vzhledem k povrchovým odtokům recyklované šedé vody ze zavlažovacích ploch, která obsahuje řadu mikropolutantů a ostatních nežádoucích látek, může docházet k znečištění okolních povrchových toků, což eventuelně může ohrozit tyto zdroje vody pro zásobování pitnou vodou (Turner et al. 2019). Je důležité zmínit, že závlaha rostlin může být provedena pomocí dvou rozdílných typů zavlažovacích systémů. Jednak povrchovým zavlažováním, kdy je závlahová voda aplikovaná přímo na první půdní vrstvu, a druhým typem je podpovrchové zavlažování, které se realizuje pod úrovní půdy, kde je závlahová voda přiváděna přímo do kořenové zóny. S ohledem na odlišný přívod vody do půdního profilu, je pro opětovné využití šedé vody na zavlažování doporučena zejména povrchová závlaha, neboť představuje menší enviromentální riziko. U obou typů zavlažovacích systémů je potřeba zvážit výběr vhodného umístění se zřetelem na využití šedé vody tak, aby nebyly navrhovány do oblastí s vysokým rizikem půdní eroze, ale v nejlepším případě do lokalit s vegetačním krytem (Turner et al. 2019). Jelikož nejsou přesně určené normy a pokyny pro opětovné použití šedých vod a nakládání s nimi, může nastat situace, kdy se využije na zavlažování nedostatečně upravená či téměř neupravená šedá voda. Při použití nedostatečně upravené recyklované šedé vody záleží na délce aplikace, jestli je dlouhodobá či krátkodobá. Zejména zavlažování neupravenou šedou vodou, která obsahuje vysoké koncentrace potenciálně škodlivých látek, které mají nepříznivé účinky na půdu hlavně v dlouhodobém horizontu, způsobují značné škody. Při dlouhodobém používání neupravené šedé vody by mohlo docházet ke snížení propustnosti vody a vzlínivosti v důsledku vysoké hladiny povrchově aktivních látek a olejů, taktéž k nedostupnosti některých mikroživin z důvodu vyššího pH než 8

a úbytku půdy (Vuppaladadiyam et al. 2019; Khajvand et al. 2022). Vlastnosti a složení půdy se mohou měnit v závislosti na vysoké koncentraci boru, organické hmoty, povrchově aktivních látek, patogenů a obsahu živin, kde obecně platí, že některé z nich mohou být pro rostliny prospěšné jako např. dusík a fosfor, ale také mohou být škodlivé kvůli obsaženému sodíku a chloridu. V důsledku vysoké koncentrace těchto látek může docházet k výraznému poškození či úplnému odumření rostlin především kvůli jednomu z prvků alkalických kovů – sodíku, který je obsažen v pracích prostředcích (Benami Maya et al. 2016; Khajvand et al. 2022). Proto je nezbytně nutné před jakoukoliv aplikací šedé vody provádět důkladné rozborů jak před procesem úpravy, tak po jeho dokončení (Aemig et al. 2021).

Přítomnost mikropolutantů a dalších nežádoucích látek v ŽP může také nepříznivě ovlivnit biodiverzitu, neboť některé mikropolutanty, byť i v malé koncentraci, mohou mít toxické účinky na živé organismy. Ve většině případů není pravděpodobné, že by docházelo k akutní toxicitě při současných koncentracích v ŽP, avšak je důležité podrobněji zkoumat a brát v úvahu toxické účinky z dlouhodobého hlediska. Mikropolutanty a jejich metabolity v ŽP mohou způsobit oslabení populací různých druhů, anebo dokonce jejich úplné vymírání, což může mít významný dopad na celkovou biodiverzitu. Největší obavu týkající se těchto chemických látek, které mohou vykazovat toxické účinky, představuje jejich přeměna, kdy obvykle původní chemické látky nevykazují taková rizika jako jejich metabolity. Tyto přeměněné látky mohou být přijímány organismy, kde se stanou součástí potravního řetězce a následně jsou tyto látky v důsledku vzájemné propojenosti organismů v potravních sítích přenášeny mezi různé organismy, což může ve výsledku ovlivnit VZ (Arslan et al. 2017).

Jak již bylo zmíněno, některé organické mikropolutanty (příkladem bisfenol A, triclosan, DEHP apod.) mohou působit jako hormonálně aktivní látky, taktéž nazývané jako endokrinní disruptory, které se kvůli svým škodlivým účinkům zařadily mezi neobávanější mikropolutanty z hlediska dopadů na ŽP a VZ. Představují skupinu, která je zastoupena zejména syntetickými chemickými látkami, ale rovněž přirozeně se vyskytujícími chemickými látkami, které mají schopnost narušovat fungování endokrinního systému jak u živočichů, tak u lidí (Rattan et al. 2017). Endokrinní disruptory jsou všudypřítomné kontaminanty vyskytující se ve všech

složkách ŽP, jsou obsažené v řadě různých produktů a materiálů, které využíváme pro každodenní činnosti, jako jsou např. produkty osobní péče, elektronika, textilie apod. Většina těchto chemických látek je perzistentních a mají vysoký potenciál bioakumulace, což jsou jedny ze specifických vlastností, kvůli kterým jsou zařazeny mezi neobávanější mikropolutanty.

Endokrinní systém se skládá ze žláz produkujících hormony a cílových orgánů, které na tyto hormony reagují. V důsledku působení hormonů dochází k plnění několika zásadních funkcí v těle, jedná se především o regulaci metabolismu, reprodukci, ale také o růst, vývoj a mnoho dalších funkcí. Hormonálně aktivní látky jsou schopny ovlivnit činnost těchto funkcí a mohou vyvolávat různé negativní účinky. Obvykle tyto látky působí třemi způsoby na endokrinní systém. Jedním ze způsobů je, že látky napodobují přirozené hormony, což jim umožňuje vstup do endokrinního systému, kde mohou vyvolat změny v obvyklých hormonálních funkcích těla, které by se bez působení těchto látek nevyskytly. Druhým způsobem, jak mohou látky negativně ovlivňovat fungování endokrinního systému, je, že mohou působit jako látky blokující funkci hormonů, což může vést k negativním dopadům na zdraví včetně poruch hormonální rovnováhy, reprodukčních problémů a dalších hormonálně řízených procesů. Třetím a posledním způsobem hormonálně aktivních látek je zasahování do tvorby hormonů, jejich rozkladu nebo transportu (Monneret 2017; Varjani a Sudha 2020).

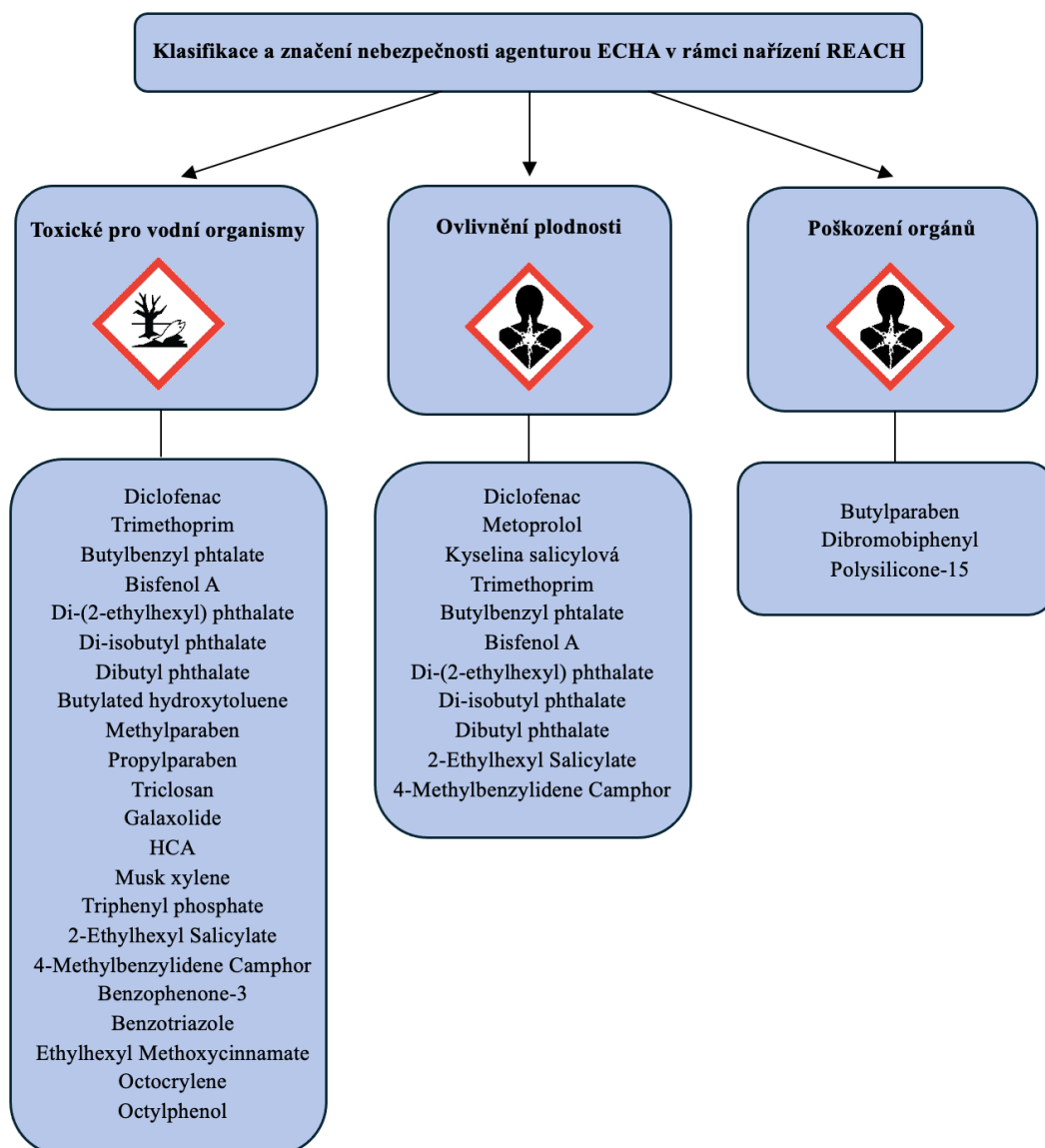
Kvůli přítomnosti chemických látek narušujících endokrinní systém ve všech složkách ŽP jsou zdroje expozice těmto látkám velmi rozmanité. K expozici člověka a dalších živých organismů nejčastěji dochází prostřednictvím konzumace kontaminovaných potravin endokrinními disruptory či požitím vody, která je rovněž znečištěná těmito látkami. Dalším možným zdrojem expozice je dýchání znečištěného vzduchu, neboť během užívání různých produktů a materiálů dochází k postupnému opotřebování, čímž mohou být tyto škodlivé látky uvolňovány do ovzduší. Posledním a nejméně častým případem expozice člověka je transdermální expozice neboli pronikání těchto látek skrze kůži, což následně umožňuje vstřebávání hormonálně aktivních látek do krevního oběhu či celého těla organismu (Monneret 2017; Varjani a Sudha 2020). Je důležité poznamenat, že studie zabývající se endokrinními disruptory a jejich vlivem na VZ pouze naznačují, že by tyto látky

mohly být potenciálně odpovědné za změny lidského zdraví a mohly by být spojeny se škodlivými účinky, avšak prokázat přesné souvislosti mezi hormonálně aktivními látkami a konkrétními nemocemi je velmi obtížné (Rattan et al. 2017).

Stále existuje několik zemí, které nadále povolují používání látek, jež prokazatelně narušují endokrinní systém. V důsledku toho mohou být tyto látky přítomny v ŽP ve vyšších koncentracích, přičemž může docházet k častější expozici člověka a jiných organismů ve srovnání se zeměmi, které tyto látky regulovaly (Kabir et al. 2015).

Obecně lze konstatovat, že z hlediska opětovného využívání šedých vod a jejich aplikací na různé účely představují mikropolutanty nežádoucí látky, které mají nepříznivý vliv na ŽP, především pokud není recyklovaná šedá voda správně či dostatečně upravená. V tomto případě je vhodné znát podrobnosti o určitých chemických látkách vzhledem k jejich vlastnostem a následně je potřeba ze sledovaného prostředí tyto látky odstranit (Athullya et al. 2021). Za účelem poskytnutí komplexního přehledu klasifikace a značení nebezpečnosti mikropolutantů detekovaných v šedé vodě prostřednictvím jednotlivých studií a odborných článků byl sestaven „*obrázek 5*“ (ECHA 2007).

Obrázek 5: Klasifikace a značení nebezpečnosti (data aktualizována ke dni 6. 9. 2023)
(ECHA 2007)



4 Metodika

Bakalářská práce je založená na rešerši a na datech naměřených koncentracích organických mikropolutantů v šedých vodách, které byly poskytnuty odbornou literaturou, případovými studii a Českou zemědělskou univerzitou.

4.1 Analýza odborné literatury a případových studií

Úvodem bakalářské práce je rešerše postavená na odborné literatuře a případových studiích, která uvádí čtenáře do dané problematiky. Pro vypracování teoretické, resp. rešeršní, části jsem zanalyzovala několik odborných článků, které se zabývaly šedými vodami, opětovným využitím šedých vod, organickými mikropolutanty a jejich riziky, která mohou mít potenciálně negativní dopad na ŽP a VZ.

4.2 Obsah organických mikropolutantů v šedých vodách

Na základě vybrané odborné literatury a případových studií jsem sumarizovala data, která nesla informace o jednotlivých organických mikropolutantech obsažených v šedých vodách. Vybraná data jsem dále analyzovala a vytvořila přehledný výčet nejběžněji vyskytujících se organických mikropolutantů a jejich koncentrací v oblasti šedých vod.

4.3 Obsah organických mikropolutantů v ČOV

Data získaná z případových studií, která byla naměřená na odtoku v ČOV, jsem sjednotila a následně vyhodnotila obdobně jako data z šedých vod (viz podkapitola 4.2 „*Obsah organických mikropolutantů v šedých vodách*“).

4.4 Obsah organických mikropolutantů v bílé vodě

Z prostředí provozně ekonomické fakulty ČZU, mi byly poskytnuty data organických mikropolutantů naměřených v předčištěné, resp. bílé, vodě. Pro účely mé bakalářské práce jsem vyselektovala organické mikropolutanty, jejichž koncentrace byly zvýšené a poukazyvaly na znečištění šedých vod, čímž bylo možné zhodnotit kvalitu těchto vod.

5 Výsledky

Výsledky bakalářské práce byly zpracovány na základě výše uvedené metodiky (viz kapitola 4 „*Metodika*“).

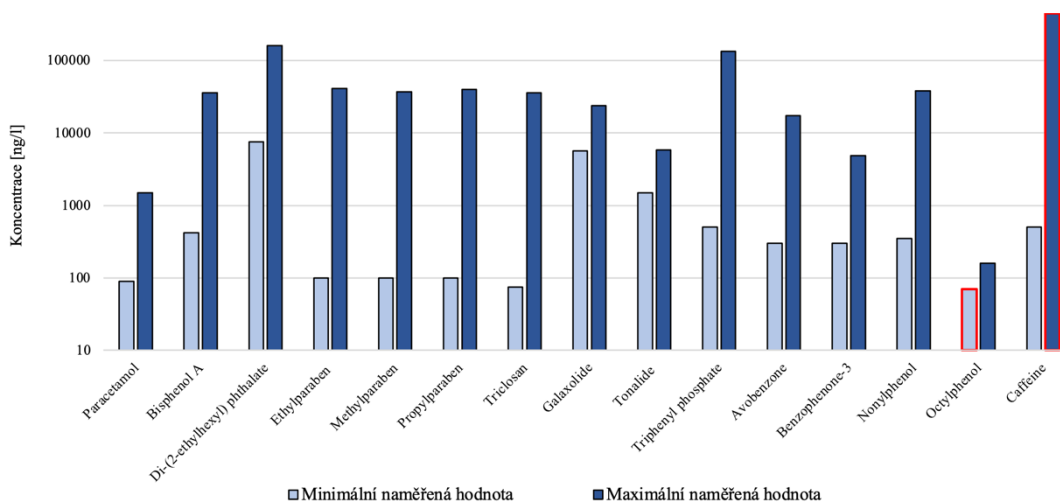
5.1 Zastoupení organických mikropolutantů v šedých vodách

Na základě odborné literatury bylo identifikováno 39 organických mikropolutantů a jejich koncentrace (viz příloha 3), které se obvykle objevují v šedých vodách. Následně byly tyto látky rozděleny do 9 skupin dle využití, přičemž byla zjištěna jejich charakteristika (resp. vlastnosti) a cesty, kterými se dostávají do šedých vod (viz kapitola 3.2 „*Identifikované organické mikropolutanty v šedých vodách*“ a příslušné podkapitoly). Vzhledem ke skutečnosti, že jsou organické mikropolutanty přítomny téměř ve všech výrobcích, které využíváme během každodenního života, lze obecně říct, že se tyto látky dostávají do odpadních vod, resp. šedých vod, velmi snadno, nicméně nejčastějším původem šedých vod a taktéž většiny organických mikropolutantů jsou koupelnové zdroje, prádelny a kuchyně. Co se týká vlastností organických mikropolutantů, mezi nejobávanější patří zejména všudypřítomnost, perzistence, bioakumulace, toxicita a vysoká odolnost vůči degradaci. Rovněž byla zjištěna rizika, která mohou vznikat vzhledem k výše zmiňovaným vlastnostem v důsledku opětovného využití šedých vod, jsou jimi kontaminace půd, podzemních a povrchových vod, ale také toxicita vodních organismů, ohrožení biodiverzity a narušení endokrinního systému (viz kapitola 3.4 „*Vliv organických mikropolutantů na životní prostředí a veřejné zdraví*“).

Z celkového počtu 39 organických mikropolutantů bylo vyselektováno 15 z nich, které reprezentují nejčastěji vyskytované organické mikropolutanty v šedých vodách (viz obrázek 6). Výsledky poukazují, že největší zastoupení v šedých vodách mají skupiny chemických látek, které jsou obsažené v produktech osobní péče (ethylparaben, methylparaben, propylparaben, triclosan, galaxolide, tonalide, avobenzone, benzophenone-3, nonylphenol, octylphenol), druhé největší zastoupení zaujímá skupina plastifikátorů (bisfenol A, di-(2-ethylhexyl) phthalate), třetí a poslední nejvýznamnější zastoupení mají stimulanty (caffeine) a farmatické produkty (paracetamol). Za účelem hodnotnějšího přehledu byly ke stanoveným organickým mikropolutantům přidány hodnoty, které vypovídají o maximálních

a minimálních naměřených koncentracích (viz obrázek 6), přičemž caffeine je látkou, jež vyniká mezi ostatními svou maximální hodnotou 450 000 ng/l a naopak octylphenol je látkou s nejnižší naměřenou hodnotou, a to 70 ng/l.

Obrázek 6: Nejběžnější zastoupení organických mikropolutantů



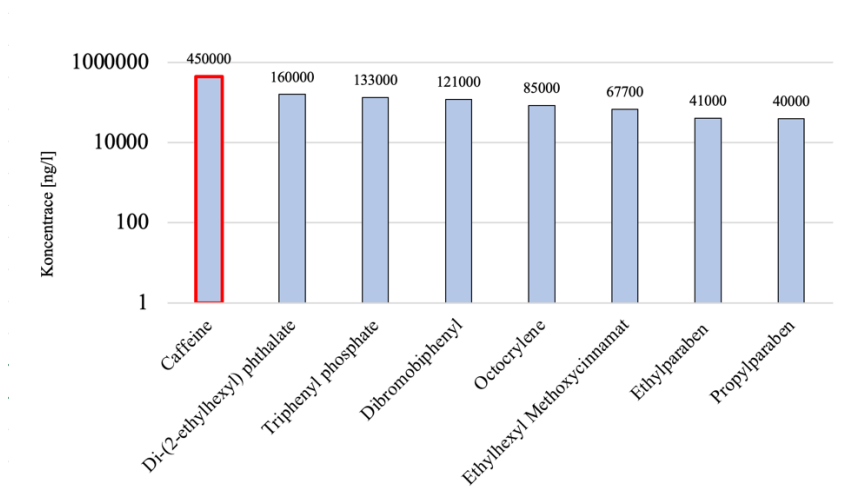
5.2 Nejvyšší hodnoty organických mikropolutantů v šedých vodách

Z dat odborné literatury a jednotlivých případových studií byly vybrány látky, které vynikaly svými koncentracemi naměřenými v šedých vodách (viz obrázek 7).

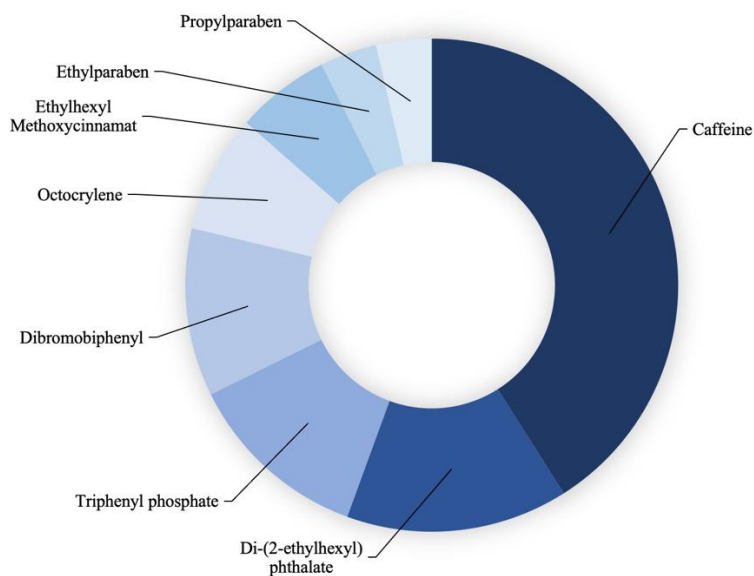
Mezi nejvýraznější látky patří jednoznačně caffeine s maximální naměřenou hodnotou 450 000 ng/l, poté di-(2-ethylhexyl) phthalate, jehož maximální hodnota dosahovala 160 000 ng/l, a zpomalovače hoření – triphenyl phosphate a dibromobiphenyl s maximálními hodnotami 133 000 ng/l pro triphenyl phosphate a 121 000 ng/l pro dibromobiphenyl. Další látky, které ačkoliv nejsou tak výrazné jako ty již zmíněné, avšak stále patří mezi chemické látky s nejvyššími naměřenými koncentracemi, jsou octocrylen, jehož maximální naměřená koncentrace dosáhla 85 000 ng/l, a ethylhexyl methoxycinnamate s nejvyšší koncentrací 67 700 ng/l. Zbývajícími chemickými látkami, jež spadají do této skupiny, jsou ethylparaben a propylparaben s maximálními naměřenými koncentracemi v odpadních vodách, a to 41 000 ng/l pro ethylparaben a 40 000 ng/l pro propylparaben. Výsledkem této analýzy je výčet rizikových mikropolutantů s ohledem na jejich vysoké koncentrace naměřené v šedých vodách, který by mohl sloužit jako základ pro výběr látek, na něž je třeba

se zaměřit při odebrání vzorků šedé vody, neboť by mohly negativně ovlivnit ŽP a VZ. Za účelem zvýšení vizuální představitivosti čtenáře byl vytvořen obrázek 8, který interpretuje data nejvyšších naměřených hodnot v šedých vodách, avšak v kruhovém diagramu.

Obrázek 7: Nejvyšší naměřené hodnoty koncentrací



Obrázek 8: Nejvyšší naměřené hodnoty zobrazené v kruhovém diagramu



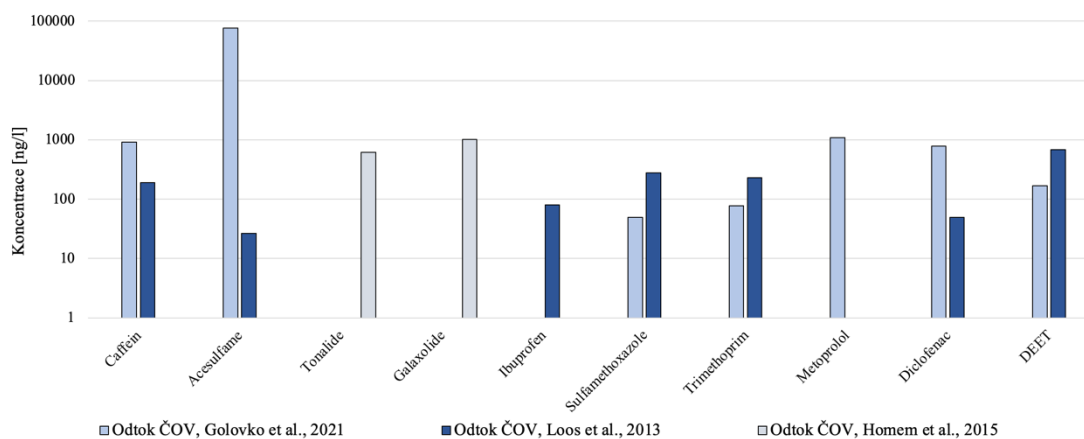
5.3 Obsah organických mikropolutantů v ČOV

Na základě údajů z odborné literatury a jednotlivých případových studií byl vytvořen přehled 15 chemických látek, které byly detekovány na odtoku ze třech

odlišných ČOV (viz příloha 3). Detailnější analýze a srovnání byly podrobené vybrané chemické látky (caffeine, acesulfame, tonalide, galaxolide, ibuprofen, sulfamethoxazole, trimethoprim, metoprolol, diclofenac, DEET) (viz obrázek 9). Přítomnost těchto organických mikropolutantů ve vzorcích odpadní vody při odtoku z ČOV poukazuje na jistý obsah těchto znečišťujících látek ve vyčištěné odpadní vodě. Z obrázku číslo si lze povšimnout, že největší zastoupení v ČOV mají chemické látky, které se dostávají do odpadních vod z domácností zejména vyloučením moči či stolice (jedná se především o farmaceutické produkty, stimulanty a umělá sladidla), zbývajícími chemickými látkami jsou látky využívané v produktech osobní péče, které jsou zejména typické pro šedé vody z domácností.

Rozborem organických mikropolutantů obsažených v jednotlivých ČOV jsem dospěla k výsledkům, že i po procesu vyčištění obsahují odpadní vody rozmanité množství těchto látek, přičemž jejich koncentrace se mohou výrazně lišit. Největší rozdíly lze pozorovat mezi naměřenými koncentracemi na odtoku odpadní vody u látky acesulfame, caffeine a diclofenac.

Obrázek 9: Obsah organických mikropolutantů v ČOV

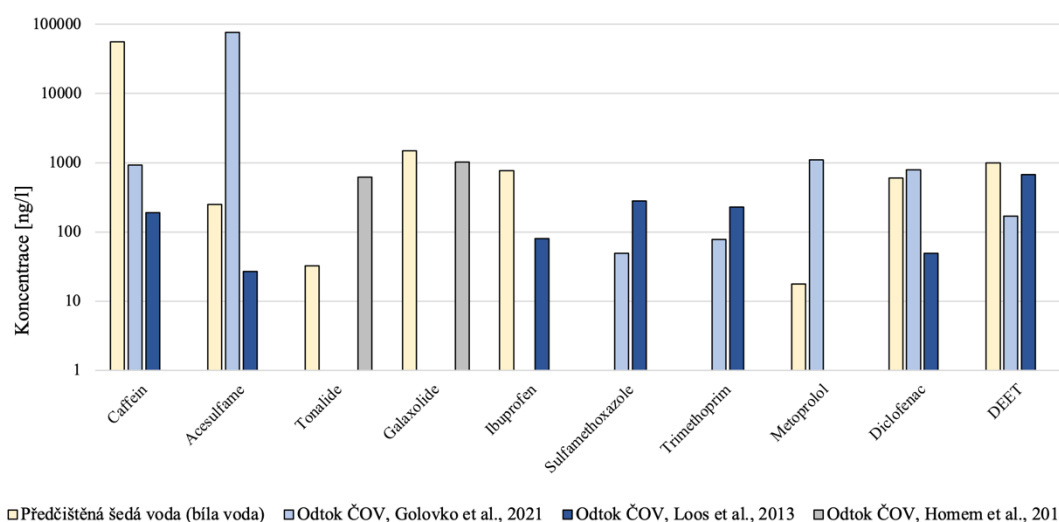


5.4 Porovnání organických mikropolutantů z ČOV a ČZU

Pro porovnání obsahu organických mikropolutantů byly sjednoceny data z odborné literatury, zabývající se výhradně naměřenými koncentracemi v odpadních vodách z ČOV, a data poskytnutá kampusem ČZU (viz obrázek 10). Cílem porovnání bylo určit rozdíl mezi obsahem organických mikropolutantů v předčištěné šedé neboli bílé

vodě (z ČZU) a vyčištěné odpadní vodě z ČOV. Z porovnání vyplývá, že koncentrace v obou typech vod jsou obdobné, avšak existují výjimky, které lze pozorovat např. u látky *caffeine*, kde předčištěná šedá voda (z ČZU) obsahuje zvýšené koncentrace oproti vyčištěné odpadní vodě z ČOV. Opačná situace nastává u látky *acesulfame*, kde je výrazně vyšší koncentrace této látky při odtoku z ČOV. Výsledky prokázaly, že po procesu úpravy jak šedých vod, tak odpadních vod, zůstávají jisté koncentrace organických mikropolutantů ve vodním prostředí, které představují určitá rizika pro ŽP a VZ zejména při opětovném využití.

Obrázek 10: Porovnání obsahu organických mikropolutantů z ČOV a ČZU



5.5 Opatření pro opětovné využití šedých vod

Na základě přečtené odborné literatury a jednotlivých případových studií mohou konstatovat, že opětovné využití šedých vod není dosud na takové úrovni, na které by mělo být, aby podpořilo trvale udržitelný rozvoj a zároveň zajistilo ochranu ŽP a VZ. Využívání šedých vod není mnohdy upraveno zákonnými ustanoveními v jednotlivých zemích EU, ale pouze doporučeními, které vydávají např. světové organizace (WHO). Z práce tedy vyplývá, že je nezbytně nutné věnovat enormní pozornost na zpracování jednotné a efektivní normy pro zakotvení opětovného využívání šedých vod v legislativě EU a rovněž stanovit limity pro organické mikropolutanty při opětovném využívání šedých vod.

6 Diskuze

Práce hodnotí kvalitu odpadních vod z domácností, zejména šedých vod, se zaměřením na přítomnost organických mikropolutantů, jakožto znečišťujících látek s potenciálem nepříznivě ovlivnit ŽP a VZ v důsledku opětovného využití šedých vod.

6.1 Zastoupení organických mikropolutantů

Za jakým účelem jsem vytvořila souhrn jednotlivých organických mikropolutantů detekovaných v šedých vodách? Hlavním důvodem bylo zjištění, že v literatuře (Etchepare a van der Hoek 2015) staršího roku byla věnovaná pozornost pouze několika málo organickým mikropolutantů v šedých vodách, avšak v literatuře (He et al. 2022; Glover et al. 2021), která je blíže současné době, je přehled organických mikropolutantů mnohem rozsáhlejší a podrobnější. A proto je nezbytně nutné pravidelně aktualizovat tyto souhrny, neboť soudobým rozvojem se na trhu objevují produkty, které obsahují řadu nových organických mikropolutantů.

6.2 Nejvyšší koncentrace organických mikropolutantů v šedých vodách

Nejvyšší naměřenou koncentrací v šedých vodách disponuje látka caffeine, která je svou hodnotou mezi ostatními látkami dominantní, což vyplývá z (Turner et al. 2019; Glover et al. 2021; He et al. 2022). Jak je možné, že nejvyšší naměřená hodnota v šedých vodách náleží právě caffeine? Z mnoha publikací (Teoh et al. 2023; Choque-Quispe et al. 2024) vyplývá, že se tato látka vyskytuje v šedých vodách ze všech zdrojů, nejčastěji z kuchyní (káva, čaj, energetické nápoje) a koupelen (vlasová kosmetika a další produkty osobní péče), v menší míře taktéž z prádelen.

6.3 Výskyt organických mikropolutantů v ČOV

Výsledky naměřených hodnot organických mikropolutantů na odtoku z případových ČOV (Loos et al. 2013; Homem et al. 2015; Golovko et al. 2021) mohou být zkreslené, jelikož jsou zde přiváděny odpadní vody, které nejsou tvořeny pouze šedou vodou (ta je obsažena v 70% celkové odpadní vody), a proto není možné dosáhnout korektních výsledků o přítomnosti organických mikropolutantů pocházející pouze z šedých vod, na obsah těchto znečišťujících látek lze nahlížet pouze s rezervou,

resp. je nutné brát v potaz jisté odchylky ve výsledcích. Potažmo lze konstatovat, že je obtížné určit příspěvek šedé vody jakožto zdroje mikropolutantů, jelikož je nelze oddělit od celkového proudu odpadních vod.

Dále je třeba podotknout, že pro ucelenější přehled, by bylo nutné sjednotit a zanalyzovat více dat, aby bylo poskytnuto rozšířenější a kvalitnější shrnutí.

6.4 Srovnání organických mikropolutantů z ČOV a ČZU

Vnímám, že některé naměřené hodnoty organických mikropolutantů z vyčištěných odpadních vod z ČOV a předčištěné šedé vody z ČZU se značně liší, a to zejména u látky caffeine a acesulfame, naopak zbylé mikropolutanty nevykazují významné odchylky ve svých hodnotách. Z uvedeného mi vyplývá, že oba typy vod nesou stále určité množství znečištění v podobě organických mikropolutantů, které mohou v případě opětovného využití způsobit potenciálně negativní vliv na ŽP a VZ, a proto považuji za nezbytné, aby opětovné využití těchto vod ve všech zemích podléhalo schválení a stalo se tak plně nahraditelným zdrojem pitných vod pro nepitné účely (např. splachování toalet).

6.5 Opatření pro opětovné využití šedých vod

Je třeba zmínit, že pro jednotlivé organické mikropolutanty v šedých vodách není známo, jaká koncentrace je přípustná pro opětovné využití těchto vod a která již překračuje hranice, kdy mohou organické mikropolutanty mít potenciálně negativní dopad na ŽP a VZ, jak již uvádí článek (Van de Walle et al. 2023). Proto považuji za důležité zkoumat působení jednotlivých organických mikropolutantů, které se již vyskytují v šedých vodách, v určitých koncentracích a popř. jejich dopad na ŽP a VZ.

7 Závěr a přínos práce

Bakalářská práce byla zpracována na základě odborné literatury, případových studií a naměřených dat, které byly nositelem informací o výskytu organických mikropolutantů v šedých vodách pocházejících z domácností. Práce se v literární rešerši podrobně zaobírala charakteristikou šedých vod, výskytem a původem organických mikropolutantů. V neposlední řadě byla v bakalářské práci popsána potenciální rizika, která mohou nastat v případě výskytu těchto mikropolutantů v šedých vodách v důsledku opětovného využívání.

Cílem práce bylo odpovědět na následující otázky: (i) jak lze definovat šedé vody z domácností a jak lze charakterizovat jejich původ a kvalitu; (ii) jaké organické mikropolutanty jsou v šedých vodách identifikovány; (iii) jaké organické mikropolutanty můžeme hypoteticky predikovat; (iv) jakým způsobem se organické mikropolutanty dostávají do ŽP?

Na základě zpracování cíle (i) bylo možné odpovědět na otázku, jak lze definovat šedé vody z domácností a jak lze charakterizovat jejich původ a kvalitu. Z odborné literatury vyplývá, že šedá voda je veškerá odpadní voda (vyjma odpadní vody z toalet – černé vody) z domácností, která pochází zejména z koupelen, prádeln a kuchyní. Kvalita šedých vod je založená na fyzikálních, chemických a biologických (mikrobiálních) vlastnostech, ale odvíjí se taktéž od mnoha sociálních a ekonomických faktorů (např. počet obyvatel, věk obyvatel, životní úroveň, zvyky apod.). Kvalita těchto vod rovněž závisí na původu (příkladem šedá voda pocházející z umyvadla, sprchy, kuchyňských dřezů, prádeln atd.), který je úzce spjat s obsahem organických mikropolutantů. Díky splnění cíle (ii) bylo možné odpovědět na otázku, jaké organické mikropolutanty jsou v šedých vodách identifikovány. Na základě odborné literatury bylo podrobena detailní analýze 39 organických mikropolutantů, které byly na základě využití zařazeny do 9 skupin, a to farmaceutické produkty (příkladem salicylic acid, ibuprofena sulfamethoxazole) produkty osobní péče (ethylparaben, propylparaben, triclosan apod.), vonné látky (galaxolide, tonalide atd.), UV-filtry (např. benzophenone-3, octocrylene), plastifikátory (bisphenol A, DEHP a jiné), povrchově aktivní látky (nonylphenol a octylphenol), zpomalovače hoření (dibromobiphenyl a triphenyl phosphate), stimulanty (caffeine), umělá sladidla (acesulfame) a další. Jaká je odpověď na cílovou otázku (iii) jaké organické

mikropolutanty můžeme hypoteticky predikovat? Vzhledem k cestám, kterými se organické mikropolutanty dostávají do šedých vod, existuje pravděpodobnost, že se v těchto vodách budou vyskytovat i jiné, resp. predikované organické mikropolutanty, a to např. perfluorované a polyfluorované alkylové látky, siloxany a mnoho dalších. Splnění cíle (iv) umožnilo zodpovědět otázku, jakým způsobem se organické mikropolutanty dostávají do ŽP? Nejznámější cestou, kterou organické mikropolutanty pronikají do ŽP, je v současné době aplikace upravené šedé vody prostřednictvím procesu zavlažování zemědělských pozemků určených k pěstování rostlin pro průmyslové či energetické využití a zavlažování ekologických prvků ve městech (např. zelené fasády a střechy). Další možností uplatnění šedé vody, která by mohla vést k rozšíření organických mikropolutantů, jakožto nežádoucích látek v ŽP, je prostřednictvím využití této vody na čištění veřejných komunikací, plnění klimatizací, protipožární ochranu a další.

Dále jsem se zabývala dílčími cíli, které se věnují jednotlivým organickým mikropolutantům a datům získaných na základě vědeckých studií a z kampusu ČZU: (i) jaká je charakteristika a zdroje nejčastějších organických mikropolutantů; (ii) co vyplývá z monitoringu organických mikropolutantů v rámci literárních dat a z dat poskytnutých kampusem ČZU; (iii) jaká mohou být potenciální rizika spojená s opětovným využíváním šedých vod za přítomnosti organických mikropolutantů na ŽP a VZ; (iv) proč je nutné věnovat problematice výskytu organických mikropolutantů ve vodním prostředí větší pozornost?

Na základě odborné literatury a vědeckých studií jsem získala odpovědět na cíl (i) jaká je charakteristika a zdroje nejčastějších organických mikropolutantů. Mikropolutanty představují znečišťující látky, které se objevují v jednotlivých složkách ŽP ve stopových koncentracích a jsou charakteristické svými vlastnostmi, vyznačují se především nízkou biologickou odbouratelností, která úzce souvisí s perzistencí, toxicitou a bioakumulací. Obecně lze konstatovat, že nejčastějšími organickými mikropolutanty jsou chemické látky, které jsou součástí výrobků využívaných při běžné denní hygieně, neboť největší část šedých vod pocházejících z domácností představují právě odpadní vody z koupelnových zdrojů. Obvykle se jedná především o produkty osobní péče, mezi které řadíme skupinu vonných látek a UV-filtrů. Druhotně jsou rozšířené organické mikropolutanty pocházející z kuchyní,

kde se objevují zejména znečišťující látky, jako jsou povrchově aktivní látky obsažené v mycích prostředcích, plastifikátory, ale také potravinové zbytky, které se v důsledku omývání nádobí dostávají do šedých vod např. stimulanty a umělá sladidla. Odpověď na cílovou otázku (ii), co vyplývá z monitoringu organických mikropolutantů v rámci literárních dat a z dat poskytnutých kampusem ČZU. Prostřednictvím monitoringu organických mikropolutantů z jednotlivých literárních dat byl vytvořen ucelený přehled nejčastějších zástupců organických mikropolutantů objevujících se v šedých vodách z domácností, a to např. coffeine, acesulfame, diclofenac. Tabulkové shrnutí těchto látek může sloužit jako přehled rizikových mikropolutantů v šedých vodách, ale také jako výčet jednotlivých mikropolutantů, na které je třeba se zaměřit při odebírání vzorků šedé vody. Na základě zpracování cíle (iii) bylo možné odpovědět na otázku, jaká mohou být potenciální rizika spojená s opětovným využíváním šedých vod za přítomnosti organických mikropolutantů na ŽP a VZ. S ohledem na opětovné využívání šedých vod, které obsahují jisté koncentrace organických mikropolutantů, může docházet ke vzniku nepříznivých dopadů na ŽP zejména při zavlažování půd a jiných zelených ploch. Zavlažováním upravenou šedou vodou může docházet k pronikání nežádoucích látek v podobě organických mikropolutantů do půd a způsobit tak jejich kontaminaci, což může vést ke kontaminaci podzemních vod a taktéž k znečištění povrchových vod v důsledku splachů ze zavlažovaných ploch. Kontaminace a navýšení koncentrací organických mikropolutantů v podzemních a povrchových vodách může ohrozit zdroje pitné vody, a tudíž ohrozit i VZ, avšak nejzávažnější obavu pro VZ představuje skupina látek, které dokážou působit jako endokrinní disruptory. Rovněž může být přítomností organických mikropolutantů nepříznivě ovlivněna biodiverzita, neboť většina těchto chemických látek, byť i v malém množství, může být pro živé organismy toxická. Další dílčí otázkou je: (iv) proč je nutné věnovat problematice výskytu organických mikropolutantů ve vodním prostředí větší pozornost? Obecně lze říct, že vzhledem k výše uvedeným vlastnostem organických mikropolutantů a potenciálním negativním dopadům na ŽP a VZ je nezbytně nutné porozumět výskytu a chování těchto látek ve vodním prostředí, neboť právě porozumnění může být klíčové ke správnému hospodaření s nimi. Zvýšenou pozornost je nutné přikládat zejména opětovnému využití a nakládání s odpadními vodami (především s šedými vodami), jelikož zatím nejsou vytvořeny právní předpisy či normy, které by stanovily limity hodnot

koncentrací organických mikropolutantů v šedých vodách pro opětovné využití. Je důležité se této problematice více věnovat a dosáhnout tak širšího povědomí ve společnosti, jelikož znalosti v této oblasti mohou vést k zabránění dopadů na ŽP a VZ.

Jakým směrem by se práce mohla rozvíjet dále? Na bakalářskou práci by bylo vhodné navázat zejména rozbohem platných legislativ zakotvených v právním řádu vyspělých zemí pro opětovné využití šedé vody a zároveň zjistit, jak je nakládáno s odpadními vodami v rozvojových zemích, neboť vnímám, že je důležité vytvořit jistou osvětu platných legislativních rámců rozvinutých zemí pro země, které plánují rozvoj opětovného využívání šedých vod. Další zajímavou možností rozšíření práce by mohla být rozsáhlejší detekce jednotlivých organických mikropolutantů z různých typů prostředí (např. porovnání naměřených dat z domácností, škol, pracovišť, zdravotních zařízení apod.).

8 Přehled literatury a použitých zdrojů

a) Literární zdroje

1. AEMIG, Quentin, Arnaud HÉLIAS a Dominique PATUREAU, 2021. Impact assessment of a large panel of organic and inorganic micropollutants released by wastewater treatment plants at the scale of France. *Water Research* [online]. **188**. ISSN 18792448. Dostupné z: doi:10.1016/j.watres.2020.116524
2. ALFIYA, Yuval, Yael DUBOWSKI a Eran FRIEDLER, 2018a. Diurnal patterns of micropollutants concentrations in domestic greywater. *Urban Water Journal* [online]. **15**(5), 399–406. ISSN 17449006. Dostupné z: doi:10.1080/1573062X.2018.1483524
3. ALFIYA, Yuval, Yael DUBOWSKI a Eran FRIEDLER, 2018b. Diurnal patterns of micropollutants concentrations in domestic greywater. *Urban Water Journal* [online]. **15**(5), 399–406. ISSN 17449006. Dostupné z: doi:10.1080/1573062X.2018.1483524
4. ALLEN, Lucy. a PACIFIC INSTITUTE., 2010. *Overview of greywater reuse*. B.m.: Pacific Institute. ISBN 9781893790292.
5. ARSLAN, Muhammad, Asma IMRAN, Qaiser Mahmood KHAN a Muhammad AFZAL, 2017. Plant–bacteria partnerships for the remediation of persistent organic pollutants. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. **24**(5), 4322–4336. ISSN 16147499. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-015-4935-3
6. ATHULLYA, Manappillil K, Devadasan DINEEP, Mary L MATHEW, Charuvila T ARAVINDAKUMAR a Usha K ARAVIND, 2021. Identification of micropollutants from graywater of different complexity and remediation using multilayered membranes [online]. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-021-15516-8/Published
7. BAINS, Pooja a Simplepreet KAUR, 2023. Silicone in dermatology: An update. *Journal of Cutaneous and Aesthetic Surgery* [online]. **16**(1), 14. ISSN 0974-2077. Dostupné z: doi:10.4103/JCAS.JCAS_204_22
8. BAYKAL, Bilsen Beler, 2019. Recycling/reusing grey water and yellow water (Human urine): Motivations, perspectives and reflections into the future. *Desalination and Water Treatment* [online]. **172**, 212–223. ISSN 19443986. Dostupné z: doi:10.5004/dwt.2019.24667
9. BECK, Sara E., Roberto A. RODRÍGUEZ, Andrew SALVESON, Nitin GOEL, Sarah RHODES, Paula KEHOE a Karl G. LINDEN, 2013. Disinfection Methods for Treating Low TOC, Light Graywater to California Title 22 Water Reuse Standards. *Journal of Environmental Engineering* [online]. **139**(9), 1137–1145. ISSN 0733-9372. Dostupné z: doi:10.1061/(asce)ee.1943-7870.0000738
10. BENAMI MAYA ET AL., 2016. Potential Health and Environmental Risks Associated with Onsite Greywater Reuse: A Review on JSTOR.
11. BERTAUX, E., E. LE MAREC, D. CRESPIY, R. ROSSI a D. HEGEMANN, 2009. Effects of siloxane plasma coating on the frictional properties of polyester and polyamide fabrics. *Surface and Coatings Technology* [online]. **204**(1–2), 165–171. ISSN 02578972. Dostupné z: doi:10.1016/j.surfcoat.2009.07.016

12. BERTRAM, Michael G, Jake M MARTIN, Bob BM WONG a Tomas BRODIN, 2021. Micropollutants. *Current Biology* [online]. **32**, R17–R19. Dostupné z: doi:10.31234/osf.io/puqvs
13. BHANDARI, Geeta, Ahmad Reza BAGHERI, Pankaj BHATT a Muhammad BILAL, 2021. *Occurrence, potential ecological risks, and degradation of endocrine disrupter, nonylphenol, from the aqueous environment* [online]. 1. červenec 2021. B.m.: Elsevier Ltd. ISSN 18791298. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2021.130013
14. BHARGAVA, H N a Patricia A LEONARD, 1996. *Triclosan: Applications and safety*.
15. BHATT, Pankaj, Geeta BHANDARI a Muhammad BILAL, 2022. Occurrence, toxicity impacts and mitigation of emerging micropollutants in the aquatic environments: Recent tendencies and perspectives. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [online]. **10**(3). ISSN 22133437. Dostupné z: doi:10.1016/j.jece.2022.107598
16. BUCK, Robert C., James FRANKLIN, Urs BERGER, Jason M. CONDER, Ian T. COUSINS, Pim De VOOGT, Allan Astrup JENSEN, Kurunthachalam KANNAN, Scott A. MABURY a Stefan P.J. VAN LEEUWEN, 2011. Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: Terminology, classification, and origins. *Integrated Environmental Assessment and Management* [online]. **7**(4), 513–541. ISSN 15513793. Dostupné z: doi:10.1002/ieam.258
17. CORONA, Blanca, Li SHEN, Denise REIKE, Jesús ROSALES CARREÓN a Ernst WORRELL, 2019. *Towards sustainable development through the circular economy—A review and critical assessment on current circularity metrics* [online]. 1. prosinec 2019. B.m.: Elsevier B.V. ISSN 18790658. Dostupné z: doi:10.1016/j.resconrec.2019.104498
18. CRONE, Brian C., Thomas F. SPETH, David G. WAHMAN, Samantha J. SMITH, Gulizhaer ABULIKEMU, Eric J. KLEINER a Jonathan G. PRESSMAN, 2019. Occurrence of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in source water and their treatment in drinking water. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* [online]. **49**(24), 2359–2396. ISSN 15476537. Dostupné z: doi:10.1080/10643389.2019.1614848
19. DAVID, Olivier R.P., 2020. *A Chemical History of Polycyclic Musks* [online]. 18. červen 2020. B.m.: Wiley-VCH Verlag. ISSN 15213765. Dostupné z: doi:10.1002/chem.202000577
20. DOMINGO, José L. a Martí NADAL, 2019. *Human exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) through drinking water: A review of the recent scientific literature* [online]. 1. říjen 2019. B.m.: Academic Press Inc. ISSN 10960953. Dostupné z: doi:10.1016/j.envres.2019.108648
21. DONNER, E., E. ERIKSSON, D. M. REVITT, L. SCHOLES, H. C. Holten LÜTZHØFT a A. LEDIN, 2010. Presence and fate of priority substances in domestic greywater treatment and reuse systems. *Science of the Total Environment* [online]. **408**(12), 2444–2451. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2010.02.033

22. ERIKSSON, Eva, Karina AUFFARTH, Mogens HENZE a Anna LEDIN, 2002. Characteristics of grey wastewater. *Urban Water* [online]. 4(1), 85–104. ISSN 14620758. Dostupné z: doi:10.1016/S1462-0758(01)00064-4
23. ERYTHROPEL, Hanno C., Milan MARIC, Jim A. NICELL, Richard L. LEASK a Viviane YARGEAU, 2014. *Leaching of the plasticizer di(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) from plastic containers and the question of human exposure* [online]. 20. listopad 2014. B.m.: Springer Verlag. ISSN 14320614. Dostupné z: doi:10.1007/s00253-014-6183-8
24. ETCHEPARE, Ramiro a Jan Peter VAN DER HOEK, 2015. Health risk assessment of organic micropollutants in greywater for potable reuse. *Water Research* [online]. 72, 186–198. ISSN 18792448. Dostupné z: doi:10.1016/j.watres.2014.10.048
25. FÀBREGA, Francesc, Vikas KUMAR, Marta SCHUHMACHER, José L. DOMINGO a Martí NADAL, 2014. PBPK modeling for PFOS and PFOA: Validation with human experimental data. *Toxicology Letters* [online]. 230(2), 244–251. ISSN 18793169. Dostupné z: doi:10.1016/j.toxlet.2014.01.007
26. FRANKE, Vera, Philip MCCLEAF, Klara LINDEGREN a Lutz AHRENS, 2019. Efficient removal of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in drinking water treatment: Nanofiltration combined with active carbon or anion exchange. *Environmental Science: Water Research and Technology* [online]. 5(11), 1836–1843. ISSN 20531419. Dostupné z: doi:10.1039/c9ew00286c
27. GAGLIANO, Erica, Massimiliano SGROI, Pietro P. FALCIGLIA, Federico G.A. VAGLIASINDI a Paolo ROCCARO, 2020. Removal of poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS) from water by adsorption: Role of PFAS chain length, effect of organic matter and challenges in adsorbent regeneration [online]. 15. března 2020. B.m.: Elsevier Ltd. ISSN 18792448. Dostupné z: doi:10.1016/j.watres.2019.115381
28. GAN, Tong J., 2010. Diclofenac: An update on its mechanism of action and safety profile [online]. 2010. B.m.: Informa Healthcare. ISSN 14734877. Dostupné z: doi:10.1185/03007995.2010.486301
29. GHAITIDAK, Dilip M. a Kunwar D. YADAV, 2013. Characteristics and treatment of greywater-a review [online]. 1. květen 2013. B.m.: Springer Verlag. ISSN 16147499. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-013-1533-0
30. GIOKAS, Dimosthenis L., Amparo SALVADOR a Alberto CHISVERT, 2007. UV filters: From sunscreens to human body and the environment. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry* [online]. 26(5), 360–374. ISSN 01659936. Dostupné z: doi:10.1016/j.trac.2007.02.012
31. GLOVER, Caitlin M., Yang LIU a Jinxia LIU, 2021. *Assessing the risk from trace organic contaminants released via greywater irrigation to the aquatic environment* [online]. 15. říjen 2021. B.m.: Elsevier Ltd. ISSN 18792448. Dostupné z: doi:10.1016/j.watres.2021.117664

32. GOLOVKO, Oksana, Stefan ÖRN, Mattias SÖRENGÅRD, Kim FRIEBERG, Winnie NASSAZZI, Foon Yin LAI a Lutz AHRENS, 2021. Occurrence and removal of chemicals of emerging concern in wastewater treatment plants and their impact on receiving water systems. *Science of the Total Environment* [online]. **754**. ISSN 18791026. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2020.142122
33. GRANDJEAN, Philippe a Richard CLAPP, 2015. Perfluorinated alkyl substances: Emerging insights into health risks. *New Solutions* [online]. **25**(2), 147–163. ISSN 15413772. Dostupné z: doi:10.1177/1048291115590506
34. HE, Zhiqin, Yun LI a Benkun QI, 2022. *Recent insights into greywater treatment: a comprehensive review on characteristics, treatment technologies, and pollutant removal mechanisms* [online]. 1. srpen 2022. B.m.: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. ISSN 16147499. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-022-21070-8
35. HERNÁNDEZ LEAL, Lucía, 2010. *Removal of micropollutants from grey water Combining biological and physical/chemical processes*.
36. HOMEM, Vera, José Avelino SILVA, Nuno RATOLA, Lúcia SANTOS a Arminda ALVES, 2015. *Long lasting perfume e A review of synthetic musks in WWTPs* [online]. 2015. B.m.: Academic Press. ISSN 10958630. Dostupné z: doi:10.1016/j.jenvman.2014.10.008
37. CHOI, Yeowool, Junho JEON, Younghun CHOI a Sang Don KIM, 2020. Characterizing biotransformation products and pathways of the flame retardant triphenyl phosphate in *Daphnia magna* using non-target screening. *Science of the Total Environment* [online]. **708**. ISSN 18791026. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2019.135106
38. CHOQUE-QUISPE, David, Ruth Karina HERBAS-DE LA CRUZ, Carlos A. LIGARDA-SAMANEZ, Aydeé M. SOLANO-REYNOSO, Dianeth BULEJE-CAMPOS, Yudith CHOQUE-QUISPE, Jenny C. MUÑOZ-SAENZ, Zaida Olinda PUMACAYO-SANCHEZ, Liliana Asunción SUMARRIVA-BUSTINZA a Nikol Aleksandra SILVERA TICONA, 2024. Caffeine, surfactants and organic matter in a high Andean River: Chumbao River case, Apurimac, Peru. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* [online]. **9**. ISSN 26660164. Dostupné z: doi:10.1016/j.csee.2023.100548
39. ITZHARI, Daniella a Zeev RONEN, 2023. *The Emergence of Antibiotics Resistance Genes, Bacteria, and Micropollutants in Grey Wastewater* [online]. 1. únor 2023. B.m.: MDPI. ISSN 20763417. Dostupné z: doi:10.3390/app13042322
40. IVANOVA, E. V., E. O. MINYAYLO, M. N. TEMNIKOV, L. G. MUKHTOROV a Yu. M. ATROSHCHENKO, 2023. Silicones in Cosmetics. *Polymer Science, Series B* [online]. **65**(5), 578–594. ISSN 1560-0904. Dostupné z: doi:10.1134/S1560090423600201
41. JANE L ESPARTERO, Lore, Miko YAMADA, Judith FORD, Gary OWENS, Tarl PROW a Albert JUHASZ, 2022. *Health-related toxicity of emerging per- and polyfluoroalkyl substances: Comparison to legacy PFOS and PFOA* [online]. 1. září 2022. B.m.: Academic Press Inc. ISSN 10960953. Dostupné z: doi:10.1016/j.envres.2022.113431

42. KABIR, Eva Rahman, Monica Sharfin RAHMAN a Imon RAHMAN, 2015. *A review on endocrine disruptors and their possible impacts on human health* [online]. 1. červenec 2015. B.m.: Elsevier. ISSN 18727077. Dostupné z: doi:10.1016/j.etap.2015.06.009
43. KANG, Jeong Hun, Fusao KONDO a Yoshiki KATAYAMA, 2006. *Human exposure to bisphenol A* [online]. 21. září 2006. ISSN 0300483X. Dostupné z: doi:10.1016/j.tox.2006.06.009
44. KARIUKI, Francis W, Kiplagat KOTUT a Victor G NGÁNGÁ, 2011. *The Potential of a Low Cost Technology for The Greywater Treatment*.
45. KHAJVAND, Mahdieh, Ali KHOSRAVANIPOUR MOSTAFAZADEH, Patrick DROGUI, Rajeshwar DAYAL TYAGI a Emmanuel BRIEN, 2022. Greywater characteristics, impacts, treatment, and reclamation using adsorption processes towards the circular economy [online]. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-021-16480-z/Published
46. KHANAM, Khadija a S. K. PATIDAR, 2022. Greywater characteristics in developed and developing countries. *Materials Today: Proceedings* [online]. 1494–1499. ISSN 22147853. Dostupné z: doi:10.1016/j.matpr.2021.12.022
47. KIM, M K a K D ZOH, 2016. *320 treatment processes. 2. Sources and Transport of Micropollutants in the Environment*.
48. KOKKINOS, Petros, Dionissios MANTZAVINOS a Danae VENIERI, 2020. *Current trends in the application of nanomaterials for the removal of emerging micropollutants and pathogens from water* [online]. 1. květen 2020. B.m.: MDPI AG. ISSN 14203049. Dostupné z: doi:10.3390/molecules25092016
49. KONIECZNA, Aleksandra, Aleksandra RUTKOWSKA a Dominik RACHOŃ, 2015. *HEALTH RISK OF EXPOSURE TO BISPHENOL A (BPA)*.
50. KRIIKKU, Pirkko, Samu PELKONEN, Maija KAUKONEN a Ilkka OJANPERÄ, 2021. Propranolol and metoprolol: Two comparable drugs with very different post-mortem toxicological profiles. *Forensic Science International* [online]. **327**. ISSN 18726283. Dostupné z: doi:10.1016/j.forsciint.2021.110978
51. KRONBERG, Bengt, Krister HOLMBERG a Björn LINDMAN, 2014. *Surface Chemistry of Surfactants and Polymers, First Edition. Definition of a Surfactant*.
52. LALAS, Kosmas, Olga S. ARVANITI, Eleni I. PANAGOPOULOU, Nikolaos S. THOMAIDIS, Dionissios MANTZAVINOS a Zacharias FRONTISTIS, 2024. Acesulfame degradation by thermally activated persulfate: Kinetics, transformation products and estimated toxicity. *Chemosphere* [online]. **352**. ISSN 18791298. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2024.141260
53. LEAL, Lucía Hernández, Niina VIENO, Hardy TEMMINK, Grietje ZEEMAN a Cees J.N. BUISMAN, 2010. Occurrence of xenobiotics in gray water and removal in three biological treatment systems. *Environmental Science and Technology* [online]. **44**(17), 6835–6842. ISSN 0013936X. Dostupné z: doi:10.1021/es101509e

54. LI, Dandan, Qiuda ZHENG, Kevin V. THOMAS, Anh Kim DANG, Vu Ngan BINH, Nguyen Thi Kieu ANH a Phong K. THAI, 2023a. Use of artificial sweeteners and caffeine in a population of Hanoi: An assessment by wastewater-based epidemiology. *Science of the Total Environment* [online]. **868**. ISSN 18791026. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2023.161515
55. LI, Fangyue, Knut WICHMANN a Ralf OTTERPOHL, 2009. *Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses* [online]. 15. květen 2009. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2009.02.004
56. LI, Wenwen, Shanghong WANG, Ji LI, Xiaonan WANG, Liang CUI, Jin CHEN a Zhengtao LIU, 2020. Antioxidative enzyme activities in the *Rhodeinae sinensis* Gunther and *Macrobrachium nipponense* and multi-endpoint assessment under tonalide exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [online]. **199**. ISSN 10902414. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoenv.2020.110751
57. LI, Ziqiao, Jingfeng GAO, Yifan ZHAO, Zhiqi WANG, Yingchao CUI, Dingchang LI, Yi GUO, Zejie WU a Liqin ZENG, 2023b. Different acesulfame potassium fate and antibiotic resistance propagation pattern in nitrifying and denitrifying sludge systems. *Science of the Total Environment* [online]. **856**. ISSN 18791026. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2022.159238
58. LOOS, Robert, Raquel CARVALHO, Diana C. ANTÓNIO, Sara COMERO, Giovanni LOCORO, Simona TAVAZZI, Bruno PARACCHINI, Michela GHIANI, Teresa LETTIERI, Ludek BLAHA, Barbora JAROSOVA, Stefan VOORSPOELS, Kelly SERVAES, Peter HAGLUND, Jerker FICK, Richard H. LINDBERG, David SCHWESIG a Bernd M. GAWLIK, 2013. EU-wide monitoring survey on emerging polar organic contaminants in wastewater treatment plant effluents. *Water Research* [online]. **47**(17), 6475–6487. ISSN 18792448. Dostupné z: doi:10.1016/j.watres.2013.08.024
59. MARAZUELA, Miguel Angel, Giovanni FORMENTIN, Klaus ERLMEIER a Thilo HOFMANN, 2023. Acesulfame allows the tracing of multiple sources of wastewater and riverbank filtration. *Environmental Pollution* [online]. **323**. ISSN 18736424. Dostupné z: doi:10.1016/j.envpol.2023.121223
60. MARGOT, Jonas, Luca ROSSI, David A. BARRY a Christof HOLLIGER, 2015. A review of the fate of micropollutants in wastewater treatment plants. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* [online]. **2**(5), 457–487. ISSN 20491948. Dostupné z: doi:10.1002/WAT2.1090
61. MILANOVIĆ, Maja, Larisa ĐURIĆ, Nataša MILOŠEVIĆ a Nataša MILIĆ, 2023. *Comprehensive insight into triclosan—from widespread occurrence to health outcomes* [online]. 1. únor 2023. B.m.: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. ISSN 16147499. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-021-17273-0
62. MOJSIEWICZ-PIENKOWSKA, Krystyna, Marzena JAMRÓGIEWICZ, Katarzyna SZYMKOWSKA a Dominika KRENCZKOWSKA, 2016. *Direct human contact with siloxanes (silicones) - safety or risk part 1. Characteristics of siloxanes (silicones)* [online]. 2016. B.m.: Frontiers Research Foundation. ISSN 16639812. Dostupné z: doi:10.3389/fphar.2016.00132

63. MONNERET, Claude, 2017. *What is an endocrine disruptor?* [online]. 1. září 2017. B.m.: Elsevier Masson SAS. ISSN 17683238. Dostupné z: doi:10.1016/j.crv.2017.07.004
64. NEDEL'KIN, V. I., A. V. NEDEL'KIN, B. A. IZMAILOV, A. B. ZACHERNYUK, E. N. SOLOV'EVA a B. A. ZACHERNYUK, 2023. Practical Application of Selected Functional Organosilicone Polymers. *Polymer Science - Series C* [online]. ISSN 1555614X. Dostupné z: doi:10.1134/S1811238223700418
65. NSW HEALTH, 2000. *Greywater Reuse in Sewered Single Domestic Premises*.
66. ORTIZ-ARDILA, Andres E., Juan D. RESTREPO, LARGUS T. ANGENENT, Joseph G. USACK a Rodrigo A. LABATUT, 2024. *Protecting human health and the environment against siloxanes: The role and effectiveness of wastewater treatment technologies* [online]. 2024. B.m.: Taylor and Francis Ltd. ISSN 15476537. Dostupné z: doi:10.1080/10643389.2023.2221156
67. PENG, Chunyan, Xiaoqi ZHANG, Yabing CHEN a Lei WANG, 2023. Toxicity assessment of organophosphate flame retardant triphenyl phosphate (TPHP) on intestines in mice. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [online]. **268**. ISSN 10902414. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoenv.2023.115685
68. RAINSFORD, K. D., 2009. *Ibuprofen: Pharmacology, efficacy and safety* [online]. 2009. B.m.: Birkhauser Verlag AG. ISSN 09254692. Dostupné z: doi:10.1007/s10787-009-0016-x
69. RAKESH, SS, Dr. PT RAMESH, Dr. R MURUGARAGAVAN, Dr. S AVUDAINAYAGAM a Dr. S KARTHIKEYAN, 2020. Characterization and treatment of grey water: A review. *International Journal of Chemical Studies* [online]. **8**(1), 34–40. ISSN 23498528. Dostupné z: doi:10.22271/chemi.2020.v8.i1a.8316
70. RATTAN, Saniya, Changqing ZHOU, Catheryne CHIANG, Sharada MAHALINGAM, Emily BREHM a Jodi A. FLAWS, 2017. *Exposure to endocrine disruptors during adulthood: Consequences for female fertility* [online]. 1. červen 2017. B.m.: BioScientifica Ltd. ISSN 14796805. Dostupné z: doi:10.1530/JOE-17-0023
71. REINIKAINEN, Jussi, Noora PERKOLA, Lauri ÄYSTÖ a Jaana SORVARI, 2022. The occurrence, distribution, and risks of PFAS at AFFF-impacted sites in Finland. *Science of the Total Environment* [online]. **829**. ISSN 18791026. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2022.154237
72. REVITT, D. Michael, Eva ERIKSSON a Erica DONNER, 2011a. The implications of household greywater treatment and reuse for municipal wastewater flows and micropollutant loads. *Water Research* [online]. **45**(4), 1549–1560. ISSN 00431354. Dostupné z: doi:10.1016/j.watres.2010.11.027
73. REVITT, D. Michael, Eva ERIKSSON a Erica DONNER, 2011b. The implications of household greywater treatment and reuse for municipal wastewater flows and micropollutant loads. *Water Research* [online]. **45**(4), 1549–1560. ISSN 00431354. Dostupné z: doi:10.1016/j.watres.2010.11.027

74. RIVADULLA, M., M. LOIS, A. X. ELENA, S. BALBOA, S. SUAREZ, T. U. BERENDONK, J. L. ROMALDE, J. M. GARRIDO a F. OMIL, 2024. Occurrence and fate of CECs (OMPs, ARGs and pathogens) during decentralised treatment of black water and grey water. *Science of the Total Environment* [online]. **915**. ISSN 18791026. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2023.169863
75. ROGOWSKA, Justyna, Monika CIESZYNSKA-SEMENOWICZ, Wojciech RATAJCZYK a Lidia WOLSKA, 2020. *Micropollutants in treated wastewater* [online]. 1. únor 2020. B.m.: Springer. ISSN 16547209. Dostupné z: doi:10.1007/s13280-019-01219-5
76. RYU, Hong Duck, Hyeyeol HAN, Tae Jin PARK, Ji Hyoung PARK a Yong Seok KIM, 2024. New findings on the occurrence, removal, and risk assessment of nonylphenol and octylphenol in industrial wastewater treatment plants in Korea. *Journal of Hazardous Materials* [online]. **461**. ISSN 18733336. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhazmat.2023.132615
77. SALAMA, Paul a Ariel GLIKSBERG, 2021. The use of catalytic amounts of selected cationic surfactants in the design of new synergistic preservative solutions. *Cosmetics* [online]. **8**(2). ISSN 20799284. Dostupné z: doi:10.3390/cosmetics8020054
78. SAMBYAL, Krishika a Rahul Vikram SINGH, 2021. *Production of salicylic acid; a potent pharmaceutically active agent and its future prospects* [online]. 2021. B.m.: Taylor and Francis Ltd. ISSN 15497801. Dostupné z: doi:10.1080/07388551.2020.1869687
79. SHAHSAVARI, Esmaeil, Duncan ROUCH, Leadin S. KHUDUR, Duncan THOMAS, Arturo ABURTO-MEDINA a Andrew S. BALL, 2021. *Challenges and Current Status of the Biological Treatment of PFAS-Contaminated Soils* [online]. 7. leden 2021. B.m.: Frontiers Media S.A. ISSN 22964185. Dostupné z: doi:10.3389/fbioe.2020.602040
80. SHAIKH, Irshad N. a M. Mansoor AHAMMED, 2020. *Quantity and quality characteristics of greywater: A review* [online]. 1. květen 2020. B.m.: Academic Press. ISSN 10958630. Dostupné z: doi:10.1016/j.jenvman.2020.110266
81. SHERIFF, Ishmail, Sisay Abebe DEBELA a Aruna MANS-DAVIES, 2022. The listing of new persistent organic pollutants in the stockholm convention: Its burden on developing countries. *Environmental Science and Policy* [online]. **130**, 9–15. ISSN 18736416. Dostupné z: doi:10.1016/j.envsci.2022.01.005
82. SCHNEIDER, Samantha L. a Henry W. LIM, 2019. *Review of environmental effects of oxybenzone and other sunscreen active ingredients* [online]. 1. leden 2019. B.m.: Mosby Inc. ISSN 10976787. Dostupné z: doi:10.1016/j.jaad.2018.06.033
83. ŠTEFANAC, Tea, Dijana GRGAS a Tibela Landeka DRAGIČEVIĆ, 2021. *Xenobiotics—division and methods of detection: A review* [online]. 1. prosinec 2021. B.m.: MDPI. ISSN 20394713. Dostupné z: doi:10.3390/jox11040009
84. TEOH, Tean Peng, Soon An ONG, Li Ngee HO, Yee Shian WONG, Nabilah Aminah LUTPI, Sing Mei TAN, Yong Por ONG a Kea Lee YAP, 2023. Enhancement of energy recovery from caffeine wastewater in constructed wetland-microbial fuel cell through operating conditions. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. ISSN 16147499. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-023-28362-7

85. THIEBAULT, Thomas, 2020. *Sulfamethoxazole/Trimethoprim ratio as a new marker in raw wastewaters: A critical review* [online]. 1. květen 2020. B.m.: Elsevier B.V. ISSN 18791026. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2020.136916
86. TRAPIDO, M., I. EPOLD, J. BOLOBAJEV a N. DULOVA, 2014. Emerging micropollutants in water/wastewater: growing demand on removal technologies. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. 12217–12222. ISSN 16147499. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-014-3020-7
87. TURNER, Ryan D.R., Michael St J. WARNE, Les A. DAWES, Kristie THOMPSON a Geoffrey D. WILL, 2019. Greywater irrigation as a source of organic micropollutants to shallow groundwater and nearby surface water. *Science of the Total Environment* [online]. **669**, 570–578. ISSN 18791026. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2019.03.073
88. VAN DE WALLE, Arjen, Minseok KIM, Md Kawser ALAM, Xiaofei WANG, Di WU, Smruti Ranjan DASH, Korneel RABAEY a Jeonghwan KIM, 2023. *Greywater reuse as a key enabler for improving urban wastewater management* [online]. 1. říjen 2023. B.m.: Editorial Board, Research of Environmental Sciences. ISSN 26664984. Dostupné z: doi:10.1016/j.ese.2023.100277
89. VARJANI, Sunita a M. Chaithanya SUDHA, 2020. Occurrence and human health risk of micro-pollutants—A special focus on endocrine disruptor chemicals. In: *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Emerging Organic Micropollutants* [online]. B.m.: Elsevier, s. 23–39. ISBN 9780128195949. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-819594-9.00002-4
90. VIEIRA, Melissa Gurgel Adeodato, Mariana Altenhofen DA SILVA, Lucielen Oliveira DOS SANTOS a Marisa Masumi BEPPU, 2011. *Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review* [online]. březen 2011. ISSN 00143057. Dostupné z: doi:10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011
91. VU, Chi Thanh a Tingting WU, 2022. Recent progress in adsorptive removal of per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS) from water/wastewater. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* [online]. **52**(1), 90–129. ISSN 15476537. Dostupné z: doi:10.1080/10643389.2020.1816125
92. VUPPALADADIYAM, Arun K., Noemi MERAYO, Pepijn PRINSEN, Rafael LUQUE, Angeles BLANCO a Ming ZHAO, 2019. *A review on greywater reuse: quality, risks, barriers and global scenarios* [online]. 15. březen 2019. B.m.: Springer Netherlands. ISSN 15729826. Dostupné z: doi:10.1007/s11157-018-9487-9
93. WAAIJERS, Susanne L. a John R. PARSONS, 2016. *Biodegradation of brominated and organophosphorus flame retardants* [online]. 1. duben 2016. B.m.: Elsevier Ltd. ISSN 18790429. Dostupné z: doi:10.1016/j.copbio.2015.12.005
94. WANG, Jiaying, Liumeng PAN, Shenggan WU, Liping LU, Yiwen XU, Yanye ZHU, Ming GUO a Shulin ZHUANG, 2016. *Recent advances on endocrine disrupting effects of UV filters* [online]. 3. srpen 2016. B.m.: MDPI. ISSN 16604601. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph13080782

95. WANG, Yuewei a Wei LIANG, 2021. Occurrence, Toxicity, and Removal Methods of Triclosan: a Timely Review [online]. Dostupné z: doi:10.1007/s40726-021-00173-9/Published
96. WANNINAYAKE, Dushanthi M., 2021. *Comparison of currently available PFAS remediation technologies in water: A review* [online]. 1. duben 2021. B.m.: Academic Press. ISSN 10958630. Dostupné z: doi:10.1016/j.jenvman.2021.111977
97. WŁODARCZYK-MAKUŁA, Maria, 2024. Selected organic micropollutants in the aquatic environment. *Desalination and Water Treatment* [online]. **317**. ISSN 19443986. Dostupné z: doi:10.1016/j.dwt.2024.100061
98. XU, Lin, Yali SHI a Yaqi CAI, 2013. Occurrence and fate of volatile siloxanes in a municipal Wastewater Treatment Plant of Beijing, China. *Water Research* [online]. **47**(2), 715–724. ISSN 18792448. Dostupné z: doi:10.1016/j.watres.2012.10.046
99. YADAV, Sudesh, Ibrar IBRAR, Raed A. AL-JUBOORI, Lovdeep SINGH, Namun GANBAT, Tayma KAZWINI, Erika KARBASSIYAZDI, Akshaya K. SAMAL, Senthilmurugan SUBBIAH a Ali ALTAEE, 2022. *Updated review on emerging technologies for PFAS contaminated water treatment* [online]. 1. červen 2022. B.m.: Institution of Chemical Engineers. ISSN 02638762. Dostupné z: doi:10.1016/j.cherd.2022.04.009
100. YANG, Yun, Xiangru ZHANG, Jingyi JIANG, Jiarui HAN, Wanxin LI, Xiaoyan LI, Kenneth MEI YEE LEUNG, Shane A SNYDER a Pedro JJ ALVAREZ, 2021. *Supporting Information I Which micropollutants in water environments deserve more attention globally?*
101. YIN, Sheng a Dino VILLAGRÁN, 2022. Design of nanomaterials for the removal of per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS) in water: Strategies, mechanisms, challenges, and opportunities [online]. 20. červenec 2022. B.m.: Elsevier B.V. ISSN 18791026. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2022.154939
102. ZHANG, Zifeng, Hong QI, Nanqi REN, Yifan LI, Dawen GAO a Kurunthachalam KANNAN, 2011. Survey of cyclic and linear siloxanes in sediment from the Songhua River and in sewage sludge from wastewater treatment plants, Northeastern China. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* [online]. **60**(2), 204–211. ISSN 00904341. Dostupné z: doi:10.1007/s00244-010-9619-x

b) Internetové zdroje

1. ECHA, European Chemicals Agency [online]. Informace o chemických látkách, Helsinky, 2007, © 2023 European Chemicals Agency [cit. 2024-03-09]. Dostupné z: <https://echa.europa.eu/cs/information-on-chemicals>.

9 Seznam příloh

Příloha 1 Kvalita šedé vody

Příloha 2 Kvalita světle šedé a tmavě šedé vody

Příloha 3 Přehled organických mikropolutantů z jednotlivých případových studií, odborných článků a kampusu ČZU

Příloha 1

Kvalita šedé vody (Eriksson et al. 2002; Li et al. 2009; Shaikh a Ahammed 2020)

Kvalita šedé vody	Parametry	Jednotky	Zdroje			
			Koupelna	Prádelna	Kuchyň	Smišené
	Fyzikální					
	Teplota	°C	25,8–29,0	22,4–35,0	24,4–30,9	–
	Celkové nerozpuštěné látky (TSS)	mg/l	7–505	68–465	134–1300	25–183
	Zákal	NTU	44–375	50–444	0–298	29–375
	Chemické					
	pH	–	6,4–8,1	7,1–10	5,9–7,4	6,3–8,1
	Chemická spotřeba kyslíku (CHSK, COD)	mg/l	100–633	231–2950	26–2050	100–700
	Biochemická spotřeba kyslíku (BSK, BOD)	mg/l	50–300	48–472	536–1460	47–466
	Celkový dusík (TN)	mg/l	3,6–19,4	1,1–40,3	11,4–74	1,7–34,3
	Množství dusíku vázaného v amoniakové formě (NH ₄ -N)	mg/l	<0,1–15	0,04–11,3	0,002–23	9,6
	Množství dusíku v nitrátech (NO ₃ -N)	mg/l	0,28–6,3	0,4–0,2	0,3–5,8	0,0–4,9
	Celkový fosfor (TP)	mg/l	0,11 – >48,8	nd – >171	2,9 – >74	0,11–22,8
	Množství fosforu ve fosfátové formě (PO ₄ -P)	mg/l	0,94–48,8	4–171	12,7–32	4–68
	Mikrobiologické					
	Koliformní bakterie	CFU/100 ml	10–2,4 × 10 ⁷	200,5–7 × 10 ⁵	>2,4 × 10 ⁸	56–8,03 × 10 ⁷
	Fekální bakterie	CFU/100 ml	0–3,4 × 10 ⁵	50–1,4 × 10 ³	–	0,1–1,5 × 10 ⁸

nd (non-detectable) = nezjistitelné

Kvalita světle šedé a tmavě šedé vody	Parametry	Jednotky	Vyspělé země		Rozvojové země	
			Světle šedá voda	Světle šedá voda	Světle šedá voda	Tmavě šedá voda
	Fyzické					
	Zákal	NTU	12,6–240	40–210	29–375	24,7–444
	Celkové nerozpuštěné látky (TSS)	mg/l	29–120	35–250	23,3–505	67–2414
	Chemické					
	pH	–	6,4–8,3	6,76–10	6,3–7,7	6,2–9,4
	Chemická spotřeba kyslíku (CHSK, COD)	mg/l	86–399	867*	66,7–507,5	228,3–2510
	Biochemická spotřeba kyslíku (BSK5, BOD5)	mg/l	20–300	48–477	42,1–270,8	25–613
	Živiny					
	Celkový dusík (TN)	mg/l	4,1–16,4	2,75–21	32,9*	4,7–79
	Množství dusíku vázaného v amoniakové formě (NH ₄ -N)	mg/l	<0,1–15	<0,1–2,45	6,6–11,8	–
	Množství dusíku v nitrátech (NO ₃ -N)	mg/l	<0,05–7,5	0,1–0,31*	0,2–28,7	25,8*
	Celkový fosfor (TP)	mg/l	0,11–15	0,062–42	0,6–2,58	0,8–18
	Fosfát	mg/l	0,09–1,3	0,3*	–	–
	Mikrobiologické					
	Koliformní bakterie	CFU/100 ml	10–2,4 x 10 ⁷	2,3 x 10 ³ –3,3 x 10 ⁵	1,1 x 10 ⁵ –3,31 x 10 ⁷	>200,5*
	Fekální bakterie	CFU/100 ml	0,1–5,6 x 10 ⁵	110–1,09 x 10 ³ *	0,5 x 10 ⁵ –2,48 x 10 ⁵	7,33 x 10 ² –22,6 x 10 ⁴ *

*data v rozsahu jednoho autora

Příloha 3

Přehled organických mikropolutantů z jednotlivých případových studií, odborných článků a kampusu ČZU (Leal et al. 2010; Etchepare a van der Hoek 2015; Turner et al. 2019; Glover et al. 2021; He et al. 2022; Rivadulla et al. 2024)

Skupiny	Názvy kontaminantů	Zkratky	CAS	Jednotky	Šedá voda			Předčištěná šedá voda (bílá voda) ČZU	ČOV, komunální odpadní vody (Golovko et al., 2021)	ČOV, komunální odpadní vody (Loos et al., 2013)	ČOV, komunální odpadní vody (Homem et al., 2015)
					Min.	Max.	Jednorázová hodnota		Vyčištěné	Vyčištěné	Vyčištěné
Farmaceutické produkty	Diclofenac	DIC	15307-86-5	µg/l	–	–	0,01	0,6	0,784	0,0495	–
	Ibuprofen	IBU	15687-27-1	µg/l	–	–	2,2	0,771	–	0,0805	–
	Metoprolol	MET	51384-51-1	µg/l	–	–	0,043	0,018	1,097	–	–
	Paracetamol	PAR	103-90-2	µg/l	0,09	1,5	–	1,135	–	–	–
	Salicylic acid	SA	69-72-7	µg/l	0,6	7,1	–	–	0,046	–	–
	Sulfamethoxazole	SMX	723-46-6	µg/l	–	–	0,45	–	0,049	0,28	–
	Trimethoprim	TMP	738-70-5	µg/l	–	–	0,06	–	0,078	0,229	–
Plastifikátory	Butylbenzyl phthalate	BBP	85-68-7	µg/l	<1	9	–	–	–	–	–
	Bisphenol A	BPA	80-05-7	µg/l	0,42	35,7	–	0,19	–	–	–
	Di-(2-ethylhexyl) phthalate	DEHP	117-81-7	µg/l	7,5	160	–	–	–	–	–
	Di-isobutyl phthalate	DIBP	84-69-5	µg/l	<1	8	–	–	–	–	–
	Dibutyl phthalate	DBP	84-74-2	µg/l	–	–	3,1	–	–	–	–
	Diethyl phthalate	DEP	84-66-2	µg/l	<1	38	–	0,545	–	–	–
	Dimethyl phthalate	DMP	131-11-3	µg/l	–	–	4,9	–	–	–	–
Produkty osobní péče	Butylated hydroxytoluene	BHT	128-37-0	µg/l	1,8	4,5	–	–	–	–	–
	Butylparaben	BP	94-26-8	µg/l	0,19	4,4	–	–	–	–	–
	DEET	DEET	134-62-3	µg/l	–	–	1,5	0,994	0,169	0,678	–
	Ethylparaben	EP	120-47-8	µg/l	<0,1	41	–	0,01	–	–	–
	Methylparaben	MP	99-76-3	µg/l	0,1	37	–	–	–	–	–
	Propylparaben	PP	94-13-3	µg/l	<0,1	40	–	0,054	–	–	–
	Triclosan	TCS	3380-34-5	µg/l	0,075	36	–	–	–	0,0748	–
Vonné látky	Galaxolide	HHCB	1222-05-5	µg/l	5,7	24	–	1,49	–	–	1,022
	Hexyl cinnamic aldehyde	HCA	165184-98-5	µg/l	0,6	11,5	–	–	–	–	–
	Musk xylene	MX	81-15-2	µg/l	–	–	36	–	–	–	–
	Tonalide	AHIN	21145-77-7	µg/l	1,5	5,8	–	0,033	–	–	0,614
Zpomalovač hoření	Dibromobiphenyl	DBB	115245-06-2	µg/l	–	–	121	–	–	–	–
	Triphenyl phosphate	TPP	115-86-6	µg/l	0,5	133	–	–	–	0,0356	–
UV-filtry	2-Ethylhexyl Salicylate	EHS	118-60-5	µg/l	nd	4,7	–	–	–	–	–
	4-Methylbenzylidene Camphor	4-MBC	36861-47-9	µg/l	nd	8,9	–	–	–	–	–
	Avobenzone	BMDBM	70356-09-1	µg/l	0,3	17,4	–	–	–	–	–
	Benzophenone-3	BP-3	131-57-7	µg/l	0,3	4,9	–	–	0,12	–	–
	Benzotriazole	BT	95-14-7	µg/l	–	–	16	–	–	–	–
	Ethylhexyl Methoxycinnamat	EHMC	5466-77-3	µg/l	3,9	67,7	–	–	–	–	–
	Octocrylene	OCR	6197-30-4	µg/l	–	–	85	–	–	–	–
Polysilicone-15	PARSOL SLX	207574-74-1	µg/l	0,1	15,3	–	–	–	–	–	
Povrchově aktivní látky	Nonylphenol	4-NP	104-40-5	µg/l	0,35	38	–	–	–	–	–
	Octylphenol	4-OP	1806-26-4	µg/l	0,07	0,16	–	–	–	–	–
Umělá sladidla	Acesulfame	ACE	33665-90-6	µg/l	–	–	0,4	0,248	–	76	–
Stimulanty	Caffeine	CAF	58-08-2	µg/l	0,5	450	–	55,3	0,919	0,191	–

nd (non-detectable) = nezjistitelné, jednorázová hodnota = hodnota naměřená v rozsahu jednoho autora