



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

ODSTRAŇOVÁNÍ MIKROPOLUTANTŮ PŘI ÚPRAVĚ PITNÉ VODY

REMOVAL OF MICROPOLLUTANTS DURING DRINKING WATER TREATMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Monika Císařová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Renata Biela, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav vodního hospodářství obcí
Studentka: **Bc. Monika Císařová**
Vedoucí práce: **Ing. Renata Biela, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24
Studijní program: N0732A260025 Stavební inženýrství – vodní hospodářství a vodní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Odstraňování mikropolutantů při úpravě pitné vody

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce bude v rešeršní části pojednávat o možnostech přísunu mikropolutantů (pesticidy, léčiva, produkty denní péče, halucinogeny atd.) do zdrojů pitné vody, bude uveden jejich přehled, popis a alternativy odstranění v rámci technologických procesů úpravy vody. V praktické části diplomové práce bude proveden laboratorní experiment odstranění určitého mikropolutantu pomocí zvoleného vodárenského procesu a posouzena jeho účinnost.

Cíle a výstupy diplomové práce:

1. Rešerše zaměřená na problematiku mikropolutantů ve zdrojích pitné vody a možnosti jejich odstranění vodárenskými procesy.
2. Laboratorní experiment odstranění určitého mikropolutantu z vody pomocí vybraného vodárenského procesu a posouzení jeho účinnosti.

Seznam doporučené literatury a podklady:

- [1] CRITTENDEN, John, et al. Water Treatment: Principles and Design. 2nd Edition. John Wiley and Sons, 2005. 1948 p. ISBN 0-471-11018-3.
- [2] GRAY, N. F. Drinking Water Quality. Problems and Solutions. 2nd Edition. Cambridge University Press, 2008. 520 p. ISBN 978-0-521-70253-9.
- [3] PEINEMAN, K. V., NUNES, S. P. Membranes for Water Treatment. Volume 4. Wiley-VCH, 2010. 237 p. ISBN 978-3-527-31483-6.
- [4] GRAY, N. F. Water Technology. An Introduction for Environmental Scientists and Engineers. Third Edition. Elsevier, 2010. 747 p. ISBN 978-1-85617-705-4.

[5] SILVA, Bruna, et al. Psychiatric Pharmaceuticals as Emerging Contaminants in Wastewater. 1st Edition. Springer, 2015. 104 p. ISBN 978-3-319-20492-5.

[6] MALÝ, J., MALÁ, J. Chemie a technologie vody. 2. doplněné vydání. Brno: Ardec s.r.o., 2006. 329 s. ISBN 80-86020-50-9.

[7] PITTER, Pavel. Hydrochemie. 4. vydání. Praha: VŠCHT Praha, 2009. 568 s. ISBN 978-80-7080-701-9.

[8] HLAVÍNEK, P., ŘÍHA, J. Jakost vody v povodí. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. 209 s. ISBN 80-214-2815-5.

[9] Odborné články ze sborníků konferencí a seminářů.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 14. 3. 2023

L. S.

doc. Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
vedoucí ústavu

Ing. Renata Biela, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou odstraňování mikropolutantů při úpravě pitné vody. Teoretická část charakterizuje jednotlivé typy mikropolutantů, jejich výskyt a možnosti odstranění. A také odstranění mikropolutantů již realizované v praxi. Praktická část pojedná o odstranění vybraného mikropolutantu, a to perfluorovaných látek. Jedná se o laboratorní experiment na odstranění perfluorovaných látek z daného toku filtrací přes granulované aktivní uhlí Filtrasorb F400. V závěru jsou uvedeny výsledky a zhodnocení celého experimentu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Mikropolutanty, nebezpečné kovy, pesticidy, léčiva, perfluorované a polyfluorované látky, mikroplasty, odstranění, aktivní uhlí, Filtrasorb F400

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the issue of micropollutants removal during drinking water treatment. The theoretical part characterizes individual types of micropollutants, their occurrence and possibilities of their removal. It also presents the removal of micropollutants already implemented in practice. The practical part deals with the removal of a selected micropollutant, namely perfluorinated substances. This is a laboratory experiment on the removal of perfluorinated substances from a given flow by filtration through granular activated carbon Filtrasorb F400. Finally, the results and evaluation of the experiment are presented.

KEYWORDS

Micropollutants, hazardous metals, pesticides, pharmaceuticals, perfluorinated and polyfluorinated substances, microplastics, removal, activated carbon, Filtrasorb F400

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CÍSAŘOVÁ, Monika. *Odstraňování mikropolutantů při úpravě pitné vody*. Brno, 2024. 89 s, 3 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí Ing. Renata Biela, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Odstraňování mikropolutantů při úpravě pitné vody* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2024

Bc. Monika Císařová

autor

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí diplomové práce Ing. Renatě Biele, Ph.D. za její cenné rady, připomínky, vstřícný přístup a za poskytnuté materiály při zpracování této diplomové práce.

Dále bych chtěla poděkovat paní Ing. Taťáně Halešové za poskytnuté podklady a za ochotu při zpracování vzorků mého experimentu a panu Ing. Filipovi Mečířovi za pomoc při provádění laboratorního experimentu.

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	MIKROPOLUTANTY A JEJICH PŘÍSUN DO ZDROJŮ PITNÉ VODY	12
2.1	Původ mikropolutantů	12
2.1.1	Škodlivé účinky mikropolutantů	14
3	PŘEHLED MIKROPOLUTANTŮ	15
3.1	Nebezpečné kovy	15
3.1.1	Olovo	15
3.1.2	Arsen	17
3.1.3	Nikl.....	18
3.2	Pesticidy	19
3.2.1	Metabolity pesticidních látek	22
3.2.2	Monitoring pesticidů	22
3.3	Léčiva	25
3.3.1	Rozdělení léčiv.....	26
3.3.2	Přísun léčiv do životního prostředí.....	26
3.3.3	Monitoring léčiv v ČR.....	27
3.4	Perfluorované a polyfluorované látky (PFAS)	29
3.4.1	Využití PFAS	32
3.4.2	Dopady na lidský organismus.....	32
3.4.3	Monitoring PFAS v ČR.....	33
3.5	Mikroplasty	34
3.5.1	Zdroje mikroplastů	35
3.5.2	Mikroplasty v pitné vodě	36
4	LEGISLATIVA A LIMITY MIKROPOLUTANTŮ	37
4.1	Limity nebezpečných kovů pro pitnou vodu	37
4.2	Limity pesticidů a jejich metabolitů pro pitnou vodu	38
4.3	Limity léčiv pro pitnou vodu	38
4.4	Limity PFAS pro pitnou vodu	38

4.5	Limity mikroplastů pro pitnou vodu	39
5	MOŽNOSTI ODSTRAŇOVÁNÍ MIKROPOLUTANTŮ PŘI ÚPRAVĚ PITNÉ VODY	40
5.1	Adsorpce (aktivní uhlí)	40
5.1.1	Výroba aktivního uhlí	41
5.1.2	Granulované aktivní uhlí (GAU)	41
5.2	Membránové procesy	45
5.3	Pokročilé oxidační procesy	47
5.4	Odstranění nebezpečných kovů z vody	48
5.5	Odstranění pesticidů z vody	49
5.6	Odstranění léčiv z vody	50
5.7	Odstranění perfluorovaných a polyfluorovaných látek (pfas) z vody	51
5.8	Odstranění mikroplastů z vody	52
6	PŘÍKLADY ODSTRANĚNÍ MIKROPOLUTANTŮ V PRAXI	54
6.1	Příklady odstranění pesticidů z podzemních zdrojů	54
6.1.1	Odstranění pesticidů ze zdroje podzemní vody (800 obyvatel)	54
6.1.2	Doplnění technologie úpravy pitné vody ze dvou zdrojů podzemní vody	55
6.1.3	Odstranění pesticidů ze zdroje podzemní vody (průmyslový areál)	55
6.2	Příklad odstranění farmak i pesticidů - Úpravna vody Želivka	57
7	LABORATORNÍ ODSTRANĚNÍ ZVOLENÉHO MIKROPOLUTANTU Z VODY	59
7.1	Cíl experimentu	59
7.2	Účel experimentu	59
7.3	Adsorpční materiál - aktivní uhlí	59
7.4	Postup experimentu	60
7.5	Výsledky experimentu	67

8	ZÁVĚR.....	77
9	POUŽITÁ LITERATURA.....	79
	SEZNAM TABULEK	84
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	85
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	88
	SEZNAM PŘÍLOH.....	89

1 ÚVOD

Voda je nedílnou součástí našeho života. Zaujímá zhruba 70 % povrchu planety Země. Zdroje vody rozdělujeme na podzemní a povrchové, jejich účelem je zásobovat obyvatele. Veškeré zdroje jsou vystaveny především antropogennímu znečištění, tedy znečištění způsobenému lidmi.

Typickým znečištěním v pitné vodě jsou polutanty. Jedná se o látky, které jsou pro lidské oko většinou identifikovatelné a při určitých koncentracích a délce působení ve vodě mají špatný vliv na životní prostředí a živé organismy. Proto dochází k odbourávání škodlivých látek při úpravě pitné vody, za účelem zlepšení životního prostředí a zavadnosti pro lidský organismus.

S vývojem výzkumu v oblasti úpravy pitné vody bylo zjištěno, že ve zdrojích pitné vody jsou obsaženy látky, které nejsou pouhým okem viditelné, ale mohou způsobovat znečištění. Ve vodách mají velmi malou koncentraci, ale i přes to se dle výzkumu začalo jednat o znečišťující látky, které jsou závadné na lidský organismus. Souhrnně mluvíme o těchto látkách jako o mikropolutantech. Jako mikropolutanty označujeme více látek. Jedná se například o nebezpečné kovy, pesticidy, léčiva, perfluorované látky a další.

O škodlivosti těchto látek se v poslední době vyzkoumalo nemálo informací a jedná se nyní o velice aktuální téma v oblasti vodohospodářství při úpravě pitné vody. Probíhá sledování těchto látek ve vodním prostředí, vznikají limity pro obsah těchto látek v pitné vodě.

Hlavním cílem detekce a následného odstraňování mikropolutantů jsou důsledky, které by mohly ovlivnit životní prostředí a také samotnou technologii na úpravách vod. Na úpravě by mohlo nastat zhoršení kvality pitné vody a zvýšení samotných nákladů na její provoz.

Cílem této práce je v rešeršní části se zaměřit na problematiku mikropolutantů ve zdrojích pitné vody a možnostech jejich odstranění vodárenskými procesy. Dále v praktické části bude proveden laboratorní experiment na odstranění určitého mikropolutantu z vody pomocí zvoleného procesu a posouzení jeho účinnosti.

Jedná se o velice mladé téma, které se neustále vyvíjí, zkoumá, predikuje a vznikají nové a nové myšlenky ohledně mikropolutantů a jejich škodlivosti pro životní prostředí.

2 MIKROPOLUTANTY A JEJICH PŘÍSUN DO ZDROJŮ PITNÉ VODY

Mikropolutanty – jedná se o složeninu slov, která vysvětluje mikro jako malý a polutant jako znečišťující látka. Tedy znečišťující látka, která se vyskytuje ve velmi malém množství v řádech mikrogramů až nanogramů na litr. Mají negativní vliv na živý organismus, a to z důvodu dlouhodobého působení. [1]

Mezi mikropolutanty řadíme:

- Mikroplasty, léčiva, produkty osobní péče, kovy, pesticidy, perfluorované látky, ...

2.1 PŮVOD MIKROPOLUTANTŮ

Mikropolutanty jsou látky, které se běžně používaly či stále používají, a tedy se dostávají do surové vody jak z plošných, tak i bodových zdrojů. Jsou to látky o velmi nízkých koncentracích, a z toho důvodu je analytické zjištění jejich přítomností velmi složité a náročné. Možnost zkoumání se v posledních letech hodně zlepšila, převážně v podobě zvýšení citlivosti stanovení. [2]

Ke vnosu mikropolutantů do vodního cyklu a celého životního prostředí přispívá každý z nás v každodenním životě. Základní vnosi můžeme rozdělit do několika kategorií:

- LIDÉ – v produkované odpadní vodě;
- ZEMĚDĚLSTVÍ – difúzní zdroje;
- PRŮMYSL – průmyslové odpadní vody, často lokalizované bodové zdroje (někdy i havárie);
- VEDLEJŠÍ PROCESY – z procesů a technologií, často nezachycené metabolity.

[2]

Lidé přispívají vnosem mikropolutantů do vodního procesu například tím, že se do produkované odpadní vody dostávají mikroplasty, které se přidávají do kosmetiky (šampony, krémy, zubní pasty, ...), do nátěrových barev a také při praní syntetických oděvů. Dále léky, kde se jedná převážně o antibiotika či hormony. Tělo část látek obsažených v lécích nezvládne zpracovat, a tak je vylučuje do odpadní vody. Na čistírnách odpadních vod si běžné technologie s těmito látkami neumí poradit, a dostávají se dál do řek. Řeka po několika kilometrech dále je určena jako zdroj pitné vody. Voda s mikropolutanty se dostane k úpravně a pokud úpravna

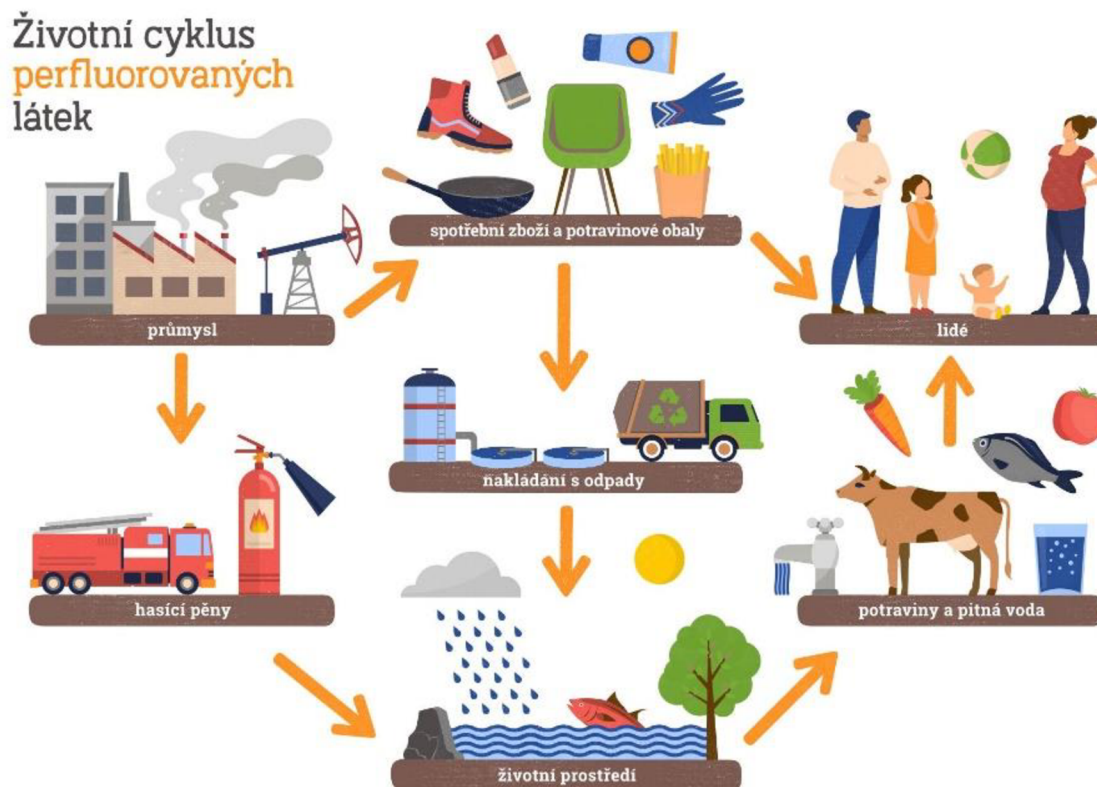
nemá speciální technologii na odstranění těchto látek, tak putují mikropolutanty v upravené pitné vodě až k zákazníkovi. [3]

V zemědělství se mikropolutanty dostávají do vodního zdroje především z přípravků na ochranu rostlin. Velkým problémem jsou pesticidy. Ty se vyskytují na polích, kde se dostávají do podzemních ale hlavně do povrchových vod, které se dále dostávají do celého ekosystému. [3]



Obr. 2.1 Pesticidy v přípravku na ochranu rostlin [18]

V průmyslu je nyní velice řešený problém v oblasti perfluorovaných látek. Tyto látky kontaminují atmosféru, půdu i vodní prostředí. Do životního prostředí se uvolňují při výrobě, likvidaci a používání výrobků. Testy na zvířatech prokázaly závadnost těchto látek. [5]



Obr. 2.2 Cyklus perfluorovaných látek [6]

2.1.1 Škodlivé účinky mikropolutantů

O míře škodlivosti mikropolutantů či jejich metabolitů pro lidský organismu a celý ekosystém zatím mnoho přesných a prokazatelných informací není. Začínají vznikat a probíhat s úspěšným cílem studie, které by prokázaly účinky jednotlivých mikropolutantů. Tyto studie jsou časově i finančně velmi náročné, a proto jich není momentálně žádné velké množství. Z toho důvody jsou mnohdy hygienické limity stanoveny principem předběžné opatrnosti. Je potřeba tedy mít snahu co nejvíce zpřesňovat informace o vnosu a následném odstranění z vod. [2]

Z již hotových studií je ale prokazatelné, že mnohé látky mohou být potenciálně karcinogenní. Můžou způsobovat vznik vrozených vývojových vad a defektů zrůdnosti, tedy tzv. teratogenity. Dle výzkumů mohou mít určité typy mikropolutantů také embryotoxické účinky, což znamená negativní vliv na nenarozený plod. Dále také jsou extrémně stabilní a může docházet k jejich akumulaci v životním prostředí – např. karbamazepin. Současně s tím může docházet k interakci působení, kdy dochází k zesílení účinků obou látek. Jedná se o tzv. synergismus. [4]

3 PŘEHLED MIKROPOLUTANTŮ

3.1 NEBEZPEČNÉ KOVY

Jedná se o skupinu těžkých kovů. Tato skupina zahrnuje těžké kovy, které překračují hustotu 5 g/cm^3 . Jedná se o chrom, měď, stříbro, olovo, nikl, rtuť, kadmium a arsen. V přírodě nejsou úplně časté. Do vodních zdrojů se dostávají pomocí kyselých dešťů, průsakem ze skládek či odpadní vodou z průmyslu. Nebezpečnost těchto kovů spočívá především v toxicitě, která se u lidí projevuje v podobě podráždění kůže, vyrážek či zažívacími problémy. Ve větší míře může nastat až selhání nebo poškození orgánů, případně nádorové bujení. Mají schopnost ukládat se v různých tkáních organismů, a proto je větší hrozbou otrava chronická. Nebezpečné kovy se pravidelně přijímají v malých dávkách a projeví se až po delším čase zdravotními problémy. [7]

Ve vodovodním potrubí jsou největším problémem staré budovy s olověnými rozvody, se kterými voda přichází do styku během distribuce, dále také mosazné či bronzové spojky, vodoměry a armatury. Pro minimalizaci olova v pitné vodě je potřeba dodržovat základní podmínky:

- Nechat vodu odtéct v případě, že stála v potrubí delší dobu.
- Nepoužívat teplou vodu pro přípravu teplých nápojů a potravin, protože vysoká teplota podporuje uvolňování kovů. [10]

3.1.1 Olovo

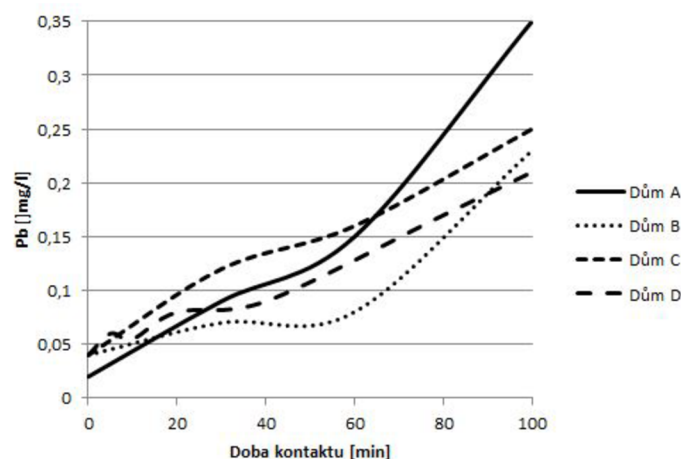
Jedná se o kov, který se získává z rudy galenitu. Jeho hlavním rizikem vůči lidskému organismu je schopnost vytěsňovat vápník z kostí a ukládat se na jeho místo. Jako zdroj olova v pitné vodě jsou hlavně materiály, se kterými voda přichází do styku během distribuce. Jedná se o olověné přípojky, domovní rozvody, a i starší typy PVC potrubí, drobné prvky z mosazi nebo červeného bronzu (armatury, spojky, vodoměry, vodovodní baterie ...).



Obr. 3.1 Olověné potrubí [14]

Množství olova ve vodě je dáno kvalitou vody neboli stupněm agresivity vůči olověným materiálům, poté materiálem, uspořádáním celé instalace, teplotou vody, zdržením vody v potrubí, hodnotou pH. Dále je množství olova dáno také způsobem chování odběratele při spotřebě vody. Z těchto důvodů je obsah olova ve vodě velice proměnlivý. Z důvodu proměnlivosti evropská směrnice vyžaduje vzorek vody, který se odebírá za účelem dodržení limitů olova ve vodě.

Na následujícím grafu (Obr. 3.2) můžeme vidět závislost koncentrace olova v pitné vodě na době kontaktu. Dle výzkumu byly vzorky odebrány ve čtyřech domech. Na grafu je vidět, že množství olova s délkou zdržení v potrubí se zvyšuje, ale ne nijak pravidelně. To potvrzuje, že množství olova v pitné vodě je velice proměnlivé a závisí na více faktorech.



Obr. 3.2 Závislost koncentrace olova v pitné vodě na zdržení vody v potrubí [13]

Dle studie se může brát v úvahu, že nárůst teploty o 10 °C zdvojnásobuje rychlost vylučování olova do vody. Z tohoto důvodu by se neměla používat teplá voda z vodovodních kohoutku na pití, či vaření. V Tab. 3.1 jsou shromážděny hodnoty

koncentrace olova v domácnostech jak v teplé, tak i studené pitné vodě. Můžeme vidět, že rozdíl mezi teplou a studenou vodou je znatelný. [13]

Tab. 3.1 Srovnání koncentrace olova v teplé a studené vodě [13]

Domácnost	Koncentrace olova v pitné vodě [mg/l]		
	Studená voda	Studená voda	Teplá voda
	první ranní odběr	odběr během dne	odběr během dne
1	0,19	0,04	0,41
2	0,06	0,04	0,28
3	0,03	0,02	0,43
4	0,28	0,15	0,88
5	0,05	0,03	0,71
6	0,55	0,07	0,39
7	0,48	0,15	0,47
8	0,04	< 0,01	0,46
9	0,12	0,05	0,43
10	0,68	0,10	0,31
11	0,21	0,04	0,15
12	0,16	0,09	0,37
13	0,50	0,26	0,34
14	0,07	0,07	0,55

Na základě rámcové strategie: *financování investic k zajištění implementace právních předpisů EU v oblasti životního prostředí, připravované MŽP*, připravilo Ministerstvo pro místní rozvoj (MMR) v roce 2005 podpůrný program na odstranění olověných rozvodů pitné vody v objektech pro bydlení. Zájemci o využití tohoto programu musí předložit výsledky monitoringu vody v olověném potrubí, provedené autorizovanou nebo akreditovanou laboratoří proškolenou v této problematice. [11]

3.1.2 Arsen

Arsen se na první pohled ve vodě nijak neprojevuje, není cítit ani nemá výraznou barvu. Nežádoucí množství arsenu se vyskytuje zejména tam, kde je řešena úprava vody ze studní a místních zdrojů. V přírodě se arsen vyskytuje v organické i anorganické formě. Převážně ve formě sulfidů a je často součástí hornin a půd. V povrchové a dobře okysličené vodě se nachází v pětimocné formě a v podzemní vodě za anaerobních podmínek dochází k redukci na arsen trojmocný. Ve vodě se pohybuje v koncentracích 1-2 µg/l. V přírodních zdrojích může však dosahovat až hodnot 12000 µg/l. Ze zdravotního hlediska je velmi jedovatý, a tedy zcela nežádoucí ve vodě. Jeden z důvodů v rozdílu mezi pitnou vodou z kohoutku

a kojeneckou je, že kojenecká voda má limit do 5 µg/l, v pitné vodě je limit 10 µg/l. Dlouhodobé užívání arsenu může způsobit exémy, alergie, nádor jater, ledvin, močového měchýře, rakovinu kůže. Nejvíce se arsen ukládá ve lasech, nehtech a kůži. Projevení příznaků může být až po 5-10 letech. Vysoká koncentrace arsenu cca 60000 µg/l vede ke smrti. Kolem 30000 µg/l nastává akutní podráždění žaludku a nevolnost. [12]

3.1.3 Nikl

Nikl není prvek hojně zastoupený, v podloží je nehomogenní, a proto se v surové vodě vyskytuje v měřitelných koncentracích velice zřídka. I tak je často nalézán, když se analyzuje pitná voda z kohoutku. Nikl má také limitní koncentrace, které je nutno dodržovat. Nejčastější kontaminace pitné vody niklem je totiž u koncových materiálů rozvodů. Hodnota niklu je tedy velmi proměnlivá z důvodu stagnace vod v určitých místech rozvodů. Nebezpečím zůstávají nárazové koncentrace, kdy může při delším stání vody hodnota odebraného vzorku být až okolo 500 µg/l. To je více než dvacetinásobek limitní hodnoty, která představuje 20 µg/l. Je tedy důležité hlídat i nárazové koncentrace, které mohou mít negativní vliv na lidské zdraví. [17]

Koncentrace niklu ve vodě závisí na přítomnosti nikelnatých rud v podloží, způsobu využití půdy, pH, hloubce odběru. Kyselé deště způsobují mobilitu niklu, která pak proniká do podzemních vod a následně do zdrojů vod ve zvýšených hodnotách. Antropogenním zdrojem niklu jsou odpadní vody z povrchové úpravy kovů, dále je nikl přítomen v důsledku louhování z materiálu, jako jsou vodovodní armatury a trubky. Další zdroj niklu jsou vnitřní povrchy poniklovaných a pochromovaných výrobků, kde se jedná o vodovodní baterie. Baterie na pochromování je nutné nejprve poniklovat. Ponikluje se i část vnitřního povrchu baterie, kde nikl není pevně vázaný. [17]

Nikl není pro člověka významně toxický, přitom je součástí potenciálních karcinogenů. Vysoká dávka niklu způsobuje akutní otravu jako nevolnost, zvracení, průjem, závratě a potíže s dechem. [17]

Výsledky rozborů v ČR jsou dle zákona posílány do centrální databáze. Dle výsledků, které jsou shrnuty v tabulce (Tab. 3.2) je vidět, že limitní hodnoty nebyly

dodrženy u méně jak 0,5 % testovaných vzorků. Střední hodnota koncentrace se pohybuje mezi 2 - 3 µg/l. [17]

Tab. 3.2 Výskyt niklu v pitné vodě v ČR [17]

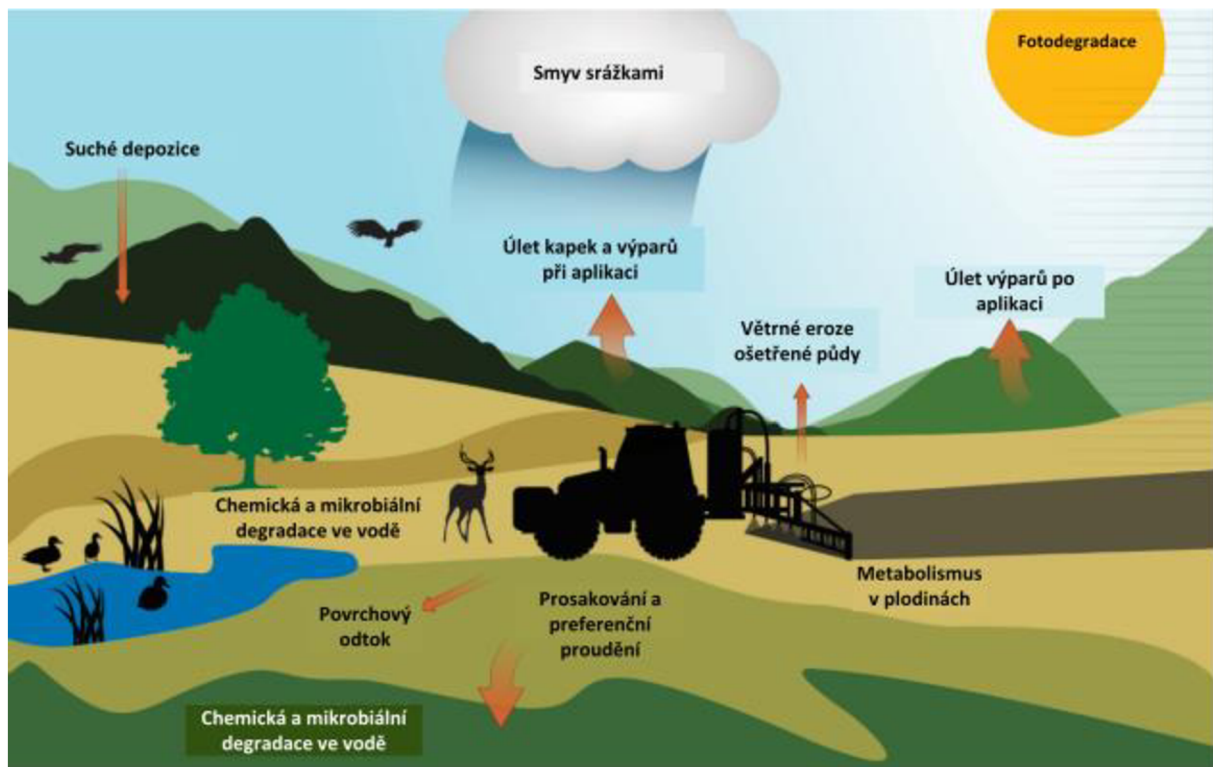
		2005	2006	2007	2008
Počet vzorků se stanovením Ni	[-]	5723	5642	5393	5799
Počet vzorků s překročením limitu	[-]	24	16	25	28
% překročení	[%]	0,42	0,28	0,46	0,48
Průměrná hodnota	[µg/l]	2,826	2,269	2,834	2,722
Medián	[-]	1,5	1,5	1,5	1,5
Max. hodnota	[µg/l]	490	230	280	52

3.2 PESTICIDY

Pesticidy jsou biocidní látky. Používají se v zemědělství, lesnictví, na ochranu užitkových rostlin, také proti plevelům, houbám a některým živočišným škůdcům. Pesticidy jsou spojeny také s vodním hospodářstvím. Našly uplatnění k likvidaci vodních rostlin, k redukci zooplanktonu a k antiparazitnímu ošetření kaprovitých ryb. [19]

Identifikace každého pesticidu:

- Obecný název (common name) – nejdůležitější označení, jelikož má mezinárodní platnost;
- Obchodní název (trade name);
- Chemický název;
- Strukturální vzorec. [19]



Obr. 3.3 Zatížení životního prostředí přípravy na ochranu rostlin [20]

Jedná se o velice početnou skupinu látek, která se dělí dle biologické účinnosti a dle chemického typu účinné látky. Dále podle působení na ošetřovaný organismus. [19]

Biologická účinnost:

- Insekticid (organochlory, organofosforové sloučeniny, karbamáty, pyretroidy) – prostředky k hubení hmyzu;
- Herbicid – mísení s hnojivý jako přípravky pro hnojení travníků;
- Algicid – prostředky k hubení řas;
- Fungicid – prostředky proti škodlivým parazitickým houbám. [13]

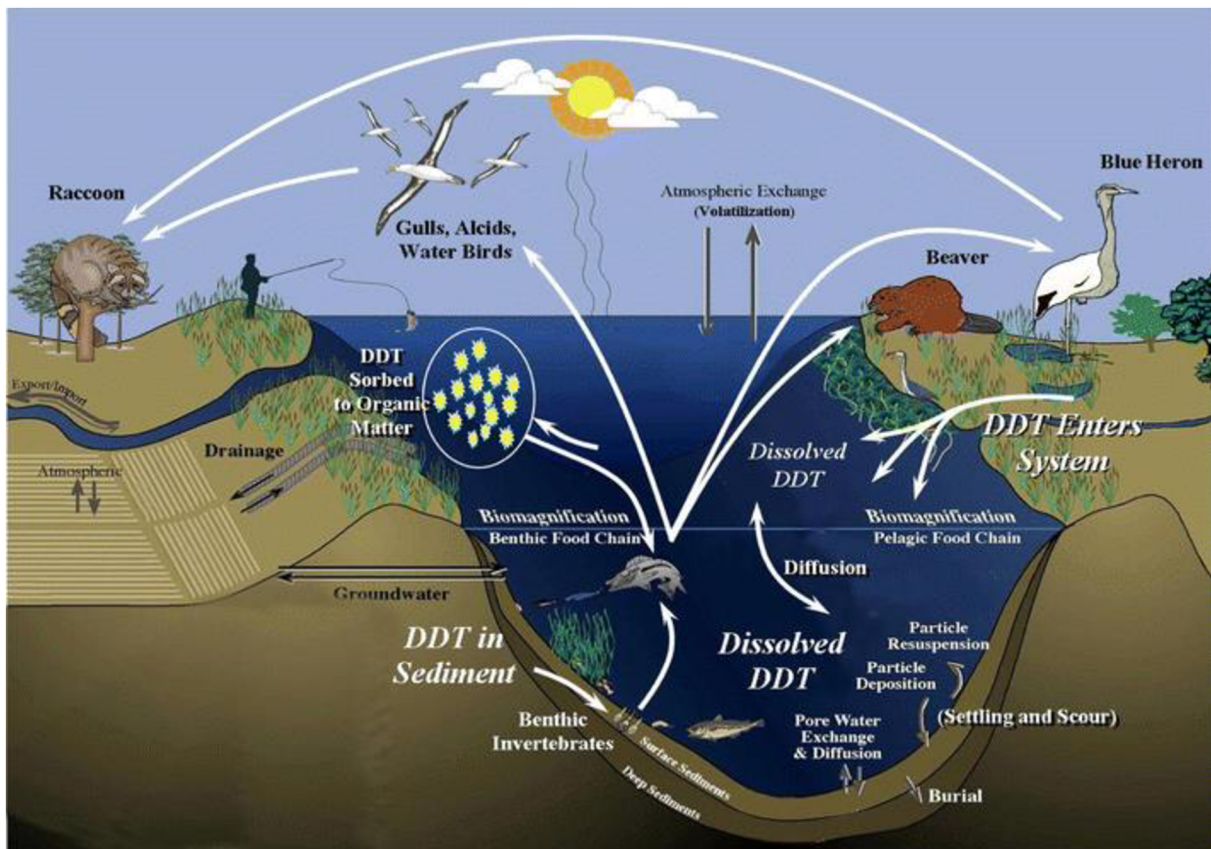
Působení na ošetřovaný organismus:

- Kontaktně (dotykově) působící – tyto pesticidy zůstávají na povrchu;
- Systémově působící (systémové) – tyto pesticidy pronikají do organismu živočichů, rostlin, a to včetně kořenového systému. [19]

Pesticidy mohou být ve formě organické či anorganické povahy. Převládají organické pesticidy. Jedná se především o insekticidy – organochlorové a organofosforové. Dále například karbamáty, heterocyklické sloučeniny, deriváty močoviny, deriváty triazinů, deriváty fenolů a dalších. [19]

Organochlorové pesticidy jsou nejvíce problematické. Jsou chemicky i biochemicky stabilní ve vodě i v půdě. Důvod jejich stability způsobuje kontaminaci v prostředí dlouhou dobu. Tyto pesticidy se dále dělí na 3 skupiny:

1. DDT (Dichlordifenyiltrichloretan): jeho využívání je dnes zakázáno v mnoha zemích. Jeho nebezpečí spočívá v negativnímu ovlivnění centrálního nervového systému člověka a také jater. Od roku 2015 je tato látka na seznamu karcinogenních látek. Jeho použití bylo především k likvidaci komárů a létajícího hmyzu. Vyskytuje se v podobě krystalického prášku, který je velmi špatně rozpustný ve vodě, ale dobře rozpustný v tucích (organických rozpouštědlech).



Obr. 3.4 Transport DDT v systému sediment-voda-živočichové-lidský organismus [21]

2. Lindan: jeho globální zákaz použití v zemědělské produkci je od roku 2009, kdy byl tento zákaz přijat v rámci Stockholmské úmluvy. Důvodem globálního zákazu je pomalá degradace v půdě a od roku 2015 se jedná o další látku na seznamu karcinogenních látek.
3. Aldrin: jeho zákaz platí v ČR od roku 1980. Jedná se o nebezpečnou látku z důvodu její mutagenity, karcinogenity a schopnosti poškozovat imunitní a reprodukční systém. Dříve byla využívána proti klíšťatům, molům, termitům a k moření osiva proti napadání hmyzem. [13]

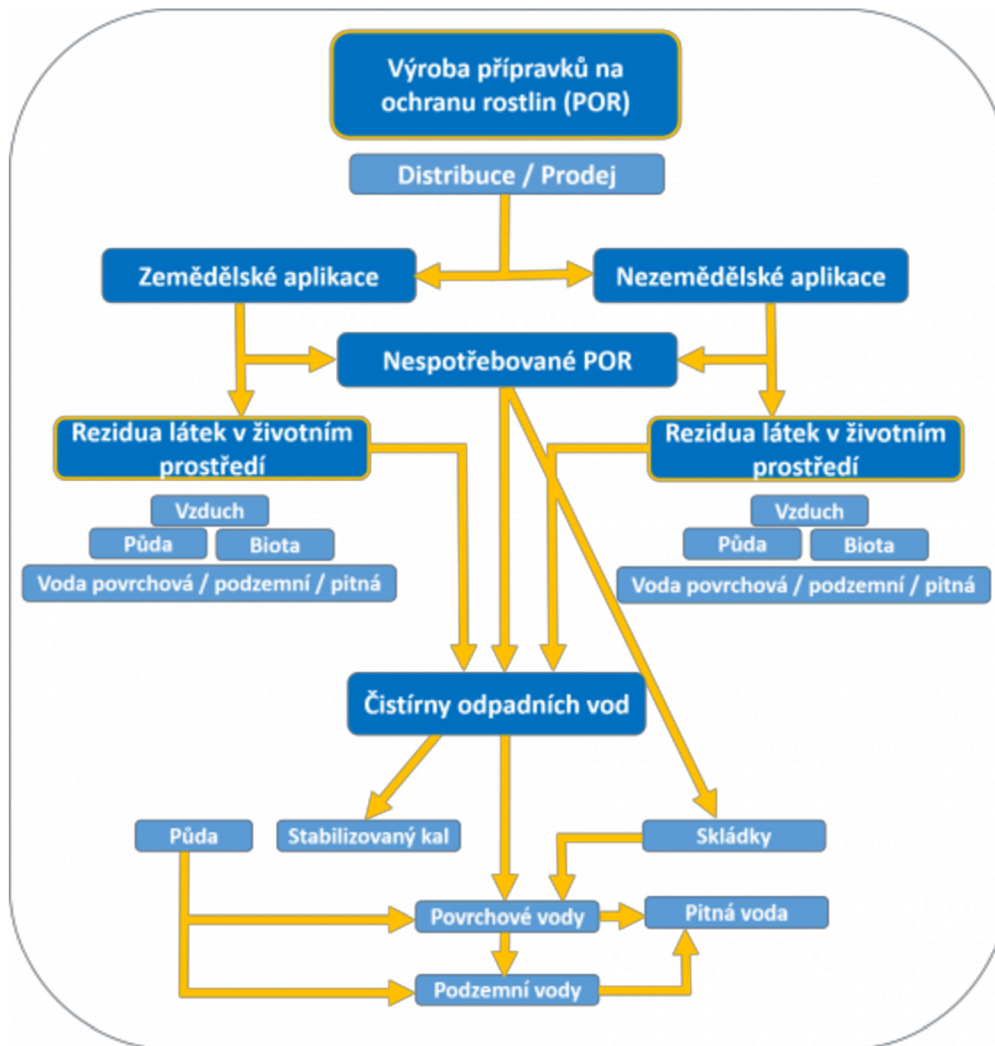
3.2.1 Metabolity pesticidních látek

Metabolity pesticidních látek (PL) dělíme na relevantní a nerelevantní. Relevantní metabolity jsou významné z nebezpečných vlastností. Platí pro ně limit 0,1 µg/l. Nerelevantní metabolity jsou méně nebezpečné. Jejich nebezpečnost je individuálně stanovena dle metodiky Evropské komise „*Guidance document on the assessment of the relevance of metabolites in groundwater of substances regulated under Council directive 91/414/EEC*“. Toto rozhodnutí proběhlo v roce 2014 v rámci novely vyhlášky č. 252/2004 Sb. kdy dochází ke změně posuzování metabolitů pesticidních látek nalezené v pitné vodě a je zde nutno rozhodnout, zda se jedná o relevantní či nerelevantní metabolit PL. [22]

Informaci o vzniku relevantních/nerelevantních metabolitů v životním prostředí poskytuje ÚKZÚZ (Odbor přípravků na ochranu rostlin). Postupně vzniká doplňovaný seznam již posouzených metabolitů pesticidních látek a doporučených limitních hodnot v pitné vodě, který je veřejně přístupný. Tyto doporučené limitní hodnoty v pitné vodě lze aplikovat v celé ČR. [22]

3.2.2 Monitoring pesticidů

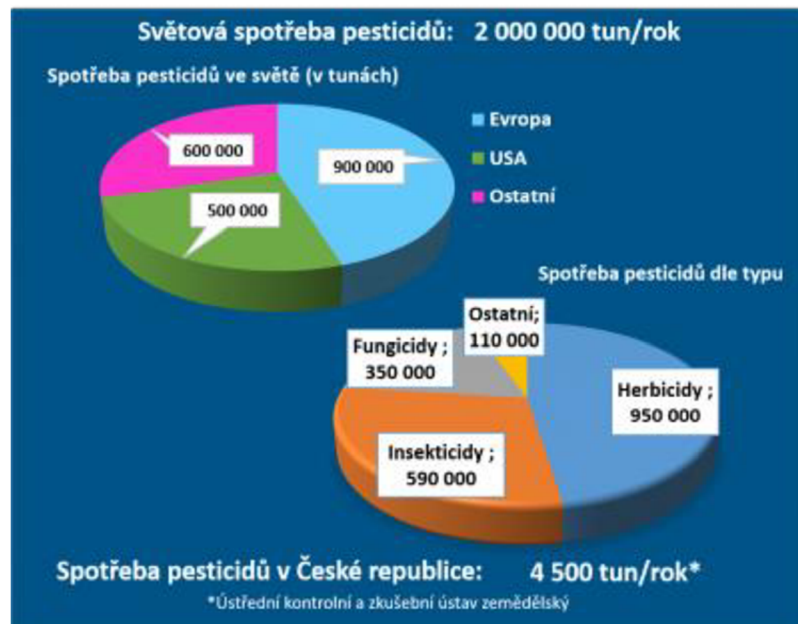
Informace o množství pesticidů v půdě je důležité sledovat, a to i z pohledu následné kvality zdrojů pitných vod (Obr. 3.5). Pro kvalitní monitoring transportu pesticidů a jejich metabolitů v prostředí se doporučuje postihovat stejný rozsah pesticidních látek při analýzách vod i půd. [23]



Obr. 3.5 Cyklus pesticidů v životním prostředí [23]

Monitoring pesticidů ve světě

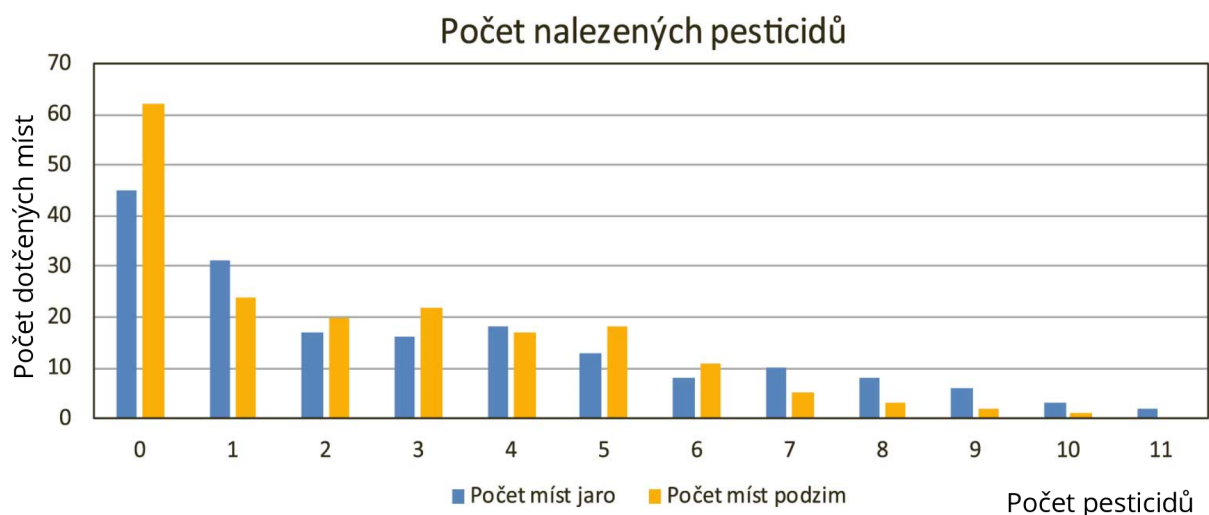
Odborná studie z roku 2019 Total Environment uvádí, že pouze 17 % zemědělské půdy v Evropě je bez výskytu PL. Mezi nejčastěji nalezené pesticidy se řadí pesticid glyfosád a jeho metabolit AMPA, boskalid nebo tebukonazol. Spotřeby těchto nejčastějších pesticidů se v ČR pohybují v desítkách až stovkách tun za rok. V 7 % všech vzorků při studii byl také nalezen pesticid amidaklopid, který patří mezi zakázané pesticidy. Celková světová spotřeba pesticidů dle studie je 2 miliony tun/rok. V ČR je to 4 500 tun/rok a nejvíce jsou zastoupené insekticidy a herbicidy. [23]



Obr. 3.6 Grafické zobrazení spotřeby pesticidů ve světě [23]

Monitoring pesticidů v ČR

Podle cíleného šetření pitných vod na vybraný okruh 21 PL a jejich metabolitů byl proveden výzkum v roce 2017. Měření bylo provedeno ve více než 170 vodovodech po celé ČR a pouze ¼ nevykázala ani jeden pozitivní nález. Tedy ¾ vodovodů je více či méně kontaminováno PL. Měření probíhalo ve 2 etapách v jarních a podzimních odběrech. Z výsledku lze vidět, že více kontaminované vody pesticidy jsou v jarních měsících. [24]



Obr. 3.7 Počet pesticidů nalezených v jednom vzorku vody / počet dotčených míst [24]

V Tab. 3.3 je uveden souhrn výsledků jednotlivých analýz – hodnoty mediánu, maximální hodnoty a počty stanovení s výsledkem nižším než mez stanovitelnosti.

Tab. 3.3 Souhrn výsledků jednotlivých analýz jarní odběry/podzimní odběry [24]

Analyt	Medián > LOQ	Maximum (μg/l)	Počet stanovení < LOQ
Acetochlor ESA	0,053	0,400	142
Acetochlor OA	0,104	0,180	173
Alachlor ESA	0,087	1,600	90
Atrazin	0,041	0,160	161
Bentazon	0,015	0,130	168
Desethylatrazin	0,034	0,650	137
Desethylterbuthylazin	0,037	0,073	161
Hexazinon	0,021	0,098	169
Hydroxyatrazin	0,020	0,037	170
Chloridazon	0,018	0,067	169
Chloridazon-desphenyl	0,088	1,400	138
Chloridazon-methyl-desphenyl	0,029	0,710	130
Chlortoluron	0,011	0,014	174
Isoproturon	0,069	0,069	176
Metazachlor	0,016	0,020	175
Metazachlor ESA	0,088	2,600	122
Metazachlor OA	0,225	6,600	103
Metolachlor ESA	0,063	0,750	118
Metolachlor OA	0,051	0,150	163
S-Metolachlor	0,014	0,014	176
Terbuthylazin	0,022	0,039	164

Analyt	Medián > LOQ	Maximum (μg/l)	Počet stanovení < LOQ
Acetochlor ESA	0,063	0,361	163
Acetochlor OA	0,080	0,088	182
Alachlor ESA	0,078	2,184	102
Atrazin	0,021	0,151	167
Bentazon	0,013	0,025	179
Desethylatrazin	0,022	0,275	154
Desethylterbuthylazin	0,036	0,043	171
Hexazinon	0,019	0,101	178
Hydroxyatrazin	0,018	0,027	178
Chloridazon	0,016	0,018	182
Chloridazon-desphenyl	0,149	4,607	132
Chloridazon-methyl-desphenyl	0,032	0,717	151
Chlortoluron	< 0,010	< 0,010	185
Isoproturon	< 0,010	< 0,010	185
Metazachlor	< 0,015	< 0,015	185
Metazachlor ESA	0,087	0,555	114
Metazachlor OA	0,055	0,297	150
Metolachlor ESA	0,063	0,761	142
Metolachlor OA	0,042	0,069	181
S-Metolachlor	0,044	0,044	184
Terbuthylazin	0,027	0,031	169

3.3 LÉČIVA

Léčiva jsou látky, které jsou určeny k zamezování, léčení nebo zmírnění projevů nemoci. Tyto látky člověk využívá již odedávna. Dříve se ve farmacii využívaly spíše látky rostlinného a živočišného původu a v malém množství. Dále vývoj léčiv prochází určitým vývojem, který je ovlivněn především znalostí v oblasti chemie. Největší rozmach byl uskutečněn ve spojitosti s vědeckotechnickou revolucí po druhé světové válce. Nyní se účinné látky vyrábějí průmyslově a jsou jednoduše dostupné, a to vede k jejich rozsáhlému, mnohdy i nadměrnému užívání. Proto tedy se musí zákonitě projevit jejich užívání i jako negativum v životním prostředí. Vzniká pro lidský organismus paradox mezi pozitivním a negativním účinkem na životní prostředí. [25]

Léčiva nyní formují stále se rozšiřující chemickou skupinu látek. Jsou čteně používány jak v humánní, tak i ve veterinární medicíně. Jedná se o skupinu tvořící mikropolutanty, která není tvořena pouze účinnými léčivými látkami, ale i jejich mnohem méně sledovanými metabolity. Metabolity jsou polárnější (více rozpustné ve vodě) a tím pádem v životním prostředí mnohem mobilnější než

samotné látky. Představují pro vodní ekosystém i lidský organismus stejné nebo i vyšší riziko než původní aktivní látky léčiv. [26]

Většina hodnocení rizik léčiv je vedena jednotlivě. Vodní organismy a lidský organismus je ale vystavován množstvím a směsí jednotlivých látek a jejich metabolitů a je tedy zapotřebí hromadné sledování a vyhodnocení rizik, jelikož kombinace různých směsí látek může mít na organismus větší nežádoucí účinek než jen prostý součet jednotlivých účinků. Je tedy nutné přítomnost léčiv v pitných vodách detailně sledovat a především určit, které látky jsou nejvíce ohrožující pro organismus. Určení rizika látek je ještě proces na budoucí dlouhodobý výzkum. [26]

3.3.1 Rozdělení léčiv

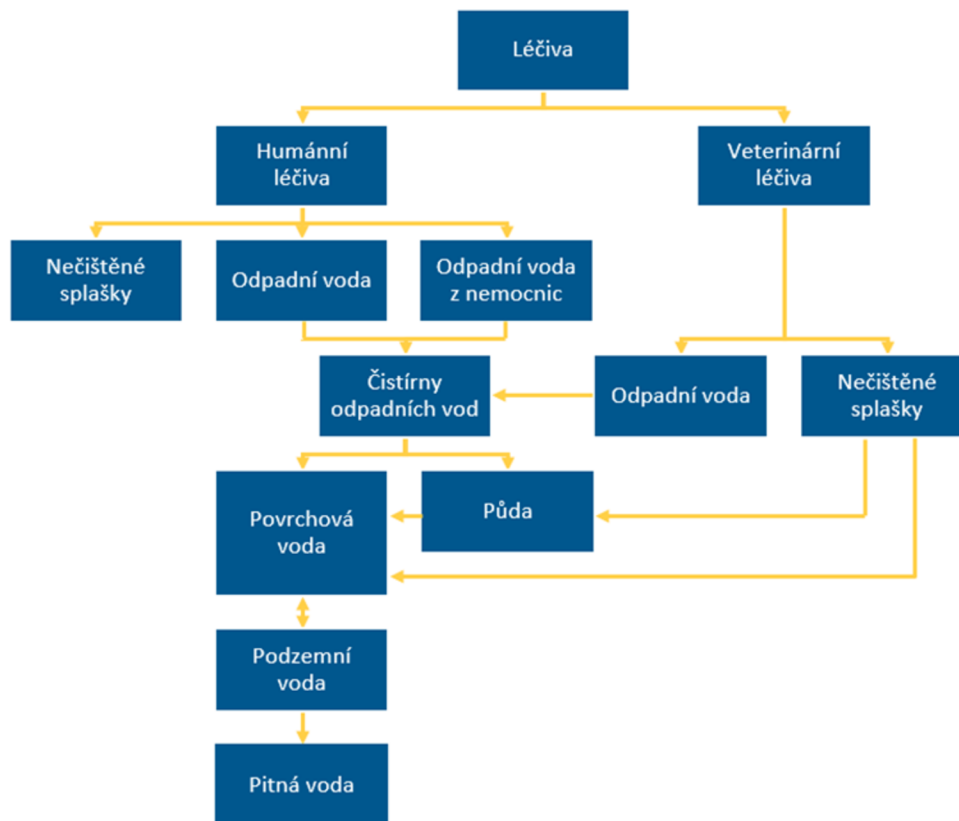
Léčiva se dělí dle jejich odolnosti vůči životnímu prostředí na:

- látky lehce odbouratelné (např. kyselina acetylsalicylová);
- látky stálé a hydrofilní (bezafibrát);
- látky stálé a lipofilní (ofloxacin).

Obecně se látky do těchto tří skupin rozdělují dle souhrnu fyzikálně-chemických vlastností, především pak rozpustnosti. [25]

3.3.2 Přísun léčiv do životního prostředí

Léčiva do životního prostředí mohou vstupovat v nezměněné nebo metabolizované formě. Jako původní léčivo i jako metabolismus se vykytují léčiva, která jsou v metabolismu přeměněna částečně. Menší část léčiv je stabilní, a tedy nepodléhá přeměně anebo je metabolizována plně v metabolismu. Hlavní zdroj kontaminace životního prostředí farmaky jsou odpadní vody. A to domácnosti, nemocnice, farmaceutický průmysl. Aktivní látky jsou po použití léků z těla vylučovány prostřednictvím výkalů a moči a dostávají se do odpadní vody. Na čistírnách odpadních vod nedokážou stoprocentně odstranit tyto mikropolutanty, a to nejen pomocí vyčištěné odpadní vody vypouštěné do recipientu, ale i pomocí čistírenských kalů, které jsou aplikovány na půdu za účelem hnojiva. A může dojít k následnému transportu až do pitné vody. Celý transport léčiv v životním prostředí viz Obr. 3.8. [26]



Obr. 3.8 Transport léčiv životním prostředím [26]

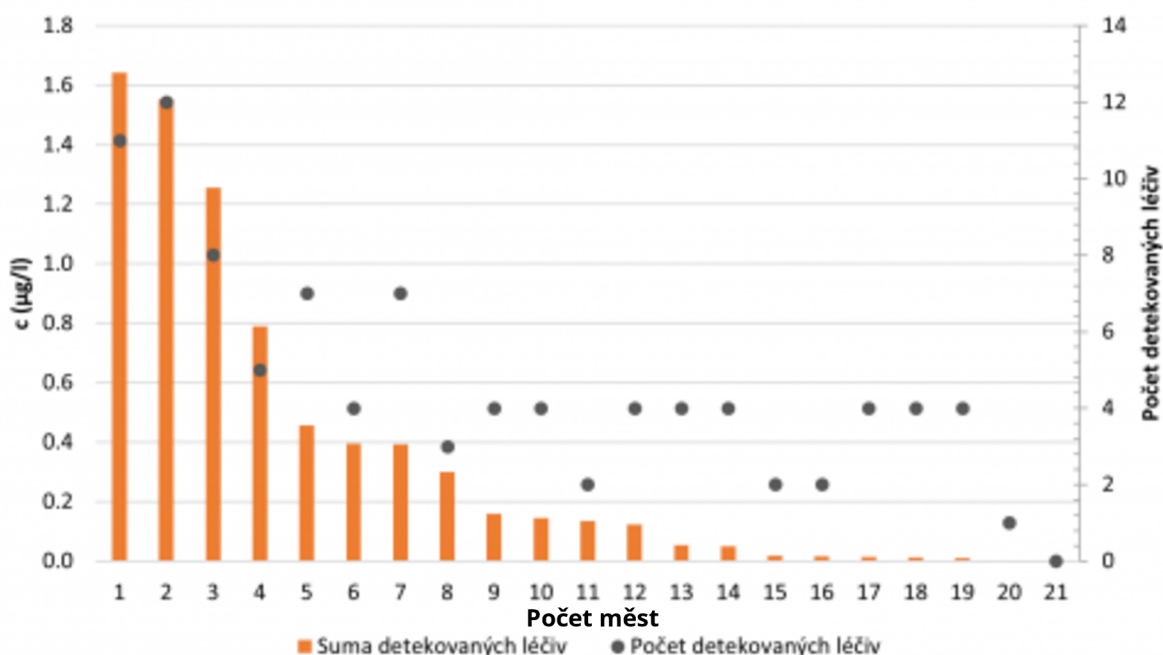
3.3.3 Monitoring léčiv v ČR

Dle statistických hodnot víme, že nejčastěji distribuovaná látka byl paracetamol. Prvních 10 nejčastějších látek v České republice viz Tab. 3.4. [25]

Tab. 3.4 Léčiva s největším objemem distribuce [25]

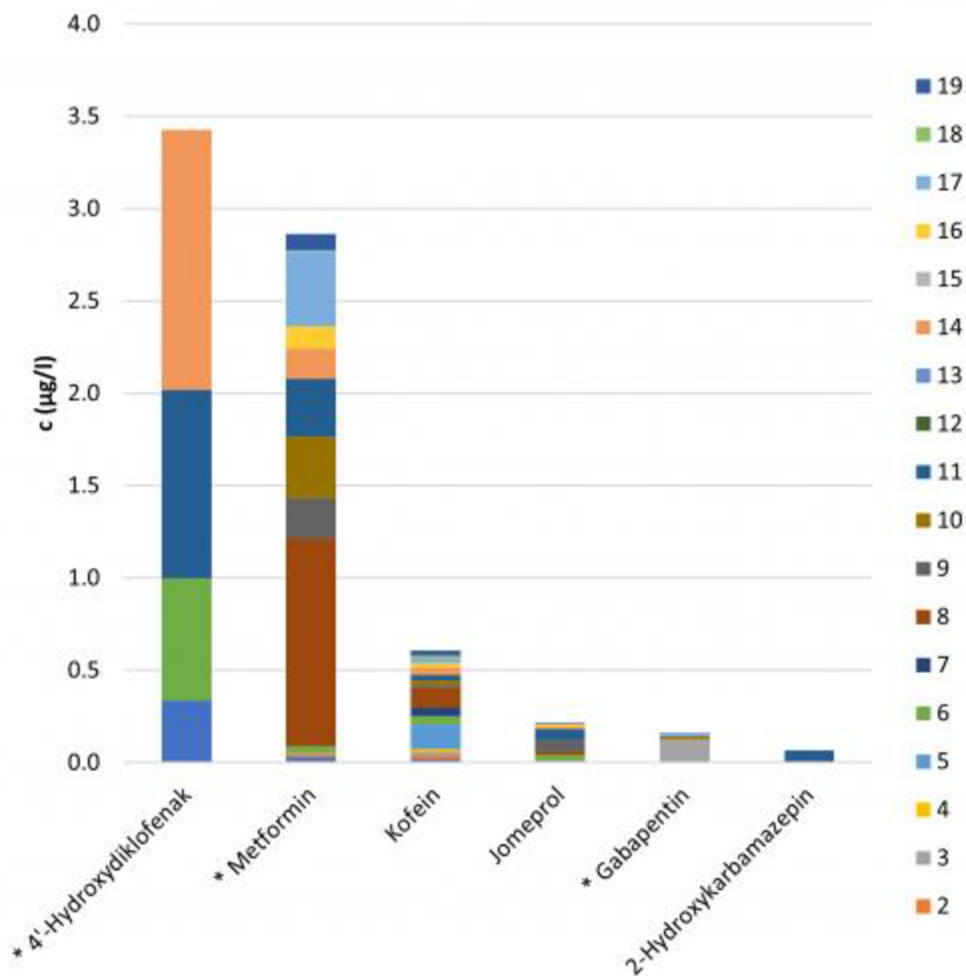
	Léčivá látka	Balení [mil]
1.	paracetamol	15,38
2.	elektrolyty parenterální	10,94
3.	ibuprofen	10,49
4.	kyselina acetylsalicylová (antikoagulancia, antitrombotika)	5,47
5.	paracetamol, kombinace mimo psycholeptik	4,69
6.	kyselina acetylsalicylová (analgetika, antipyretika)	4,08
7.	ambroxol	3,66
8.	xylometazolin	3,58
9.	atorvastatin	3,54
10.	metoprolol	3,54

V roce 2022 byl proveden monitoring léčiv a jejich metabolitů ve 21 vybraných městech v ČR. Výsledky tohoto monitoringu ukazují, že průměrná sumární koncentrace testovaných léčiv byla 0,36 $\mu\text{g/l}$. Nejvyšší koncentrace vzorku byla 1,64 $\mu\text{g/l}$. Průměrně bylo detekováno v každém vzorku 5 léčiv. Maximální hodnota ukazovala 12 léčiv ve vzorku. Dále 7 vzorků ukazovalo koncentraci nižší než 0,05 mg/l a 17 vzorků pak pod 0,5 mg/l. Hodnocení za podmínek, že použijeme limit platný pro pesticidy, který činí 0,5 mg/l. Vyobrazení těchto naměřených hodnot je v grafu na Obr. 3.9. [26]



Obr. 3.9 Sumární koncentrace léčiv a počet detekovaných léčiv v pitných vodách odebraných v roce 2022 ve 21 českých městech [26]

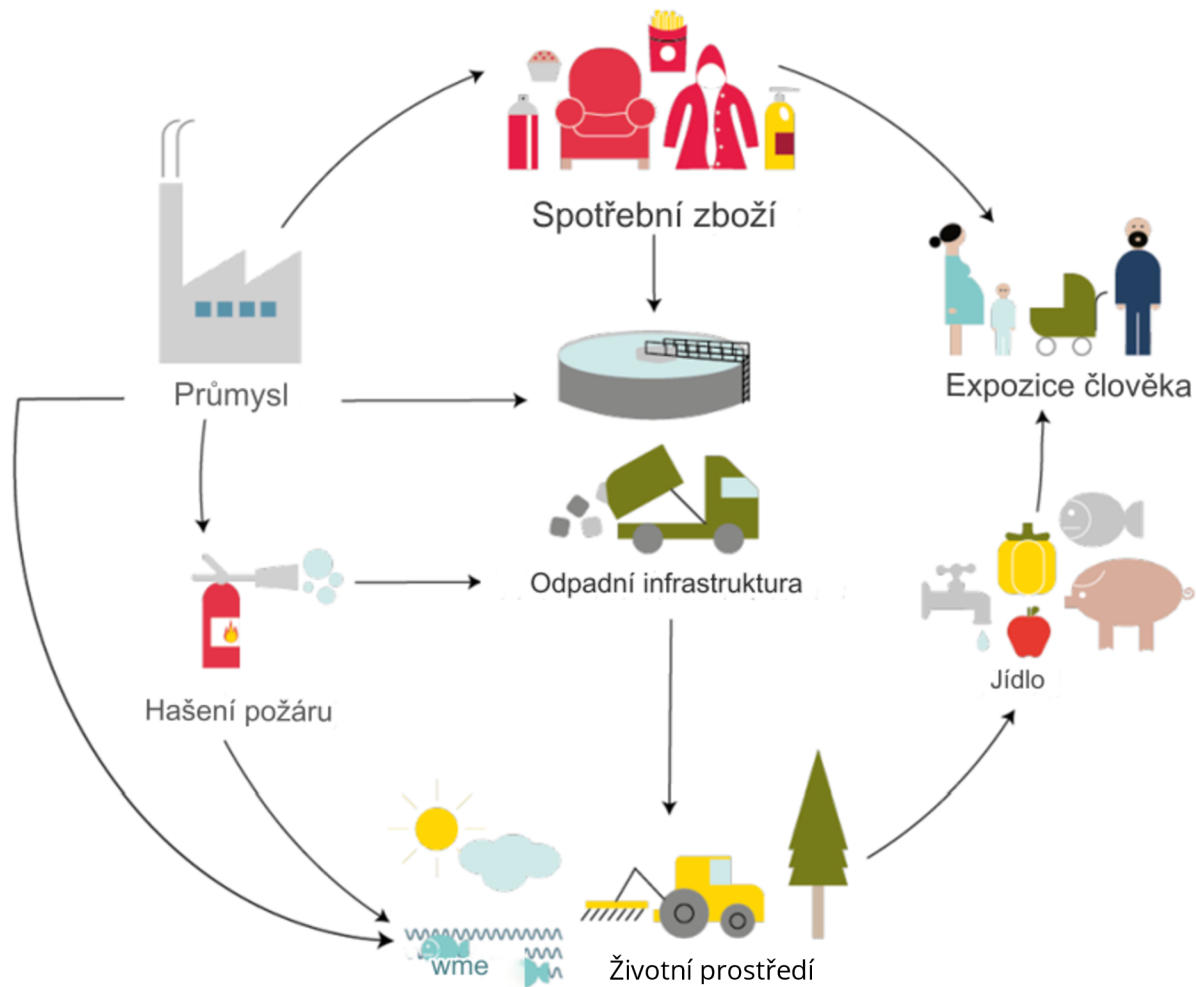
Nejčastěji detekovaným léčivem byl vyhodnocen z monitoringu metformin, který byl nalezen v 18 z 21 testovaných měst. Tato léčivá látka je využívána při léčení diabetu. Další nejčastější léčiva a jejich četnost je vidět z grafu na Obr. 3.10. Hvězdička u léčiv v grafu vyjadřuje ty léčiva, na které upozornil SFŽP ČR v rámci výzvy z Norských fondů. [26]



Obr. 3.10 Nejčastější výskyt léčiv v pitných vodách odebraných v roce 2022 v 19 českých městech [26]

3.4 PERFLUOROVANÉ A POLYFLUOROVANÉ LÁTKY (PFAS)

Jedná se o perfluorované a polyfluorované alkylové sloučeniny (PFAS). PFAS označuje skupinu velkého množství látek, které se mohou vyskytovat v životním prostředí. Tyto látky díky svým vlastnostem, když se dostanou do životního prostředí, tak zde mohou setrávat. Hlavní výskyt jsou podzemní vody, sedimenty a ovzduší. Jsou to organické persistentní polutanty životního prostředí. Do životního prostředí se uvolňují při výrobě, používání a likvidaci určitých výrobků, které obsahují PFAS. Jejich nebezpečí spočívá v bioakumulačním potenciálu, akumulují se v půdě a sedimentech. Dokážou významně migrovat na velké vzdálenosti, a proto jsou přítomné ve všech složkách životního prostředí. Dostávají se do tkání zvířat a dále do potravního řetězce. Velká část populace se dostává denně do kontaktu s těmito látkami. Nejčastěji pomocí vody a potravin. [27]



Obr. 3.11 Pohyb PFAS v životním prostředí [31]

V současnosti se udává, že existuje přes 5000 různých druhů PFAS. Základní PFAS, které jsou zpravidla monitorovány a vyhodnoceny viz Tab. 3.5. Neznámější zástupce PFAS: perfluoroktansulfonát (PFOS) a perfluoroktanová kyselina (PFOA) byly zahrnuty do Stockholmské konvence a jejich použití je zakázané. [27]

Tab. 3.5 Typické sloučeniny PFAS [27]

perfluorované sloučeniny	značka
kyselina perfluorobutanová	(PFBA)
kyselina perfluoropentanová	(PFPeA)
kyselina perfluorohexanová	(PFHxA)
kyselina perfluoroheptanová	(PFHpA)
kyselina perfluoroktanová	(PFOA)
kyselina perfluorononanová	(PFNA)
kyselina perfluorodekanová	(PFDA)
kyselina perfluoroundekanová	(PFUnDA)
kyselina perfluorododekanová	(PFDoDA)
kyselina perfluortridekanová	(PFTrDA)
kyselina perfluorobutansulfonová	(PFBS)
kyselina perfluoropentansulfonová	(PFPeS)
kyselina perfluorohexansulfonová	(PFHxS)
kyselina perfluoroheptansulfonová	(PFHpS)
kyselina perfluoroktansulfonová	(PFOS)
kyselina perfluorononansulfonová	(PFNS)
kyselina perfluorodekansulfonová	(PFDS)
kyselina perfluorododekansulfonová	(PFDoDS)
kyselina perfluorundekansulfonová	(PFUnDS)
kyselina perfluortridekansulfonová	(PFTrDS)
kyselina perfluorobutanová	(PFBA)
kyselina perfluoropentanová	(PFPeA)
kyselina perfluorohexanová	(PFHxA)
kyselina perfluoroheptanová	(PFHpA)

3.4.1 Využití PFAS

- Odpuzují vodu, oleje a půdu – použití k povrchové úpravě textilií, kůže, papíru, lepenky, stavebních materiálů, kabeláže, kovů a při pokovování;
- přísada do barviv, vosků a nátěrů;
- hasičské plyny;
- hnací plyny;
- hydraulické kapaliny – těžba ropy;
- rozpouštědla.

Nejvyšší koncentrace PFAS jsou dle výzkumů pozorovány u skládek, továren, a míst kde se hojně využívají hasičské pěny (např. letiště, cvičiště). [28]



Obr. 3.12 Příklady výskytu PFAS [29]

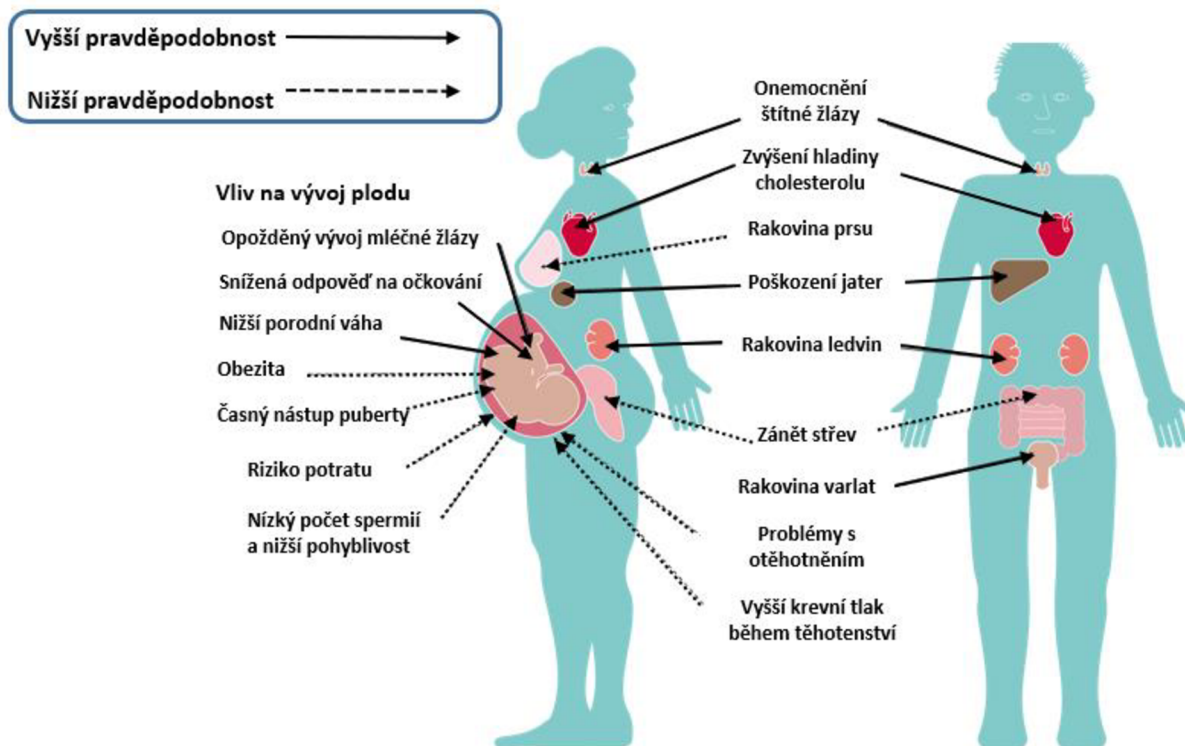
Hlavní vlastnosti PFAS

Mezi hlavní vlastnosti PFAS patří tepelná a chemická stabilita, oleofobicita a hydrofobicita. Dále povrchová aktivita a nízká akutní toxicita. [29]

3.4.2 Dopady na lidský organismus

Celkový dopad PFAS látek na lidský organismu je zatím ve fázi studií. Ale již nyní v průběhu jsou PFAS látky zařazeny mezi potenciální karcinogeny a mutageny. Při studiích byly prokázány negativní účinky na játra a mozek u testovaných živočichů. [27]

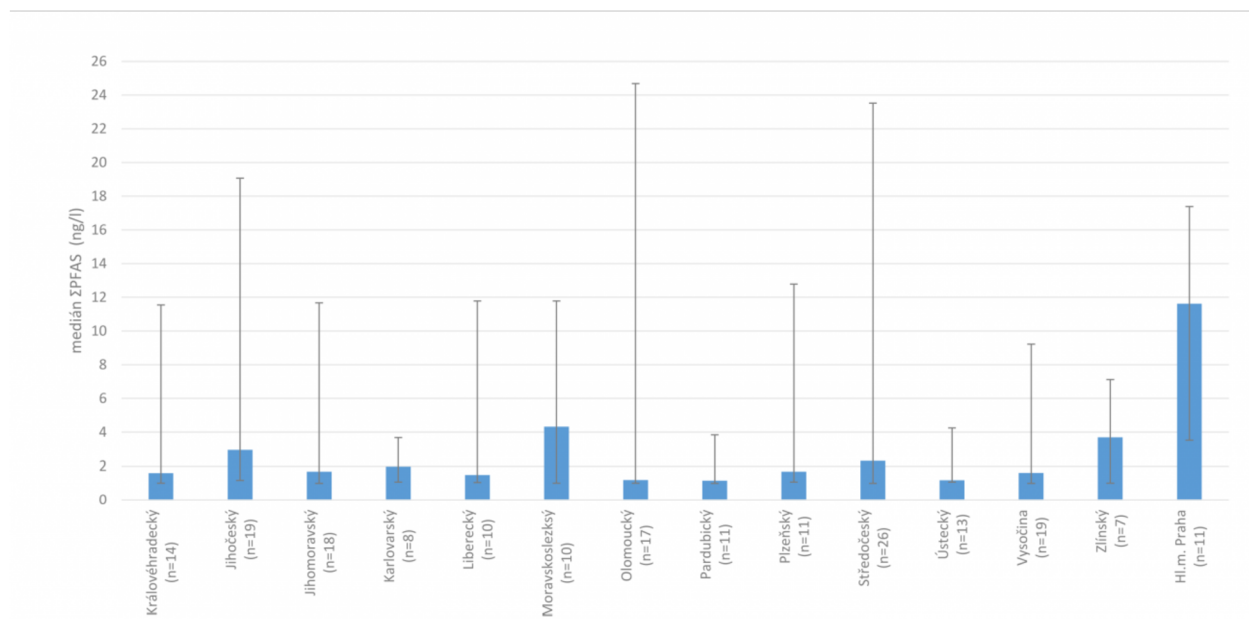
Z části již nyní prostudovaných látek PFAS je většina považována za středně až vysoce toxické především pro vývoj dětí. Lidé nejvíce ohrožení nepříznivými dopady látek PFAS jsou zranitelné skupiny obyvatelstva (děti, senioři). Proto došlo k omezení na týdenní limity pro nejčastější PFAS látky (limity viz kap. 4.4). Dopad PFAS látek na lidský organismus vyobrazen v Obr. 3.13 [31].



Obr. 3.13 Dopad PFAS látek na lidský organismus [31]

3.4.3 Monitoring PFAS v ČR

Z důvodu budoucí nutnosti sledování PFAS v pitných vodách dle směrnice EU byl proveden monitoring na 180 vodovodech ve všech krajích, tak aby reprezentovaly strukturu zásobování pitnou vodou. Byl sestaven graf (Obr. 3.14), kde můžeme pomocí plných sloupců vidět medián koncentrace PFAS v každém kraji v ČR a chybové úsečky vyobrazující rozmezí minimálních a maximálních naměřených koncentrací. Dle výsledného monitoringu můžeme vyvodit závěr, že nejvíce znečištěná pitná voda PFAS je v hlavním městě, a to z důvodu největší koncentrace zaldnění v této oblasti. [30]



Obr. 3.14 Graf koncentrací PFAS ve všech krajích ČR [30]

Celkové nálezy v pitné vodě v ČR jsou ve srovnání se zahraničími studii nízké. V žádném ze vzorků nedošlo k překročení nového legislativního limitu pro pitnou vodu daného evropskou směrnicí. Je důležité se tedy zaměřit na místa vyššího množství úniku PFAS do životního prostředí. Jako jsou například letiště, požáry, průmyslové oblasti apod. Dle jednání mezi Evropskou komisí a EurEau byl proveden závěr, že je nutná prevence, kontrola u zdroje znečištění a dále řešit odstranění PFAS technologickou úpravou pitné vody, což je momentálně ekonomicky neúnosné. [30]

3.5 MIKROPLASTY

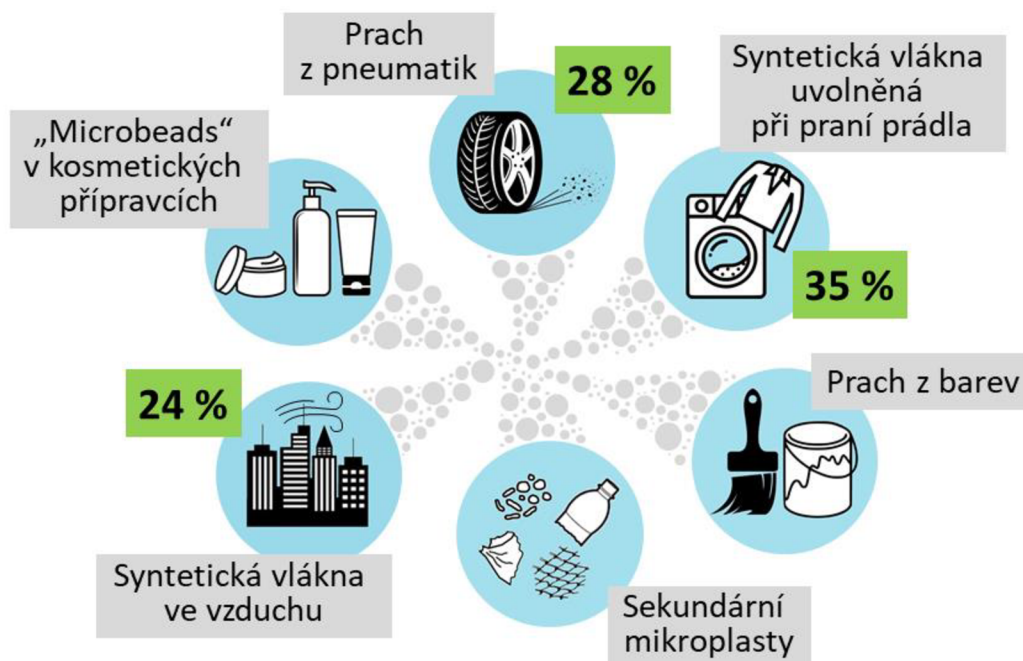
Mikroplasty můžeme označit jako plastové částice dosahující velikosti do 5 mm. Pozornost byla věnována především na přítomnost mikroplastů v oceánech, mořích a velkých jezerech. Nyní se začíná zájem mikroplastů posouvat i na oblast pitné vody a o to jak balené, tak i na samotné zdroje pitné vody. Vědci v ČR našli plastové mikročástice v pitné vodě ze tří úprav vody v ČR. Celkový výzkum potvrdil, že mikroplasty mohou být přítomny jak v surové, tak i v upravené pitné vodě, a tedy i v balených pitných vodách. [32]

Mikroplasty lze rozdělit do dvou hlavních kategorií, kterými jsou primární a sekundární mikroplasty. Primární mikroplasty jsou vyráběny v mikroskopické velikosti. Vyskytují se nejčastěji v kosmetice, čistících prostředcích a náplních pro

3D tiskárnu. Sekundární mikroplast se nevyrábí, ale vzniká vlivem fyzikálních, chemických a biologických procesů působících na velké části plastů, které se pak dále rozkládají na mikroplasty. Největší podíl na rozklad má UV záření, k tomu pomáhá působení vln a větru. Rozkládají se makroplasty na mikroplasty a dle nových studií až na nanoplasty. Nejmenší detekované částice v oceánu mají průměr 1,6 mikrometru. [44]

3.5.1 Zdroje mikroplastů

Hlavním zdrojem mikroplastů není tvorba ve vodě, ale na pevnině. Dle výpočtu se jedná až o 80 % mikroplastů, které vstupují do vody z pevniny. Zbýlých 20 % vznikne ve vodním prostředí. Hlavním dopravním prostředkem pro mikroplasty je vítr a voda dešťová. Voda i vítr dopravují mikroplasty do řek a ty jsou dále dopravovány do moří a oceánů. [45]

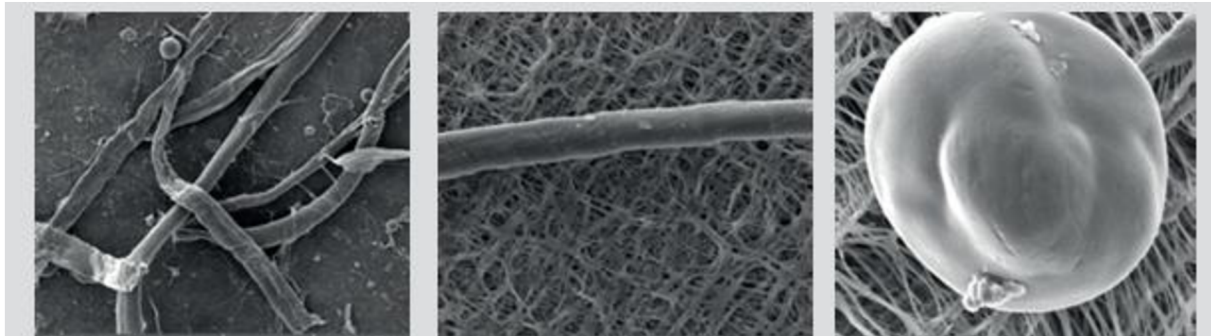


Obr. 3.15 Zdroje mikroplastů [47]

3.5.2 Mikroplasty v pitné vodě

Existuje jen několik studií zabývajících se problematikou mikroplastů v úpravných vody. Úpravny vody jsou navrženy tak, aby docházelo k eliminaci nebo snížení chemikálií a biologických kontaminací. Samotné stupně úprav se vymezují dle druhu vodního zdroje, ze kterého se voda čerpá. Voda podzemní potřebuje menší úpravy než voda povrchová. Při pohledu na plastové mikročástice jsou velice důležité procesy určené pro odstranění mikroplastů v rámci úpravy vody. [46]

První známá studie ohledně testování pitné vody na mikroplasty je z roku 2017. Byly shromážděny vzorky ze 14 zemí a vzniklo tedy 159 testovaných vzorků. Plastové mikročástice byly nalezeny u 81 % testovaných vzorků. Mikroplasty byly v rozsahu 0 až 61 částic na litr, kdy nejvyšší průměr byl 9,24 částic/l a průměrná hodnota byla stanovena na čísle 5,45 částic/l a nejnižší 3,57 částic/l. [45]



Obr. 3.16 Výskyt mikroplastů v pitné vodě [32]

4 LEGISLATIVA A LIMITY MIKROPOLUTANTŮ

Do jaké míry mikropolutanty škodí či ne, zatím přesně nevíme. Několik studií ale prokázalo jednotlivé negativní účinky. A proto jsou často hygienické limity stanoveny na principu předběžné opatrnosti. Je ale jasné, že se o tyto látky musíme zajímat, jelikož mají vliv na životní prostředí, a tedy i lidský organismus. Některé látky jsou již nyní zakázány jak pro českou, tak i evropskou legislativu. [2]

Základní rámec pro toto odvětví je tvořen ze zákonů, vyhlášek, nařízeních vlády a ve znění jejich pozdějších předpisů:

- Zákon o vodách č. 254/2001 Sb.
- Zákon o vodovodech a kanalizacích č. 274/2001 Sb.
- Vyhláška č. 252/2004 Sb. - Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody
- Vyhláška č. 428/2001 Sb. - Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)
- Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. - Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech [2]

4.1 LIMITY NEBEZPEČNÝCH KOVŮ PRO PITNOU VODU

Limity nebezpečných kovů pro pitnou vodu jsou uvedené ve vyhlášce o pitné vodě č. 252/2004 Sb. [9]

Tab. 4.1 Limity (NMH) nebezpečných kovů pro pitnou vodu [9]

Prvek	Chemická značka	NMH pro pitnou vodu
Chrom	Cr	50 µg/l
Měď	Cu	1000 µg/l
Stříbro	Ag	25 µg/l
Olovo	Pb	10 µg/l
Nikl	Ni	20 µg/l
Rtuť	Hg	1 µg/l
Kadmium	Cd	5 µg/l
Arsen	As	10 µg/l

4.2 LIMITY PESTICIDŮ A JEJICH METABOLITŮ PRO PITNOU VODU

Limity PL pro pitnou vodu jsou uvedené ve vyhlášce o pitné vodě č. 252/2004 Sb. Tato vyhláška stanovuje nejvyšší mezní hodnotu (NMH) pro dané PL (0,1 µg/l) a PL celkem (0,5 µg/l). Jedná se o veškeré pesticidy a jejich relevantní metabolity, rozkladné nebo reakční produkty. Stanovují se pouze ty pesticidy, které mají pravděpodobný výskyt v daném zdroji. Pokud se PL nestanoví, je nutné odůvodnění. Výjimkou pro limitní hodnotu je pesticid aldrin, dieldrin, heptachlor a heptachloreoxid. U těchto PL platí limitní hodnota 0,03 µg/l. Limitní hodnota PL celkem je součet jednotlivých stanovených a kvantitativně zajištěných pesticidů. Pokud není látka kvantitativně zajištěna, je potřeba k součtu přičíst nulu. [9]

Tab. 4.2 Limity pesticidů a jejich metabolitů pro pitnou vodu [9]

Prvek	NMH pro pitnou vodu
Pesticidní látky	0,1 µg/l
Pesticidní látky celkem	0,5 µg/l
aldrin	0,03 µg/l
dieldrin	0,03 µg/l
heptachlor	0,03 µg/l
heptachloreoxid	0,03 µg/l

4.3 LIMITY LÉČIV PRO PITNOU VODU

V současné době nejsou vedeny žádné legislativní požadavky pro dodržování limitní hodnot léčiv v pitné vodě.

4.4 LIMITY PFAS PRO PITNOU VODU

PFAS se rozšiřuje v životním prostředí a na to reaguje Světová zdravotnická organizace (WHO) ve svých studiích. Stanovuje bezpečnostní limit PFAS v pitné vodě. Na jejich doporučení byl limit PFAS zařazen do nové směrnice pro pitnou vodu 2020/2184 ES.

Ze směrnice vyplývají následující limity:

1. celkově PFAS do 0,5 µg/l v pitné vodě,
2. nebo součet 20 typů PFAS do 0,1 µg/l v pitné vodě.

Do roku 2024 by měly existovat limity i postupy pro kontrolu všech PFAS. Jelikož nyní není požadavek dodržet přesný postup metodik na určení PFAS. [30]

Dále v české legislativě perfluorované látky – specifický analyt PFOS je na seznamu prioritních látek v Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod.

Tolerovaný denní příjem:

- PFOS – 0,15 µg/kg tělesné váhy (pro 80 kg člověka je to 12 µg),
- PFOA – 1,5 µg/kg tělesné váhy (pro 80 kg člověka je to 120 µg). [27]

4.5 LIMITY MIKROPLASTŮ PRO PITNOU VODU

Koncentrace mikroplastových částic ve zdrojích i v samotné pitné vodě není zatím ničím limitována. Aktuálně neexistují relevantní studie, které by mohly vytvořit platné limity. Negativní vlivy na lidský organismus však vyloučit nelze.

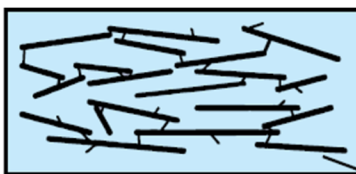
5 MOŽNOSTI ODSTRAŇOVÁNÍ MIKROPOLUTANTŮ PŘI ÚPRAVĚ PITNÉ VODY

Nejpoužívanější proces pro odstranění mikropolutantů z pitné vody je nyní v ČR filtrace přes granulované aktivní uhlí (GAU). Další využitelné procesy jsou pomocí práškového aktivního uhlí, membránové procesy hlavně nanofiltrace, mikrofiltrace a ultrafiltrace a další oxidační procesy, flotace rozpuštěným vzduchem, písková filtrace. Účinnost daného procesu je ovlivněna kvalitou surové vody, koncentracemi jednotlivých obsažených mikropolutantů a také finanční možností aplikovat daný proces do celého procesu úpravy surové vody. [33]

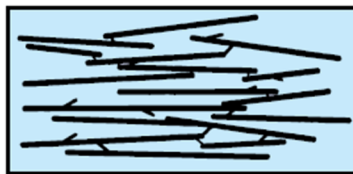
5.1 ADSORPCE (AKTIVNÍ UHLÍ)

Aktivní uhlí je vysoce porézní uhlík, který má velký vnitřní povrch. Je to soubor grafitových destiček, kde jejich vzájemné vzdálenosti jsou tvořeny buď mikropóry nebo transportními póry (makropóry, mezopóry). Aktivní uhlí se vyrábí z černého uhlí, kokosových skořápek nebo ze dřeva. Z černého uhlí má vhodný poměr mezi mikropóry a transportními póry. U kokosových skořápek převažují mikropóry a u dřeva naopak transportní póry. Proto je pro aplikaci ve vodárenství nejvhodnější černé uhlí. [35]

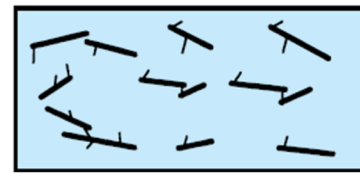
a) surovina: černé uhlí



b) surovina: kokosové skořáčky



c) surovina: dřevo

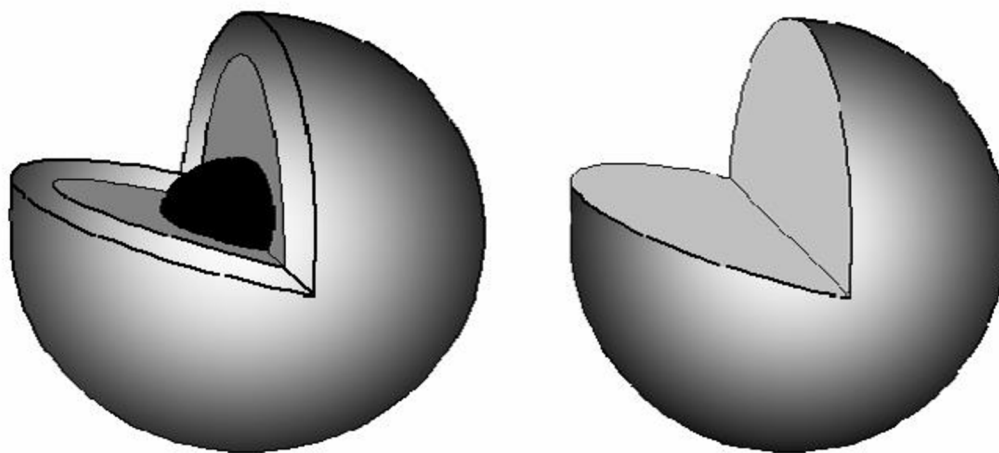


Obr. 5.1 Materiály na výrobu aktivního uhlí [35]

Pro odstranění mikropolutantů v pitné vodě je potřeba nejprve vybrat vhodný typ aktivního uhlí. Existuje granulové aktivní uhlí (GAU) a práškové aktivní uhlí (PAX). Výběr typu je ovlivněn dle charakteristik aktivního uhlí, kterými jsou zrnitost, pevnost zrn, hustota, specifický povrch. Dále je potřeba rozhodnout, který je vhodnější z ekonomického hlediska. Kvůli zdražování je kladen větší tlak na prodloužení filtrační délky a opakovanou regeneraci materiálu. Je uváděno, že účinnost organického typu uhlí je menší, než u aktivního uhlí minerálního původu. [34].

5.1.1 Výroba aktivního uhlí

Převážná část GAU je vyráběna „přímo aktivací“ (direct activated carbons). Druhý způsob výroby je zařazení stupně „aglomerace“ (agglomerated activated carbons). Porovnání viz Obr. 5.2. Tento způsob výroby se uplatňuje pro celou řadu typu aktivního uhlí, kterým je Filtrasorb (Chemviron Carbon). Stupeň aglomerace umí jen značně omezené množství celosvětových firem, které disponují technologií pro tuto výrobu. Výhody aglomerovaného aktivního uhlí jsou následující: zrna aktivních uhlí jsou celá aktivována, nezůstává tvrdé neaktivované jádro, aktivní uhlí se rychleji smáčí a obsahuje výrazně méně plovoucích částic, což v důsledku přináší menší ztráty při praní, vhodnější pro reakci a o dost vyšší životnost hlavně pro chlorované uhlovodíky a pesticidy. [35]



přímo aktivovaná aktivní uhlí

aglomerovaná aktivní uhlí

Obr. 5.2 Rozdíl mezi přímo aktivovaným a aglomerovaným aktivním uhlím [35]

5.1.2 Granulované aktivní uhlí (GAU)

GAU se využívá při úpravě pitné vody a taky v potravinářském průmyslu. Hlavním procesem je fyzikální adsorpce, která je klíčová pro zachycení nečistot.

Při výběru správného typu GAU se rozhoduje dle následujících parametrů:

- adsorpční vlastnosti;
- hydrodynamické vlastnosti;
- mechanická odolnost;
- čistota;
- vhodnost reaktivace;
- vhodnost jako nosič biomasy. [36]



Obr. 5.3 Částice GAU po 6 měsících ve filtru v pitné vodě [36]

Výroba GAU

Základní materiál pro výrobu GAU je dřevo, kokosové skořápky, dřevěné uhlí nebo rašelina. Při aktivaci těchto materiálů dochází k výraznému zvýšení vnitřní pórovitosti konečného uhlíkatého materiálu. K výrobě GAU s cílem použití pro pitnou vodu se používají dva hlavní aktivační procesy:

- Parní aktivace – jako oxidační činidlo je použita pára o teplotě 800-1000 °C.
- Chemická aktivace – jedná se o řízenou karbonizaci pomocí kyseliny fosforečné (H_3PO_4) o teplotě 500-700 °C. [36]

Typy a složení GAU

Typy a aktivace jednotlivých GAU je rozdělena v Tab. 5.1.

Tab. 5.1 Typy GAU [36]

SUROVINA	UHLÍ	RAŠELINA	KOKOSOVÉ OŘECHY	DŘEVO
TYP GAU	práškové	extrudované	práškové	práškové
AKTIVACE	pára	pára	pára	chemická

Po chemické stránce se GAU skládá z:

- Uhlík – 90 % hmotnosti a další prvky, především kyslík.
- Popel – do 10 %, SiO_2 , CaO , MgO , Fe_2O_3 , zbytky fosforu z aktivace.

Mikrostruktura GAU je v podobě grafitových destiček obsahujících uhlík, příčné vrstvy přes atomy uhlíku tvoří základní vrstvy. Póry se nachází mimo grafitové destičky. Rozložení samotných pórů je klíčové pro základní vlastnost GAU, kterou je adsorpční kapacita a kinetika. Struktura pórů závisí na typu GAU a je to cíl k výběru základního materiálu a aktivačního procesu.

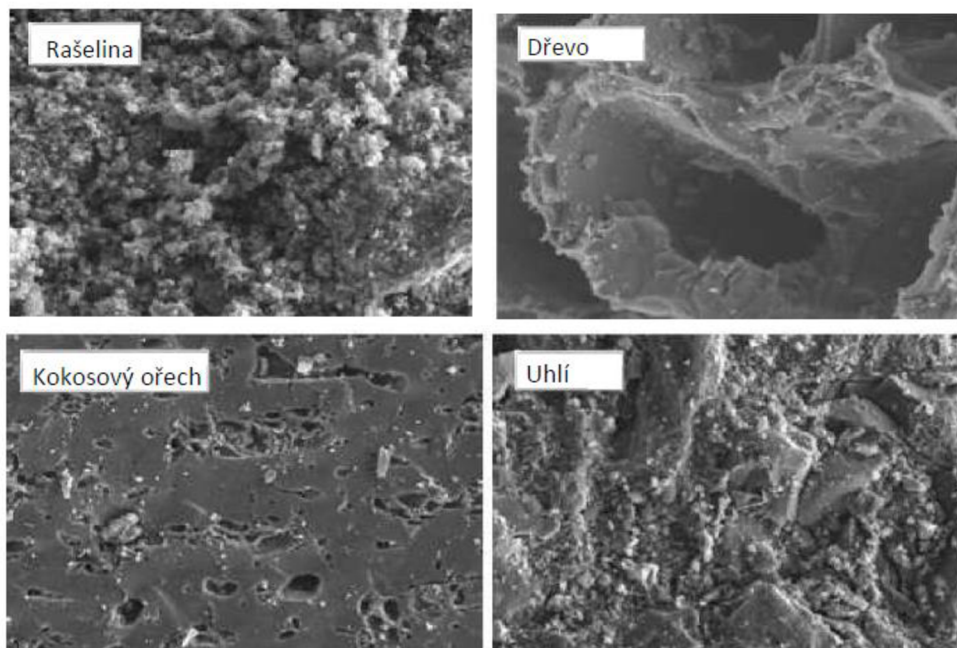
Velikost pórů dělíme následovně:

- mikropóry – průměr < 2 nm,
- mezopóry – průměr 2-50 nm,
- makropóry – průměr > 50 nm.

Z praktického hlediska se adsorpční vlastnosti GAU charakterizují pomocí zkoušek s různými barvami v kapalném prostředí (karamel, methylenová modř, jód, fenol) nebo zkouškami v plynu (butan, dusík, benzen). [36]

Na povrchu GAU vznikají reakcí s kyslíkem různé oxidy, a proto dochází ke zvýšení pH na počáteční fázi při nasazení GAU ve filtrech. Po dané době oxidy reagují nebo se odplavují a dochází ke stabilizaci pH. Mikroorganismy se nachází zpravidla na vnější části povrchu GAU ve filtrech. Vnitřní póry jsou většinou nepřístupné z důvodu omezení velikosti. Samotná velikost a struktura povrchu GAU je vázaná na vstupní surovině a na jeho typu – viz Tab. 5.1 a fotografické vyobrazení viz

Obr. 5.4. [36]

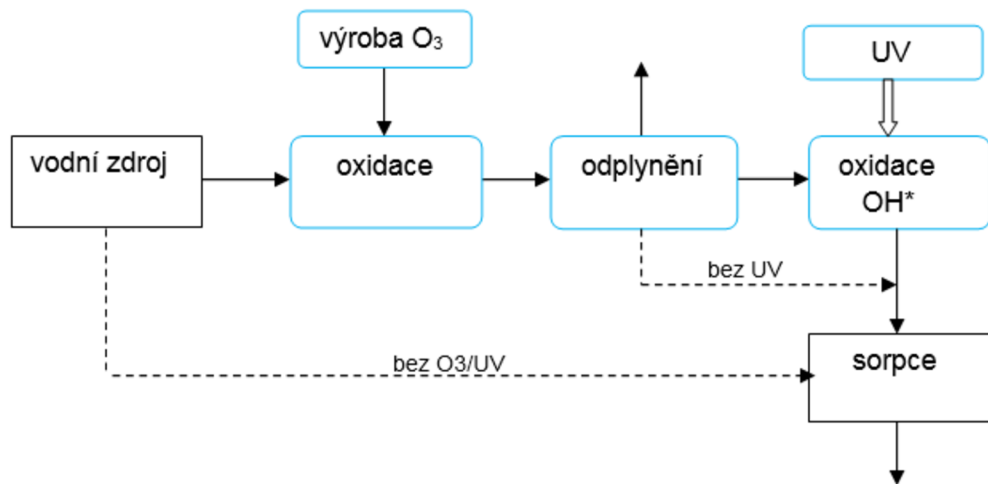


Obr. 5.4 Mikrostruktura typů GAU [36]

Adsorpční účinky GAU

Adsorpce funguje na principu hromadění rozpuštěné látky na povrchu tuhé fáze. Použití aktivního uhlí na úpravu vody vyžaduje hygienický atest. Sorpční účinky se využívají hlavně pro odstranění zbytkových koncentrací organických látek jako jsou chlorfenoly, chlorbenzeny, pesticidy, polychlorované bifenyly, polycyklické aromatické uhlovodíky. Způsobují pachové problémy, karcinogenní či mutagenní účinky. Adsorpcí na aktivním uhlí dochází ke snížení nebo odstranění volného chloru nebo jiných anorganických látek (těžké kovy v pitné vodě).

Zlepšení kvality vody díky sorpčním vlastnostem aktivního uhlí má také i provozní problémy. Problémy jsou optimalizace dávek v případě nárazového použití, potřebná regenerace po vyčerpání sorpční kapacity aktivního uhlí. Pokud dojde na delší dobu k odstavení filtru naplněného aktivním uhlím, může nastat při opětovném uvedení do provozu ke zhoršení mikrobiální kvality pitné vody v důsledku vyplavování nerostové biomasy mikroorganismů. [37] Na grafickém schématu Obr. 5.5 je vidět příklad technologie úpravy na pitnou vodu pomocí sorpce na aktivním uhlí.



Obr. 5.5 Technologie na úpravu na pitnou vodu pomocí sorpce na aktivním uhlí [39]

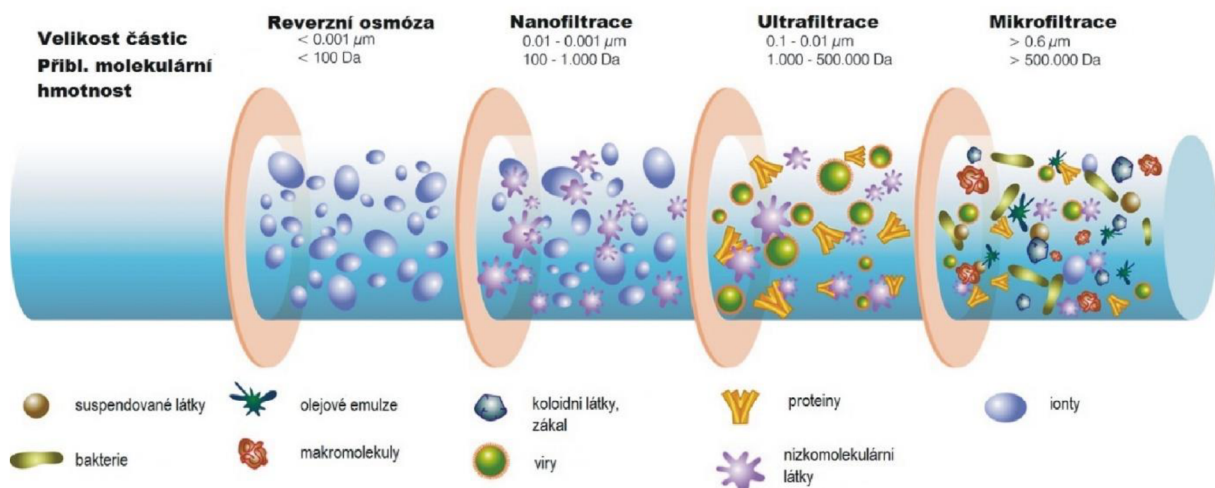
5.2 MEMBRÁNOVÉ PROCESY

V současné době je snaha minimalizovat chemikálie, energie a množství odpadních vod při úpravě pitné vody. Klasické metody, které jsou již efektivně využívány, jako jsou koagulace, sedimentace, písková filtrace, nezvládnou reagovat na změnu složení surové vody. Změnami jsou pesticidy, léčiva, mikroplasty, PFAS. Proto se začínají uplatňovat membránové procesy. [40] V membránových procesech se nachází membrána, která je určena jako selektivní bariéra. Tato bariéra má za funkci omezit průchod nečistot jako jsou například organické sloučeniny, částice v suspenzi, ionty kovů, živin a mikroorganismů, což umožňuje průchod upravené vody přes membránu. [39]

Mezi membránové procesy patří:

1. Mikrofiltrace
2. Ultrafiltrace
3. Nanofiltrace
4. Reversní osmóza

Rozdělení membránových procesů podle stupně separace znázorňuje Obr. 5.6.



Obr. 5.6 Rozdělení membránových procesů podle stupně separace [40]

U mikrofiltrace jsou používány membrány s největší velikostí pórů. Tyto membrány zachycují částice v suspenzi, velké koloidy, bakterie a organické sloučeniny. Hlavním separačním mechanismem mikrofiltrace je fyzické prosévání rozpuštěných látek větších, než je velikost pórů samotné membrány. Poté je ultrafiltrace, která umožňuje separaci koloidů do 100 nm. Tato membrána se také pravidelně používá jako předúprava pro nanofiltraci a reverzní osmózu. Spolu s mikrofiltrační membránou jsou doporučeny, když je omezen prostor nebo má napájecí voda proměnlivou kvalitu. Nanofiltrace se nachází v tlakové třídě menší než 4 MPa. Obvykle se využívá k změkčování vody, oddělování produktů a odsolování. Posledním membránovým procesem je reverzní osmóza. Jedná se o první membránový proces, který byl využíván komerčním způsobem ve velkém měřítku. Reverzní osmóza se vyznačuje především vysokým tlakem 5-10 MPa. Používá se k separaci rozpuštěných solí a iontů s nízkou molekulovou hmotností (<math>< 200 \text{ g/mol}</math>). Membránové procesy jsou velice všestranné a aplikují se od odsolování mořské vody až po pitné účely, kterými je samotná výroba vysoce čisté vody. [38]

Tabulka vyobrazuje hlavní rozdíly mezi jednotlivými membránovými procesy v parametrech – velikost pórů, provozní tlak, použití.

Tab. 5.2 Druhy membránových procesů [38]

MEMBRÁNA	VELIKOST PÓRŮ	PROVOZNÍ TLAK	POUŽITÍ
Mikrofiltrace	50-10 ⁴ nm	5-500 kPa	Odstranění menších částic a mikroorganismů, farmaceutický průmysl a úprava vody.
Ultrafiltrace	5-100 nm	<1 MPa	Úprava znečištěné vody, sterilní filtrace.
Nanofiltrace	1-10 nm	<4 MPa	Odsolování vody, odstranění mikropolutantů a separace znečištění.
Reverzní osmóza	Bez pórů	>5-10 MPa	Výroba pitné vody, odsolování mořské vody, použití na ČOV.

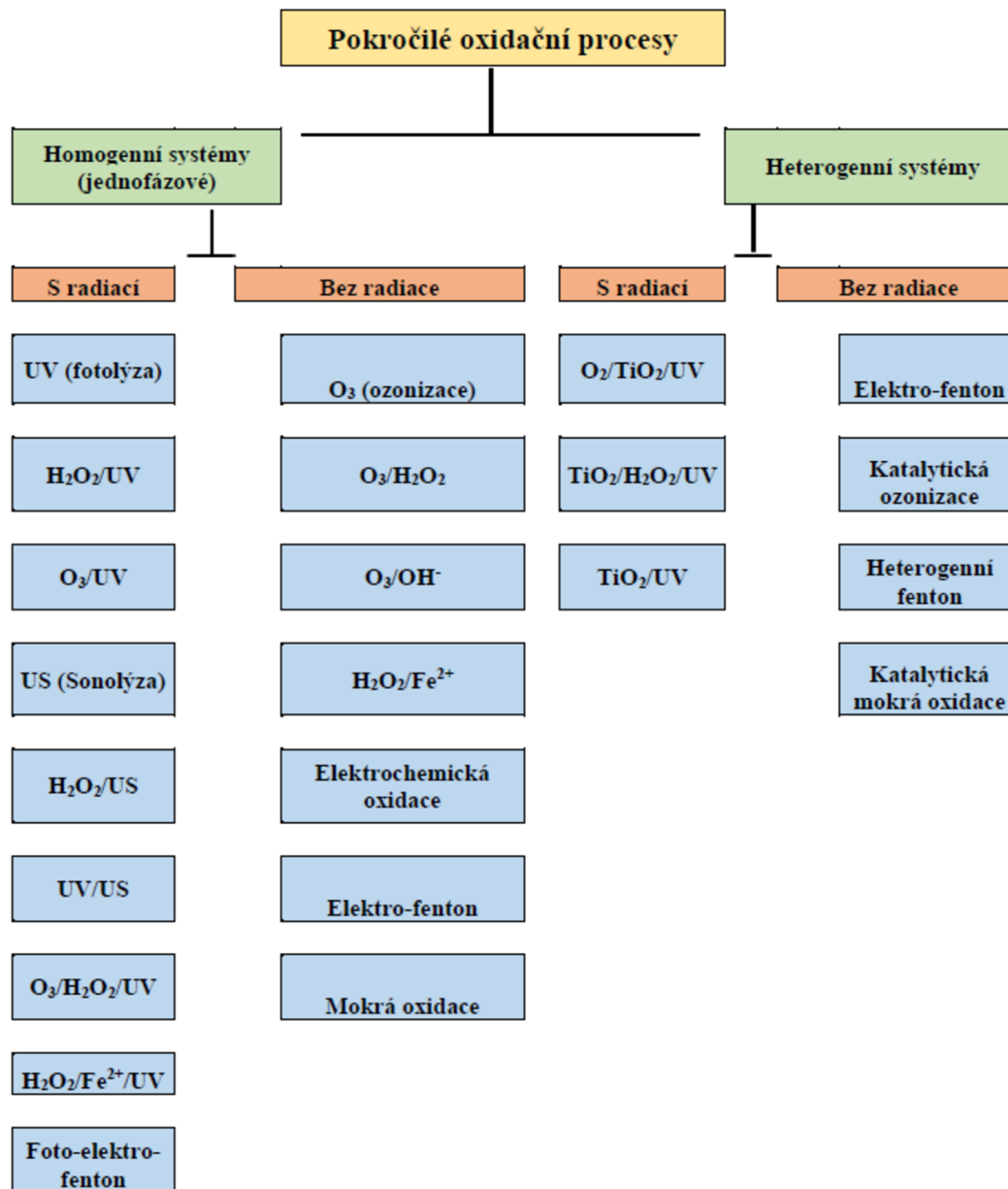
5.3 POKROČILÉ OXIDAČNÍ PROCESY

Pokročilé oxidační procesy (AOP) jsou efektivní metodou pro odstranění širokého spektra organických polutantů ve vodách. Tyto procesy zahrnují vytváření vysoce reaktivních hydroxylových radikálů (OH), které jsou zařazeny mezi silná oxidační činidla. I když úplná mineralizace často není dosažena, následné úpravy jsou běžně potřebné k optimalizaci odstranění mikropolutantů.

Oxidační procesy jsou významné pro odstraňování organických nečistot, jako jsou aromatické uhlovodíky, pesticidy, barviva, těkavé organické sloučeniny a farmaceutika. Vedlejší produkty těchto procesů jsou často biologicky odbouratelné a méně toxické než původní sloučeniny.

Podle vlastností vody a požadované kvality lze použít různé oxidační procesy, včetně ultrafialového záření, kyslíku, ozonu, peroxidu vodíku a jejich kombinací. Tyto procesy lze klasifikovat podle způsobu vytváření hydroxylových radikálů, a to do kategorií chemických, fotochemických, elektrochemických, sonochemických a termochemických. Homogenní (jednofázové) a heterogenní (vícefázové) procesy mohou využívat pevné katalyzátory, například TiO₂ nebo podporované kovové katalyzátory. [38]

Obr. 5.7 zobrazuje rozdělení různých typů oxidačních procesů a jejich klasifikaci.



Obr. 5.7 Rozdělení pokročilých oxidačních procesů [38]

5.4 ODSTRANĚNÍ NEBEZPEČNÝCH KOVŮ Z VODY

Pro odstranění nebezpečných kovů jsou dostačující většinou jednoduché metody. Ve vodárenství se využívá koagulace. U menších zdrojů se pak volí spíše adsorpce na aktivním uhlí nebo speciálních ionexech. Lze využít také reverzní osmózu. Hlavním parametrem je ale prevence šíření kovů do životního prostředí a do zdrojů pitné vody. Nejen z tohoto důvodu je potřeba důsledně dodržovat postupy likvidace odpadních vod, nevytvářet nelegální skládky a nebezpečný odpad

likvidovat do sběrných dvorů dle nařízení. Další podmínkou je správná volba materiálu při tvorbě nových rozvodů vody. [7]

Arsen se z vody odstraňuje pomocí filtrace. Užívá se filtrační hmota na bázi hydratovaných oxidů železa, případně i jiných kovů. Arsen se na těchto sorbentech spolehlivě a nevratně zachytí. [12]



Obr. 5.8 Nežádoucí účinky arsenu na lidský organismus [16]

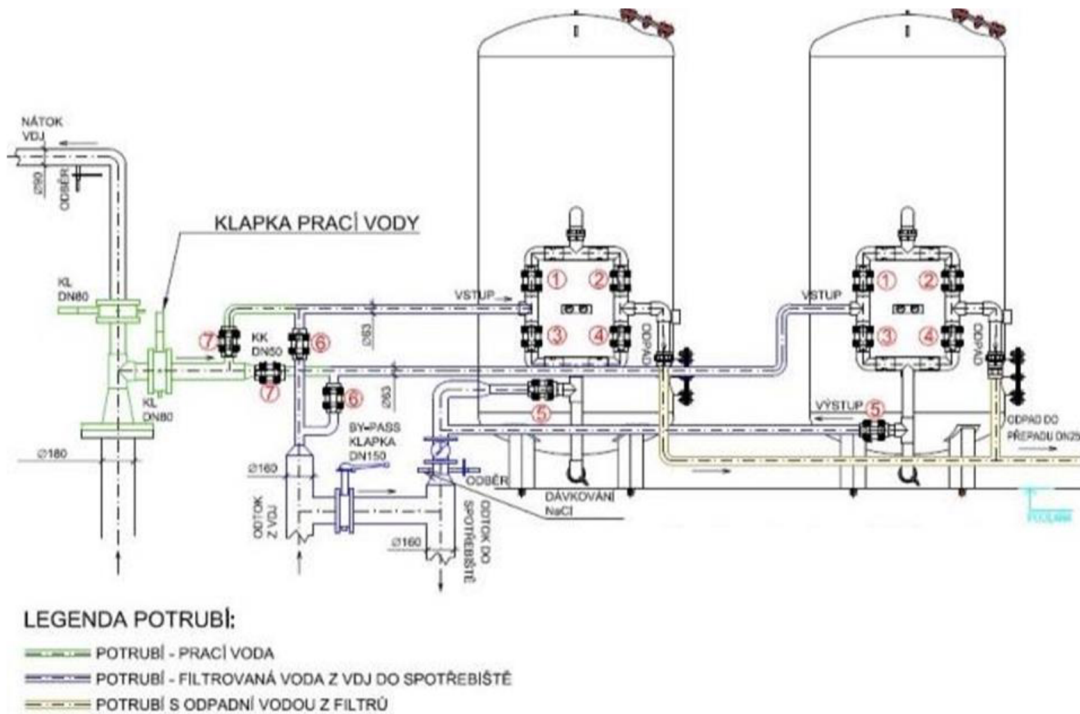
Účinnost zařízení na odstranění arsenu není nikdy zcela 100 %. Dle výzkumu, při kterém byl použit vodní filtr se sorpčními materiály GEH a GAU, byla zjištěna účinnost okolo 96 %. Se zvětšující se rychlostí průtoku se zmenšuje účinnost filtru. Jedná se tedy o křivku, která má exponenciální průběh. [15]

5.5 ODSTRANĚNÍ PESTICIDŮ Z VODY

Pro odstranění pesticidů z pitné vody je nejčastějším způsobem sorpce na aktivním uhlí na tlakových filtrech. Dle zkušeností od provozovatelů vodovodů a kanalizace je tato technologie velmi efektivní, rychlá a cenově realizovatelná. Lze instalovat celý systém v podobě plně automatický, a tedy není nutná dodatečná lidská kapacita. Tuto technologii při drobných úpravách lze využít prakticky kdekoliv. Přesný popis technologie se může lišit dle dané společnosti. Od jedné společnosti celá technologie sorpce na aktivní uhlím probíhá na nerezových tlakových filtrech s náplní aktivního uhlí typu GAU. Při průtoku přes aktivní uhlí se nenávratně zachytí pesticidní látky a z filtru pak může odejít upravená voda. Pro efektivnost celé technologie je zásadní navrhnout správnou velikost a umístění filtračního zařízení v celém procesu úpravy vody. Náplň na filtru je nutné měnit dle protečeného množství vody. Nasycená náplň je dále likvidována jako nebezpečný odpad. Tato technologie nemá vliv na minerálové složení upravované vody. V 99 % zůstává zachována, a naopak se zlepšuje chuť a zápach vody.

Další důležité parametry pro technologický návrh:

- rozbor surové vody včetně pesticidních látek a metabolitů;
- okamžitý průtok/spotřeba vody (denní, měsíční, roční, znalost výkyvů ve spotřebě);
- požadavky na automatizaci a měření;
- popis stávající úpravy vody a fungování dodávky pitné vody;
- prostorové dispozice pro umístění technologie.



Obr. 5.9 Technologie pro odstranění PL z vody [41]

5.6 ODSTRANĚNÍ LÉČIV Z VODY

Vzhledem k charakteristikám léčiv je pravděpodobnost úspěšného odstranění pomocí tradičních čistících postupů, jako je provzdušnění, flokulace, filtrace a dezinfekce, nízká. Patří sem například kyselina klofibrová a bezafibrát, které jsou problematicky odstranitelné. Stejně tak látky jako sulfamethoxazol, karbamazepin, diklofenak a iopromid, jejichž účinnost odstranění pomocí flokulace železitémi a hlinitými soli byla menší než 10 %. Z tohoto důvodu je vhodné při odstraňování léčiv zvažovat efektivnější postupy. Každý děj je jinak efektivní, co se týče účinnosti, finanční náročnosti, samotné mechanizace a realizace. Dějů vedoucích k odstranění léčiv z vody je několik, například adsorpce na aktivním uhlí, ozonizace nebo fotochemická degradace. [25]

Tyto procesy však nezajišťují úplné odstranění všech látek. Účinnost odstranění pomocí aktivního uhlí závisí na délce kontaktní doby a množství použitého uhlí. Optimalizací těchto parametrů lze dosáhnout vysoké míry odstranění v rozmezí 75-100 %, zejména u látky karbamazepinu. Nižší účinnosti jsou zaznamenány při využití aktivního uhlí při odstraňování látek s karboxylovou skupinou, jako jsou kyselina klobfibrová, ibuprofen a diklofenak. Tyto látky jsou totiž v rozpouštědlu disociované a mají negativní náboj, což vede k menší adsorpci negativně nabitých látek. [25]

Dle studií se fotochemická degradace považuje za hlavní cestu, která vede k samovolnému rozpadu léčiv v povrchových vodách a vodních tělesech. Rozlišujeme dva hlavní mechanismy, a to přímou fotolýzu a radikálový rozpad. [25]

Přímá fotolýza

Přímá fotolýza je způsobena absorpcí slunečního záření samotnou molekulou léčiva, a to tedy způsobuje její rozpad na jednodušší látky. O míře účinnosti tohoto mechanismu rozhoduje absorpční spektrum dané molekuly a intenzita slunečního záření (hloubka ve které se absorbující molekula nachází). Jelikož aktivní látky včetně léčiv ve větších hloubkách degradují v mnohem menších množstvích. [25]

Radikálový rozpad

Je realizován silnými oxidačními činidly jako je hydroxyl (OH), alkyperoxyl (RO₂) nebo atomární kyslík. [25]

5.7 ODSTRANĚNÍ PERFLUOROVANÝCH A POLYFLUOROVANÝCH LÁTEK (PFAS) Z VODY

Sorpce na GAU, aniontová výměna a reverzní osmóza jsou všechny účinné metody při odstraňování PFAS. I přes tuto pozitivní skutečnost nelze nezmínit, že implementace těchto technologií do celkového procesu úpravy vody nese finanční a provozní náklady. Proto je hlavním cílem přijmout a věnovat se preventivním opatřením zaměřeným na omezení vstupu kontaminantů PFAS do vodního prostředí. [42]

Dále je třeba zahrnout, že žádná z uvedených metod není bez svých nevýhod. U GAU a aniontové výměny je nezbytné pravidelně monitorovat celý proces, aby nedošlo k vyčerpání nebo nasycení média. Metoda reverzní osmózy přináší známá hygienická rizika spojená s redukcí minerálů a vyžaduje následnou remineralizaci upravené vody. [42]

Pro všechny tyto metody je negativní také likvidace vedlejších produktů procesu, jako jsou odpadní látky, regenerační roztoky. Výběr optimální technologie odstranění PFAS v každém konkrétním případě závisí především na typu PFAS ve vodě, zejména pak na délce řetězce těchto látek. [42]

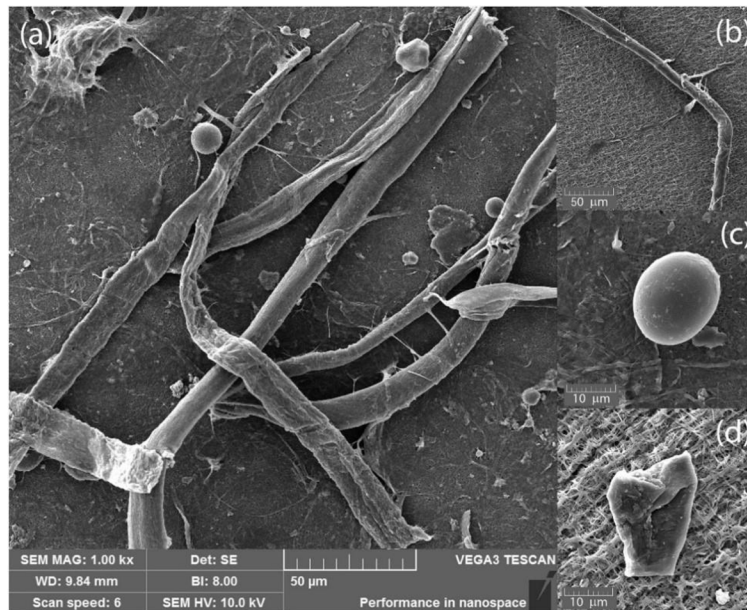
5.8 ODSTRANĚNÍ MIKROPLASTŮ Z VODY

Odstraňování mikroplastů je většinou součástí odstraňování nerozpuštěných látek z vody. Ve vodárenství jsou to procesy flotace rozpuštěným vzduchem, písková filtrace, mikrofiltrace a ultrafiltrace. Dále také koagulace, flokulace, písková filtrace a filtry s aktivním uhlím. [46] [33]

V úpravě vody při zaměření na mikročástice plastů je jako první proces přidání koagulantu nebo flokulantu pro podporu shlukování částic. Jako koagulant je nejčastější sůl pro neutralizaci náboje a jako flokulant polymer, který je vázaný na částice. Již nyní vznikají studie, které odstraňují mikroplasty v úpravě vody pomocí jiných procesů než koagulantu a flokulantu. [46]

V rámci studie bylo provedeno v úpravě vody několik procesů. Jedním z nich byla koagulace v kombinaci se sedimentací. Účinnost tohoto procesu je 55 %. Jako koagulant byla použita vysoká koncentrace soli hliníku. Vyšlo najevo, že koagulace má větší účinnost pro větší částice jak 10 μm . Tyto částice byly téměř všechny odstraněny. Částice v rozmezí 5-10 μm byly eliminovány ze 75 %. Úprava pomocí pískové filtrace ve srovnání s koagulací byla účinná ze 45 %. Studie ukazuje, že pískové filtry dokážou zachytit mikroplasty větší jak 50 μm . Dalším procesem byla dezinfekce ozonem kombinovaná s filtry s granulovaným aktivním uhlím. Dle výsledků studie koncentrace mikroplastů po výtoku z procesu filtrace s granulovaným aktivním uhlím dosahovaly účinnosti odstranění v rozmezí 56,8 - 60,9 %. Tento typ úpravy prokázal nejlepší schopnost eliminace mikroplastů v rozmezí velikosti 1 až 5 μm . Účinnost v odstranění vláken byla zaznamenána v rozmezí 38 - 52,1 %, mikrokuliček dosahovala hodnot 76,8 - 86,3 % a fragmentů

60,3 - 69,1 %. Tyto výsledky potvrzují, že filtrace s granulovaným aktivním uhlím efektivně odstraňuje mikroplasty při výtoku z procesu dezinfekce ozonem. Kombinace ozonizace s filtry obsahujícími granulované aktivní uhlí navíc vedla k degradaci organických látek s vysokou molekulovou hmotností na menší frakce, což zvyšuje biologickou odbouratelnost na přítoku k filtru s granulovaným aktivním uhlím. [45]



Obr. 5.10 (a) mikroplasty z mikroskopu, (b) vlákna, (c) mikrokuličky, (d) fragmenty [45]

6 PŘÍKLADY ODSTRANĚNÍ MIKROPOLUTANTŮ V PRAXI

6.1 PŘÍKLADY ODSTRANĚNÍ PESTICIDŮ Z PODZEMNÍCH ZDROJŮ

Níže jsou popsány 2 realizace technologií na odstranění pesticidních látek ze zdrojů podzemní vody a jedno doplnění technologie úpravy vody o odstranění pesticidů. [41]

6.1.1 Odstranění pesticidů ze zdroje podzemní vody (800 obyvatel)

Tato realizace u zdroje pitné vody je vytvořená pro obec s 800 obyvateli s průměrnou denní spotřebou vody 70 m³/den. Jako zdroj vody je zde pramenní vývěr. V tomto zdroji byly pesticidní látky pravidelně sledovány 6x ročně a po provedeném průzkumu byly zjištěny širší kontaminace podzemní vody. V surové vodě jsou pesticidní látky atrazin (0,07 µg/l) a desethylatrazin (0,49 µg/l). Po provedení poloprovozních testů bylo přistoupeno k úpravě vody. [41]

Technologické řešení

Jímání a akumulace surové vody a dále čerpání na dva nerezové tlakové filtry TVK 80 U, pojistná mechanická filtrace, hygienické zabezpečení a následná akumulace. Výkon celé technologie je 1,5 l/s. Životnost náplně je 5,5 let, poté je potřeba výměna náplně. Jako náplň je použito aktivní uhlí. Celá technologie byla instalována na základě doporučení technologie. Uvedení do provozu proběhlo v roce 2010. Samotný návrh lze vidět na Obr. 6.1 [41]



Obr. 6.1 Technologické řešení na odstranění pesticidů ze zdroje podzemní vody (800 obyvatel) [41]

6.1.2 Doplnění technologie úpravy pitné vody ze dvou zdrojů podzemní vody

Technologie byla doplněná v úpravně vody pro několik obcí v Jihočeském kraji. Ve zdroji byla zjištěna pesticidní látka hexazinon, dále surová voda obsahovala nadlimitní obsah železa. Celkový průtok úpravnou, který je rozdělený do dvou větví, je 9 l/s. [41]

Technologické řešení

Byly instalovány tři nerezové tlakové filtry TVK 130 U včetně předřazené aerace, následná pojistná mechanická filtrace a hygienické zabezpečení. Celé realizaci předcházelo zpracování technologického návrhu včetně projektové dokumentace. Realizace byla uvedena do provozu v roce 2016. Samotný návrh lze vidět na Obr. 6.2. [41]



Obr. 6.2 Technologické řešení na odstranění pesticidů ze dvou zdrojů podzemní vody [41]

6.1.3 Odstranění pesticidů ze zdroje podzemní vody (průmyslový areál)

Realizace probíhala pro průmyslový areál ve středních Čechách. Nalezené pesticidní látky z rozboru byly atrazin (0,107 $\mu\text{g/l}$) a atrazin-desethyl (0,178 $\mu\text{g/l}$). Denní spotřeba vody je 280 m^3 . [41]

Technologické řešení

V průmyslovém areálu bylo omezení prostoru pro realizaci a z tohoto důvodu byly instalovány dva menší nižší tlakové nerezové filtry TVK 80 U z důvodu nedostatku výšky v armaturní komoře vodojemu. Dále bylo provedeno přetrasování stávajícího vstrojení doplněné o následné hygienické zabezpečení. [41]



Obr. 6.3 Technologické řešení na odstranění pesticidů ze zdroje podzemní vody (průmyslový areál) [41]

Provozní a instalační doporučení pro všechny realizace zmíněné v kapitolách 6.1.1, 6.1.2 a 6.1.3 jsou následující:

- Umístění násypné a vybírací příruby filtrů (kvůli výměně náplně).
- Pojistný rukávový filtr (aktivní uhlí časem degraduje a drobné částičky mohou vodu kontaminovat).
- Hygienické zabezpečení instalovat za filtrem.
- Ovládání filtru může být manuální (praní nemusí být časté).
- Obtok filtrů pro možnost odstavení úpravní (lze využít pro postupnou výměnu náplně).
- Sledování nasycenosti náplně lze ve filtru TVK U (pomocí odběrných míst z boku pláště, kde se dá periodickým vzorkováním a rozborem zjišťovat postupné vyčerpání sorpční kapacity náplně a včas tak zabránit průniku vody s pesticidy do upravené vody). [41]

6.2 PŘÍKLAD ODSTRANĚNÍ FARMAK I PESTICIDŮ – ÚPRAVNA VODY ŽELIVKA

Nyní úpravna vody (ÚV) Želivka zásobuje cca 1,3 milionu obyvatel (Praha, Středočeský kraj, kraj Vysočina). Nová instalovaná filtrace umožňuje odstranit z pitné vody a z koloběhu v rámci celého životního prostředí maximum nežádoucích látek, tzv. mikropolutantů jako pesticidů a jejich metabolitů, farmak nebo xenobiotik. Želivka byla uvedena do provozu v roce 1972, následná rekonstrukce proběhla v letech 1991 a 2010, nyní proběhla další velká rekonstrukce. [43]

Hlavní cíl zlepšit kvalitu pitné vody umožnila filtrace přes GAU. Současně lze minimalizovat dopady případných úmyslných nepřátelských akcí na vodní zdroj nebo záměrné nesplnění opatření v ochranném pásmu povodí Želivky. Realizace tohoto projektu zajistí výrobu pitné vody i v krizových situacích a minimalizuje legislativně požadovanou kvalitu pitné vody v případě živelných katastrof nebo ekologických havárií. S ohledem na rizikové scénáře klimatických změn a vzrůstající počet obyvatel v oblasti zásobované touto vodárenskou stanicí umožní modernizace ÚV Želivka dlouhodobě a spolehlivě splňovat hygienické limity. To platí i s ohledem na předpokládané zpříšňování hygienických limitů, pokrok v detekčních metodách a rozšiřování katalogu nežádoucích a škodlivých látek. [43]

Tato rekonstrukce probíhala v rámci projektu dlouhodobého záměru rekonstrukce a modernizace úpravny vody Želivka. 28 měsíců trvalo postavení zcela nového objektu filtrace s granulovaným aktivním uhlím (16 filtrů – 4 vany po 4 filtrech s výškou filtrační náplně GAU 1,70 m). Dalšími přímo souvisejícími stavebními objekty jsou zejména nový kolektor, který propojuje filtrační proces na GAU s existující halou „filtrace 2“. Dále proběhly úpravy stávajících objektů, kterými jsou na obtokovém kanálu ozonizace, na provozní čerpací stanici a na hale „filtrace 2“. [43]

Stavba probíhala z důvodu dlouhodobé nenahraditelnosti vody Želivka za provozu a při zachování požadovaného množství a kvality pitné vody. Dokončení stavby i se všemi vadami a nedodělkami, které byly odstraněny a uvedeny do provozu ke dni 14.7.2021. Dále probíhal roční zkušební provoz a nová hala s filtry s náplní GAU byla dána do plného provozu od 1. 2. 2022. Finální cena stavby činila 1 221 457 049,74 Kč bez DPH. [43]



Obr. 6.4 Modernizace úpravny vody Želivka [42]



Obr. 6.5 Hala filtrů GAU filtrace [42]

7 LABORATORNÍ ODSTRANĚNÍ ZVOLENÉHO MIKROPOLUTANTU Z VODY

K laboratornímu pokusu byly zvoleny perfluorované látky, jako mikropolutant, který byl zkoumán v rámci laboratorního odstranění z vody.

7.1 CÍL EXPERIMENTU

Hlavním cílem experimentu bylo zjistit účinnost odstranění perfluorovaných látek z vody při průtoku přes sorpční materiál, kterým bylo aktivní uhlí. Odstranění probíhalo pomocí filtračního materiálu aktivní uhlí Filtrasorb F400. Dále byl experiment zaměřen na vliv různých průtoků přes aktivní uhlí na účinnost odstranění sledovaných látek. Experiment byl volen z důvodu, že v dnešní době vzniká poptávka o informovanosti a možnosti odstranění perfluorovaných látek z pitné vody. Samotný odběr surové vody byl prováděn v Brně na řece Svatce. Dále pak bylo měření prováděno na Fakultě stavební VUT v Brně v laboratoři Ústavu vodního hospodářství obcí (ÚVHO). Určení samotné koncentrace perfluorovaných látek v připravených vzorcích provedla laboratoř ALS Czech Republic, s.r.o. a to z důvodu, že koncentraci perfluorovaných látek v laboratoři ÚVHO určit nelze.

7.2 ÚČEL EXPERIMENTU

Účelem experimentu bylo zjistit účinnost odstranění perfluorovaných látek pomocí adsorpce na aktivním uhlí Filtrasorb F400 a porovnat schopnost odstranění perfluorovaných látek daným sorpčním materiálem při různých průtocích.

7.3 ADSORPČNÍ MATERIÁL – AKTIVNÍ UHLÍ

Jako adsorpční materiál tohoto experimentu bylo použito aktivní uhlí Filtrasorb F400. Jedná se o granulované aktivní uhlí, které se využívá k úpravě pitné vody, na odstranění organických látek, vedlejších produktů dezinfekce, chlóru a ozonu. Toto aktivní uhlí je vyrobeno z černého uhlí. [48]

Tab. 7.1 Vlastnosti adsorpčního materiálu Filtrasorb F400 [48]**Specifikace:**

vzhled:	aglomerované granulované aktivní uhlí (vyrobena z černého uhlí)	
jodové číslo:	mg/g	min 1000
účinná velikost částic:	mm	0.6-0.7
otěr:		min 75
obsah vody při balení:	%	max 2
velikost částic:	mesh	12 x 40
- ne více než 4%	mm	< 0.425
- ne více než 5%	mm	> 1.70
balení:	25 kg pytle, vaky (ca 500 kg), autocisterna	

Typické vlastnosti:

provozní hustota ("bed" density):	kg/m ³	450	
methylenová modř:	mg/g	min 300	
specifický povrch (BET):	m ² /g	1050	
střední velikost částic:	mm	1.0	
koeficient stejnoměrnosti:		1.7	
obsah plovoucích částic:	%	max 0.1	
fenol	1 mg/L	%	5.2
TPBS	1 mg/L	mg/g	200
atrazin	1 μg/L	mg/g	40
toluen	1 mg/L	mg/g	100
trichlorethylen	50 μg/L	mg/g	20

**Obr. 7.1 Granulované aktivní uhlí Filtrasorb F400 [autor]****7.4 POSTUP EXPERIMENTU**

Experiment začínal odběrem surové vody. Odběr vody byl proveden v Brně Jundrově na řece Svatce. Detailní místo odběru je na Obr. 7.2 a Obr. 7.3.



Obr. 7.2 Místo odběru surové vody [49]



Obr. 7.3 Fotka v místě odběru surové vody v době odběru [autor]

Odběr probíhal v ranních hodinách, kdy bylo odebráno 160 l surové vody do připravených barelů na vodu. V místě odběru bylo dále u surové vody ze Svratky změřeno pH, kyslík, teplota vody, oxidačně redukční potenciál (ORP) a vodivost. Surová voda byla následně dovezena do laboratoře, kde dále docházelo k samotnému experimentu.



Obr. 7.4 Odběr surové vody [autor]

Samotná příprava před experimentem spočívala v přípravě kolony v laboratoři. Jednalo se o skleněnou kolonu o průměru $d=4,4$ cm. Aby nedošlo ke ztrátě sypkého filtračního materiálu z kolony, tak byla v její spodní části vytvořena drenážní vrstva v podobě kamínků o velikosti cca 2 cm a nad ní několik vrstev skleněných kuliček od velikosti 4 mm po 2 mm. Samotná výška filtrační náplně aktivního uhlí Filtrasorb F400 byla volena 80 cm (doporučená hodnota od výrobce je 75 cm). Kolona byla uchycena ke zdi a probíhalo praní filtračního materiálu. Došlo ke smáčení náplně a poté proprána opačným směrem, než by probíhala samotná filtrace. Proprání trvalo několik minut, dokud z kolony nevytékala čistá voda, lze vidět na Obr. 7.5. Po vyprání filtru zůstala kolona s filtračním materiálem napouštěna vodou, dokud nedošlo k samotnému experimentu.



Obr. 7.5 Začátek a konec praní filtračního materiálu Filtrasorb F400 [autor]

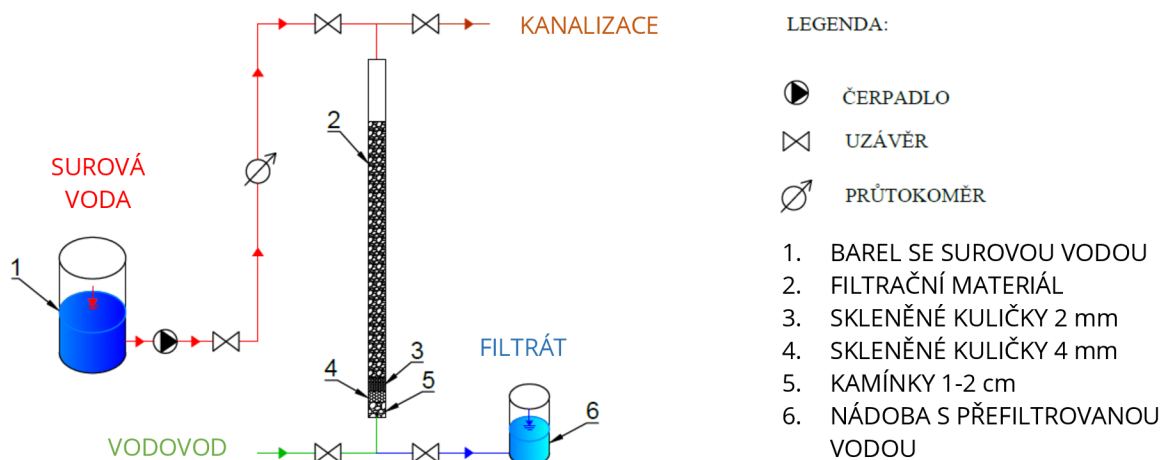


Obr. 7.6 Drenážní vrstva [autor]



Obr. 7.7 Kolona připravená na experiment [autor]

Filtrační zařízení, pomocí kterého byl experiment prováděn, se skládalo z barelu se surovou vodou, čerpadla, průtokoměru, potrubí s uzávěry, nádob na přefiltrovanou vodu. Celé filtrační zařízení je vyobrazeno na schématu Obr. 7.8.



Obr. 7.8 Schéma filtrační sestavy na experiment [50]

Před začátkem experimentu byla ještě odebrána surová voda z barelů a byly opět změřeny vlastnosti vody (pH, kyslík, teplota vody, ORP a vodivost), dále ještě zákal, obsah železa (Fe) a amoniaku (NH_3). A také pro případ potřeby slepý vzorek.

Dále probíhala samotná filtrace. Byly odebrány tři vzorky vždy s jiným průtokem. Vzorky byly odebrány po průtocích 9,8 l/h, 19,5 l/h a 29,5 l/h kolonou. Tyto průtoky byly stanoveny podle objemové metody. Vždy po nastavení průtoku došlo na stabilizování pro výměru objemu vody 15 minut a poté následoval samotný odběr vzorku do vzorkovnice a do skleněné odměrné nádoby. Daným průtokům (Q) odpovídají rychlosti (v) a doby zdržení (t) v koloně dle Tab. 7.2. Od výrobce filtračního materiálu je doporučena rychlost filtrace pro Filtrasorb F400 5 až 20 m/h a požadavek na minimální sypkou výšku materiálu Filtrasorb F400 je 0,75 m. Oba parametry byly zohledněny při experimentu.

Tab. 7.2 Odpovídající rychlosti a doby zdržení pro daný průtok [autor]

vzorek	průtok	rychlost	doba zdržení
	[l/h]	[m/h]	[min]
VZ1	9,8	6,44	7,45
VZ2	19,5	12,82	3,74
VZ3	29,5	19,40	2,47

Rychlost a dobu zdržení k jednotlivým průtokům jsem vypočítala pomocí těchto vzorců a základních charakteristických veličin:

d ... průměr kolony 4,4 cm

S ... plocha kolony 0,001521 m²

h ... výška náplně 0,8 m

V ... objem filtračního materiálu 0,001216 m³

Q ... průtok kolonou pro každý vzorek zvlášť dle Tab. 7.2

$$v = \frac{Q}{S} [m/h] \quad (7.1)$$

Kde je v ... rychlost filtrace [m/h];

Q ... průtok kolonou [m³/h];

S ... plocha kolony [m²].

$$t = \frac{V}{Q} [hod] \quad (7.2)$$

Kde je t ... doba zdržení [hod] (v Tab. 7.2 uvedeno v minutách);

V ... objem filtračního materiálu [m³];

Q ... průtok kolonou [m³/h].



Obr. 7.9 Odběr vzorků do vzorkovnic [autor]

V průběhu odběru každého vzorku byly vždy změřeny parametry teplota, zákal, pH, vodivost, ORP, obsah železa a amoniaku. Teplota dle digitálního teploměru, zákal pomocí zákaloměru typu TU5200 značky HACH. Zákal byl vždy změřen dvakrát a hodnoty zpracovány pomocí aritmetického průměru. Další zařízením byl paralelní analyzátor typu SL1000 značky HACH, kde pomocí příslušné sondy či testů byly změřeny hodnoty pH, vodivost, ORP a obsah železa a amoniaku pro každý průtok.



Obr. 7.11 Měření teploty odebraného vzorku [autor]



Obr. 7.10 Měření zákalu odebraného vzorku [autor]

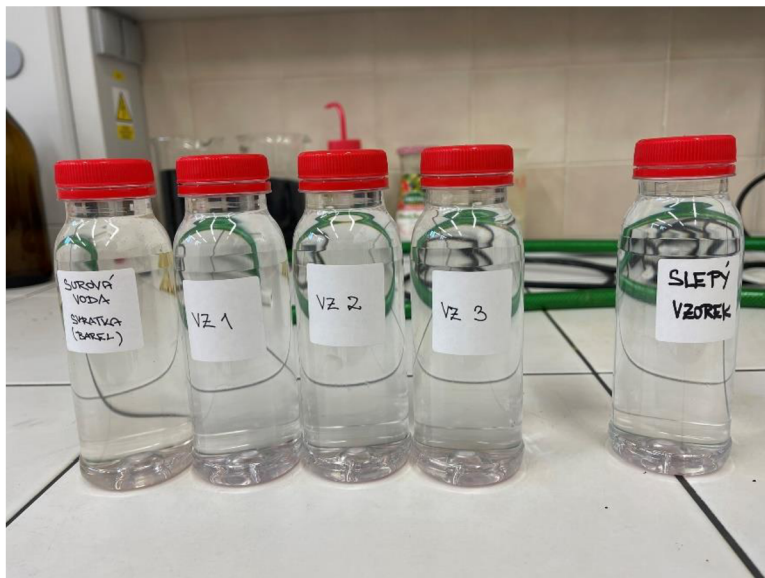


Obr. 7.13 Měření železa a amoniaku odebraného vzorku [autor]



Obr. 7.12 Měření ORP, pH a vodivosti odebraného vzorku [autor]

Dále bylo potřeba určit obsah perfluorovaných látek ve vzorku. Tento ukazatel v laboratoři nelze určit, a proto byly vzorkovnice s danými vzorky odvezeny ten den do laboratoře ALS Czech Republic, s.r.o. na vyhodnocení. Jakmile byl obsah perfluorovaných látek určen, mohlo dojít k následnému vyhodnocení experimentu.



Obr. 7.14 Vzorkovnice se vzorky vody [autor]

7.5 VÝSLEDKY EXPERIMENTU

Výsledky z měření v laboratoři při samotném experimentu jsou uvedeny v tabulkách a graficky zpracovány v grafech. Výsledek odstranění PFAS v laboratoři ALS Czech Republic, s.r.o. je uveden ve výsledném protokolu v Příloze 1.

Tab. 7.3 Parametry měřené v místě odběru (řeka Svatka) [autor]

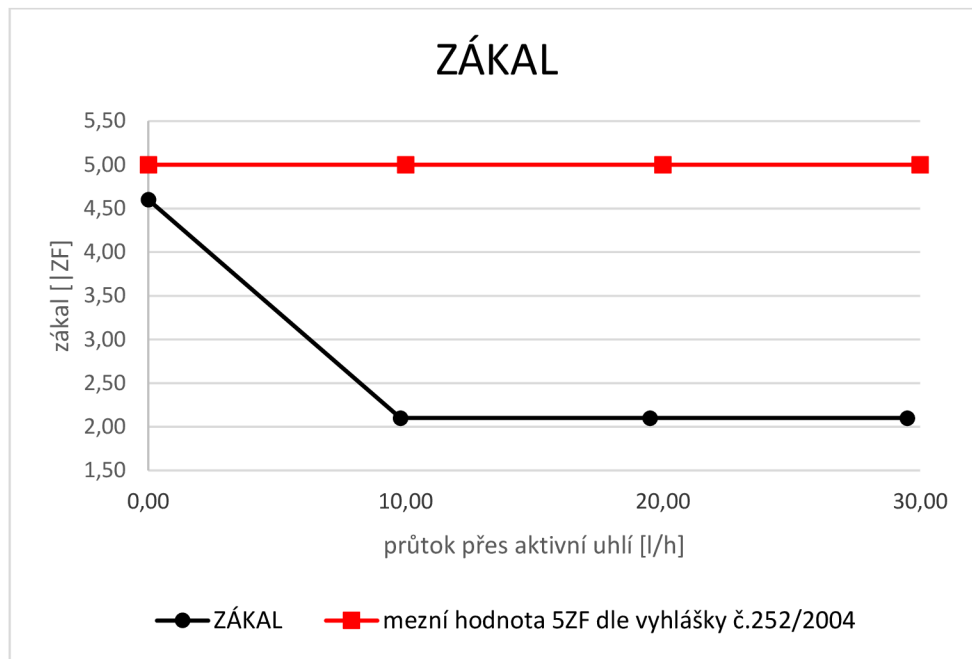
VZOREK	TEPLOTA	KYSLÍK	pH	OXIDAČNĚ REDUKČNÍ POTENCIÁL	VODIVOST
jednotka	[°C]	[mg/l]	[-]	[mV]	[mS/m]
SUROVÁ VODA SVRATKA	12,0	6,48	7,29	293,0	32,6

Tab. 7.4 Naměřené hodnoty zákalu, pH a teploty v surové vodě a vzorcích VZ1-VZ3 [autor]

VZOREK	ZÁKAL 1	ZÁKAL 2	ZÁKAL PRŮMĚR	pH	TEPLOTA
jednotka	[ZF]	[ZF]	[ZF]	[-]	[°C]
SUROVÁ VODA BAREL	4,09	5,14	4,6	7,72	12,7
VZ1 (9,8 l/h)	2,09	2,04	2,1	7,99	17,6
VZ2 (19,5 l/h)	2,09	2,11	2,1	7,98	16,2
VZ3 (29,5 l/h)	2,11	2,15	2,1	7,94	15,6

Tab. 7.5 Naměřené hodnoty doplňujících parametrů u jednotlivých vzorků [autor]

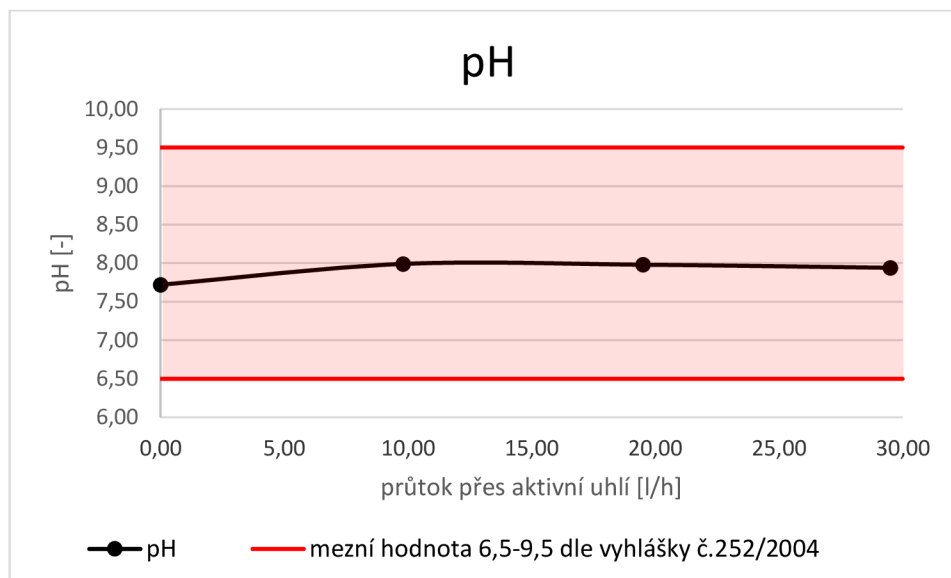
VZOREK	ŽELEZO	AMONIAK	KYSLÍK	OXIDAČNĚ REDUKČNÍ POTENCIÁL	VODIVOST
jednotka	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mV]	[mS/m]
SUROVÁ VODA BAREL	0,07	0,11	8,5	308,7	33,1
VZ1 (9,8 l/h)	0,03	0,12	-	268,1	34,0
VZ2 (19,5 l/h)	0,02	0,15	-	272,4	32,9
VZ3 (29,5 l/h)	0,03	0,08	-	269,5	34,0



Obr. 7.15 Závislost zákalu na průtocích při experimentu [autor]

Na Obr. 7.15 můžeme vidět, že po laboratorní úpravě přes aktivní uhlí zákal výrazně klesl a můžeme konstatovat, že tento vodárenský proces je pro tento parametr velice účinný. Dále také dle hodnot můžeme říct, že velikost průtoku není přes filtrační náplň Filtrasorb F400 rozhodující, jelikož výsledné hodnoty jsou ± stejné při všech průtocích. Můžeme tedy využít nejvyšší doporučenou rychlost pro Filtrasorb F400 dle doporučení od výrobce, která je až 20 m/h.

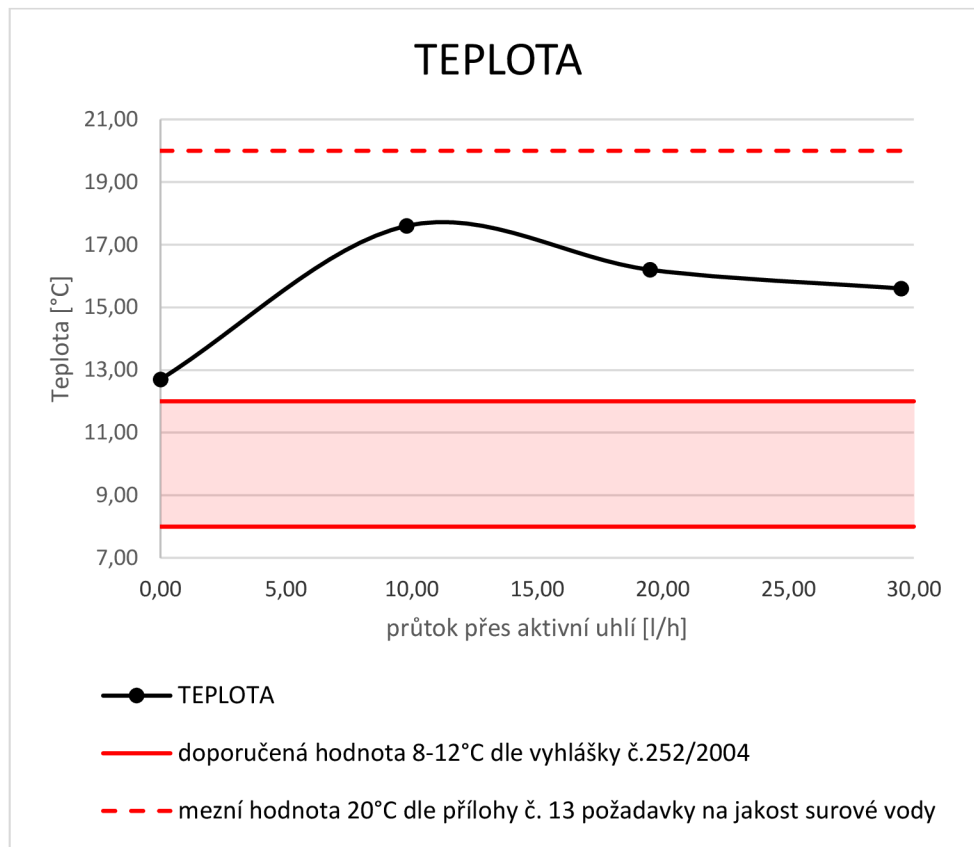
Pokud bychom zákal posuzovali podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. (*Stanovení hygienických požadavků na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody*) ve znění pozdějších předpisů, kde je mezní limit stanoven na hodnotě 5ZF, tak je tato hodnota splněna již v surové vodě a po úpravě ještě klesne.



Obr. 7.16 Závislost pH na průtocích při experimentu [autor]

Dle výsledků je vidět, že při průchodu kolonou se pH lehce zvýší a voda se stává zásaditější, než byla voda surová.

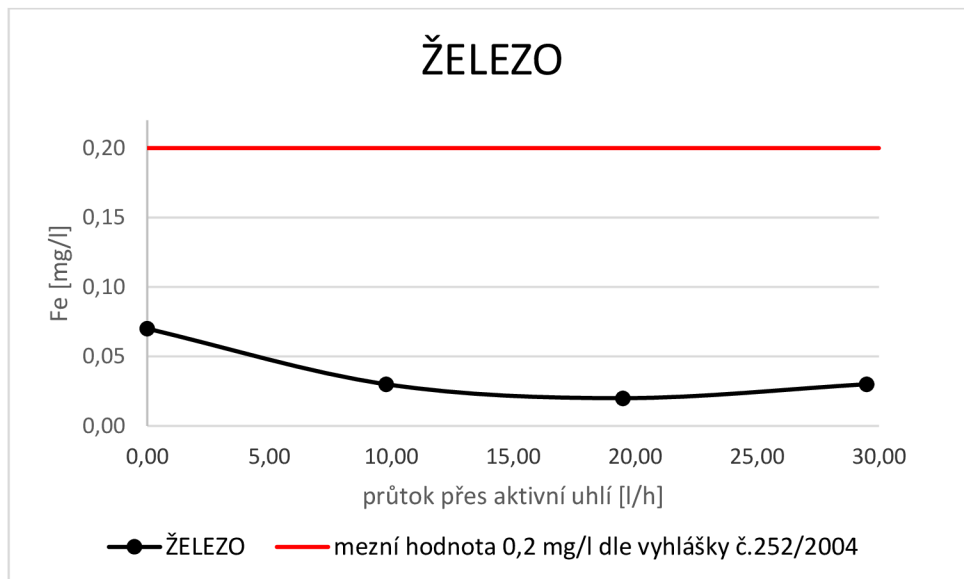
Při posouzení zákalu podle *vyhlášky č. 252/2004 Sb. Stanovení hygienických požadavků na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody ve znění pozdějších předpisů* se surová voda i následně upravená voda po průtoku kolonou nachází v mezních hodnotách 6,5-9,5. Další posouzení zákalu bylo provedeno podle *přílohy č. 13 požadavky na jakost surové vody k vyhlášce č. 428/2001 Sb. ve znění pozdějších předpisů*, kdy se hodnoty surové vody nachází v kategorii A1 – typ úpravy vody s nejméně technologiemi (6,5-9,5).



Obr. 7.17 Závislost pH na průtocích při experimentu [autor]

Hodnoty teploty vyjadřují, že voda se ohřála z důvodu, že samotný experiment probíhal v místnosti o pokojové teplotě a odběr byl proveden na podzim ve venkovním prostředí. Dále také teplota závisí na průtoku přes aktivní uhlí. Čerpadlo ohřívá vodu v koloně a tím při odběru vzorku po průtoku kolonou má vzorek vyšší teplotu. Tedy čím menší průtok, tím větší teplota.

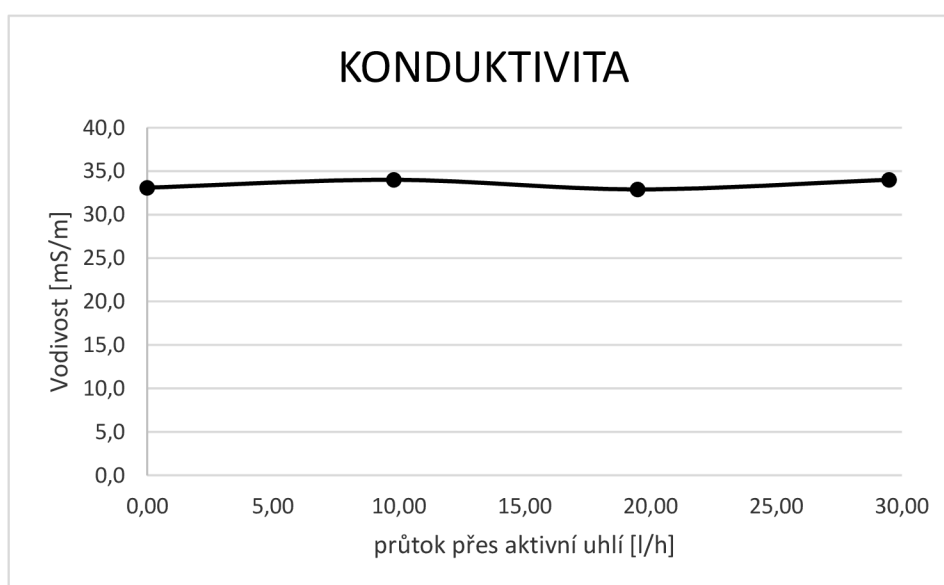
Při posouzení teploty podle *vyhlášky č. 252/2004 Sb. Stanovení hygienických požadavků na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody ve znění pozdějších předpisů* jsou hodnoty vyšší než doporučené 8-12°C. Jeden z důvodů může být to, že se nejedná o odebranou vodu z vodovodního kohoutku, ale o surovou vodu po krátkodobé úpravě. Posouzení teploty surového vzorku dle *přílohy č. 13 požadavky na jakost surové vody k vyhlášce č. 428/2001 Sb. ve znění pozdějších předpisů*, odběr surového vzorku měl 12,7°C, a tedy vyhovuje kategorii A1, mezní hodnota 20°C.



Obr. 7.18 Závislost Fe na průtocích při experimentu [autor]

Železo měřeno pro orientační zjištění. Při úpravě surové vody v laboratorních podmínkách obsah železa klesl ve všech průtocích. Můžeme tedy říct, že filtrace přes aktivní uhlí byla účinná na snížení obsahu železa ve vodě.

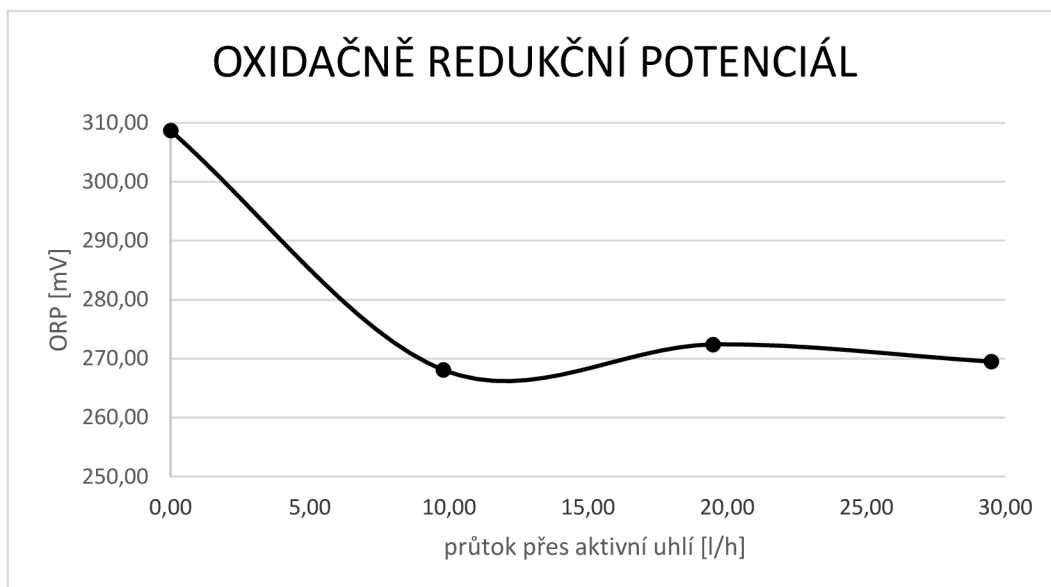
Při posouzení železa podle *vyhlášky č. 252/2004 Sb. Stanovení hygienických požadavků na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody ve znění pozdějších předpisů* lze hodnotit, že v žádném vzorku nebyla přesažena mezní hodnota, která činí 0,2 mg/l. Posouzení železa v surovém vzorku dle *přílohy č. 13 požadavky na jakost surové vody k vyhlášce č. 428/2001 Sb. ve znění pozdějších předpisů* vyhovuje kategorii A1 s mezní hodnotou 0,2 mg/l.



Obr. 7.19 Závislost vodivosti na průtocích při experimentu [autor]

Dalším měřeným parametrem pro orientační zjištění byla konduktivita neboli vodivost. Je vidět, že se naměřené hodnoty pohybují v rozdílu do 1 mS/m. V povrchových vodách je pravidelně hodnota konduktivity okolo 5-50 mS/m, do této hodnoty spadá i naměřená hodnota v surové vodě, která je 33,1 mS/m. Průměrná vodivost v pitné vodě v ČR je 40 mS/m, tedy i hodnoty měřené ve vzorcích se pohybují okolo této hranice. [51]

Při posouzení vodivosti podle *vyhlášky č. 252/2004 Sb. Stanovení hygienických požadavků na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody ve znění pozdějších předpisů* lze hodnotit, že v žádném vzorku nebyla přesažena mezní hodnota, která činí 125 mS/m. Posouzení vodivosti v surovém vzorku dle *přílohy č. 13 požadavky na jakost surové vody k vyhlášce č. 428/2001 Sb. ve znění pozdějších předpisů* vyhovuje kategorii A1 s mezní hodnotou totožnou 125 mS/m.



Obr. 7.20 Závislost ORP na průtocích při experimentu [autor]

Oxidačně redukční potenciál byl měřen pro orientační zjištění a lze hodnotit, že po filtraci kolonou ORP klesl k hodnotě 270 mV. Pro srovnání, typický rozsah hodnot v pitné vodě je +180 až +300 mV. Můžeme tedy říct, že i odběr surové vody již vyhovuje. [52]

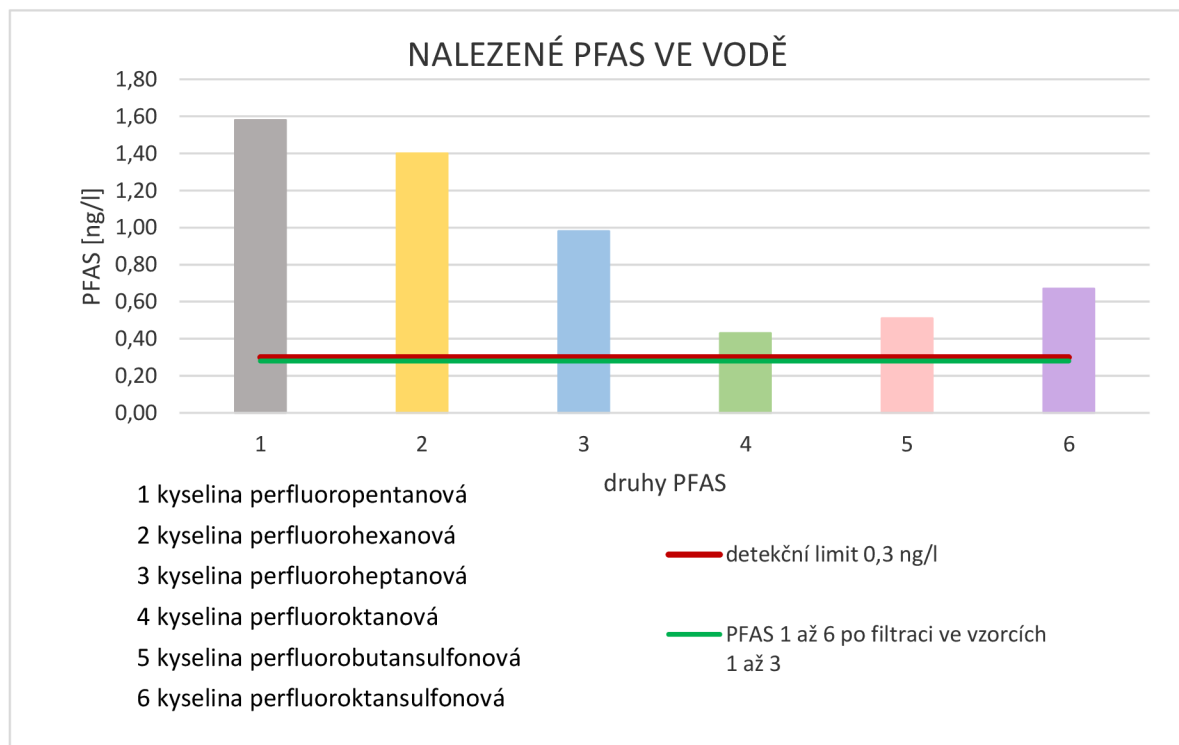
Kyslík byl měřen pouze v odběru surové vody ze Svratky a poté v surové vodě v barelu. V samotných vzorcích již kyslík měřen nebyl, nebylo žádné opodstatnění. Naměřená hodnota v barelu byla vyšší než ve Svratce z důvodu, že v samotném barelu docházelo k pohybu a drobnému přelévání a míchání odebrané vody

vlivem přepravy a manipulace, a tedy se zvýšila hodnota kyslíku. Naměřené hodnoty amoniaku NH_3 nám vyjadřují pouze orientační informaci, jelikož se nejedná o hodnoty amonných iontů NH_4 , které bychom mohli vyhodnotit dle legislativy a limitů. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 7.5

V odebraném vzorku bylo nalezeno 6 PFAS z 25 zkoumaných nad detekční limit 0,3 ng/l. Jednalo se o kyselinu perfluoropentanovou, perfluorohexanovou, perfluoroheptanovou, perfluoroktanovou, perfluorobutansulfonovou a perfluoroktansulfonovou. Naměřené hodnoty PFAS v surové vodě a v jednotlivých vzorcích po průtoku filtrační kolonou jsou uvedeny v Tab. 7.6.

Tab. 7.6 Nalezené PFAS ve vodě [autor]

	parametr	detekční limit	Surová voda	VZ 1	VZ 2	VZ 3	jednotka
1	kyselina perfluoropentanová	0,3	1,58	<0,3	<0,3	<0,3	ng/l
2	kyselina perfluorohexanová	0,3	1,40	<0,3	<0,3	<0,3	ng/l
3	kyselina perfluoroheptanová	0,3	0,98	<0,3	<0,3	<0,3	ng/l
4	kyselina perfluoroktanová	0,3	0,43	<0,3	<0,3	<0,3	ng/l
5	kyselina perfluorobutansulfonová	0,3	0,51	<0,3	<0,3	<0,3	ng/l
6	kyselina perfluoroktansulfonová	0,3	0,67	<0,3	<0,3	<0,3	ng/l
7	suma 20 PFAS	9,1	5,57	<9,1	<9,1	<9,1	ng/l



Obr. 7.21 Nalezené PFAS ve vodě [autor]

Z tabulky i následného grafu je patrné, že u všech nalezených perfluorovaných látek byla dostatečná rychlost filtrace přes Filtrasorb F400 již při průtoku 29,5 l/s. Tedy při nejvyšším možném průtoku dle doporučení výrobce, který udává doporučenou rychlost filtrace pro Filtrasorb 5-20 m/h. Došlo tedy k odstranění na koncentraci, kterou už nebylo dále možné detekovat.

Pokud by se nalezené perfluorované látky posuzovaly dle směrnice pro pitnou vodu 2020/2184 ES, tak by ani jedna z 6 nalezených látek nepřekročila limit součet 20 typů PFAS do 0,1 µg/l v pitné vodě ani celkově PFAS do 0,5 µg/l v pitné vodě. Jelikož dle výsledků součet 20 typů PFAS je 5,57 ng/l tedy 0,00557 µg/l.

Účinnost odstranění jednotlivých nalezených PFAS z vody při všech filtračních rychlostech jsem vypočítala pomocí následujícího vzorce:

$$\eta = \frac{C_s - C_f}{C_s} * 100 [\%] \quad (7.3)$$

Kde je η ... účinnost odstranění znečištění [-],

C_s ... koncentrace znečištění v surové vodě [ng/l],

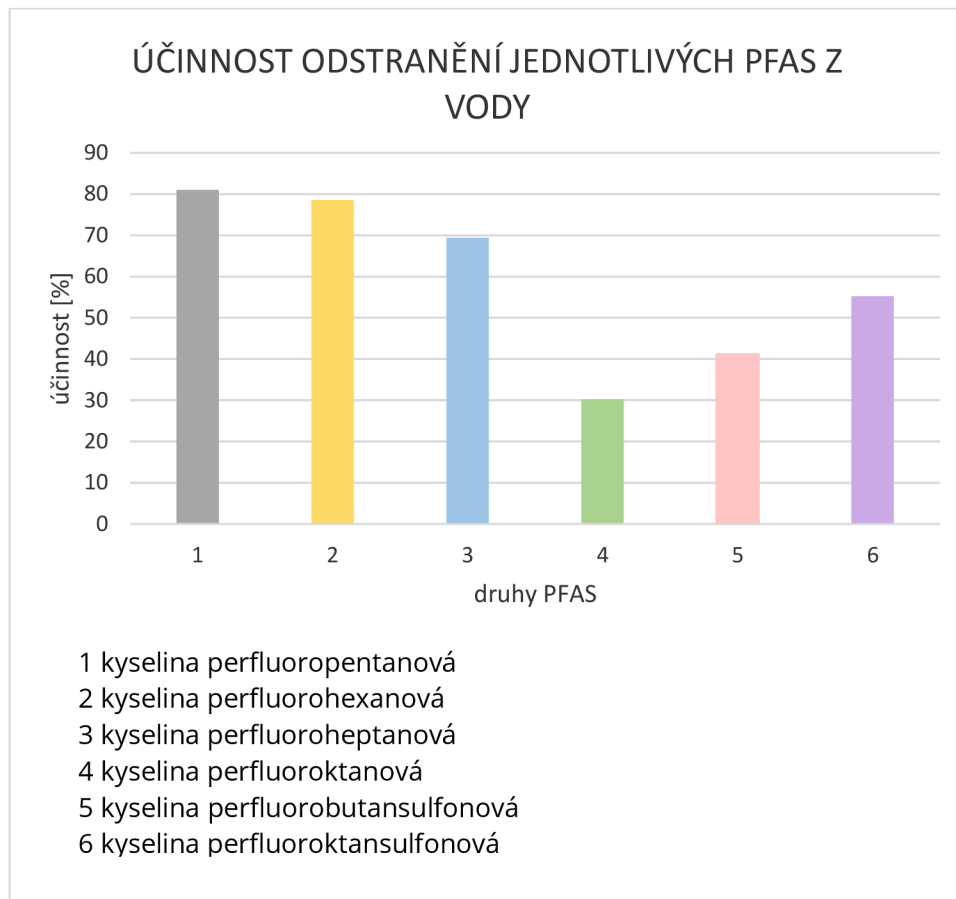
C_f ... koncentrace znečištění po filtraci [ng/l]. [53]

Výsledky těchto výpočtů jsou zaznamenány v tabulce Tab. 7.7 a grafu Obr. 7.22.

Dle grafu je vidět, že nejúčinnější odstranění bylo u kyseliny perfluoropentanové a nejmenší účinnost byla u kyseliny perfluoroktanové.

Tab. 7.7 Účinnost odstranění znečištění ve VZ1 až VZ3 [autor]

	kyseliny	účinnost VZ1=VZ2=VZ3 [%]
1	kyselina perfluoropentanová	81
2	kyselina perfluorohexanová	79
3	kyselina perfluoroheptanová	69
4	kyselina perfluoroktanová	30
5	kyselina perfluorobutansulfonová	41
6	kyselina perfluoroktansulfonová	55



Obr. 7.22 Graf účinnosti odstranění jednotlivých PFAS z vody [autor]

8 ZÁVĚR

Cílem práce bylo popsat problematiku odstranění mikropolutantů při úpravě pitné vody. Část práce se zabývala experimentem, který se věnoval odstraněním perfluorovaných látek z vody. A bylo následně vyhodnoceno použití filtračního materiálu na tento experiment.

V první části se diplomová práce zabývá teoretickým shrnutím poznatků o mikropolutantech, jejich dělení, přísunu, kterým se dostávají do zdrojů pitné vody a možnostmi jejich odstranění. Dále jsou zde také uvedeny studie, které se zabývají monitoringem mikropolutantů jak v České republice, tak i v zahraničí. Ze studií lze vyvodit, že je potřeba neustále rozvíjet a zdokonalovat informovanost i metody na monitoring, zamezení a odstranění mikropolutantů a jejich metabolitů, které se mohou dostat do pitné vody a ohrožovat tedy životní prostředí a následně i lidský organismus. Většina mikropolutantů může být negativní na lidský organismus. V určitých maximech, které se dostanou do lidského organismu, můžou být až potencionálními karcinogeny a mutageny.

Nejtypičtější z nebezpečných kovů je olovo. Vyskytuje se především v trubkách vodovodního olověného potrubí a v kyselých deštích. Pesticidy nalezneme v zemědělství, lesnictví, v postřicích na ochranu dřevin a rostlin. Z poznatků o léčivech lze konstatovat, že se do životního prostředí dostávají především z odpadní vody (moč), ve které nejsou schopni na čistírně odpadních vod zachytit zbytky farmak. Perfluorované látky můžeme najít na několika površích, a to z důvodu jejich schopností odpuzovat vodu, olej a půdu. Až 80 % mikroplastů se tvoří na pevnině nikoli v moři.

Další část pojednávala o úpravárenských procesech, kterými lze odstranit mikropolutanty z vody. Hlavním procesem je filtrace přes granulované aktivní uhlí, membránové procesy a pokročilé oxidační procesy. V následující kapitole byly uvedeny příklady odstraňování mikropolutantů v praxi.

Druhá část tvořila praktický blok práce. Jednalo se o experiment v laboratorních podmínkách na odstranění perfluorovaných látek z vody pomocí filtrace přes granulované aktivní uhlí. Pro tento experiment byl proveden odběr surové vody z řeky Svatky. V laboratorním prostředí byla připravena kolona s náplní Filtrasorb F400 a při třech průtocích přes aktivní uhlí vyhodnoceny základní parametry

vzorků vody (pH, kyslík, teplota vody, ORP a vodivost, obsah železa a amoniaku) a obsah perfluorovaných látek. Ze zkoumaných 25 PFAS bylo ve vzorku vody nalezeno 6 PFAS nad detekční limit. U všech nalezených perfluorovaných látek byla dostatečná rychlost filtrace pro odstranění z vody filtrací přes Filtrasorb F400 již při průtoku 29,5 l/s. Tedy při nejvyšší možném průtoku dle doporučení výrobce. Účinnost odstranění všech 6 nalezených PFAS ve vodě byla úspěšná. Nejúčinnější odstranění bylo u kyseliny perfluoropentanové (81 %) a nejmenší účinnost byla u kyseliny perfluoroktanové (30 %).

Přínosem této diplomové práce je pro mě obohacení poznatků z tohoto tématu především z praktického hlediska. Výskyt mikropolutantů je nyní velice aktuální téma a je potřeba do budoucna vyvíjet a prověřovat nové a nové metody na odstranění, monitoring a zabránění vstupu škodlivých látek do vody a tím zamezovat znečištění životního prostředí a ohrožování zdraví lidského organismu.

9 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Co jsou to mikropolutanty? Online. *Vodní strážci*. 2022. Dostupné z: <https://vodnistrazci.cz/zivotni-prostredi/co-jsou-to-mikropolutanty>. [cit. 2024 01-03].
- [2] Mikropolutanty. Online. *SOVAK*. 2022. Dostupné z: <https://www.sovak.cz/cs/clanek/mikropolutanty>. [cit. 2024-01-03].
- [3] Odstranění mikropolutantů. Online. *ENVIPUR*. Dostupné z: <https://www.envipur.cz/dalsi-produkty-a-sluzby-odstraneni-mikro-polutantu/>. [cit. 2024-01-03].
- [4] Zachráníme vodu od mikropolutantů? Online. *Přírodovědecká fakulta Univerzita Karlova*. 2019. Dostupné z: <https://www.natur.cuni.cz/fakulta/veda-a-vyzkum/popularizace/clanky/zachranime-vodu-od-mikropolutantu>. [cit. 2024-01-03].
- [5] Perfluorované látky. Online. *Ústav pro hydrodynamiku*. Dostupné z: <https://www.i.h.cas.cz/>. [cit. 2024-01-03].
- [6] Perfluorované látky. Online. *Arnika*. Dostupné z: <https://arnika.org/toxicke-latky/nase-temata/toxicke-latky/perfluorovane-latky>. [cit. 2024-01-03].
- [7] Těžké kovy ve vodě. Online. *Vodní info*. Dostupné z: <https://vodniinfo.cz/problemy-vody/tezke-kovy-ve-vode/>. [cit. 2024 01 03].
- [8] Problémy vody. Online. *Vodní info*. Dostupné z: <https://euroclean.cz/problemy-vody/tezke-kovy/>. [cit. 2024-01-03]. [9] ve vyhlášce o pitné vodě 252/2004 Sb.
- [10] Rozbory vody. Online. *Vodatest*. 2018. Dostupné z: <https://www.vodatest.cz/1252-2>. [cit. 2024-01-03].
- [11] Zpřísnění limitů pro olovo. Online. *Tzbinfo*. 2005. Dostupné z: <https://www.tzbinfo.cz/2525-zpriseni-limitu-pro-olovo-v-pitne-vode-vyzaduje-rekonstrukci-vodovodu>. [cit. 2024-01-03].
- [12] Arsen ve vodě. Online. *Univerzální čistá voda a.s.* Dostupné z: <https://www.ucv.cz/2016/02/15/arsen-ve-vode-jeho-ucinky-a-odstraneni/>. [cit. 2024-01-03].
- [13] GRAY, N.F. *Drinking Water Quality. Problems and Solutions. 2nd Edition*. Cambridge University Press, 2008. ISBN 978-0-521-70253-9.
- [14] ENGLEHART. Online. *Lawrence. Get the lead out*. 2012. Dostupné z: <http://thechronicleherald.ca/homesnews/61383-get-lead-out>. [cit. 2024 01-03].

- [15] Pomykačová I., Kožíšek F., Weyessa Gari D., Němcová V., Nešpůrková L.: *Problematika arsenu v pitné vodě v České republice*. Sborník konference Pitná voda 2010, s. 145-150. W&ET Team, Č. Budějovice 2010. ISBN 978-80-254-6854-8
- [16] Nová tvář arsenu. Online. *OSEL*. 2010. Dostupné z: <https://www.osel.cz/5111-nova-tvar-arsenu-pozde-bycha-honit.html>. [cit. 2024-01-03].
- [17] KOŽÍŠEK, František, Hana JELIGOVÁ a Vladimíra NĚMCOVÁ. *Domovní instalace jako hlavní zdroj niklu v pitné vodě*, Online. Vytápění, větrání, instalace, 1/2011. 2011, s. 37-39. [cit. 2024-01-03].
- [18] Roste počet chorob způsobených pesticidy. Online. 2021. Dostupné z: <https://spotrebitele.dtest.cz/clanek-8926/roste-pocet-chorob-zpusobenych-pesticidy>. [cit. 2024-01-03].
- [19] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. vydání. Praha: VŠCHT Praha, 2009. 568 s. ISBN 978-80-7080-701-9.
- [20] Clearwater, R. L., T. Martin a T. Hoppe (red.). *Environmental sustainability of Canadian agriculture: Agri-environmental indicator report series*. Online. Report #4 (Environmentální udržitelnost kanadského zemědělství: edice zpráv o agroenvironmentálních ukazatelích – zpráva č. 4. Agriculture and Agri-Food Canada. Ottawa. 2016, s. 155. [cit. 2024-01-03].
- [21] CHATTOPADHYAY, S a CHATTOPADHYAY, D. Remediation of DDT and Its Metabolites in Contaminated Sediment. Online. *SEDIMENTAND OTHER POLLUTIONS*. 2015, s. 264. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/284799003>. [cit. 2024-01-03].
- [22] Metodické doporučení SZÚ – Národního referenčního centra pro pitnou vodu pro hodnocení relevantnosti metabolitů pesticidů v pitné vodě. *STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV*. 2014. [cit. 2024-01-03].
- [23] STANOVENÍ PESTICIDŮ A JEJICH METABOLITŮ V ZEMINÁCH. Online. *ALS CZECH REPUBLIC*. 2020. Dostupné z: https://www.alsglobal.cz/aktuality/Stanoveni-pesticidu-a-jejich-metabolitu-v-zeminach_1271. [cit. 2024-01-03].
- [24] MOULISOVÁ, Alena a kol. Pesticidy a jejich metabolity v pitné vodě. Online. *Vodní hospodářství*. Dostupné z: <https://vodnihospodarstvi.cz/pesticidy-a-jejich-metabolity-pitne-vode/#prettyPhoto>. [cit. 2024-01-03].
- [25] Kožíšek F., Čadek V. Léčiva v pitných vodách. *Sborník konference Pitná voda 2008*, s. 77-88. W&ET Team, Č. Budějovice 2008. ISBN 978-80-254-2034-8

- [26] HALEŠOVÁ, Taťána. VÝSKYT LÉČIV V PITNÝCH VODÁCH – PŘÍSPĚVEK ALS NA KONFERENCI PITNÁ VODA 2022 V TÁBOŘE. Online. *ALS CZECH REPUBLIC*. 2022. Dostupné z: https://www.alsglobal.cz/zivotni-prostredi/aktuality/Vyskyt-leciv-v-pitnych-vodach---prispevek-ALS-na-konferenci--Pitna-voda-2022-v-Tabore_1581. [cit 2024-01-03].
- [27] HALEŠOVÁ, Taťána. STANOVENÍ PERFLUOROVANÝCH LÁTEK (PFCS) VE SLOŽKÁCH ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. Online. *ALS CZECH REPUBLIC*. 2017. Dostupné z: https://www.alsglobal.cz/aktuality/Stanoveni-perfluorovanych-latek-PFCs-ve-slozkach-zivotniho-prostredi_897. [cit. 2024-01-03].
- [28] BRZEZINA, Jáchym. Perfluorované a polyfluorované látky (PFAS). Online. *Infoviz*. 2022. Dostupné z: <https://www.infoviz.cz/graphic.php?ID=223>. [cit. 2024-01-03].
- [29] LACINA, Ondřej. LC/MS/MS analýza PFAS v pitných vodách (záznám přednášky). Online video. *Altium*. 2021. Dostupné z: <https://lcms.cz/article/1755>. [cit. 2024 01 03].
- [30] HUŠKOVÁ, Radka a VOJTĚCHOVSKÁ ŠRÁMKOVÁ, Michaela. Per – a polyfluorované alkylové sloučeniny (PFAS) v pitné vodě. Online. *SOVAK*. 2021. Dostupné z: <https://www.sovak.cz/cs/clanek/polyfluorovane-alkylove-slouceniny-pfas-v-pitne-vode>. [cit. 2024-01-03].
- [31] *Emerging chemical risks in Europe - PFAS*. 12/2019n. I. ISBN 978-92-9480-196-8.
- [32] Pitná voda – je a bude? Online. *Akademie věd české republiky*. 2019, s. 4. Dostupné z: <https://www.avcr.cz/export/sites/avcr.cz/cs/veda-a-vyzkum/avex/files/2019-02-VODA1-1.pdf>. [cit. 2024-01-08].
- [33] Voda Zlín 2023. Online. *Sborník příspěvků*. 2023, č. 1. vydání, březen, s. 187. [cit. 2024-01-08].
- [34] BENEŠ, Ondřej; BARTOŠ, Ladislav a HUŠKOVÁ, Radka. Zkušenosti s využitím aktivního uhlí - aplikace pro mikropolutanty. Online. *VEOLIA VODA ČESKÁ REPUBLIKA, a.s.,* S. 8. Dostupné z: <https://www.smv.cz/res/data/054/006007.pdf>. [cit. 2024-01-08].
- [35] KOPECKÝ, Jaroslav. Návrh vhodného aktivního uhlí ve vodárenství. Online. *Jako, s.r.o.* S. 6. Dostupné z: <https://www.smv.cz/res/archive/014/001680.pdf>. [cit. 2024-01-08].
- [36] Boere J., van den Dikkenberg J., Joon G.: Granulované aktivne uhlie a jeho biologická aktivita. Sborník konference Pitná voda 2008, s. 123-128. W&ET Team,

- Č. Budějovice 2008. ISBN 978-80-254-2034-8 Dostupné z: <http://www.wet-team.cz/files/konference/2008/PV%20Tabor/18-Stoffa.pdf>. [cit. 2024-01-08].
- [37] ZÁBRANSKÁ, Jana a kol. autorů. Laboratorní metody v technologii vody. Online. *Jako, s.r.o.* S. 171. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-272-3/80-7080-272-3.pdf. [cit. 2024-01-08].
- [38] SILVA, Bruna, Isabel C. NEVES, Filomena COSTA a Teresa TAVARES. *Psychiatric Pharmaceuticals as Emerging Contaminants in Wastewater*. New York: Springer, 2015. ISBN 978-3-319-20492-5.
- [39] NOVÁK, Pavel. *Sanace zdrojů hromadného zásobování pitnou vodou ovlivněných pesticidy - metodický postup řešení: certifikovaná metodika*. Praha: VÚMOP, 2016. ISBN 978-80-87361-61-0.
- [40] Membránové procesy pro úpravu pitné vody. *ASIO* . online. 2012 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/news/membranove-procesy-pro-upravu-pitne-vody.62>
- [41] Odstraňování pesticidních látek z pitné vody. Online. *VODASERVIS s. r. o.* S 2 Dostupné z: <https://www.vodaservis.cz/cms-obsah/soubory/315-odstranovani-pesticidu.pdf>. [cit. 2024-01-08].
- [42] PFAS v pitných vodách – souhrn. Online. Dostupné z: <https://www.czwa.cz/pfas-v-pitnych-vodach-souhrn-CZ517>. [cit. 2024-01-08].
- [43] Po nedávné modernizaci odstraňuje úpravna vody Želivka z pitné vody i farmaka nebo pesticidy. Online. *BEZPEČNOST POTRAVIN*. 2021. Dostupné z: <https://bezpecnostpotravin.cz/po-nedavne-modernizaci-odstranuje-upravna-vody-zelivka-z-pitne-vody-i-farmaka-nebo-pesticidy/>. [cit. 2024-01-08].
- [44] KOSUTH, Mary, Sherri A. MASON a Elizabeth V. WATTENBERG. Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. online. 2018 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970>
- [45] HALAŠTA, Tomáš. *Plasty a mikroplasty ve vodách*. Brno, 2021, 68 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodní hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, Ph.D.
- [46] JOHNSON, Andrew C., Hollie BALL a Richard CROSS. Identification and Quantification of Microplastics in Potable Water and Their Sources within Water Treatment Works in England and Wales. online. 2020 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03211>

- [47] Mikroplasty ve vodě. online. [cit. 2024-01-04]. Dostupné z: <https://www.ih.cas.cz/mikroplasty-ve-vode/>
- [48] Aktivní uhlí Chemviron Carbon Filtrasorb 400. Online. *Specifikace – Příbalový leták*. 2010, s. 1. Dostupné z: <http://nove.jako.cz/wp-content/uploads/2011/01/F400.pdf>. [cit. 2024-01-08].
- [49] MÍSTO ODBĚRU. Online. *Mapy.cz*. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=16.5570228&y=49.2094858&z=19>. [cit. 2024-01-08].
- [50] ŠÍBLOVÁ, Daniela. *Mikropolutanty ve zdrojích vod a možnosti jejich odstranění*. Brno, 2017. 74 s., 3 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, PhD.
- [51] Konduktivita a tvrdost vody. Online. Dostupné z: <https://www.reverzni-osmozy.cz/konduktivita-a-tvrdost-vody>. [cit. 2024-01-08].
- [52] ORP a ZDRAVÍ. Online. Dostupné z: <https://www.vodaprozdravi.eu/page/orp-a-zdravi/31>. [cit. 2024-01-08].
- [53] BIELA, Renata and Lucie ŠOPÍKOVÁ. Efficiency of sorption materials on the removal of lead from water. *Applied Ecology and Environmental Research*. online. 2017, 15(3), 10 [cit. 2019-12-26]. ISSN 1785 0037. Dostupné z http://aloki.hu/indvol15_3.htm

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 Srovnání koncentrace olova v teplé a studené vodě [13]	17
Tab. 3.2 Výskyt niklu v pitné vodě v ČR [17]	19
Tab. 3.3 Souhrn výsledků jednotlivých analýz jarní odběry/podzimní odběry [24]	25
Tab. 3.4 Léčiva s největším objemem distribuce [25]	27
Tab. 3.5 Typické sloučeniny PFAS [27].....	31
Tab. 4.1 Limity (NMH) nebezpečných kovů pro pitnou vodu [9]	37
Tab. 4.2 Limity pesticidů a jejich metabolitů pro pitnou vodu [9]	38
Tab. 5.1 Typy GAU [36]	43
Tab. 5.2 Druhy membránových procesů [38]	47
Tab. 7.1 Vlastnosti adsorpčního materiálu Filtrasorb F400 [48].....	60
Tab. 7.2 Odpovídající rychlosti a doby zdržení pro daný průtok [autor]	64
Tab. 7.3 Parametry měřené v místě odběru (řeka Svratka) [autor]	67
Tab. 7.4 Naměřené hodnoty zákalu, pH a teploty v surové vodě a vzorcích VZ1-VZ3 [autor].....	68
Tab. 7.5 Naměřené hodnoty doplňujících parametrů u jednotlivých vzorků [autor]	68
Tab. 7.6 Nalezené PFAS ve vodě [autor].....	74
Tab. 7.7 Účinnost odstranění znečištění ve VZ1 až VZ3 [autor]	75

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Pesticidy v přípravku na ochranu rostlin [18]	13
Obr. 2.2 Cyklus perfluorovaných látek [6].....	14
Obr. 3.1 Olověné potrubí [14]	16
Obr. 3.2 Závislost koncentrace olova v pitné vodě na zdržení vody v potrubí [13]	16
Obr. 3.3 Zatížení životního prostředí přípravky na ochranu rostlin [20]	20
Obr. 3.4 Transport DDT v systému sediment-voda-živočichové-lidský organismus [21].....	21
Obr. 3.5 Cyklus pesticidů v životním prostředí [23]	23
Obr. 3.6 Grafické zobrazení spotřeby pesticidů ve světě [23]	24
Obr. 3.7 Počet pesticidů nalezených v jednom vzorku vody / počet dotčených míst [24]	24
Obr. 3.8 Transport léčiv životním prostředím [26].....	27
Obr. 3.9 Sumární koncentrace léčiv a počet detekovaných léčiv v pitných vodách odebraných v roce 2022 ve 21 českých městech [26]	28
Obr. 3.10 Nejčastější výskyt léčiv v pitných vodách odebraných v roce 2022 v 19 českých městech [26].....	29
Obr. 3.11 Pohyb PFAS v životním prostředí [31]	30
Obr. 3.12 Příklady výskytu PFAS [29]	32
Obr. 3.13 Dopad PFAS látek na lidský organismus [31].....	33
Obr. 3.14 Graf koncentrací PFAS ve všech krajích ČR [30]	34
Obr. 3.15 Zdroje mikroplastů [47]	35
Obr. 3.16 Výskyt mikroplastů v pitné vodě [32]	36
Obr. 5.1 Materiály na výrobu aktivního uhlí [35].....	40
Obr. 5.2 Rozdíl mezi přímo aktivovaným a aglomerovaným aktivním uhlím [35]	41
Obr. 5.3 Částice GAU po 6 měsících ve filtru v pitné vodě [36].....	42

Obr. 5.4 Mikrostruktura typů GAU [36]	44
Obr. 5.5 Technologie na úpravu na pitnou vodu pomocí sorpce na aktivním uhlí [39]	45
Obr. 5.6 Rozdělení membránových procesů podle stupně separace [40]	46
Obr. 5.7 Rozdělení pokročilých oxidačních procesů [38]	48
Obr. 5.8 Nežádoucí účinky arsenu na lidský organismus [16]	49
Obr. 5.9 Technologie pro odstranění PL z vody [41]	50
Obr. 5.10 (a) mikroplasty z mikroskopu, (b) vlákna, (c) mikrokuličky, (d) fragmenty [45]	53
Obr. 6.1 Technologické řešení na odstranění pesticidů ze zdroje podzemní vody (800 obyvatel) [41]	54
Obr. 6.2 Technologické řešení na odstranění pesticidů ze dvou zdrojů podzemní vody [41]	55
Obr. 6.3 Technologické řešení na odstranění pesticidů ze zdroje podzemní vody (průmyslový areál) [41]	56
Obr. 6.4 Modernizace úpravny vody Želivka [42]	58
Obr. 6.5 Hala filtrů GAU filtrace [42]	58
Obr. 7.1 Granulované aktivní uhlí Filtrasorb F400 [autor]	60
Obr. 7.2 Místo odběru surové vody [49]	61
Obr. 7.3 Fotka v místě odběru surové vody v době odběru [autor]	61
Obr. 7.4 Odběr surové vody [autor]	62
Obr. 7.5 Začátek a konec praní filtračního materiálu Filtrasorb F400 [autor]	63
Obr. 7.6 Drenážní vrstva [autor] Obr. 7.7 Kolona připravená na experiment [autor]	63
Obr. 7.8 Schéma filtrační sestavy na experiment [50]	64
Obr. 7.9 Odběr vzorků do vzorkovnic [autor]	65
Obr. 7.10 Měření zákalu odebraného vzorku [autor]	66
Obr. 7.11 Měření teploty odebraného vzorku [autor]	66

Obr. 7.12 Měření ORP, pH a vodivosti odebraného vzorku [autor]	66
Obr. 7.13 Měření železa a amoniaku odebraného vzorku [autor]	66
Obr. 7.14 Vzorkovnice se vzorky vody [autor]	67
Obr. 7.15 Závislost zákalu na průtocích při experimentu [autor].....	69
Obr. 7.16 Závislost pH na průtocích při experimentu [autor].....	70
Obr. 7.17 Závislost pH na průtocích při experimentu [autor].....	71
Obr. 7.18 Závislost Fe na průtocích při experimentu [autor].....	72
Obr. 7.19 Závislost vodivosti na průtocích při experimentu [autor]	72
Obr. 7.20 Závislost ORP na průtocích při experimentu [autor]	73
Obr. 7.21 Nalezené PFAS ve vodě [autor]	74
Obr. 7.22 Graf účinnosti odstranění jednotlivých PFAS z vody [autor]	76

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

GEH = filtrační náplň a odstranění arsenu

GAU = granulované aktivní uhlí

ČR = Česká republika

PL = pesticidní látky

NMH = nejvyšší mezní hodnota

SFŽP ČR = státní fond životního prostředí v České republice

PFAS = per - a polyfluorované alkylové sloučeniny

WHO = Světová zdravotnická organizace (World Health Organization)

PFOS = perfluoroktansulfonová kyselina

PHOA = kyselina perfluoroktanová

EurEau = Evropská federace národních asociací vodohospodářských služeb (European Federation of National Associations of Water Services)

GAU = granulované aktivní uhlí

AOP = pokročilé oxidační procesy (advanced oxidation proceses)

OH = hydroxilové radikály

ČOV = čistírna odpadních vod

ÚV = úpravna vody

EO = ekvivalentní obyvatel

CHSK = chemická spotřeba kyslíku

BSK = biochemická spotřeba kyslíku

ORP = oxidačně redukční potenciál

Filtrisorb F400 = filtrační materiál vyrobený z aktivního uhlí

VZ1, VZ2, VZ3 = vzorek jedna, vzorek dva, vzorek tři

ZF = formazinová jednotka

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – protokol o zkoušce: rozbor surové a upravené vody – perfluorované látky



Protokol o zkoušce

Zakázka	: PR23C9344	Datum vystavení	: 23.11.2023
Zákazník	: Vysoké učení technické v Brně	Laboratoř	: ALS Czech Republic, s.r.o.
Kontakt	: Ing. Renata Biela, Ph.D.	Kontakt	: Zákaznický servis
Adresa	: Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí Žižkova 511/17 602 00 Brno Česká republika	Adresa	: Na Harfě 336/9 Praha 9 - Vysočany 190 00 Česká Republika
E-mail	: biela.r@fce.vutbr.cz	E-mail	: customer.support@alsglobal.com
Telefon	: ----	Telefon	: +420 226 226 228
Projekt	: Diplomová práce (PFAS)	Stránka	: 1 z 3
Číslo objednávky	: ----	Datum přijetí vzorků	: 9.11.2023
		Číslo nabídky	: PR2013VUTBR-CZ0351 (CZ-120-13-0468)
Místo odběru	: Svratka + testy	Datum zkoušky	: 10.11.2023 - 23.11.2023
Vzorkoval	: zákazník VUT	Úroveň řízení kvality	: Standardní QC dle ALS ČR interních postupů

Poznámky

Bez písemného souhlasu laboratore se nesmí protokol reprodukovat jinak než celý. Laborator není zodpovědná za informace dodané zákazníkem.

Laboratoř prohlašuje, že výsledky zkoušek se týkají pouze vzorků, které jsou uvedeny na tomto protokolu. Pokud není na protokolu o zkoušce v části "Vzorkoval" obsaženo „ALS“, pak platí, že výsledky se vztahují ke vzorku, jak byl přijat. Vzorek(y) PR23C9344/001, metoda W-PFCLMS03 - hodnota LOQ zvýšena vzhledem k vlivu matrice.

Za správnost odpovídá

Zkušební laboratoř č. 1163
akreditovaná ČIA dle
ČSN EN ISO/IEC 17025:2018

Jméno oprávněné osoby

Lubomír Pokorný

Pozice

Country Manager



Společnost je certifikována dle ČSN EN ISO 14001 (Systémy environmentálního managementu) a ČSN ISO 45001 (Systémy managementu bezpečnosti a ochrany zdraví při práci)



Výsledky zkoušek

Matrice: POVRCHOVÁ VODA				Název vzorku		Surová voda		VZ 1		VZ 2	
				Identifikace vzorku		PR23C9344001		PR23C9344002		PR23C9344003	
				Datum odběru/čas odběru		9.11.2023 08:00		9.11.2023 11:45		9.11.2023 11:00	
Parametr	Metoda	LOQ	Jednotka	Výsledek	NM	Výsledek	NM	Výsledek	NM		
perfluorované sloučeniny											
kyselina perfluorobutanová (PFBA)	W-PFCLMS03	2.0	ng/l	<6.0	---	<2.0	---	<2.0	---		
kyselina perfluoropentanová (PFPeA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	1.58	± 40.0%	<0.30	---	<0.30	---		
kyselina perfluorohexanová (PFHxA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	1.40	± 40.0%	<0.30	---	<0.30	---		
kyselina perfluoroheptanová (PFHpA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	0.98	± 40.0%	<0.30	---	<0.30	---		
kyselina perfluoroktanová (PFOA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	0.43	± 40.0%	<0.30	---	<0.30	---		
kyselina perfluorononanová (PFNA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---		
kyselina perfluorodekanová (PFDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---		
kyselina perfluoroundekanová (PFUnDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---		
kyselina perfluordodekanová (PFDoDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---		
kyselina perfluorotridekanová (PFTrDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---		
perfluorobutansulfonová kyselina (PFBS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	0.51	± 40.0%	<0.30	---	<0.30	---		
perfluoropentansulfonová kyselina (PFPeS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---		
perfluorohexansulfonová kyselina (PFHxS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---		
perfluoroheptansulfonová kyselina (PFHpS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---		
perfluoroktansulfonová kyselina (PFOS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	0.67	± 40.0%	<0.30	---	<0.30	---		
perfluorononansulfonová kyselina (PFNS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---		
perfluorodekansulfonová kyselina (PFDS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---		
perfluorododekansulfonová kyselina (PFDoDS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	<0.30	---	<0.30	---		
suma 20 PFAS (2020/2184)	W-PFCLMS03	9.10	ng/l	5.57	± 40.0%	<9.10	---	<9.10	---		
perfluorundekansulfonová kyselina (PFUnDS)	W-PFCLMS03	1.0	ng/l	<1.0	---	<1.0	---	<1.0	---		
perfluorotridekansulfonová kyselina (PFTrDS)	W-PFCLMS03	1.0	ng/l	<1.0	---	<1.0	---	<1.0	---		

Matrice: POVRCHOVÁ VODA				Název vzorku		VZ 3		----		----	
				Identifikace vzorku		PR23C9344004		----		----	
				Datum odběru/čas odběru		9.11.2023 12:15		----		----	
Parametr	Metoda	LOQ	Jednotka	Výsledek	NM	Výsledek	NM	Výsledek	NM		
perfluorované sloučeniny											
kyselina perfluorobutanová (PFBA)	W-PFCLMS03	2.0	ng/l	<2.0	---	----	----	----	----		
kyselina perfluoropentanová (PFPeA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	----	----	----	----		
kyselina perfluorohexanová (PFHxA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	----	----	----	----		
kyselina perfluoroheptanová (PFHpA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	----	----	----	----		



Matrice: POVRCHOVÁ VODA				Název vzorku	VZ 3		----		----	
				Identifikace vzorku	PR23C9344004		----		----	
				Datum odběru/čas odběru	9.11.2023 12:15		----		----	
Parametr	Metoda	LOQ	Jednotka	Výsledek	NM	Výsledek	NM	Výsledek	NM	
perfluorované sloučeniny - pokračování										
kyselina perfluoroktanová (PFOA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	----	---	----	---	----
kyselina perfluorononanová (PFNA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	----	---	----	---	----
kyselina perfluorodekanová (PFDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	----	---	----	---	----
kyselina perfluoroundekanová (PFUnDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	----	---	----	---	----
kyselina perfluorododekanová (PFDoDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	----	---	----	---	----
kyselina perfluorotridekanová (PFTrDA)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	----	---	----	---	----
perfluorobutansulfonová kyselina (PFBS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	----	---	----	---	----
perfluoropentansulfonová kyselina (PFPeS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	----	---	----	---	----
perfluorohexansulfonová kyselina (PFHxS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	----	---	----	---	----
perfluoroheptansulfonová kyselina (PFHpS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	----	---	----	---	----
perfluoroktansulfonová kyselina (PFOS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	----	---	----	---	----
perfluorononansulfonová kyselina (PFNS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	----	---	----	---	----
perfluorodekansulfonová kyselina (PFDS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	----	---	----	---	----
perfluorododekansulfonová kyselina (PFDoDS)	W-PFCLMS03	0.30	ng/l	<0.30	---	----	---	----	---	----
suma 20 PFAS (2020/2184)	W-PFCLMS03	9.10	ng/l	<9.10	---	----	---	----	---	----
perfluorundekansulfonová kyselina (PFUnDS)	W-PFCLMS03	1.0	ng/l	<1.0	---	----	---	----	---	----
perfluorotridekansulfonová kyselina (PFTrDS)	W-PFCLMS03	1.0	ng/l	<1.0	---	----	---	----	---	----

Pokud zákazník neuvede datum a/nebo čas odběru vzorku, laboratoř je z procesních důvodů určí sama, jsou pak rovny datu a/nebo času přijetí vzorků a jsou uvedeny v závorkách. Pokud je čas vzorkování uveden 0:00 znamená to, že zákazník uvedl pouze datum a neuvedl čas vzorkování. Nejistota je rozšířená nejistota měření odpovídající 95% intervalu spolehlivosti s koeficientem rozšíření k = 2.

Vysvětlivky: LOQ = Mez stanovitelnosti; NM = Nejistota měření. NM nezahrnuje nejistotu vzorkování.

Přehled zkušebních metod

Analytické metody	Popis metody
Místo provedení zkoušky: Na Harfě 336/9 Praha 9 - Vysočany Česká Republika 190 00	
W-PFCLMS02	CZ_SOP_D06_03_197.A (US EPA Method 537, ČSN P CEN/TS 15968) Stanovení perfluorovaných a bromovaných sloučenin metodou kapalinové chromatografie s MS/MS detekcí.
W-PFCLMS03	CZ_SOP_D06_03_197.A (US EPA Method 537) Stanovení perfluorovaných a bromovaných sloučenin metodou kapalinové chromatografie s MS/MS detekcí.

Symbol "*" u metody značí zkoušku mimo rozsah akreditace laboratoře nebo subdodavatele. Pokud je v tabulce metod uveden kód UNICO-SUB, informuje pouze o tom, že zkoušky byly provedeny subdodavatelem a výsledky jsou uvedeny v příloze protokolu o zkoušce, včetně informace o akreditaci zkoušky. V případě, že laboratoř použila pro matrici mimo rozsah akreditace nebo nestandardní matrici vzorku postup uvedený v akreditované metodě a vydává neakreditované výsledky, je tato skutečnost uvedena na titulní straně tohoto protokolu v oddílu „Poznámky“. Jsou-li na protokolu o zkoušce výsledky subdodávky, je místo provedení zkoušky mimo laboratoře ALS Czech Republic, s.r.o.

Způsob výpočtu sumačních parametrů je k dispozici na vyžádání v zákaznickém servisu.

Konec protokolu o zkoušce