



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

ÚČINNOST AKTIVNÍHO UHLÍ PŘI ODSTRAŇOVÁNÍ LÉČIV Z VODY

EFFECTIVENESS OF ACTIVATED CARBON IN REMOVING PHARMACEUTICALS FROM WATER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Kučera

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Renata Biela, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav vodního hospodářství obcí
Student: **Jakub Kučera**
Vedoucí práce: **Ing. Renata Biela, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24
Studijní program: B0732A260005 Stavební inženýrství
Studijní obor: 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 bakalářské práce:

Účinnost aktivního uhlí při odstraňování léčiv z vody

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce se bude v první části zabývat možnostmi přísunu léčiv do zdrojů pitné vody a jejich odstraněním v rámci úpravy vody s důrazem na využití aktivního uhlí. V praktické části práce bude sledována kvalita surové a upravené vody v konkrétní úpravně vody před a po výměně aktivního uhlí ve filtrech a následně bude provedeno vyhodnocení účinnosti. Naměřené kvalitativní ukazatele vody budou poskytnuty provozovatelem úpravny.

Cíle a výstupy bakalářské práce:

- řešerše zabývající se problematikou přísunu léčiv do zdrojů pitné vody a možnostmi jejich odstranění v rámci úpravy vody s důrazem na využití aktivního uhlí,
- zpracování a vyhodnocení kvalitativních ukazatelů vody konkrétní úpravny vody poskytnutých vodohospodářskou společností.

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] GRAY, N. F. Water Technology. An Introduction for Environmental Scientists and Engineers. Third Edition. Elsevier, 2010. 747 p. ISBN 978-1-85617-705-4.

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

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

[6] Odborné články ze sborníků konferencí a seminářů.

[7] Podklady poskytnuté vodohospodářskou společností.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 6. 11. 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

Bakalářská práce se zabývá mikropolutanty ve zdrojích pitné vody, konkrétně léčivy a možnostmi jejich odstranění z pitné vody. V teoretické části jsou popsány možné cesty přísunu léčiv do zdrojů vody, dále jsou popsány nejčastější druhy léčiv vyskytující se ve zdrojích a jaké jsou možnosti pro jejich odstranění. Praktická část bakalářské práce je věnována koncentracím léčiv v surové vodě, která je odebírána pro pitné účely a porovnání vlastností původního a nového aktivního uhlí při jejich odstranění. Na závěr je porovnána účinnost odstranění vybraných kvalitativních ukazatelů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Léčiva, úprava pitné vody, granulované aktivní uhlí, účinnost

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with micropollutants in drinking water sources, specifically pharmaceuticals and the possibilities of their removal from drinking water. The theoretical part describes the possible pathways for the supply of pharmaceuticals to water sources, the most common types of pharmaceuticals found in water sources and the options for their removal. The practical part of the bachelor thesis is devoted to the concentrations of pharmaceuticals in raw water taken for drinking purposes and comparison of the properties of original and new activated carbon in their removal. Finally, the removal efficiency of selected quality parameters is compared.

KEYWORDS

Pharmaceuticals, drinking water treatment, granular activated carbon, effectiveness

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KUČERA, Jakub. *Účinnost aktivního uhlí při odstraňování léčiv z vody*. Brno, 2024. Bakalářská 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 bakalářskou práci s názvem *Účinnost aktivního uhlí při odstraňování léčiv z vody* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2024

Jakub Kučera

autor

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Účinnost aktivního uhlí při odstraňování léčiv z vody* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 24. 5. 2024

Jakub Kučera

autor

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí bakalářské práce Ing. Renatě Biele, Ph.D. za odborné vedení, připomínky, cenné rady a poskytnuté materiály. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Zdeňce Jedličkové z Vodárenské akciové společnosti, a.s. za poskytnuté materiály a rady ke zpracování praktické části bakalářské práce.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat mé rodině a přátelům za podporu nejen při psaní bakalářské práce, ale i během celého studia.

OBSAH

1	ÚVOD	1
1.1	Cíl práce	1
2	PŘÍSUN LÉČIV DO ZDROJŮ PITNÉ VODY	2
2.1	Znečištění povrchové vody léčivy z odpadních vod.....	3
2.2	Přenos léčiv z půdy do podzemních vod	4
2.3	Legislativa	5
2.3.1	Legislativní požadavky na povrchovou vodu.....	5
2.3.2	Legislativní požadavky na podzemní vodu	6
2.3.3	Legislativní požadavky na pitnou vodu	6
2.4	Monitoring léčiv	6
2.4.1	Monitoring léčiv v České republice.....	6
2.4.2	Monitoring léčiv v Evropě.....	8
3	NEJČASTĚJŠÍ LÉČIVA VE ZDROJÍCH PITNÉ VODY.....	9
3.1	Nesteroidní protizánětlivá léčiva.....	9
3.1.1	Ibuprofen	9
3.1.2	Diklofenak	10
3.1.3	Naproxen	10
3.1.4	Kyselina acetylsalicylová	11
3.2	Antiepileptika.....	11
3.2.1	Karbamazepin	11
3.2.2	Gabapentin	12
3.3	Antidepresiva	13
3.3.1	Venlafaxin.....	13
3.4	Antidiabetika.....	14
3.4.1	Metformin	14
3.5	Antibiotika	14
3.5.1	Sulfamethoxazol	14
3.5.2	Azitromycin	15
3.6	Spotřeba léčiv v České republice.....	16

4	MOŽNOSTI ODSTRANĚNÍ LÉČIV Z VODY	17
4.1	Pokročilé oxidační procesy	17
4.1.1	Ozonizace	17
4.1.2	UV záření	17
4.2	Membránové procesy	18
4.2.1	Mikrofiltrace	18
4.2.2	Ultrafiltrace	19
4.2.3	Nanofiltrace	19
4.2.4	Reverzní osmóza	19
4.3	Adsorpce	20
4.3.1	Aktivní uhlí	20
5	PRAKTICKÁ ČÁST	26
5.1	Technologie úpravy vody	26
5.1.1	První stupeň úpravy	27
5.1.2	Druhý stupeň úpravy	28
5.1.3	Třetí stupeň úpravy	28
5.1.4	Dezinfekce a doúprava vody	31
5.1.5	Akumulace	32
5.2	Léčiva v surové a pitné vodě	32
5.2.1	Koncentrace léčiv v surové vodě	32
5.2.2	Účinnost aktivního uhlí při odstraňování léčiv	33
5.3	Kvalitativní ukazatele v surové a pitné vodě	36
5.3.1	Odstranění $CHSK_{Mn}$	36
5.3.2	Odstranění železa a manganu	40
5.3.3	Vyhodnocení účinnosti odstranění kvalitativních ukazatelů	45
6	ZÁVĚR	46
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	47
	SEZNAM OBRÁZKŮ	53
	SEZNAM TABULEK	55
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	56

1 ÚVOD

S rostoucím vlivem lidské činnosti na životní prostředí se kvalita vodních zdrojů stává stále větší výzvou. Znečištění vod je jedním z nejvýznamnějších environmentálních problémů dnešní doby. Vodní zdroje jsou vystaveny různým typům znečištění, které zahrnují nejen tradiční znečišťující látky, jako jsou těžké kovy a organické látky, ale také nové typy znečištění, známé jako mikropolutanty.

Mikropolutanty jsou chemické látky, které se vyskytují ve vodním prostředí v nízkých koncentracích a mají potenciálně škodlivé účinky na lidské zdraví a životní prostředí. Mezi mikropolutanty patří látky jako léčiva, pesticidy, hormony a další chemické látky používané v průmyslu a domácnostech.

Používání farmak je dnes nedílnou součástí našeho života, nacházejí se v léčích na předpis, volně prodejných terapeutických přípravcích a veterinárních léčivech. Jejich využití a rozmanitost se celosvětově rozšiřuje díky rostoucí životní úrovni a pokrokům v oblasti farmacie.

Odstraňování mikropolutantů z vody je složitý proces, který vyžaduje použití účinných technologií a metod. Jednou z nejúčinnějších metod pro odstraňování mikropolutantů z vody je použití aktivního uhlí. Aktivní uhlí je adsorpční médium s vysokou plochou a adsorpční schopností, které umožňuje účinně vázat a odstraňovat širokou škálu látek obsažených ve vodě, včetně mikropolutantů.

1.1 CÍL PRÁCE

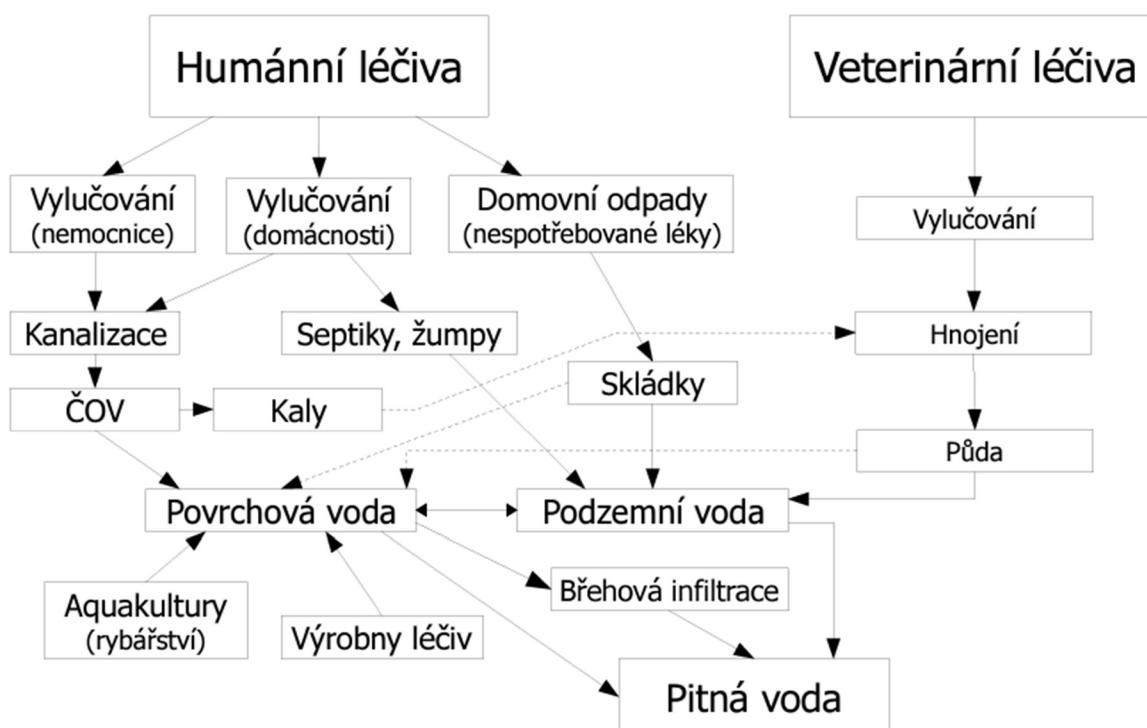
Cílem bakalářské práce je rešerše, která se bude zabývat problematikou přísunu léčiv do zdrojů pitné vody a možnostmi jejich odstranění v rámci úpravy vody s důrazem na využití aktivního uhlí. Dále budou zpracovány a vyhodnoceny kvalitativní ukazatele vody konkrétní úpravny vody.

2 PŘÍSMUN LÉČIV DO ZDROJŮ PITNÉ VODY

Léčiva jsou syntetické nebo přírodní chemické látky, které se nacházejí v léčích na předpis, volně prodejných léčivech a veterinárních léčivých přípravcích. Farmaceutické přípravky obsahují účinné látky, které byly navrženy tak, aby měly farmakologické účinky a přinášely společnosti významné výhody. Léčiva se mohou do vodních zdrojů dostat prostřednictvím odpadních vod, do nichž se dostávají produkty lidského metabolismu, které tyto chemické látky užívaly, z nekontrolované likvidace léčiv (např. vyhazování léků do toalet) a ze zemědělských splachů. [1]

Léčiva jsou chemicky různorodá a stále se rozšiřující skupina látek. Jsou to látky hojně používané v humánní i veterinární medicíně. Jedná se o velmi málo prozkoumanou škálu mikropolutantů, které jsou tvořeny účinnou léčivou látkou a také i jejich méně sledovanými metabolity. Tyto metabolity jsou ve vodě více rozpustné, a tím představují pro životní prostředí a lidské zdraví stejné nebo vyšší riziko než původní účinná léčivá látka. [2]

Léčiva se do vodního prostředí dostávají v nezměněné nebo metabolizované formě. Míra, do jaké léčivo podléhá přeměně, se liší léčivo od léčiva. Z velké části jsou léčiva metabolizována jenom částečně, což má za následek, že se v životním prostředí vyskytuje jak původní léčivá látka, tak i její metabolit. Menší část buď přeměně nepodléhá, nebo podléhá přeměně úplně. Transport farmak v životním prostředí je znázorněn na Obr. 2.1. [2]



Obr. 2.1 Schéma možných zdrojů a cest výskytu léčiv ve vodním prostředí [3]

2.1 ZNEČIŠTĚNÍ POVRCHOVÉ VODY LÉČIVY Z ODPADNÍCH VOD

Nejvyšší podíl na výskytu léčiv v povrchových vodách mají bodové zdroje, to jsou např. čistírny odpadních vod, odpadní voda z nemocničních čistíren odpadních vod a farmaceutický průmysl. Nejvýznamnějšími zdroji léčiv, které přitékají v odpadních vodách na čistírny odpadních vod, jsou domácnosti, domovy důchodců a zdravotnické služby. Čistírny odpadních vod čistí odpadní vody kombinací biologických, chemických a fyzikálních čistících procesů, avšak těmito procesy nejsou léčiva zcela odstraněna. Perzistentní léčiva ve vyčištěných odpadních vodách jsou pak vypouštěna do povrchových vod. Farmaceutické sloučeniny mají potenciál podléhat přeměně. Během čištění odpadních vod mohou tyto látky a produkty přeměny podléhat různým chemickým a biologickým procesům (např. hydrolýze, oxidaci, fotodegradaci). [4]

Na Obr. 2.2 je graficky znázorněno množství léčiv ve vzorcích povrchových vod v Evropě v období let 2020–2022.



Obr. 2.2 Léčiva v povrchových vodách v Evropě v období 2020–2022 [5]

Na Obr. 2.3 je graficky znázorněno množství léčiv ve vzorcích odpadních vod v České republice v období let 2020 až 2022.

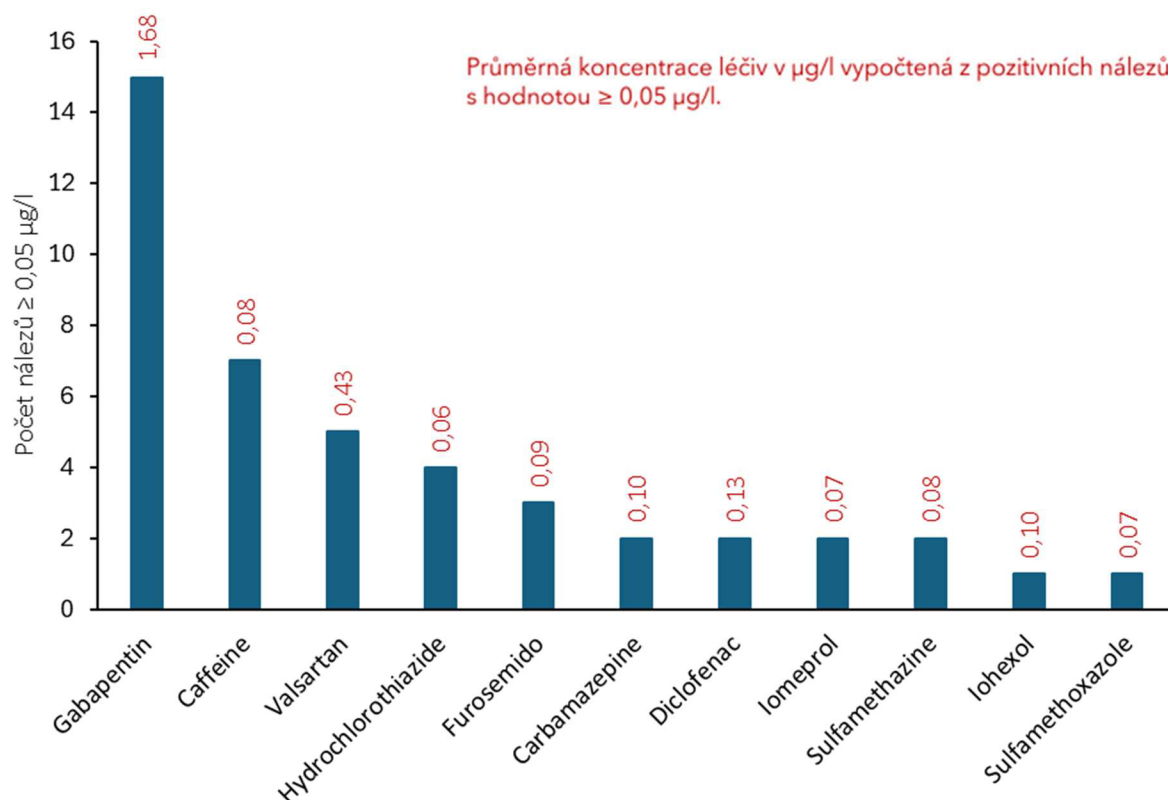


Obr. 2.3 Léčiva v odpadních vodách v České republice v letech 2020–2022 [5]

2.2 PŘENOS LÉČIV Z PŮDY DO PODZEMNÍCH VOD

Podzemní vody jsou méně náchylné na kontaminaci různými druhy farmak oproti povrchovým vodám, ale v systémech podzemních vod byla zjištěna rezidua mnoha druhů farmak, které se hůře odstraňují z matric, jako je nenasycená zóna hornin a sedimentů. V podzemních vodách byly pozorovány rezidua humánních i veterinárních léčiv. Bylo zjištěno, že podzemní voda je kontaminována těmito polutanty v důsledku zavlažování polí a zemědělské půdy vyčištěnými odpadními vodami. Dalšími potencionálními zdroji léčiv v podzemní vodě jsou úniky ze skládek nebo také zavlažování zemědělské půdy, která byla hnojena biosolidy z městských odpadních vod. Léčivé látky jsou do podzemní vody transportovány vyluhovacím mechanismem. Míra koncentrace léčiv je udávána hloubkou, v jaké se podzemní voda nachází, dalšími rozhodujícími prvky je půdní mineralogie, hydraulické vlastnosti půdy a topografie oblasti, protože vyšší sklon může ovlivnit míru infiltrace vody do podzemí. [6]

Společnost ALS Czech Republic, s.r.o. provedla v letech 2020–2022 monitoring koncentrace léčiv v podzemních vodách v České republice. Na Obr. 2.4 jsou znázorněny počty nálezů různých druhů léčiv v podzemních vodách.



Obr. 2.4 Léčiva v podzemních vodách v České republice v období 2020–2022 [5]

2.3 LEGISLATIVA

2.3.1 Legislativní požadavky na povrchovou vodu

Problematika kvality povrchových vod je v Evropské unii řešena Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES ze dne 16. prosince 2008 o normách enviromentální kvality v oblasti vodní politiky. [5]

V České republice řeší kvalitu povrchových vod Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., ze dne 14. prosince 2015 o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do povrchových vod a do kanalizací a o citlivých oblastech. [5]

Léčivé látky nejsou zařazeny na seznam prioritních látek, nejsou tedy pro ně stanoveny normy enviromentální kvality v povrchových vodách. Tyto normy stanovují přípustné znečištění danými látkami nebo jejich skupinami. V roce 2021 bylo Státním fondem životního prostředí ČR vydáno doporučení pro implementaci opatření na odstranění znečištění povrchových vod od zbytků léčiv. Na indikativním seznamu bylo stanoveno 33 látek pro snížení farmaceutického znečištění vodních toků. [5]

2.3.2 Legislativní požadavky na podzemní vodu

V Evropské unii je legislativní ochrana podzemních vod řešena Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2006/118/ES ze dne 12. prosince 2006 o ochraně podzemních vod před znečištěním a zhoršováním stavu. [5]

V České republice je podzemní voda ošetřena vyhláškou č. 5/2011 Sb., o vymezení hydrogeologických rajonů a útvarů podzemních vod, způsobu hodnocení stavu podzemních vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod. [5]

2.3.3 Legislativní požadavky na pitnou vodu

Kvalita pitné vody v Evropské unii je řešena Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2020/2184 vydaná dne 16. prosince 2020 o jakosti vody k lidské spotřebě. [5]

V České republice je kvalita pitné vody obsažena ve vyhlášce č. 252/2004 Sb., která stanovuje hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Avšak v těchto požadavcích nejsou stanovena léčiva jako ukazatel jakosti pitné vody. Dále je platné stanovisko Národního referenčního centra pro pitnou vodu ohledně sledování léčiv v pitné vodě a jejich přijatelných koncentrací. Doporučené přijatelné koncentrace jsou: [5]

- a) koncentrace jednotlivých léčiv a jejich metabolitů do 0,1 µg/l,
- b) koncentrace sumy kvantitativně zjištěných léčiv do 0,5 µg/l.

V případě, že provozovatel nalezne v upravované vodě léčiva do uvedených limitních hodnot, může vyhodnotit jejich přítomnost jako nízké riziko a nevěnovat jim v provozním řádu pozornost, ale musí tento nález oznámit krajské hygienické stanici. [5]

2.4 MONITORING LÉČIV

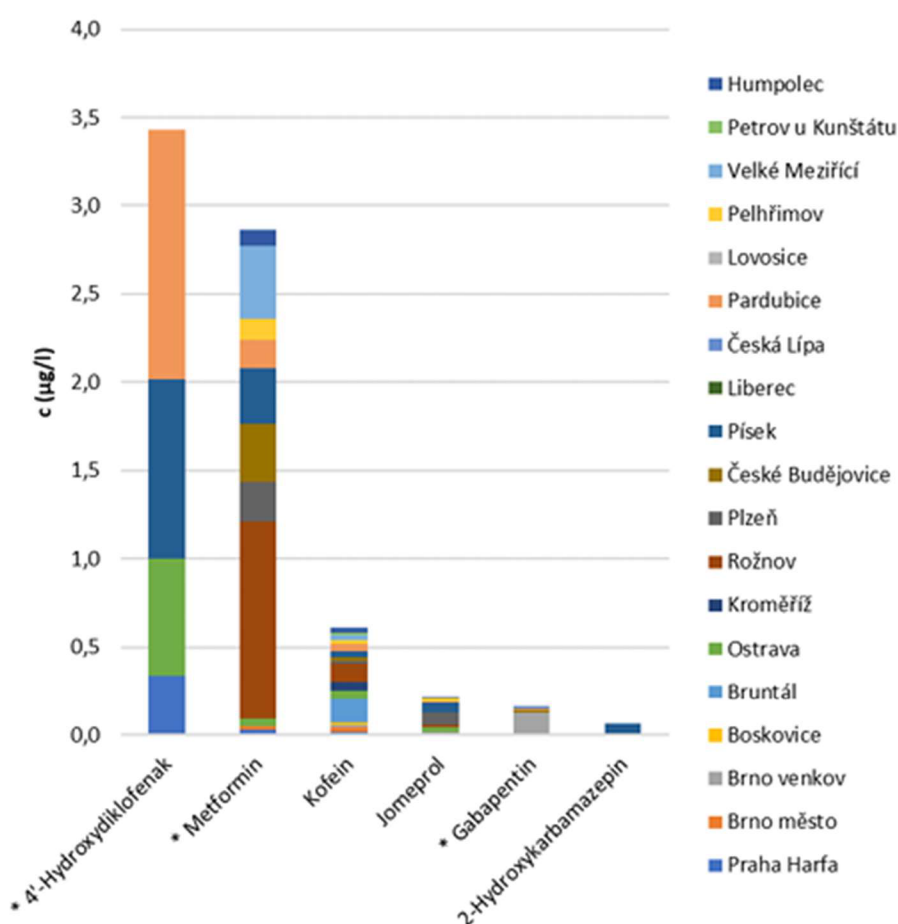
V současné době jsou vyvíjeny ve výzkumných laboratořích nové a účinnější metody pro sledování léčiv v životním prostředí. Z publikovaných studií je zřejmé, že hlavními zdroji znečišťujícími životní prostředí jsou nemocniční zařízení, volně prodejná léčiva, a především odtoky z čistíren odpadních vod, které nedisponují technologií na odstraňování léčiv a jejich metabolitů. [7]

2.4.1 Monitoring léčiv v České republice

V roce 2014 a 2015 byl proveden výzkum stanovující účinnost přírodních čistíren odpadních vod s horizontálním průtokem při odstraňování léčiv z odpadní vody. Výzkum ukázal, že ve všech odebraných vzorcích přitékající vody bylo nalezeno 7 látek, a to ibuprofen, diklofenak, metoprolol, furosemid, hydrochlorothiazid, paracetamol a kofein. Dalších 7 látek bylo nalezeno ve 75 % odebraných vzorků

přitékající odpadní vody a to klaritromycin, gabapentin, ketoprofen, triklokarban, triklosan, warfarin a tramadol. Nejvyšší průměrné odstranění bylo zjištěno u paracetamolu, a to 91 %, kofeinu (84 %) a furosemidu (75 %). Nejnižší účinnost odstranění byla zjištěna pro gabapentinu (14 %). [8]

V roce 2022 byl společností ALS Czech Republic, s.r.o. proveden monitoring výskytu léčiv a jejich metabolitů v pitné vodě v 19 českých městech. Průměrná sumární koncentrace léčiv byla v testovaných vodách 0,36 µg/l, nejvyšší koncentrace ve vzorku byla 1,64 µg/l. Průměrně bylo v každé vodě detekováno 5 léčiv, nejvíce pak 12 léčiv ve vzorku. Nejčastějším nalezeným léčivem byl metformin, který byl nalezen v 18 vzorcích. Koncentrace jednotlivých léčiv naměřených v testovaných pitných vodách jsou graficky sumarizovány na Obr. 2.5. Léčiva, na která v rámci výzvy z Norských fondů upozornil SFŽP ČR, jsou v grafu vyznačena hvězdičkou. [2]



Obr. 2.5 Nejčastější výskyt léčiv v pitných vodách odebraných v roce 2022 v 19 českých městech [5]

V roce 2022 provedla rozsáhlý výzkum společnost Vodárenská akciová společnost a.s., kde byly odebírány vzorky vody na přítoku a odtoku z čistíren odpadních vod s různou technologií u 12 větších měst v Jihomoravském kraji a kraji Vysočina. Bylo analyzováno více než 270 vzorků odpadní vody a 35 vzorků kalů. Bylo zjištěno, že na ČOV přiteče z města s 10 tisíci obyvateli s odpadní vodou 271 balení po 100 tabletách ibalginu. Po průchodu technologií ČOV byla zjištěna pouze 3 balení. Podobná situace byla stanovena i pro atorvastatin, u kterého kanalizací na ČOV přiteklo 103 balení a po průchodu technologií zůstalo 16 balení. [9]

2.4.2 Monitoring léčiv v Evropě

V roce 2016 proběhl monitoring povrchových vod na výskyt léčiv v řece Seině v Paříži. Byly detekovány relativně vysoké koncentrace gabapentinu (182 ng/l), tramadolu (62,6 ng/l), oxazepamu (45,3 ng/l), diklofenaku (28 ng/l) a karbamazepinu (22 ng/l). [10]

V roce 2016 byla v Norsku vyvinuta multiresiduální metoda pro stanovení 51 léčiv a psychoaktivních drog v odpadních vodách. Ve všech vzorcích byly nalezeny vysoké koncentrace léčiv, např. paracetamol, metoprolol, propranolol, karbamazepin a oxazepam a psychoaktivních drog a jejich metabolitů, např. heroin a morfin. [11]

3 NEJČASTĚJŠÍ LÉČIVA VE ZDROJÍCH PITNÉ VODY

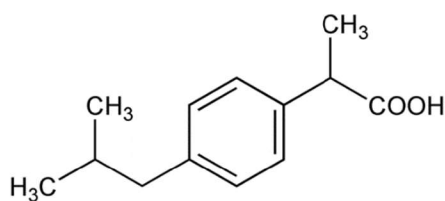
Nejčastěji nalezená léčiva v pitné vodě zahrnují širokou škálu látek, od běžně používaných léků proti bolesti nebo zánětu, jako je ibuprofen a kyselina acetylsalicylová, antidepresiva, antibiotika až po antiepileptika. Přítomnost těchto látek ve zdrojích pitné vody je způsobena různými faktory, včetně lidského vylučování a nedostatečného odbourávání těchto látek během procesů čištění odpadní vody. [12]

3.1 NESTEROIDNÍ PROTIZÁNĚTLIVÁ LÉČIVA

Nesteroidní protizánětlivé léky (NSPZL) jsou léky, které pomáhají zmírnit zánět, bolest a horečku. Jedná se o jedny z nejužívanějších léčiv a jejich spotřeba se celoročně v České republice počítá na tuny. Nesteroidní protizánětlivá léčiva jsou např. ibuprofen, diklofenak, naproxen, kyselina acetylsalicylová a další. [13]

3.1.1 Ibuprofen

Ibuprofen patří mezi nesteroidní protizánětlivé látky. Rozšířil paletu volně prodejných analgetik např. u bolestí zubů, hlavy atd. Užívá se u dospělých i u dětí ke snížení horečky a tlumení bolestí provázejících akutní infekční onemocnění. Protizánětlivé účinky ibuprofenu jsou spíše mírné a je jich dosaženo až po vyšších dávkách (1600–3200 mg na den), než jsou běžné analgetické dávky (400–1200 mg na den). Ibuprofen je pro svou dobrou toleranci a malé nežádoucí účinky velmi často používaný u revmatoidní artritidy i mimokloubního revmatismu. [14]

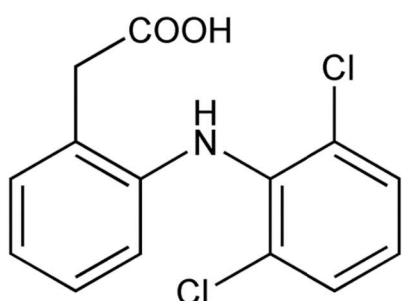


Obr. 3.1 Chemický vzorec ibuprofenu [15]

Obr. 3.2 Lék obsahující látku ibuprofen [16]

3.1.2 Diklofenak

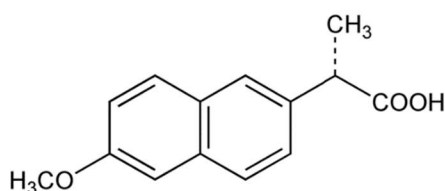
Diklofenak je velmi často užívanou látkou, která má protizánětlivý, analgetický a mírný antipyretický účinek. Po perorálním podání je jeho biologická dostupnost 30-70 %. V játrech se metabolizuje na inaktivní metabolity. Má krátký biologický poločas, který se prodlužuje v synoviální tekutině až na 6 hodin. Je vhodný pro potlačení bolesti u kloubního revmatu, u akutních svalových bolestí, u bolesti hlavy, pooperačních bolestí a v gynekologii se používá u nádorových bolestí. Lokálně se používá i v očním lékařství, k prevenci postoperativních zánětů. Nežádoucí účinky se vyskytují asi u 10 až 20 % léčených pacientů a jsou spíše mírné. Jedná se např. o bolesti hlavy, nespavost, podrážděnost, fotosenzitivitu a další. [14]



Obr. 3.3 Chemický vzorec diklofenaku [17] Obr. 3.4 Lék obsahující látku diklofenak [18]

3.1.3 Naproxen

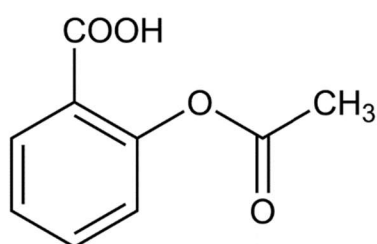
Naproxen patří k látkám se středně dlouhým biologickým poločasem (14 hodin). Podává se 1 - 2krát denně, má malé nežádoucí účinky a je relativně šetrný k trávicímu ústrojí. [14]



Obr. 3.5 Chemický vzorec naproxenu [19] Obr. 3.6 Lék obsahující látku naproxen [20]

3.1.4 Kyselina acetylsalicylová

Kyselina acetylsalicylová je nesteroidní protizánětlivý lék, který působí jako analgetikum (tlumí bolest), antipyretikum (sráží horečku), antiflogistikum (působí proti zánětům) a antiagregans (snižuje krevní srážlivost). Nesmí se podávat dětem do 12 let, protože může být spouštěčem tzv. Reyeova syndromu, který může skončit závažným poškozením mozku nebo úmrtím. Kyselina acetylsalicylová se prodává pod názvy Acylpyrin, Aspirin aj. [21]



Obr. 3.7 Chemický vzorec kyseliny acetylsalicylové [22]



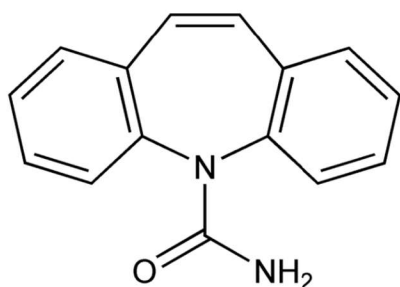
Obr. 3.8 Lék obsahující kyselinu acetylsalicylovou [23]

3.2 ANTIEPILEPTIKA

Antiepileptika se používají k léčbě epilepsie. Epilepsie je neurologické onemocnění, které se charakterizuje opakovanými záchvaty. Antiepileptika pomáhají snižovat frekvenci a intenzitu záchvatů tím, že ovlivňují elektrickou aktivitu mozku. [14; 24]

3.2.1 Karbamazepin

Patří mezi nejvíce užívaná antiepileptika při tonicko-klonických a částečných záchvatech. Je chemickým derivátem tricyklických antidepresiv. Hlavním farmakologickým mechanismem je brždění funkce napětově řízeného sodíkového kanálu. Nežádoucí účinky závisí na dávce, patří k nim ataxie, ospalost, poruchy vidění s diplopií, v některých případech je nutné lék vysadit z důvodů kožních reakcí, gastrointestinálních obtíží nebo hyponatrémii. Vážnějšími nežádoucími účinky mohou být jaterní selhání a inhibice krvetvorby. [14]



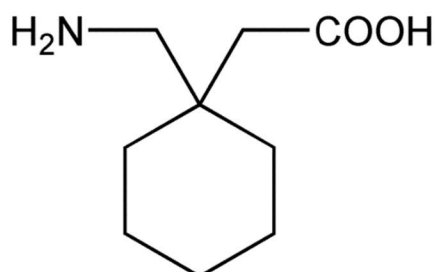
Obr. 3.9 Chemický vzorec karbamazepinu [25]



Obr. 3.10 Lék obsahující látku karbamazepin [26]

3.2.2 Gabapentin

Gabapentin má dobré antiepileptické účinky při tonicko-klonických a částečných záchvatech. Jeho farmakologický mechanismus působení nebyl dosud objasněn. Při klinickém užívání jsou zatím minimální nežádoucí účinky gabapentinu. Také nebyly pozorovány žádné interakce s ostatními antiepileptiky, což dává možnost užití pro kombinovanou terapii. [14]



Obr. 3.11 Chemický vzorec gabapentinu [27]



Obr. 3.12 Lék obsahující látku gabapentin [28]

3.3 ANTIDEPRESIVA

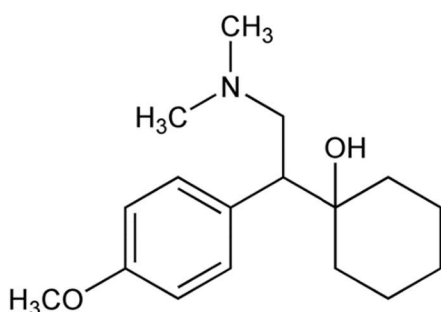
Antidepressiva se používají k léčbě depresivních poruch. Pomáhají zmiřňovat symptomy deprese tím, že ovlivňují chemické látky v mozku, které regulují náladu a emoční stav. [14; 24]

Deprese je jedna z nejčastějších psychických poruch. Riziko pro rozvoj deprese se odhaduje zhruba okolo 20 % u žen a 10 % u mužů. Antidepressiva tedy představují početnou skupinu léčiv a řadí se mezi celosvětově nejprodávanější léčiva. [24]

3.3.1 Venlafaxin

Venlafaxin se používá při léčbě deprese a řadí se mezi antidepressiva a inhibitory zpětného vychytávání serotoninu a noradrenalinu. Působení spočívá v tom, že zabraňuje přepravě serotoninu a noradrenalinu ze synaptické štěrbině zpět do váček v presynaptickém zakončení nervové buňky. Díky tomu je v synaptické štěrbině větší množství serotoninu a noradrenalinu. [29]

Venlafaxin jako chirální látka podléhá spolu se svými metabolity stereoselektivnímu rozkladu. Venlafaxin se dále rozkládá za vzniku O-N desmethylvenlafaxinu a cyklického venlafaxinu. Ze všech metabolitů venlafaxinu je hlavní O-desmethylvenlafaxin. [30]



Obr. 3.13 Chemický vzorec venlafaxinu [31]



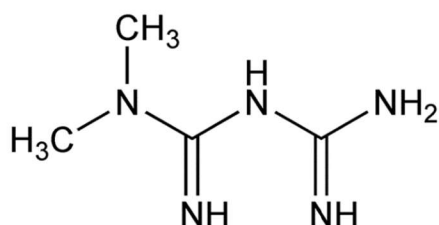
Obr. 3.14 Lék obsahující látku venlafaxin [32]

3.4 ANTIDIABETIKA

Antidiabetika se používají k léčbě cukrovky. Mají za cíl regulovat hladinu cukru v krvi. Existuje několik typů antidiabetik, ty se liší svým mechanismem účinků a jakým způsobem ovlivňují metabolismus glukózy. [14; 24]

3.4.1 Metformin

Metformin se používá k léčbě cukrovky 2. typu. Používá se buď samostatně, nebo v kombinaci s jinými antidiabetiky. Pomáhá kontrolovat hladinu glukózy v krvi, snižuje jak množství glukózy vstřebané z potravin, tak i množství glukózy, která se vytváří v játrech. Zvyšuje také citlivost organismu na inzulín. Metformin se nepoužívá na léčbu cukrovky 1. typu. [33]



Obr. 3.15 Chemický vzorec metforminu [34]

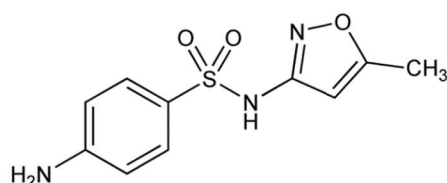
Obr. 3.16 Lék obsahující látku metformin [35]

3.5 ANTIBIOTIKA

Antibiotika jsou léčiva, která se používají k léčbě bakteriálních infekcí. Fungují tak, že zabíjejí bakterie (baktericidní antibiotika) nebo brání jejich růstu a množení (bakteriostatická antibiotika). Jsou účinná proti bakteriím, ale nejsou účinná proti virům. [14; 24]

3.5.1 Sulfamethoxazol

Sulfamethoxazol je účinná látka, která patří do skupiny sulfanamidových antibiotik. Často se kombinuje s trimethoprimem. Sulfamethoxazol funguje jako bakteriostatické antibiotikum, brání tedy růstu a množení bakterií, aniž by je zabíjelo. Je využíván k léčbě různých bakteriálních infekcí, včetně infekcí močových cest, dýchacích cest, střevních infekcí a dalších. Kombinace sulfamethoxazolu s trimethoprimem je širokospektrální antibiotikum, které účinně působí proti různým druhům bakterií. [14]



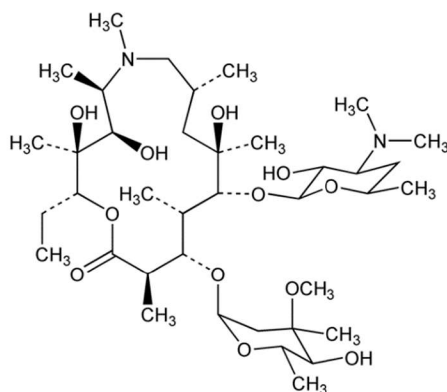
Obr. 3.17 Chemický vzorec sulfamethoxazolu [36]



Obr. 3.18 Lék obsahující látku sulfamethoxazol [37]

3.5.2 Azitromycin

Azitromycin je antibiotikum, které patří do třídy makrolidů. Mechanismus účinků azitromycinu spočívá v inhibici syntézy bakteriálních proteinů. Má dlouhý poločas rozpadu v těle, což znamená, že může být užíván v kratších léčebných režimech než jiná antibiotika. Používá se k léčbě respiračních infekcí, např. infekce horních a dolních dýchacích cest, infekce kůže a měkkých tkání a také k léčbě určitých pohlavně přenosných infekcí, jako jsou např. chlamydie. [14]



Obr. 3.19 Chemický vzorec azitromycinu [38]



Obr. 3.20 Lék obsahující látku azitromycin [39]

3.6 SPOTŘEBA LÉČIV V ČESKÉ REPUBLICE

V České republice je na trhu přibližně 3000 účinných složek. Podle databáze ministerstva průmyslu a obchodu se v roce 2022 prodalo 180,4 mil. balení léčiv na předpis a 84,5 mil. balení volně prodejných léčiv. [40]

Tab. 3.1 Rozdělení počtu vydaných balení na trhu s léky na předpis dle WHO ATC skupin v ČR za rok 2022 [40]

Léčiva	Balení [%]
Cytostatika a imunomodulační léčiva	1
Nervový systém	19
Trávicí trakt a metabolismus	14
Antiinfektiva pro systémovou aplikaci	9
Krev a krevetvorné orgány	5
Kardiovaskulární systém	23
Respirační systém	9
Muskuloskeletální systém	6
Urogenitální trakt a pohlavní hormony	4
Ostatní	10

4 MOŽNOSTI ODSTRANĚNÍ LÉČIV Z VODY

Vzhledem k vlastnostem léčiv je malá pravděpodobnost, že léčiva, která jsou přítomna v surové vodě, budou odstraněna klasickými úpravárenskými procesy, jako je např. provzdušnění, flokulace, filtrace, písková filtrace nebo dezinfekce. Pro některá léčiva, jako jsou karbamazepin, diklofenak a iopromid, byla stanovena účinnost pro odstranění při flokulačních pokusech s Fe a Al solemi menší jak 20 %. Účinnějšími metodami pro odstranění léčiv z vody, oproti klasickým způsobům úpravy vody, je adsorpce na aktivním uhlí a ozonizace, i když ani tyto způsoby nedokáží zcela odstranit všechny látky. [3]

4.1 POKROČILÉ OXIDAČNÍ PROCESY

Pokročilé oxidační procesy jsou považovány za čisté procesy pro oxidaci širokého spektra organických polutantů přítomných ve vodách. Jedná se o soubor procesů zahrnující výrobu vysoce reaktivních hydroxylových radikálů (OH), které jsou druhou nejsilnější oxidační skupinou. Oxidační procesy spolehlivě odstraňují léčiva a jiné druhy znečištění, např. aromatické uhlovodíky, pesticidy, barviva, těžké organické sloučeniny a další. Použití oxidačních procesů může být různé v závislosti na specifických vlastnostech upravované vody. Tyto procesy mohou být realizované za pomoci ultrafialového záření (UV), kyslíku (O₂), ozonu (O₃), peroxidu vodíku (H₂O₂) nebo kombinací některých z nich. [41]

4.1.1 Ozonizace

Při ozonizaci mohou být kontaminanty rozkládány přímými nebo nepřímými reakčními mechanismy: ozon může selektivně napadat určité funkční skupiny organických molekul nebo může být rozkládán ve vodě za vzniku hydroxylových radikálů, které jsou ještě silnějšími oxidanty než samotný ozon. Ozonizace se obvykle zvyšuje při vysokých hodnotách pH v důsledku zvýšené produkce hydroxylových radikálů. Úpravu lze zlepšit kombinací světelného záření s peroxidem vodíku nebo kovovými komplexy, které působí jako katalyzátory. [41]

4.1.2 UV záření

Vakuové UV záření je dalším z pokročilých oxidačních procesů s vysoce účinným procesem pro rozklad mikropolutantů. Jedná se o bezoxidační proces na bázi UV záření, který je založen na tvorbě relativních forem, např. HO-, H-, HO₂, fotolýzou vody ozářením pomocí VUV (fotony o vlnové délce menší než 200 nm). VUV fotony mohou být generovány ze zdrojů jako jsou např. excimerové lampy a nízkotlaké Hg lampy. [42]

4.2 MEMBRÁNOVÉ PROCESY

Membránové procesy jsou dalším způsobem pro odstraňování léčiv a dalších mikropolutantů z vody. Při membránové filtraci působí membrána jako selektivní bariéra, která omezuje průchod kontaminantů, jako jsou organické sloučeniny, ionty kovů, živiny a mikroorganismy a umožňuje průchod upravené vody membránou. Běžně používané membránové procesy se dělí do čtyř hlavních kategorií: mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace a reverzní osmóza. [41]

Tab. 4.1 Přehled membránových procesů [41]

Membránový proces	Velikost pórů	Pracovní tlak	Aplikace
Mikrofiltrace	50–10 ⁴ nm	5–500 kPa	Odstraňování částic a mikroorganismů, farmaceutický průmysl, úprava vody
Ultrafiltrace	5–100 nm	< 1 MPa	Úprava znečištěné vody, sterilní filtrace vody
Nanofiltrace	1–10 nm	< 4 MPa	Odsolování vody, odstraňování mikropolutantů, separace látek
Reverzní osmóza	Neporézní	> 5–10 MPa	Výroba ultračisté vody, regenerace komunálních odpadních vod, odsolování mořské vody

4.2.1 Mikrofiltrace

Mikrofiltrace je fyzikální proces, který je schopný zachytit částice o velikosti od 50 nm do 10⁴ nm, při působení tlaku 5–500 kPa. Tento proces je schopný odstranit mikrobiální buňky, bakterie, řasy a koloidy, převážně se tedy používá u povrchových vod, kde se nevyskytují nadlimitní koncentrace anorganických iontů nebo organických látek. Pro výrobu membrán se nejčastěji používá polymer s rovnoměrnou velikostí a vysokou hustotou pórů (75–80 %). Membrány se vyrábí v různých formách, např. trubicové, kapilární, z dutých vláken a spirálově vinuté. [41; 43]

4.2.2 Ultrafiltrace

Ultrafiltrace je podobný proces jako mikrofiltrace s tím rozdílem, že póry membrány jsou mnohem menší a tlak potřebný k protlačení vody mnohem větší. Velikost pórů membrány je od 5 nm do 100 nm a potřebný pracovní tlak je menší než 1 MPa. Membrány jsou nejčastěji vyrobeny z organických polymerních materiálů jako jsou polysulfony, polyakralonitrily, polyamidy a acetáty celulózy. Také se kromě těchto látek používají anorganické keramické materiály, např. Al_2O_3 a ZrO_2 . Aktivní vrstva ultrafiltračních membrán je velmi tenká (0,1 – 1,0 μm), a proto musí být podepřeny na silnější a vysoce porézní vrstvě (50 – 250 μm), která má tvar trubice, kapiláry nebo je spirálovitě vinutá. [41; 43]

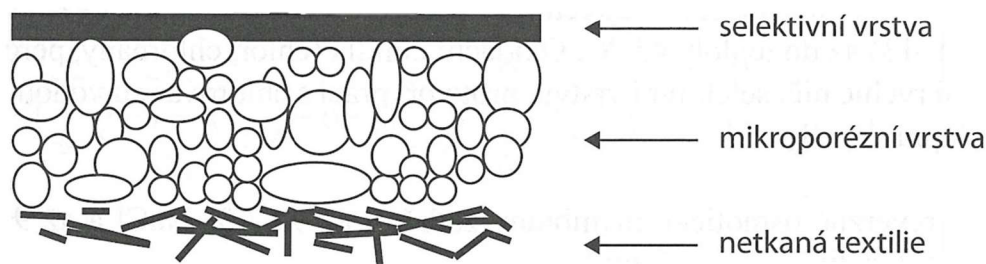
4.2.3 Nanofiltrace

Nanofiltrace je tlakově řízený proces, který využívá membrány, které jsou schopné jak fyzikálního prosévání, tak difuzně řízeného transportu. Toho je docíleno pomocí tenkých filmových necelulózových membrán. V porovnání s reverzní osmózou pracuje nanofiltrace s mnohem nižšími tlaky (< 4 MPa), ale poskytuje vyšší průtok upravované vody. Nanofiltrace není tedy schopná produkovat upravenou vodu stejné kvality jako reversní osmóza, ale přebírá mnoho oblastí, kde nestačila ultrafiltrace. Velikost pórů nanofiltrace je 1 nm – 10 nm. Molekulární rozklad pro nanofiltraci je přibližně 200, pokud není požadována vysoká separace sodíku (typická pro reversní osmózu), ale kde jsou jiné soli jako Ca^{2+} a Mg^{2+} , a další dvojmocné soli, které je potřeba odstranit. Dále se nanofiltrace používá pro odstraňování barvy, celkového organického uhlíku, huminových kyselin a organických molekul. [41; 43]

4.2.4 Reverzní osmóza

Reverzní osmóza využívá polopropustnou membránu, která na rozdíl od mikrofiltrace a ultrafiltrace nemá póry. Odstraňování mikropolutantů probíhá difuzně řízeným transportem, což je mechanismus, kdy jedna molekula za druhou difunduje skrz volná místa v molekulární struktuře materiálu membrány. Osmóza je pohyb vody ze slabého do silného roztoku skrz polopropustnou membránu. Rozdíl tlaků způsobuje pohyb vody přes membránu, který trvá tak dlouho, dokud se tlak na obou stranách membrány nevyrovná, což omezuje další průchod. Rozdíl tlaků, který způsobuje osmózu, se nazývá osmotický tlak. Reverzní osmóza využívá tohoto principu k tomu, aby rozpouštědlo přešlo z koncentrovaného roztoku do slabého tím, že na koncentrovaný roztok působí vyšší tlak, než je osmotický tlak, tím se obrátí proudění přes membránu. Vystavením surové vody vyššímu tlaku, než je osmotický tlak, způsobí, že upravovaná voda projde polopropustnou membránou a může být použita jako pitná voda. Používají se membrány vyrobené z acetátu celulózy, triacetátu a polyamidových polymerů. Výkonnost membrán je závislá na kvalitě surové vody. [43]

Na Obr. 4.1 je znázorněn řez membránou pro reverzní osmózu.



Obr. 4.1 Řez kompozitní reverzně osmotickou membránou [44]

4.3 ADSORPCE

Adsorpce je fyzikální proces, při kterém jsou rozpustné molekuly (adsorbát) odstraňovány zachycením na povrchu pevného substrátu (adsorbentu) především pomocí Van der Waalsových sil, ale také i působením chemické nebo elektrické přitažlivosti. Adsorbenty musí mít velmi vysoký specifický povrch. Mezi adsorbenty se řadí oxid hlinitý, jílové koloidy, hydroxidy, adsorpční pryskyřice a nejpoužívanější aktivní uhlí. Aby byl povrch adsorbentu účinný, musí být z velké části zbaven adsorbovaného materiálu, tedy adsorbent může vyžadovat před použitím aktivaci. [43]

4.3.1 Aktivní uhlí

Aktivní uhlí je adsorpční médium s vysokou pórovitostí, které je vytvořeno procesem fyzikální nebo chemické aktivace uhlíkových materiálů. Ve vodárenství se používá k odstraňování organických látek, farmak a také ke zlepšení organoleptických vlastností upravované vody. Adsorpce organických látek a farmak se odehrává na povrchu aktivního uhlí a transportních pórech. Ty umožňují přístup organickým látkám a farmakům k aktivnímu centru aktivního uhlí. [45]

Následující Tab. 4.2 popisuje dobu zdržení a životnost náplně aktivního uhlí při odstraňování různých sloučenin při úpravě vody.

Tab. 4.2 Kontaktní doby a životnost aktivního uhlí pro různé aplikace [46]

	Kontaktní doba [min]	Životnost [roky]
Zlepšování organoleptických vlastností	6 - 12	2 - 4
Odstraňování pesticidů	10 - 15	1 - 3
Odstraňování huminových látek a trihalomethanu	15 - 30	1,5 - 3
Odstraňování chlorovaných uhlovodíků	10 - 20	0,5 - 1,5
Dechlorace	4 - 8	1 - 2

Druhy aktivního uhlí

Aktivní uhlí se dělí podle velikosti a tvaru částic do následujících skupin: [47]

- a) práškové aktivní uhlí,
- b) granulované aktivní uhlí,
- c) formované aktivní uhlí,
- d) tkaninové aktivní uhlí.

Pro úpravu pitných vod se nejčastěji používá granulované aktivní uhlí. Práškové aktivní uhlí se používá pro nárazové odstraňování organických polutantů. Formované a tkaninové aktivní uhlí se převážně používá pro čištění plynné fáze. [48]



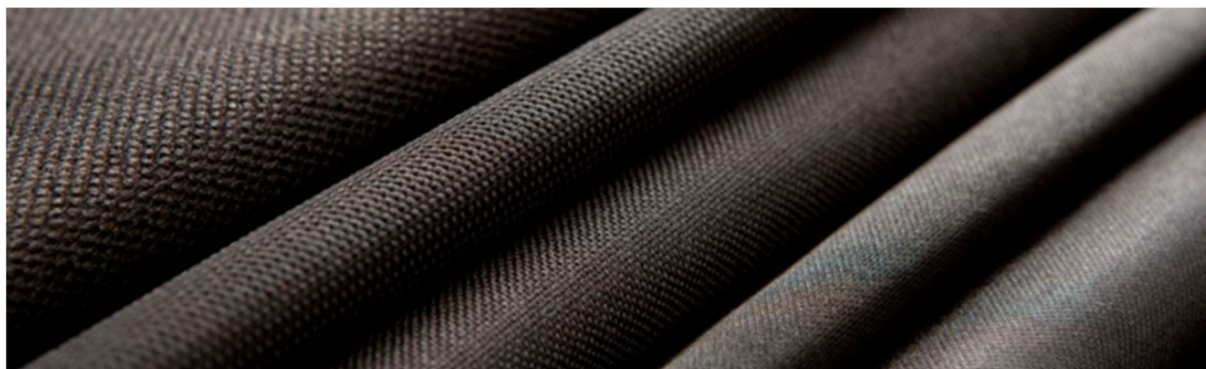
Obr. 4.2 Práškové aktivní uhlí [49]



Obr. 4.3 Granulované aktivní uhlí [49]



Obr. 4.4 Formované aktivní uhlí [49]

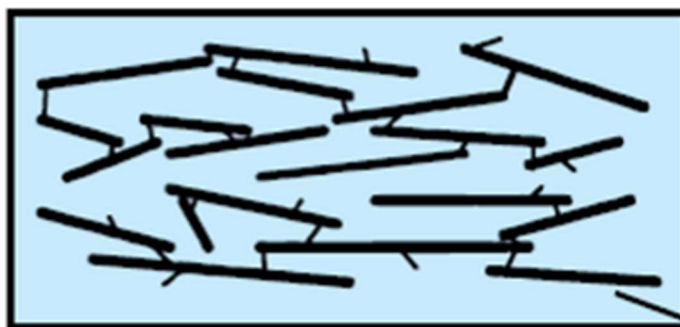


Obr. 4.5 Tkaninové aktivní uhlí [49]

Výroba aktivního uhlí

Suroviny pro výrobu je možné volit ze široké škály uhlíkatých materiálů. Nejběžnějšími surovinami pro výrobu aktivního uhlí jsou černé uhlí, hnědé uhlí, kokosové skořápky a dřevo. Surovina, ze které je aktivní uhlí vyrobeno, má zásadní vliv na strukturu mikropórů a transportních pórů. Vlastnosti aktivního uhlí také určuje způsob aktivace, který byl použit. [48]

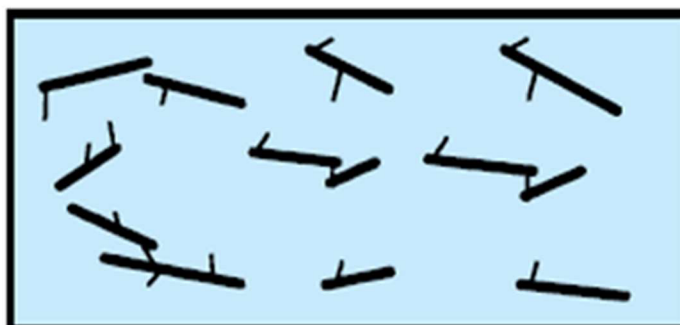
Na následujících obrázcích (Obr. 4.6, Obr. 4.7 a Obr. 4.8) jsou znázorněny struktury aktivních uhlí vyrobených z různých materiálů.



Obr. 4.6 Aktivní uhlí vyrobené z černého uhlí [46]



Obr. 4.7 Aktivní uhlí vyrobené z kokosových skořápek [46]



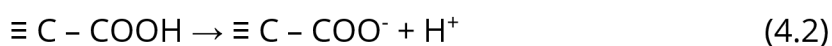
Obr. 4.8 Aktivní uhlí vyrobené ze dřeva [46]

Způsoby aktivace

Způsob aktivace má významný vliv na adsorbční vlastnosti aktivního uhlí. Aktivace při vysokých teplotách (cca 1000 °C) a za přítomnosti kyslíku vede k tvorbě povrchově funkčních skupin, které obsahují kyslík. Funkční skupiny obsahující kyslík se obecně značí C_xO nebo C_xO_2 a mohou reagovat s vodou podle rovnice (4.1). Při této reakci vzrůstá pH a povrch aktivního uhlí získává převážně kladný náboj, díky přítomnosti karboniového iontu. Tento náboj se označuje jako H-uhlí (H = high) a adsorbuje především anionty. Aktivní uhlí s H-uhlím se prodává pod obchodním názvem např. Filtrasorb nebo Norit. [50]



V případě aktivace při nízkých teplotách (200 °C – 400 °C) a přístupu kyslíku vzniká L-uhlí (L = low). Při této aktivaci se na povrchu aktivního uhlí tvoří velké množství povrchových funkčních skupin (např. karboxylových, fenolových, karbonylových a dalších typů), které dávají aktivnímu uhlí převážně záporný náboj v závislosti na pH. Tento proces popisuje rovnice (4.2). Tento povrch má aromatický charakter a adsorbuje především kationty. Aktivní uhlí s L-uhlím se prodává pod obchodním názvem např. Carboraffin nebo Nuchar. [50]

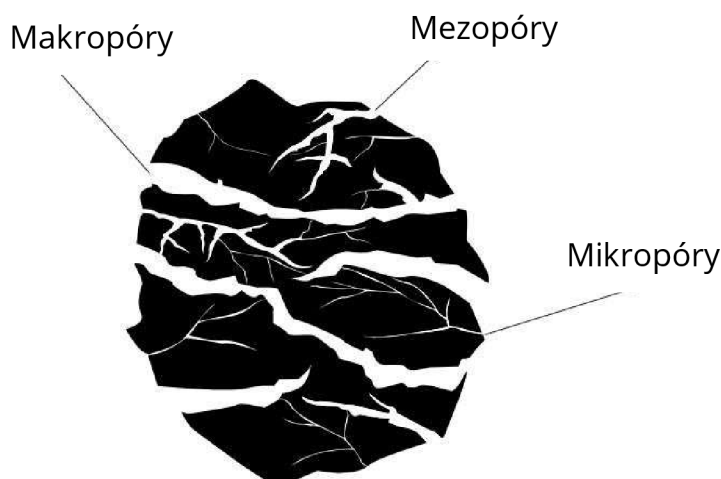


Dále existuje řada dalších přechodných typů aktivního uhlí, ale ty již nemají tak význačný charakter. [50]

Struktura aktivního uhlí

Aktivní uhlí je vysoce porézní uhlík, který má mimořádně velký vnitřní povrch (cca 400–1500 m²/g). Jedná se o soubor grafitových destiček, jejichž vzdálenost tvoří vnitřní povrch – póry. Póry v aktivním uhlí se dělí na mikropóry (< 2 nm) a transportní póry, které se dále dělí na makropóry (> 50 nm) a mezopóry (2 – 50 nm). Transportní póry umožňují přístup organickým látkám k aktivnímu centru a v mikropórech se odehrává jejich adsorpce. [46]

Na Obr. 4.9 jsou vyznačeny druhy pórů v aktivním uhlí.



Obr. 4.9 Druhy pórů v aktivním uhlí [51]

Adsorpce na aktivním uhlí

Aktivní uhlí je ze své podstaty nepolární adsorbent, který tedy sorbuje především nepolární organické látky a neelektrolyty. Povrch aktivního uhlí je mimořádně velký, který při styku s vodou a za určitých okolností nabývá polárního charakteru. Na základě těchto vlastností se při adsorpci polárních látek, jako jsou ionty různých kovů, dosahuje poměrně vysokých účinností (i nad 90 %). [50]

Regenerace aktivního uhlí

Regenerace aktivního uhlí je proces obnovy jeho adsorpční kapacity po nasycení organickými látkami, těžkými kovy, farmaky, pesticidy atd. Aktivní uhlí se regeneruje různými metodami jako je například: [45]

- a) Termální regenerace – proces, při kterém se nasycené aktivní uhlí vystaví vysokým teplotám (cca 800 °C), které desorbují povrch aktivního uhlí.
- b) Chemická regenerace – jedná se o proces, kdy je aktivní uhlí regenerováno za pomoci chemických roztoků (např. NaOH, HCl), které desorbují a regenerují povrch aktivního uhlí.
- c) Mikrobiální regenerace – při tomto procesu je aktivní uhlí regenerováno pomocí mikroorganismů, které rozkládají adsorbované látky na povrchu.
- d) Vakuová regenerace – jde o proces, při kterém je aktivní uhlí vystaveno sníženému atmosférickému tlaku, který regeneruje povrch aktivního uhlí.

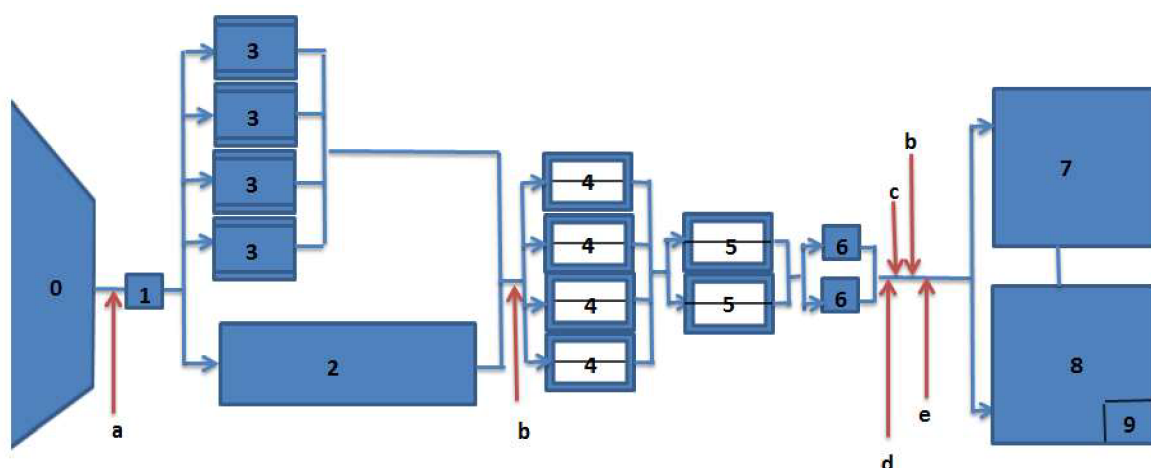
Každá metoda regenerace má své výhody a omezení. Volba metody regenerace závisí na konkrétních podmínkách a potřebách regenerace. [45]

5 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části bude sledována účinnost původního a nového granulovaného aktivního uhlí na úpravně vody „X“, která se nachází v Jihomoravském kraji. Provozovatelem je Vodárenská akciová společnost, a.s.

5.1 TECHNOLOGIE ÚPRAVNY VODY

Upravovaná voda je odebírána z nádrže pro vodárenské účely, která je od úpravně vody „X“ vzdálená cca 2 km. Úpravna vody vyrábí pitnou vodu pro více než 50 tis. obyvatel. V roce 2014 proběhla na úpravně vody rekonstrukce, kdy byl zprovozněn třetí stupeň úpravy a byl zvýšen maximální průtok upravované vody na 200 l/s. Jedná se o třístupňovou úpravu s čiřením (nebo sedimentací), pískovou filtrací a filtrací na granulovaném aktivním uhlí. [52]



Dávkování:

a – síran železitý; b – hydroxid vápenatý; c – oxid uhličitý; d – chlor; e – síran amonný;

Technologie úpravně vody:

0 – vodárenská nádrž; 1 – flokulace;

První separační stupeň: 2 – usazovací nádrž; 3 – čiřiče

Druhý separační stupeň: 4 – dvouvrstvý rychlofiltr (filtrační písek, antracit)

Třetí separační stupeň: 5 – rychlofiltrace s GAU

6 – UV zářič; 7 – AN 4000 m³; 8 – AN 3600 + 250 m³; 9 – odkalovací nádrž 150 m³

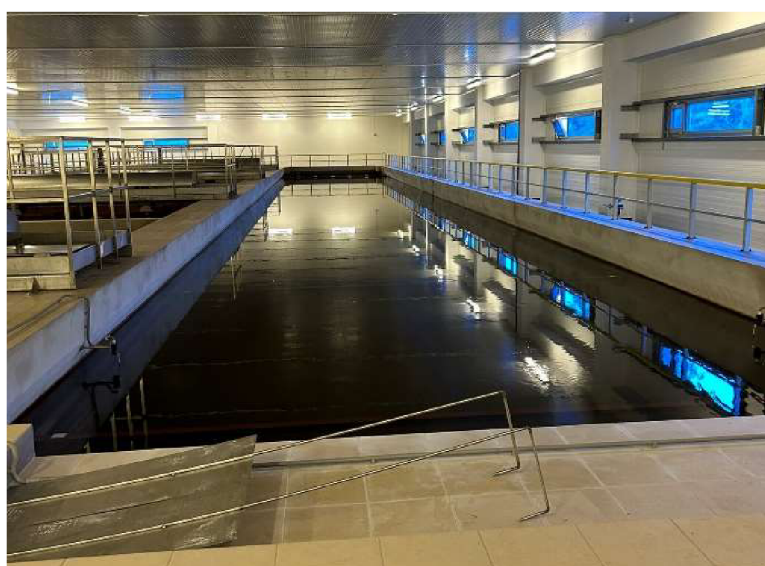
Obr. 5.1 Technologické schéma úpravně vody [52]

5.1.1 První stupeň úpravy

Jako první stupeň úpravy vody jsou použity čířiče nebo je možné použít sedimentaci. Na přítoku je dávkován roztok síranu železitého $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ v množství odpovídající optimální dávce. Dále upravovaná voda jde do flokulačního mísení, kde je přibližně 15 minut míchána pádlovými míchadly. Poté nastává oddělení vloček buď v sedimentační horizontální podélné nádrži, nebo je oddělení provedeno na čířících. Pro úpravu pH se na výstupu z čířičů nebo sedimentační nádrže používá neutralizační dávka vápenného mléka $\text{Ca}(\text{OH})_2$, případně s přídavkem dolomitického vápenného hydrátu. [52]



Obr. 5.2 Čířič na úpravně vody [autor]



Obr. 5.3 Sedimentační nádrž na úpravně vody [autor]

5.1.2 Druhý stupeň úpravy

Druhým stupněm úpravy je filtrace na pískových filtrech. Filtrace probíhá ve čtyřech otevřených rychlofiltrech, přes dvouvrstvou filtrační vrstvu, která se skládá z hydrogenatracitu a filtračního písku. [52]



Obr. 5.4 Pískové filtry na úpravě vody [autor]



Obr. 5.5 Měřící technika hodnot při odtoku vody z pískových filtrů [autor]

5.1.3 Třetí stupeň úpravy

Třetím stupněm úpravy vody jsou dva otevřené rychlofiltry s náplní granulovaného aktivního uhlí. Ty byly doinstalovány v roce 2014 při rekonstrukci úpravní vody z důvodu překročení limitních hodnot pesticidní látky metazachloru, terbutylazinu a celkového počtu pesticidních látek. [52]

Původní aktivní uhlí

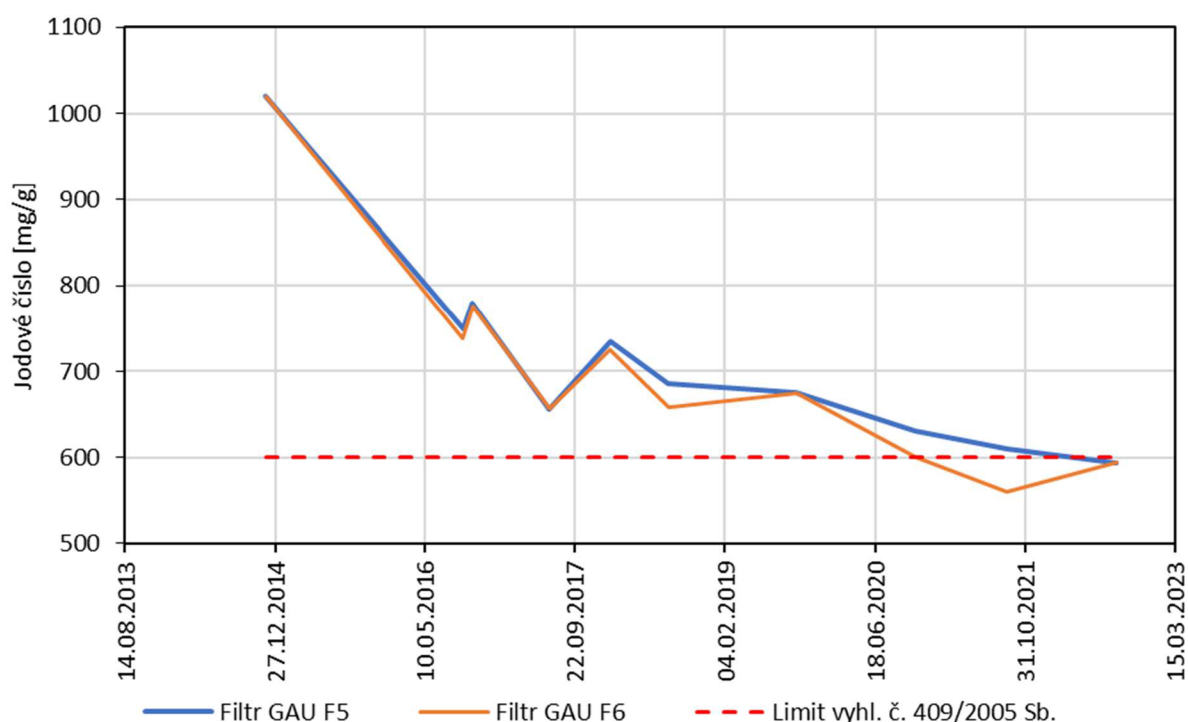
Původní aktivní uhlí bylo použito granulované aktivní uhlí Norit GAC 1240 EN od společnosti CS CABOT, spol. s.r.o. Filtry s aktivním uhlím byly uvedeny do provozu v listopadu 2014. Aktivní uhlí Norit GAC 1240 EN je vhodné použít na úpravu pitné vody a průmyslových procesních kapalin, je velmi odolné a vhodné pro odstraňování např. organických látek, pesticidů, detergentů, chlorovaných rozpouštědel a sloučenin způsobujících problémy s chutí a zápachem. Jedná se o reaglomerované uhlí, které je aktivováno pomocí páry a je vhodné pro tepelnou regeneraci. [52; 53]

V Tab. 5.1 jsou vypsané hlavní charakteristické hodnoty udávané výrobcem.

Tab. 5.1 Hlavní charakteristiky aktivního uhlí Norit GAC 1240 EN [53]

Jodové číslo	1025 mg/g
Adsorpce methylenové modři	21 g/100 g
Celkový povrch (B.E.T.)	1150 m ² /g
Zjevná hustota	450 kg/m ³
Hustota po zpětném promytí a odvodnění	400 kg/m ³
Tvrдость proti oděru	98 %
Účinná velikost D10	0,6-0,7 mm
Koeficient rovnoměrnosti	1,7 -
Obsah popela	8 % hmot.
Popel rozpustný ve vodě	0,1 % hmot.
pH	alkalické -
Hodnota dechlorace poloviční	2,5 cm

Během provozu byly v určitých časových intervalech posílány vzorky aktivního uhlí na laboratorní rozbory jodového čísla. Vzorky byly testovány ve dvou laboratořích, kdy v roce 2022 vzorky začaly dosahovat hodnot menších 600 mg/g, viz Obr. 5.6. Hodnota 600 mg/g je dána vyhláškou č. 409/2005 Sb. jako minimální limitní hodnota jodového čísla granulovaného aktivního uhlí. Z tohoto důvodu se provozovatel rozhodl pro výměnu filtrační náplně. Reaktivace granulovaného uhlí nebyla doporučena z důvodu převýšení ekonomických nákladů. [52]



Obr. 5.6 Vývoj jodového čísla aktivního uhlí Norit GAC 1240 EN [52]

Nové aktivní uhlí

Na novou filtrační náplň bylo použito granulované aktivní uhlí Silcarbon S1240. Jedná se o aktivní uhlí z černého uhlí, které bylo aktivováno pomocí páry. Náplň aktivního uhlí byla vyměněna v listopadu 2023. Původní filtrační náplň byla odstraněna, odvezena a klasifikovaná jako odpad. Nová filtrační náplň byla dovezena cisternovým vozem a naplněna ve směsi s vodou z důvodu eliminování deformace aktivního uhlí. [52; 54]

Tab. 5.2 Hlavní charakteristiky aktivního uhlí Silcarbon S1240 [54]

Jodové číslo	1000 mg/g
Celkový povrch (B.E.T.)	950 m ² /g
Zjevná hustota	470 ± 30 kg/m ³
Hustota po zpětném promytí a odvodnění	420 ± 30 kg/m ³
Obsah vody v balení	2 % max.
Tvrdost proti oděru	90 % min.
Velikost částic	0,425 – 1,7 mm



Obr. 5.7 Filtr s granulovaným aktivním uhlím [autor]

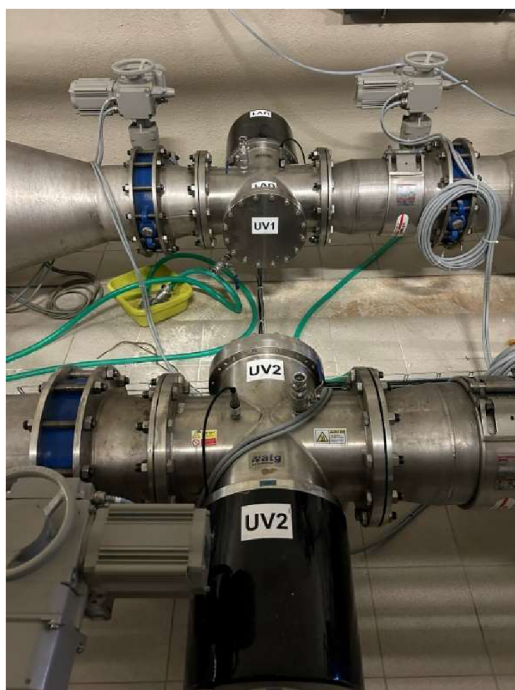


Obr. 5.8 Granulované uhlí Silcarbon S1240 [autor]

5.1.4 Dezinfekce a doučprava vody

Dále je dávkována vápenná voda s případným přídavkem dolomitického vápenného hydrátu pro závěrečnou úpravu pH. Pro stabilizaci vody je použito dávkování oxidu uhličitého. [52]

K dezinfekci vody je použita chlorace a UV záření. Na závěr je použita chloraminace, kde jsou dávkovány amonné soli s následnou chlorací chloranem sodným, který je vyráběn na místě. [52]



Obr. 5.9 UV záření [autor]

5.1.5 Akumulace

Před odtokem do distribuce je voda akumulována ve dvou akumulčních nádržích, které jsou vzájemně propojeny. [52]

5.2 LÉČIVA V SUROVÉ A PITNÉ VODĚ

Tato kapitola se zabývá výskytem léčiv v surové vodě, odebrané z nádrže na úpravnu vody a jejich odstraněním pomocí granulovaného aktivního uhlí.

5.2.1 Koncentrace léčiv v surové vodě

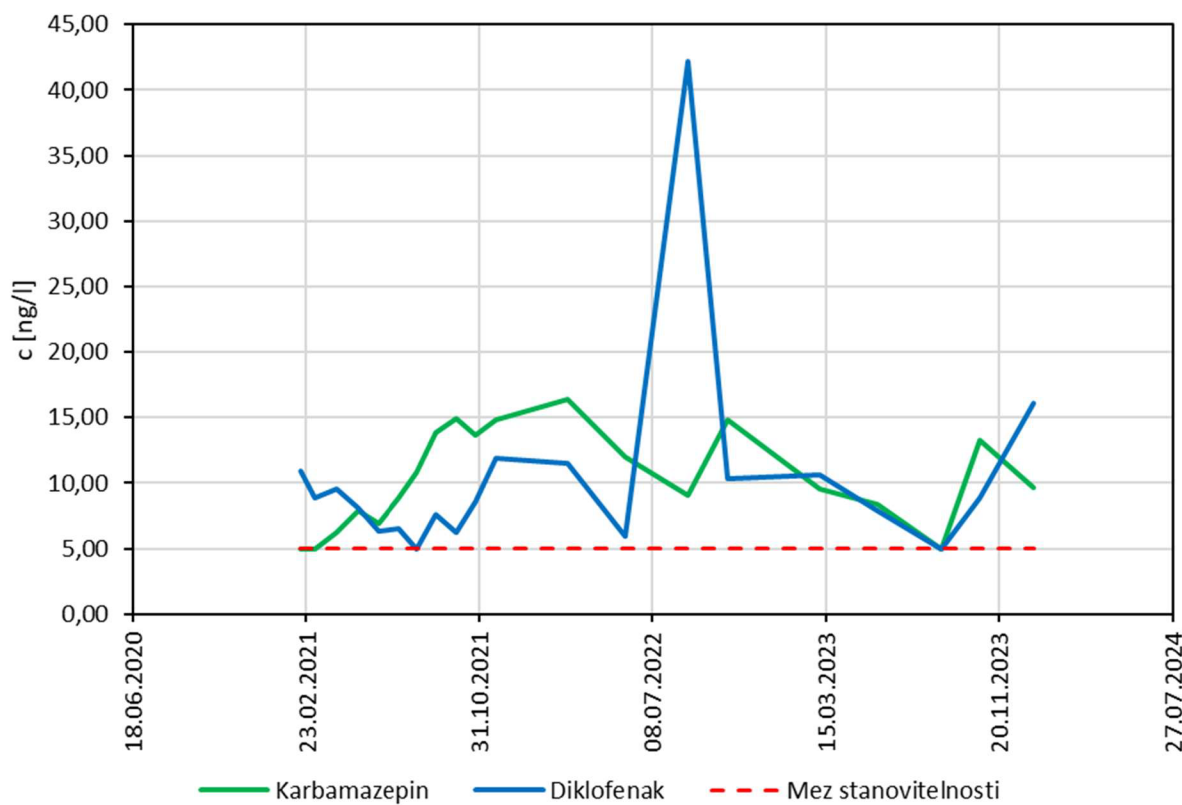
Koncentraci léčiv surové vody v nádrži monitoruje podnik Povodí Moravy s.p. Monitoring se provádí čtyřikrát ročně, výjimkou byl rok 2021, kdy monitorování probíhalo každý měsíc. Měření koncentrací se provádí z potrubí surové vody na přítoku do úpravny vody.

V Tab. 5.3 jsou vypsány koncentrace karbamazepinu a diklofenaku během měření v období let 2021–2024. Dále byla v surové vodě měřena koncentrace ibuprofenu, ta ale v každém měření nepřevyšovala minimální hranici 10 ng/l pro detekování.

Tab. 5.3 Měření koncentrací léčiv v surové vodě

Datum odběru	Diklofenak	Karbamazepin
	ng/l	ng/l
15.02.2021	10,90	< 5,00
08.03.2021	8,90	< 5,00
07.04.2021	9,60	6,20
10.05.2021	8,10	7,90
07.06.2021	6,30	6,90
07.07.2021	6,50	8,90
02.08.2021	< 5,00	10,80
30.08.2021	7,60	13,90
29.09.2021	6,20	14,90
26.10.2021	8,60	13,70
25.11.2021	11,90	14,80
07.03.2022	11,50	16,40
30.05.2022	5,90	12,00
29.08.2022	42,20	9,10
24.10.2022	10,30	14,80
06.03.2023	10,60	9,60
29.05.2023	7,90	8,40
28.08.2023	< 5,00	< 5,00
23.10.2023	8,90	13,30
09.01.2024	16,10	9,70

V Obr. 5.10 je znázorněn průběh koncentrací diklofenaku a karbamazepinu během monitorování v období let 2021–2024.



Obr. 5.10 Průběh koncentrace karbamazepinu a diklofenaku v surové vodě

5.2.2 Účinnost aktivního uhlí při odstranění léčiv

Účinnost odstranění léčiv pro jednotlivé aktivní uhlí byla vypočtena podle následujícího vzorce: [55]

$$\eta = \frac{C_{RW} - C_F}{C_{RW}} \times 100 \quad (5.1)$$

kde: η ... účinnost odstranění znečištění [%],

C_{RW} ... koncentrace znečištění v surové vodě [ng/l],

C_F ... koncentrace znečištění po filtraci [ng/l].

V rámci výpočtu je důležité zmínit, že v případě, kdy vycházela koncentrace sledovaného farmaka pod úroveň meze stanovení, tak byla do vzorce zadána právě hodnota meze stanovení. Mez stanovitelnosti je koncentrace, kterou lze u konkrétní látky stanovit.

Účinnost aktivního uhlí Norit GAC 1240

V následujících tabulkách jsou vypočítány účinnosti původního aktivního uhlí Norit GAC 1240 EN při odstraňování účinných léčivých látek (karbamazepinu, diklofenaku a O-desmethylvenlafaxinu) ze surové vody. Naměřené hodnoty koncentrací léčiv v surové vodě odebrané dne 17. 4. 2023 a všechny vzorky pitné vody byly poskytnuty Vodárenskou akciovou společností, a. s.

V Tab. 5.4 je vypočtena účinnost odstranění léčiv původním granulovaným aktivním uhlím při běžném provozu. Vzorky byly odebrány v dubnu 2023. Vzorek surové vody byl odebrán z přítoku na úpravnu vody a vzorek pitné vody byl odebrán v hotelu, který je od úpravny vzdálen cca 0,5 km. Vzorky byly analyzovány v laboratořích společnosti ALS Czech Republic, s.r.o.

Vzorky byly testovány na přítomnost 18 druhů účinných léčivých látek a jejich metabolitů, z nichž pouze u léčiv karbamazepinu, diklofenaku a metabolitu O-desmethylvenlafaxinu byla koncentrace nad mezí stanovitelnosti.

Aktivní uhlí Norit GAC 1240 EN při běžném provozu vykazuje vysokou účinnost odstranění karbamazepinu, téměř 64 %. Účinnost odstranění diklofenaku je oproti karbamazepinu nižší, cca 44 %. Účinnost odstranění metabolitu O-desmethylvenlafaxinu je relativně vysoká (cca 66 %).

Tab. 5.4 Účinnost AU Norit GAC 1240 EN při odstranění léčiv v běžném provozu

Datum odběru	Voda	Karbamazepin	Diklofenak	O-Desmethylvenlafaxin
		ng/l	ng/l	ng/l
17.04.2023	Surová	13,8	36,8	14,5
17.04.2023	Pitná	< 5,0	20,8	< 5,0
Účinnost AU (η)		63,77 %	43,48 %	65,52 %

V Tab. 5.5 je vypočtena orientační účinnost odstranění léčiv původním granulovaným aktivním uhlím před výměnou filtrační náplně. Vzorek surové vody byl odebrán na přítoku do úpravny vody a analyzován podnikem Povodí Moravy, s.p. Vzorek pitné vody byl odebrán v mateřské škole vzdálené od úpravny cca 1,5 km a analyzován společností ALS Czech Republic, s.r.o.

Vzorek surové vody byl analyzován pouze na přítomnost účinných látek karbamazepinu, diklofenaku a ibuprofenu. Koncentrace ibuprofenu byla pod mezí stanovitelnosti, proto v následující tabulce není ibuprofen uveden. Koncentrace metabolitu O-Desmethylvenlafaxinu v surové vodě nebyla měřena, z tohoto důvodu není dále počítána účinnost jeho odstranění.

Před výměnou filtrační náplně se účinnost aktivního uhlí při odstranění účinné látky karbamazepinu snížila o cca 45 %, účinnost odstranění diklofenaku se významně nezměnila. Jelikož datum odběru v surové vodě se liší od data odběru ve vodě pitné, byla účinnost aktivního uhlí označena jako orientační.

Tab. 5.5 Účinnost AU Norit GAC 1240 EN při odstranění léčiv před výměnou filtrační náplně

Datum odběru	Voda	Karbamazepin	Diklofenak
		ng/l	ng/l
23.10.2023	Surová	13,3	8,9
13.11.2023	Pitná	10,8	< 5,0
Účinnost AU ($\eta_{\text{orientační}}$)		18,80 %	43,82 %

Účinnost aktivního uhlí Silcarbon S1240

V Tab. 5.6 jsou vypočteny orientační účinnosti odstranění léčiv nové filtrační náplně granulovaného aktivního uhlí Silcarbon S1240. Vzorek surové vody byl odebrán na přítoku do úpravny vody a analyzován podnikem Povodí Moravy, s.p. Vzorek pitné vody odebírala a analyzovala společnost ALS Czech Republic z kohoutku kuchyňského dřezu v bytě vzdáleném od úpravny vody cca 2,5 km.

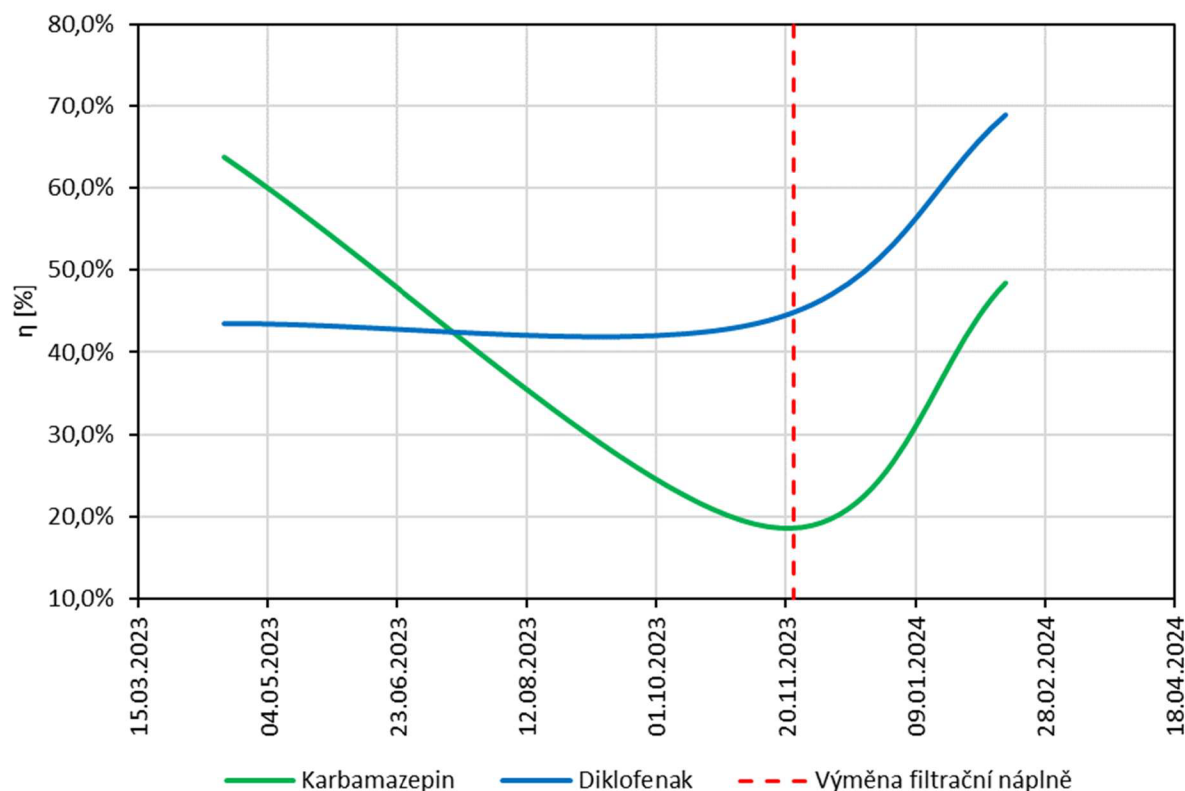
Nová filtrační náplň po třech měsících provozu vykazuje lepší účinnost než předchozí náplň, účinnost odstranění karbamazepinu je necelých 50 % a účinnost odstranění diklofenaku se výrazně zvýšila na necelých 69 %. Dokazují to i koncentrace v pitné vodě, které jsou pod mezí stanovitelnosti.

Tab. 5.6 Účinnost AU Silcarbon S1240 při odstranění léčiv

Datum odběru	Voda	Karbamazepin	Diklofenak
		ng/l	ng/l
09.01.2024	Surová	9,7	16,1
13.02.2024	Pitná	< 5,0	< 5,0
Účinnost AU ($\eta_{\text{orientační}}$)		48,45 %	68,94 %

Vyhodnocení účinnosti

Původní aktivní uhlí v běžném provozu vykazovalo relativně vysokou účinnost při odstranění karbamazepinu (cca 64 %), která před výměnou filtrační náplně prudce klesla na hodnotu necelých 19 % a účinnost odstranění byla tedy minimální. Odstranění diklofenaku původním aktivním uhlím se pohybovala v přibližně stejných hodnotách. Po výměně filtrační náplně se účinnost odstranění obou účinných látek výrazně zvýšila, a to u karbamazepinu na cca 49 % a u diklofenaku na cca 69 %, viz Obr. 5.11.



Obr. 5.11 Průběh účinnosti aktivního uhlí při odstranění léčiv

5.3 KVALITATIVNÍ UKAZATELE V SUROVÉ A PITNÉ VODĚ

Tato kapitola se zabývá sledováním kvalitativních ukazatelů ($CHSK_{Mn}$, železo a mangan) v surové vodě, která je odebírána na úpravu vody a jejich odstraněním pomocí granulovaného aktivního uhlí. Kvalitativní ukazatele jsou měřeny každý pracovní den ve vodohospodářských laboratořích Vodárenské akciové společnosti, a.s. Pro účely bakalářské práce byly vybrány pouze hodnoty od roku 2021 do roku 2024 v posledních měřených dnech každého měsíce.

5.3.1 Odstranění $CHSK_{Mn}$

$CHSK_{Mn}$ je měřena v surové vodě na přítoku do úpravní vody, za druhým separačním stupněm a v pitné vodě.

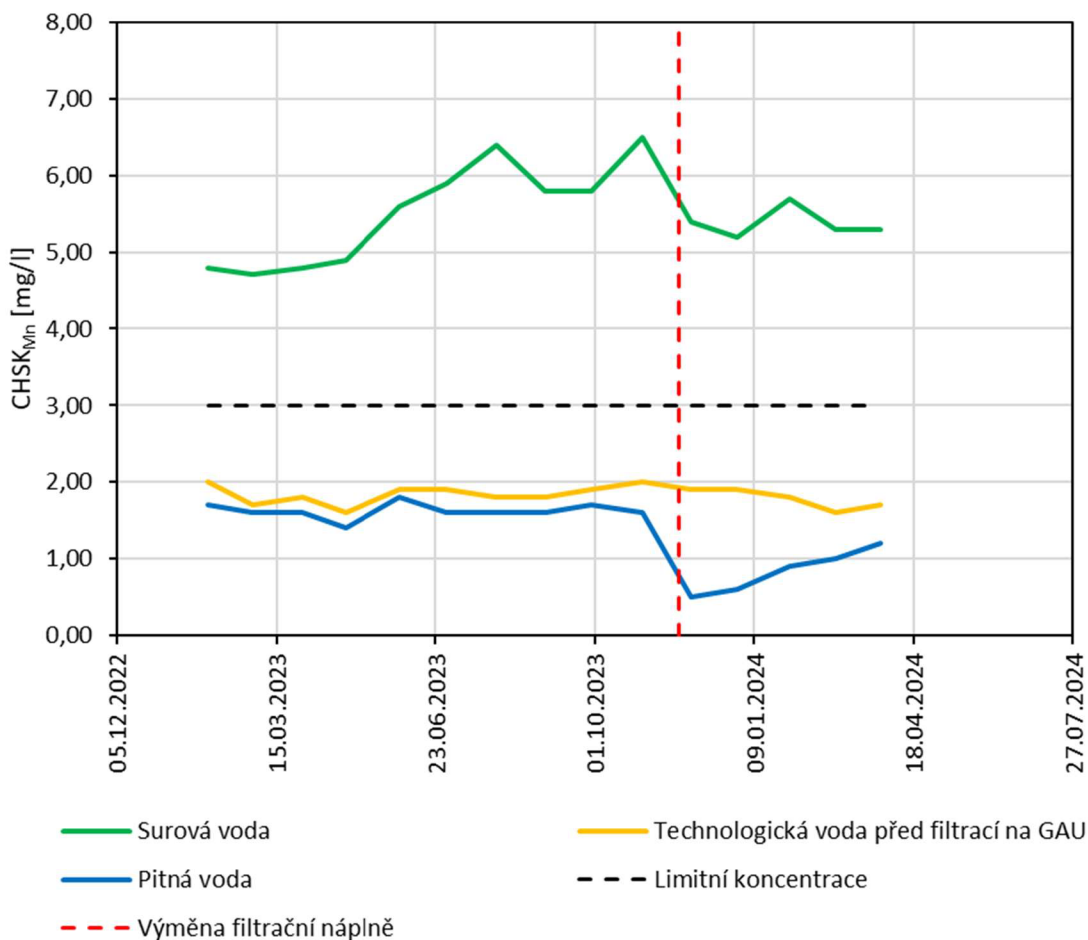
Limitní koncentrace $CHSK_{Mn}$ v pitné vodě je podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. stanovena na 3 mg/l. Koncentrace v surové vodě se pohybuje v průměru okolo 5,5 mg/l. Po průchodu prvním a druhým stupněm úpravy vody se koncentrace snížila pod limitní hodnotu, v průměru na cca 1,82 mg/l. Původní aktivní uhlí Norit GAC 1240 EN významně nezměnilo koncentraci $CHSK_{Mn}$, hodnoty po průchodu filtrační náplně se snížily v průměru na hodnotu 1,38 mg/l. Po zprovoznění nového granulovaného aktivního uhlí Silcarbon S1240 koncentrace v pitné vodě klesly na průměrnou hodnotu 0,84 mg/l.

Koncentrace $CHSK_{Mn}$ v jednotlivých stupních úpravy vody jsou vypsány v Tab. 5.7.

Tab. 5.7 Koncentrace $CHSK_{Mn}$ v technologické lince úpravny vody

Datum odběru	$CHSK_{Mn}$ [mg/l]		
	Surová voda	Technologická voda před filtrací na GAU	Pitná voda
31.01.2023	4,80	2,0	1,70
28.02.2023	4,70	1,7	1,60
31.03.2023	4,80	1,8	1,60
28.04.2023	4,90	1,6	1,40
31.05.2023	5,60	1,9	1,80
30.06.2023	5,90	1,9	1,60
31.07.2023	6,40	1,8	1,60
31.08.2023	5,80	1,8	1,60
29.09.2023	5,80	1,9	1,70
31.10.2023	6,50	2,0	1,60
30.11.2023	5,40	1,9	< 0,50
29.12.2023	5,20	1,9	0,60
31.01.2024	5,70	1,8	0,90
29.02.2024	5,30	1,6	1,00
28.03.2024	5,30	1,7	1,20

Průběh koncentrací v jednotlivých stupních úpravy vody je znázorněn v Obr. 5.12.



Obr. 5.12 Průběh koncentrací CHSK_{Mn}

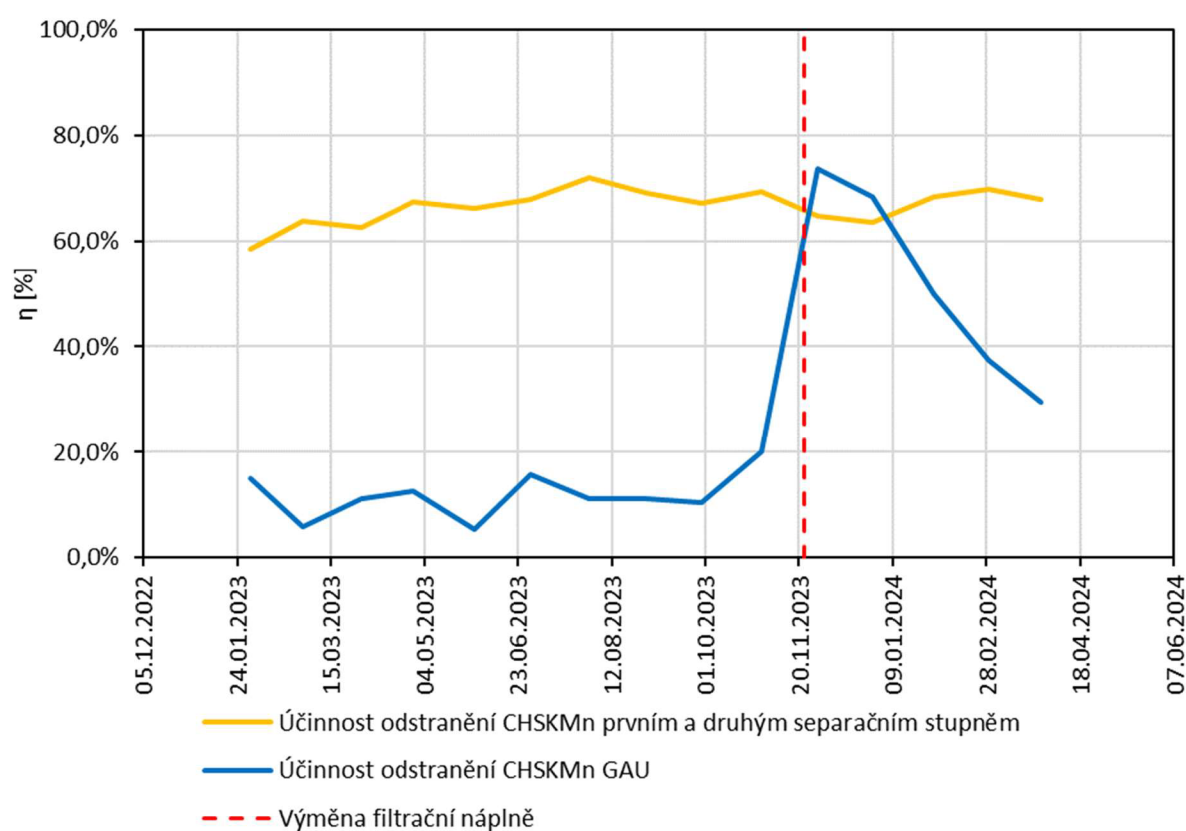
Účinnost odstranění CHSK_{Mn} aktivním uhlím

Účinnost prvního a druhého separačního stupně a aktivního uhlí byla vypočtena podle vzorce 5.1. První a druhý separační stupeň v období let 2021–2024 vykazuje vysokou účinnost na odstranění CHSK_{Mn}, téměř 65 %, viz Tab. 5.8.

Původní aktivní uhlí Norit GAC 1240 EN nevykazovalo vysokou účinnost na odstranění CHSK_{Mn}, průměrná účinnost odstranění byla necelých 12 %. Po zprovoznění nové filtrační náplně granulovaného aktivního uhlí Silcarbon S1240 (v Tab. 5.8 znázorněno červenou čárkovanou čarou) byla na konci listopadu 2023 účinnost odstranění necelých 74 %, při dalším měření už začala účinnost klesat, viz Obr. 5.13.

Tab. 5.8 Účinnost odstranění CHSK_{Mn}

Datum odběru	$\eta_{\text{CHSKMn}} [\%]$	
	Před filtrací na GAU	Po filtraci na GAU
31.01.2023	58,33	15,00
28.02.2023	63,83	5,88
31.03.2023	62,50	11,11
28.04.2023	67,35	12,50
31.05.2023	66,07	5,26
30.06.2023	67,80	15,79
31.07.2023	71,88	11,11
31.08.2023	68,97	11,11
29.09.2023	67,24	10,53
31.10.2023	69,23	20,00
30.11.2023	64,81	73,68
29.12.2023	63,46	68,42
31.01.2024	68,42	50,00
29.02.2024	69,81	37,50
28.03.2024	67,92	29,41



Obr. 5.13 Průběh účinnosti GAU při odstraňování CHSK_{Mn}

5.3.2 Odstranění železa a manganu

Koncentrace železa a manganu jsou měřeny stejně jako $CHSK_{Mn}$ v surové vodě, za druhým separačním stupněm a v pitné vodě, železo je dále měřeno i za prvním separačním stupněm.

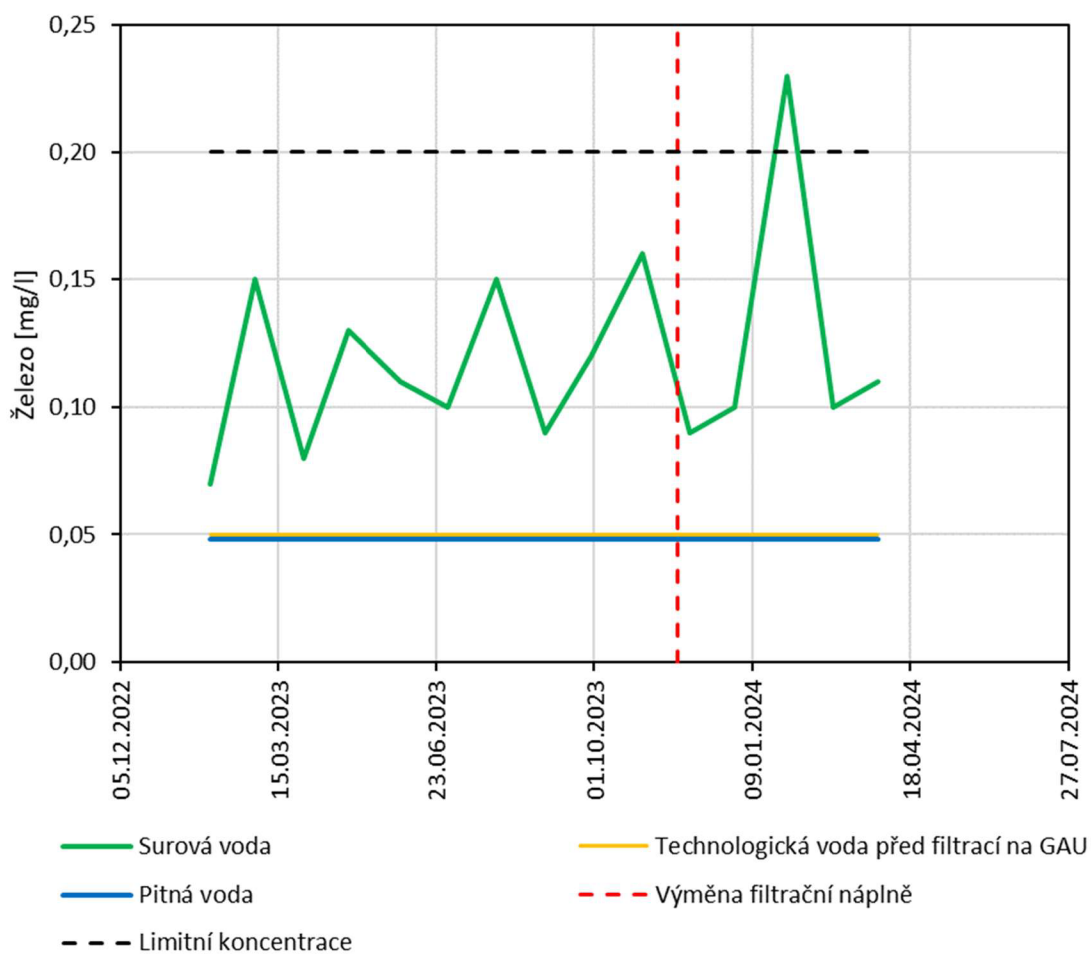
Podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. je stanovena limitní koncentrace železa v pitné vodě na hodnotu 0,2 mg/l a limitní koncentrace manganu 0,05 mg/l.

V Tab. 5.9 jsou vypsány koncentrace železa po jednotlivých stupních úpravy.

Tab. 5.9 Koncentrace železa v technologické lince úpravny vody

Datum odběru	Železo [mg/l]		
	Surová voda	Technologická voda před filtrací na GAU	Pitná voda
31.01.2023	0,07	< 0,05	< 0,05
28.02.2023	0,15	< 0,05	< 0,05
31.03.2023	0,08	< 0,05	< 0,05
28.04.2023	0,13	< 0,05	< 0,05
31.05.2023	0,11	< 0,05	< 0,05
30.06.2023	0,10	< 0,05	< 0,05
31.07.2023	0,15	< 0,05	< 0,05
31.08.2023	0,09	< 0,05	< 0,05
29.09.2023	0,12	< 0,05	< 0,05
31.10.2023	0,16	< 0,05	< 0,05
30.11.2023	0,09	< 0,05	< 0,05
29.12.2023	0,10	< 0,05	< 0,05
31.01.2024	0,23	< 0,05	< 0,05
29.02.2024	0,10	< 0,05	< 0,05
28.03.2024	0,11	< 0,05	< 0,05

Koncentrace železa v surové vodě se ve většině případech pohybuje pod limitní hodnotou. Průměrná hodnota železa v surové vodě za období 2021–2024 je cca 0,12 mg/l. Hodnoty koncentrace železa před nátokem na filtry s aktivním uhlím a v pitné vodě jsou ve všech případech pod mezí stanovitelnosti, tedy pod hodnotou 0,05 mg/l. Průběh koncentrací je znázorněn na Obr. 5.14.



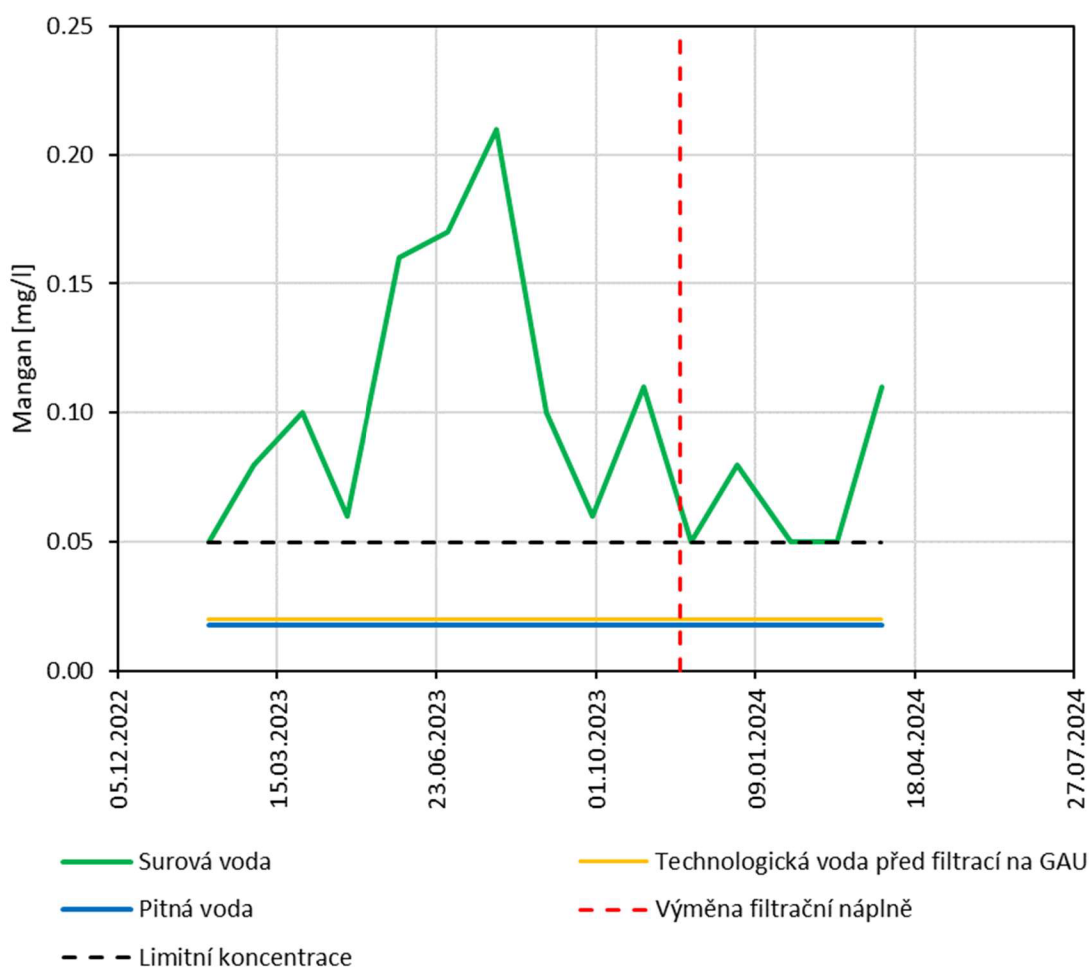
Obr. 5.14 Koncentrace železa v surové a pitné vodě

V Tab. 5.10 jsou vypsané koncentrace manganu po jednotlivých stupních úpravy.

Tab. 5.10 Koncentrace manganu v technologické lince úpravny vody

Datum odběru	Mangan [mg/l]		
	Surová voda	Technologická voda před filtrací na GAU	Pitná voda
31.01.2023	0,05	< 0,02	< 0,02
28.02.2023	0,08	< 0,02	< 0,02
31.03.2023	0,10	< 0,02	< 0,02
28.04.2023	0,06	< 0,02	< 0,02
31.05.2023	0,16	< 0,02	< 0,02
30.06.2023	0,17	< 0,02	< 0,02
31.07.2023	0,21	< 0,02	< 0,02
31.08.2023	0,10	< 0,02	< 0,02
29.09.2023	0,06	< 0,02	< 0,02
31.10.2023	0,11	< 0,02	< 0,02
30.11.2023	0,05	< 0,02	< 0,02
29.12.2023	0,08	< 0,02	< 0,02
31.01.2024	0,05	< 0,02	< 0,02
29.02.2024	0,05	< 0,02	< 0,02
28.03.2024	0,11	< 0,02	< 0,02

Koncentrace manganu v surové vodě za období je v průměru 0,09 mg/l. Hodnoty koncentrace manganu před nátokem na filtry s aktivním uhlím a v pitné vodě jsou také ve všech případech pod mezí stanovitelnosti, tedy pod hodnotou 0,02 mg/l. Průběh koncentrací je znázorněn na Obr. 5.15.



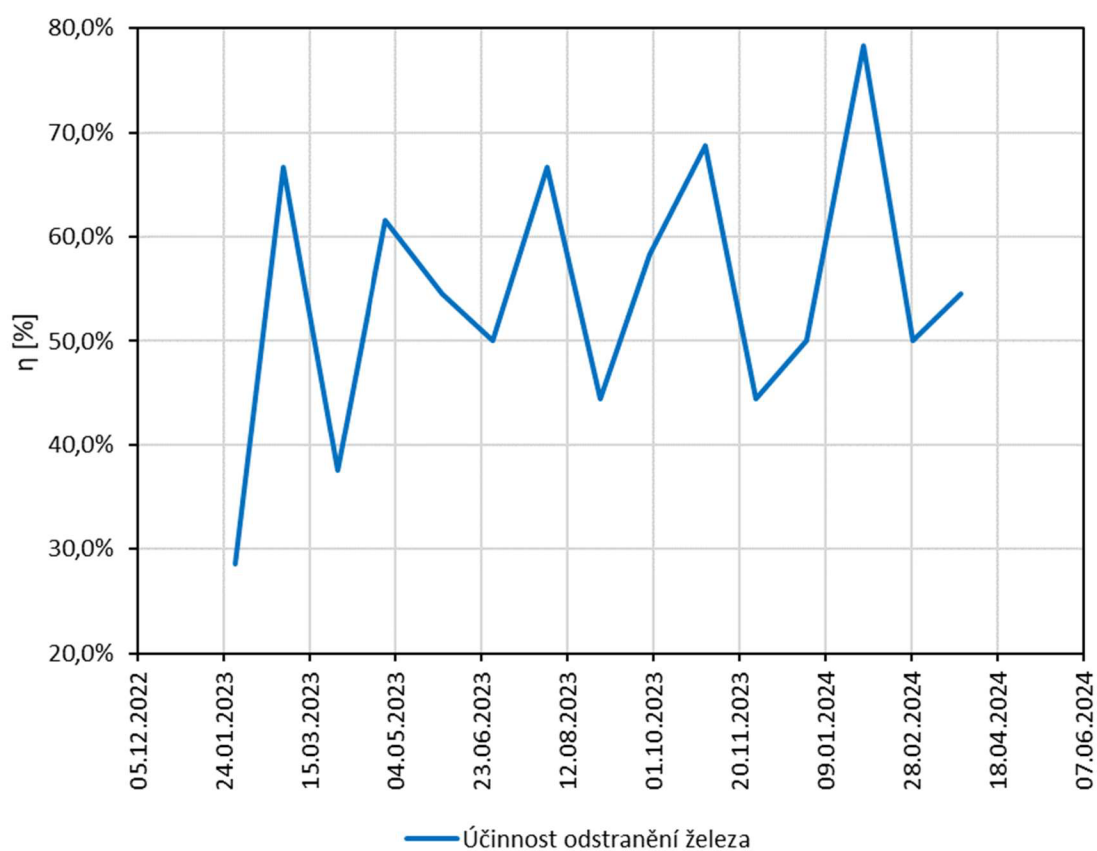
Obr. 5.15 Koncentrace manganu v surové a pitné vodě

Účinnost aktivního uhlí při odstranění železa a manganu

Odstranění železa v technologickém procesu úpravy vody „X“ s aktivním uhlím se pohybuje v rozmezí od 28 % do 78 %. Z naměřených hodnot vyplývá, že aktivní uhlí má velmi malý nebo žádný vliv na odstranění železa, protože hodnoty koncentrace železa před nátokem na filtry s aktivním uhlím jsou už pod minimální hodnotou stanovení. Účinnost je tedy vyhodnocena po druhém separačním stupni (za pískovými filtry).

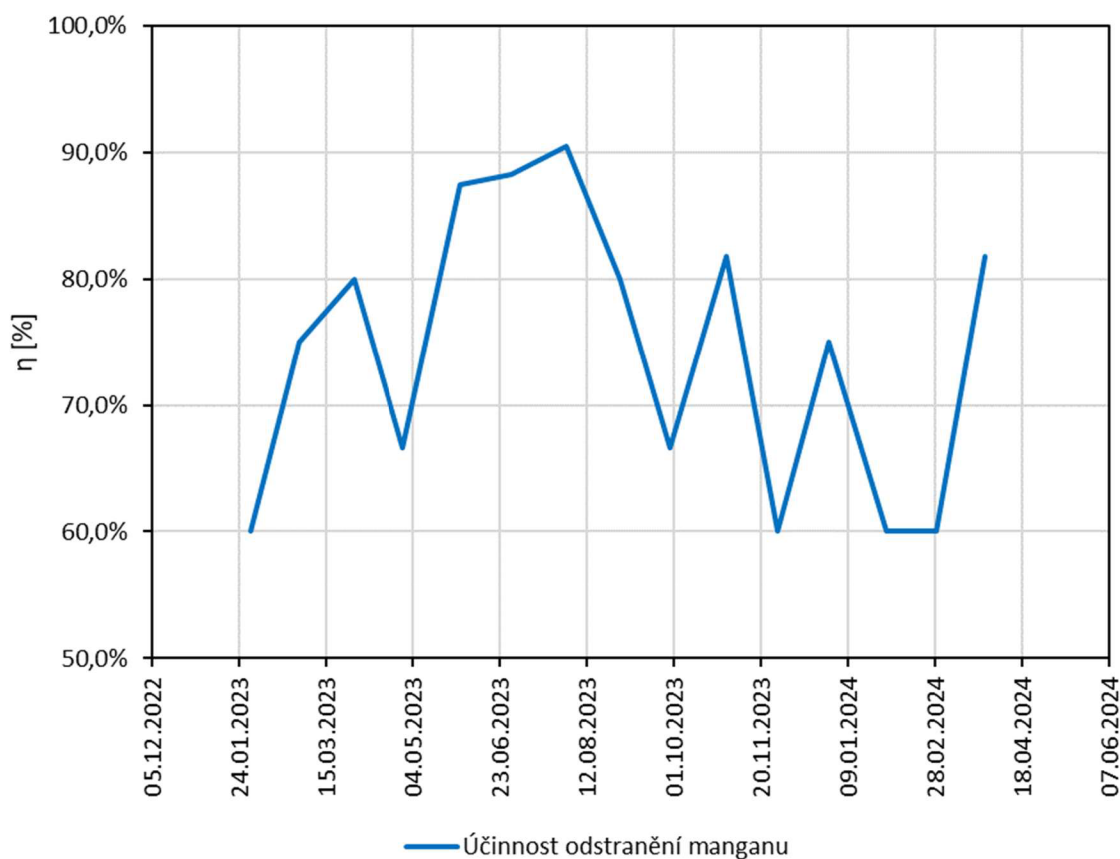
Tab. 5.11 Účinnost odstranění železa a manganu po druhém separačním stupni

Datum odběru	Železo [%]	Mangan [%]
31.01.2023	28,57	60,00
28.02.2023	66,67	75,00
31.03.2023	37,50	80,00
28.04.2023	61,54	66,67
31.05.2023	54,55	87,50
30.06.2023	50,00	88,24
31.07.2023	66,67	90,48
31.08.2023	44,44	80,00
29.09.2023	58,33	66,67
31.10.2023	68,75	81,82
30.11.2023	44,44	60,00
29.12.2023	50,00	75,00
31.01.2024	78,26	60,00
29.02.2024	50,00	60,00
28.03.2024	54,55	81,82



Obr. 5.16 Účinnost odstranění železa po druhém separačním stupni

Účinnost aktivního uhlí pro odstranění manganu na úpravně vody „X“ je stejná jako u odstranění železa, tedy aktivní uhlí na této úpravně vody nemá významný vliv na odstranění manganu, protože hodnoty před nátokem na aktivní uhlí jsou pod mezí stanovitelnosti.



Obr. 5.17 Účinnost odstranění manganu po druhém separačním stupni

5.3.3 Vyhodnocení účinnosti odstranění kvalitativních ukazatelů

Z dat poskytnutých Vodárenskou akciovou společností, a.s. je zřejmé, že původní i nové aktivní uhlí na úpravně vody „X“ nemá významný nebo vůbec žádný vliv na odstranění ukazatelů jako je železo a mangan, protože koncentrace těchto ukazatelů jsou před nátokem na filtry s aktivním uhlím pod mezí stanovitelnosti.

Při vyhodnocení účinnosti odstranění ukazatele $CHSK_{Mn}$ vyplývá, že původní aktivní uhlí tento ukazatel v menší míře eliminovalo (v průměru o cca 12 %). Nové aktivní uhlí při uvedení do provozu vykazovalo účinnost cca 78 %, která následně začala klesat.

6 ZÁVĚR

V teoretické části bakalářské práce byla provedena rešerše v oblasti léčivých látek vyskytujících se ve zdrojích pitné vody. V rámci ní byly charakterizovány možné cesty, kterými se léčiva do zdrojů vody dostávají a jejich monitoring. Dále byly popsány účinné léčivé látky a jejich vlastnosti, které se ve vodě vyskytují. V poslední části byly popsány metody odstranění těchto látek z pitné vody. Zvláštní pozornost byla věnována aktivnímu uhlí, jeho vlastnostem, způsobu výroby a procesu adsorpce.

Praktická část bakalářské práce byla zaměřena na zhodnocení účinnosti aktivního uhlí před a po výměně filtrační náplně na úpravě vody „X“ při odstraňování léčiv a kvalitativních ukazatelů, tedy CHSK_{Mn} , železa a manganu. V první kapitole praktické části byla popsána technologická linka úpravy vody „X“. Byly popsány jednotlivé separační stupně, důraz byl kladen především na třetí stupeň, kde bylo popsáno původní použité granulované aktivní uhlí Norit GAC 1240 EN a nové aktivní uhlí Silcarbon S1240.

Ve druhé kapitole praktické části bylo provedeno vyhodnocení monitoringu koncentrací léčivých látek v surové vodě. Dále bylo provedeno vyhodnocení účinnosti původního aktivního uhlí Norit GAC 1240 EN a nového aktivního uhlí Silcarbon S1240 při odstranění léčivých látek. Původní aktivní uhlí vykazovalo v běžném provozu relativně vysokou účinnost při odstranění účinné látky karbamazepinu, která se ale před výměnou snížila na hodnotu necelých 19 % a stálou účinnost při odstranění diklofenaku, tedy kolem 45 %. Nová filtrační náplň vykazuje vyšší účinnost při odstranění obou účinných látek než původní aktivní uhlí.

Dále bylo provedeno vyhodnocení účinnosti aktivního uhlí při odstranění kvalitativních ukazatelů, a to CHSK_{Mn} , železa a manganu. Původní aktivní uhlí se v nepříliš vysoké míře podílelo na odstranění CHSK_{Mn} z vody. Oproti tomu nové aktivní uhlí po prvním měsíci výrazně snížilo koncentraci CHSK_{Mn} , postupem času ale jeho účinnost klesla. Na odstranění železa a manganu se aktivní uhlí významně nepodílelo z důvodu minimální koncentrace po dvou separačních stupních.

Z výsledků vyplývá, že aktivní uhlí je vhodný adsorbent pro odstranění mikropolutantů, jako jsou léčiva nebo pesticidy z pitné vody a má také vliv na odstranění CHSK_{Mn} . V případě odstranění železa a manganu se ukázalo jako nepotřebné. Životnost granulovaného aktivního uhlí je omezená, jeho adsorpční kapacita se postupně snižuje. Datum vyčerpání adsorpční kapacity granulovaného aktivního uhlí se nedá přesně stanovit. Velký vliv na životnost granulovaného aktivního uhlí má kvalita vstupní vody, zejména složení a koncentrace organických látek, typ použitého granulovaného aktivního uhlí, délka kontaktu mezi vodou a granulovaným aktivním uhlím, filtrační rychlost a další parametry úpravy vody.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Pharmaceuticals in drinking-water*. Francie: World Health Organization, 2012. ISBN 978 92 4 150208 5.
- [2] HALEŠOVÁ, Taťána. ALS CZECH REPUBLIC. *VÝSKYT LÉČIV V PITNÝCH VODÁCH* [online]. 2022 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: https://www.alsglobal.cz/aktuality/Vyskyt-leciv-v-pitnych-vodach---prispevek-ALS-na-konferenci--Pitna-voda-2022-v-Tabore_1581
- [3] KOŽÍŠEK, František a Václav ČADEK. LÉČIVA V PITNÝCH VODÁCH. In: *Pitná voda 2008*. České Budějovice, 2008, s. 77-88. ISBN 978-80-254-2034-8.
- [4] LENTZ, Mark P., Duncan J. GRAHAM a Michelle T.H. VAN VLIET. Drought impact on pharmaceuticals in surface waters in Europe: Case study for the Rhine and Elbe basins. In: *Science of The Total Environment* [online]. 2024 [cit. 2024-04-07]. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171186>
- [5] HALEŠOVÁ, Taťána. *Výskyt léčiv v odpadních vodách a potenciální dopad na pitné vody* [online]. In: . Dvůr Králové nad Labem, 2023 [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: <https://gcms.cz/paper/23313>
- [6] SILORI, Rahul, Vikalp SHRIVASTAVA, Ashwin SINGH, Pradeep SHARMA, Marwan AOUAD, Jürgen MAHLKNECHT a Manish KUMAR. Global groundwater vulnerability for Pharmaceutical and Personal care products (PPCPs): The scenario of second decade of 21st century. *Journal of Environmental Management* [online]. **2022** [cit. 2024-04-07]. ISSN 0301-4797. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115703>
- [7] MOLNÁROVÁ, Lucia. *Validace LC-MS metody a monitoring léčiv ve vodách* [online]. Praha, 2020 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/120576>. Diplomová práce. Univerzita Karlova.
- [8] VYMAZAL, Jan, Tereza DVOŘÁKOVÁ BŘEZINOVÁ, Milan KOŽELUH a Lumír KULE. Occurrence and removal of pharmaceuticals in four full-scale constructed wetlands in the Czech Republic – the first year of monitoring. *Ecological Engineering* [online]. 2017, **98**, 354-364 [cit. 2024-05-05]. ISSN 0925-8574. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.08.010>.
- [9] VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, A.S. *LÉKY V ODPADNÍCH VODÁCH: OHROŽUJÍ NÁS A V JAKÉ MÍŘE?* [online]. 03/2023n. I. [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://vodarenska.cz/download/informacni-letak-e-kapka-03-2023/#>

- [10] BRIEUDES, V., S. LARDY-FONTAN, B. LALERE, S. VASLIN-REIMANN a H. BUDZINSKI. Validation and uncertainties evaluation of an isotope dilution-SPE-LC-MS/MS for the quantification of drug residues in surface waters. *Talanta* [online]. 2016, **146**, 138-147 [cit. 2024-05-05]. ISSN 0039-9140. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.06.073>
- [11] BAZ-LOMBA, J.A., Malcolm J. REID a Kevin V. THOMAS. Target and suspect screening of psychoactive substances in sewage-based samples by UHPLC-QTOF. *Analytica Chimica Acta* [online]. **914**, 81-90 [cit. 2024-05-05]. ISSN 0003-2670. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.aca.2016.01.056>
- [12] FABBRI, Elena. *Pharmaceuticals in the Environment: Expected and Unexpected Effects on Aquatic Fauna* [online]. 2014 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1111/nyas.12605>
- [13] ŠTEFÁNEK, Jiří. MEDICINA, NEMOCI, STUDIUM NA 1. LF UK. *Nesteroidní protizánětlivé léky* [online]. 2011 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://www.stefajir.cz/nesteroidni-protizanetlive-leky>
- [14] LINCOVÁ, Dagmar a Hassan FARGHALI. *Základní a aplikovaná farmakologie*. Druhé, doplněné a přepracované vydání. Praha: Galén, 2007. ISBN 987-80-7262-373-0.
- [15] ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, THE MERCK INDEX. *Ibuprofen* [online]. 2024 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://merckindex.rsc.org/search-results?q=ibuprofen>
- [16] BENU ČESKÁ REPUBLIKA S.R.O. *IBALGIN 400MG potahované tablety 96* [online]. 2024 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://www.benu.cz/ibalgin-400mg-potahovane-tablety-96#pribalovy-letak>
- [17] ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, THE MERCK INDEX. *Diclofenac* [online]. 2024 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://merckindex.rsc.org/search-results?q=Diclofenac>
- [18] BENU ČESKÁ REPUBLIKA S.R.O. *Voltaren Forte 20 mg/g gel proti bolesti 180g* [online]. 2024 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://www.benu.cz/voltaren-forte-20mg-g-gel-180g-iib>
- [19] ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, THE MERCK INDEX. *Naproxen* [online]. 2024 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://merckindex.rsc.org/search-results?q=Naproxen>

- [20] BENU ČESKÁ REPUBLIKA S.R.O. *NALGESIN S 275MG potahované tablety 40X1 II* [online]. 2024 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://www.benu.cz/nalgesin-s-275mg-potahovane-tablety-40x1-ii>
- [21] NÁRODNÍ ZDRAVOTNICKÝ INFORMAČNÍ PORTÁL. *Kyselina acetylsalicylová* [online]. 2024 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/rejstrikovy-pojem/1564>
- [22] ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, THE MERCK INDEX. *Kyselina acetylsalicylová* [online]. 2024 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://merckindex.rsc.org/search-results?q=Acetylsalicylic+acid>
- [23] BENU ČESKÁ REPUBLIKA S.R.O. *ASPIRIN C 400MG/240MG šumivá tableta 20* [online]. 2024 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://www.benu.cz/aspirin-c-peroralni-sumiva-tableta-20>
- [24] HAMPL, František, Stanislav RÁDL a Jaroslav PALEČEK. *Farmakochemie*. 3., upravené a rozšířené vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015. ISBN 978-80-7080-875-7.
- [25] ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, THE MERCK INDEX. *Carbamazepine* [online]. 2024 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://merckindex.rsc.org/search-results?q=carbamazepine>
- [26] LÉKARNA BELLA. *Tegretol CR 200 tbl.ret.50x200mg* [online]. 2024 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://www.lekarna-bella.cz/zbozi/8594050584853/tegretol-cr-200-tbl-ret-50x200mg>
- [27] ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, THE MERCK INDEX. *Gabapentin* [online]. 2024 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://merckindex.rsc.org/search-results?q=gabapentin>
- [28] LÉKARNA BELLA. *Gabapentin Teva 300mg cps.dur.90* [online]. 2024 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://www.lekarna-bella.cz/zbozi/1670323/gabapentin-teva-300mg-cps-dur-90>
- [29] NÁRODNÍ ZDRAVOTNICKÝ INFORMAČNÍ PORTÁL. *Venlafaxin* [online]. 2024 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/rejstrikovy-pojem/4601>
- [30] SHARMA, Sukriti, Rajesh K. YADAV a Atul Pratap SINGH. *Presence of medicinal materials in drinking water: A review* [online]. 1067-1072 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.336>
- [31] ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, THE MERCK INDEX. *Venlafaxine* [online]. 2024 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://merckindex.rsc.org/search-results?q=venlafaxine>

- [32] LÉKÁRNA BELLA. *Venlafaxin Mylan 75mg cps.pro.90* [online]. 2024 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://www.lekarna-bella.cz/zbozi/3680858/venlafaxin-mylan-75mg-cps-pro-90>
- [33] NÁRODNÍ ZDRAVOTNICKÝ INFORMAČNÍ PORTÁL. *Metformin* [online]. 2024 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/rejstrikovy-pojem/3439>
- [34] ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, THE MERCK INDEX. *Metformin* [online]. 2024 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://merckindex.rsc.org/search-results?q=Metformin>
- [35] LÉKÁRNA BELLA. *Metformin Teva 500mg por.tbl.flm.60x500mg* [online]. 2024 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://www.lekarna-bella.cz/zbozi/8592387013442/metformin-teva-500mg-por-tbl-flm-60x500mg>
- [36] ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, THE MERCK INDEX. *Sulfamethoxazole* [online]. 2024 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://merckindex.rsc.org/search-results?q=sulfamethoxazole>
- [37] LÉKÁRNA BELLA. *Biseptol 400mg/80mg tbl.nob.28* [online]. 2024 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://www.lekarna-bella.cz/zbozi/3760486/biseptol-400mg-80mg-tbl-nob-28>
- [38] ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, THE MERCK INDEX. *Azithromycin* [online]. 2024 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://merckindex.rsc.org/search-results?q=Azitromycin>
- [39] LÉKÁRNA LEMON. *Azitromycin Sandoz 250mg tbl.flm.6* [online]. 2024 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://www.lekarnalemon.cz/azitromycin-sandoz-250mg-tbl-flm-6>
- [40] *Sektorová analýza farmaceutického průmyslu v České republice* [online]. In: . Česká republika – Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2024, s. 1-77 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: https://www.mpo.gov.cz/assets/cz/rozcestnik/analyticke-materialy-a-statistiky/analyticke-materialy/2024/2/IQVIA_MPO_Sektorova-analyza-farm-prumyslu-v-CR_Master_24ledna24.docx
- [41] SILVA, Bruna, Filomena COSTA, Isabel C. NEVES a Teresa TAVARES. *Psychiatric pharmaceuticals as emerging contaminants in wastewater*. Springer, 2015. ISBN 978-3-319-20492-5.

- [42] DUCA, Clara. *Effect of water matrix on Vacuum UV process for the removal of organic micropollutants in surface water* [online]. Vancouver: University of British Columbia, 2015 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: doi:10.14288/1.0167680
- [43] GRAY, N. F. *Water technology: an introduction for environmental scientists and engineers*. 3rd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2010. ISBN 978-1-85617-705-4.
- [44] PALATÝ, Zdeněk a Bohumil BERNAUER. *Membránové procesy*. V Praze: Vysoká škola chemicko-technologická, 2012. ISBN 978-80-7080-808-5.
- [45] LARASATI, Amanda, Geoffrey D. FOWLER a Nigel J.D. GRAHAM. Insights into chemical regeneration of activated carbon for water treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [online]. 2021, **9**(4) [cit. 2024-05-05]. ISSN 2213-3437. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105555>
- [46] KOPECKÝ, Jaroslav. *Návrh vhodného aktivního uhlí ve vodárenství* [online]. In: . s. 191–195 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://www.smv.cz/res/data/014/001680.pdf>
- [47] KOPECKÝ, Jaroslav. *Vodní hospodářství: Aktivní uhlí - technologie pro úpravu pitných a bazénových vod* [online]. In: . 2003, s. 183 - 185 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <http://www.jako.cz/VH7-2003-AktivniUhli-valid030709.pdf>
- [48] CHOWDHURY, Zaid K., R. Scott SUMMERS, Garret P. WESTERHOFF, Brian O. NOWACK a Christopher J. CORWIN. *Activated Carbon: Solutions for Improving Water Quality*. USA: American Water Works Association, 2013. ISBN 978-1-58321-907-2.
- [49] CHEMVIRON. *Activated Carbon* [online]. [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://www.chemviron.eu/solutions/activated-carbon/>
- [50] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 5. aktualizované a doplněné vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015. ISBN 978-80-7080-928-0.
- [51] RESEARCHGATE. *Pores of Activated Carbon* [online]. červen 2020 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Pores-of-activated-carbon39_fig1_342924822
- [52] *Podklady poskytnuté Vodárenskou akciovou společností a.s.* [ústní sdělení]. Brno, 2024.
- [53] CS CABOT, SPOL. S.R.O. *Technický list aktivního uhlí Norit GAC 1240 EN*. 2011.
- [54] SILCARBON AKTIVKOHLE GMBH. *Technický list aktivního uhlí Silcarbon S1240*.

- [55] BIELA, Renata a Lucie ŠOPÍKOVÁ. EFFICIENCY OF SORPTION MATERIALS ON THE REMOVAL OF LEAD FROM WATER. *APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH* [online]. Budapest, Hungary: ALÖKI Kft., 2017, **15**(3), 1527-1536 [cit. 2024-05-05]. ISSN 1785 0037. Dostupné z: doi:http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1503_15271536

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Schéma možných zdrojů a cest výskytu léčiv ve vodním prostředí [3]	2
Obr. 2.2 Léčiva v povrchových vodách v Evropě v období 2020–2022 [5]	3
Obr. 2.3 Léčiva v odpadních vodách v České republice v letech 2020–2022 [5]	4
Obr. 2.4 Léčiva v podzemních vodách v České republice v období 2020–2022 [5]	5
Obr. 2.5 Nejčastější výskyt léčiv v pitných vodách odebraných v roce 2022 v 19 českých městech [5]	7
Obr. 3.1 Chemický vzorec ibuprofenu [15]	9
Obr. 3.2 Lék obsahující látku ibuprofen [16]	9
Obr. 3.3 Chemický vzorec diklofenaku [17]	10
Obr. 3.4 Lék obsahující látku diklofenak [18]	10
Obr. 3.5 Chemický vzorec naproxenu [19]	10
Obr. 3.6 Lék obsahující látku naproxen [20]	10
Obr. 3.7 Chemický vzorec kyseliny acetylsalicylové [22]	11
Obr. 3.8 Lék obsahující kyselinu acetylsalicylovou [23]	11
Obr. 3.9 Chemický vzorec karbamazepinu [25]	12
Obr. 3.10 Lék obsahující látku karbamazepin [26]	12
Obr. 3.11 Chemický vzorec gabapentinu [27]	12
Obr. 3.12 Lék obsahující látku gabapentin [28]	12
Obr. 3.13 Chemický vzorec venlafaxinu [31]	13
Obr. 3.14 Lék obsahující látku venlafaxin [32]	13
Obr. 3.15 Chemický vzorec metforminu [34]	14
Obr. 3.16 Lék obsahující látku metformin [35]	14
Obr. 3.17 Chemický vzorec sulfamethoxazolu [36]	15
Obr. 3.18 Lék obsahující látku sulfamethoxazol [37]	15
Obr. 3.19 Chemický vzorec azitromycinu [38]	15
Obr. 3.20 Lék obsahující látku azitromycin [39]	15
Obr. 4.1 Řez kompozitní reverzně osmotickou membránou [44]	20
Obr. 4.2 Práškové aktivní uhlí [49]	22
Obr. 4.3 Granulované aktivní uhlí [49]	22

Obr. 4.4 Formované aktivní uhlí [49]	22
Obr. 4.5 Tkaninové aktivní uhlí [49]	22
Obr. 4.6 Aktivní uhlí vyrobené z černého uhlí [46]	23
Obr. 4.7 Aktivní uhlí vyrobené z kokosových skořápek [46]	23
Obr. 4.8 Aktivní uhlí vyrobené ze dřeva [46]	23
Obr. 4.9 Druhy pórů v aktivním uhlí [51]	25
Obr. 5.1 Technologické schéma úpravy vody [52]	26
Obr. 5.2 Čiřič na úpravě vody [autor]	27
Obr. 5.3 Sedimentační nádrž na úpravě vody [autor]	27
Obr. 5.4 Pískové filtry na úpravě vody [autor]	28
Obr. 5.5 Měřicí technika hodnot při odtoku vody z pískových filtrů [autor]	28
Obr. 5.6 Vývoj jodového čísla aktivního uhlí Norit GAC 1240 EN [52]	29
Obr. 5.7 Filtr s granulovaným aktivním uhlím [autor]	30
Obr. 5.8 Granulované uhlí Silcarbon S1240 [autor]	31
Obr. 5.9 UV záření [autor]	31
Obr. 5.10 Průběh koncentrace karbamazepinu a diklofenaku v surové vodě	33
Obr. 5.11 Průběh účinnosti aktivního uhlí při odstranění léčiv	36
Obr. 5.12 Průběh koncentrací $CHSK_{Mn}$	38
Obr. 5.13 Průběh účinnosti GAU při odstranění $CHSK_{Mn}$	39
Obr. 5.14 Koncentrace železa v surové a pitné vodě	41
Obr. 5.15 Koncentrace manganu v surové a pitné vodě	43
Obr. 5.16 Účinnost odstranění železa po druhém separačním stupni	44
Obr. 5.17 Účinnost odstranění manganu po druhém separačním stupni	45

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 Rozdělení počtu vydaných balení na trhu s léky na předpis dle WHO ATC skupin v ČR za rok 2022 [40]	16
Tab. 4.1 Přehled membránových procesů [41]	18
Tab. 4.2 Kontaktní doby a životnost aktivního uhlí pro různé aplikace [46].....	21
Tab. 5.1 Hlavní charakteristiky aktivního uhlí Norit GAC 1240 EN [53]	29
Tab. 5.2 Hlavní charakteristiky aktivního uhlí Silcarbon S1240 [54]	30
Tab. 5.3 Měření koncentrací léčiv v surové vodě	32
Tab. 5.4 Účinnost AU Norit GAC 1240 EN při odstranění léčiv v běžném provozu	34
Tab. 5.5 Účinnost AU Norit GAC 1240 EN při odstranění léčiv před výměnou filtrační náplně.....	35
Tab. 5.6 Účinnost AU Silcarbon S1240 při odstranění léčiv.....	35
Tab. 5.7 Koncentrace $CHSK_{Mn}$ v technologické lince úpravny vody	37
Tab. 5.8 Účinnost odstranění $CHSK_{Mn}$	39
Tab. 5.9 Koncentrace železa v technologické lince úpravny vody	40
Tab. 5.10 Koncentrace manganu v technologické lince úpravny vody	42
Tab. 5.11 Účinnost odstranění železa a manganu po druhém separačním stupni	44

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

např.	...	například
č.	...	číslo
Sb.	...	sbírky
ČR	...	Česká republika
SFŽP ČR	...	Státní fond životního prostředí České republiky
ČOV	...	čistírna odpadních vod
NSPZL	...	nesteroidní protizánětlivé léky
atd.	...	a tak dále
tzv.	...	takzvaně
aj.	...	a jiné
UV	...	ultrafialové záření
VUV	...	fotony o vlnové délce menší než 200 nm
a.s.	...	akciová společnost
s.r.o.	...	společnost s ručením omezeným
s.p.	...	státní podnik
AU	...	aktivní uhlí
GAU	...	granulované aktivní uhlí
cca	...	přibližně
η	...	účinnost
CHSK _{Mn}	...	chemická spotřeba kyslíku manganistanem
WHO	...	World Health Organization
ATC	...	Anatomical Therapeutic Chemical (Anatomické terapeutické chemikálie)
AN	...	akumulační nádrž