



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 ÚPRAVY VODY S POUŽITÍM GRANULOVANÉHO AKTIVNÍHO UHLÍ

WATER TREATMENT EFFICIENCY USING GRANULAR ACTIVATED CARBON

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tereza Poděbradská

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav vodního hospodářství obcí
Studentka: **Tereza Poděbradská**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.**
Akademický rok: 2022/23
Studijní program: B3607 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 úpravy vody s použitím granulovaného aktivního uhlí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce bude zaměřena na úpravu vody s použitím aktivního uhlí, budou srovnávány vlastnosti konkrétních komerčních produktů. Následně bude provedena série laboratorních zkoušek statického i dynamického charakteru za účelem ověření účinnosti odstranění pesticidů z vody u konkrétního zdroje. Předpokládá se spolupráce s provozovatelem vodovodu.

Cíle a výstupy bakalářské práce:

Porovnání vlastností vybraných komerčních produktů - aktivního uhlí; série laboratorních zkoušek statického i dynamického charakteru za účelem ověření účinnosti odstranění pesticidů z vody u konkrétního zdroje; vyhodnocení experimentů, formulace závěrů

Seznam doporučené literatury a podklady:

[1] HUŠKOVÁ, Radka. Pesticidy ve zdrojích vody, možnosti odstranění; národní akční plán (NAP) k zajištění udržitelného používání pesticidů v ČR. In: VAKINFO 2012: konference : sborník referátů : Hotel Thermal Karlovy Vary, 6. a 7. listopadu 2012. Líbeznice: Medim, 2012, s. 8. ISBN 978-80-87140-28-4.

[2] LETTERMAN, Raymond D., ed. Water quality and treatment: a handbook of community water supplies. 5th ed. New York: McGraw-Hill, c1999. ISBN 0070016593.

[3] Water treatment handbook. 7th [English] ed. Rueil-Malmaison, France: Degremont, 2007. ISBN 978-2-7430-0970-0.

[4] Water quality and treatment: a handbook of community water supplies. 4th ed. New York: McGraw-Hill, c1990. ISBN 00-700-1540-6.

[5] ZAID, Chowdhury. Activated Carbon: Solutions for Improving Water Quality. 1. Denver: American Water Works Assn; Illustrated edition, 2012. ISBN 978-1583219072.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 7. 11. 2022

L. S.

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

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

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá využitím aktivního uhlí při úpravě vody, a to zejména při odstraňování pesticidních látek. Práce se skládá ze dvou částí – části teoretické a části praktické.

V teoretické části je rozebrána problematika aktivního uhlí jako materiálu včetně jeho nejdůležitějších vlastností pro využití ve vodárenství. Dále je zde popsán proces adsorpce a provedena charakteristika pesticidních látek, způsob jejich vniku do vodního prostředí a možnosti jejich odstranění.

Praktická část práce popisuje provedený laboratorní experiment, jehož cílem bylo porovnat účinnost čtyř různých typů aktivního uhlí na odstraňování relevantního metabolitu acetochlor ESA ze vzorku vody.

KLÍČOVÁ SLOVA

úprava vody, aktivní uhlí, adsorpce, pesticidy

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the use of activated carbon in drinking water treatment, especially in removing pesticide substances. The thesis consists of two parts – a theoretical one and a practical one.

In the theoretical part, the issue of activated carbon as a material is analysed, including its most important characteristics for the utilization in the waterworks industry. Furthermore, the adsorption process is described, and the characterization of pesticide substances is carried out, as well as the way they get into water and the possible means of their removal.

The practical part describes the laboratory experiment performed to draw a comparison between the efficiency of four different types of activated carbon on removing the relevant metabolite Acetochlor ESA from a water sample.

KEYWORDS

drinking water treatment, activated carbon, adsorption, pesticides

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PODĚBRADSKÁ, Tereza. *Účinnost úpravy vody s použitím granulovaného aktivního uhlí*. Brno, 2023. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí doc. Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Účinnost úpravy vody s použitím granulovaného aktivního uhlí* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2023

Tereza Poděbradská

autor

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Účinnost úpravy vody s použitím granulovaného aktivního uhlí* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 25. 5. 2023

Tereza Poděbradská

autor

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat doc. Ing. Tomáši Kučerovi, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce a cenné rady. Dále Ing. Filipu Mečířovi za velkou ochotu a pomoc při provádění laboratorních zkoušek. Také děkuji Vodárenské akciové společnosti, a. s, a to jak Divizi Brno-venkov za spolupráci, tak Divizi Žďár nad Sázavou za poskytnutí vzorků vody k rozborům.

V neposlední řadě děkuji také své rodině a přátelům za vytváření inspirativního a podporujícího zázemí nejen po dobu mého studia a psaní bakalářské práce.

OBSAH

1. Úvod.....	1
2. Teoretická část.....	2
2.1. Aktivní uhlí.....	2
2.1.1. Typy aktivního uhlí.....	2
2.1.2. Výroba aktivního uhlí.....	3
2.1.2.1. Způsoby aktivace.....	3
2.1.1. Struktura aktivního uhlí.....	4
2.1.2. Parametry aktivního uhlí.....	5
2.1.2.1. Velikost částic.....	5
2.1.2.2. Koeficient stejnoměrnosti.....	5
2.1.2.3. Hustota.....	5
2.1.2.4. Celkový povrch.....	5
2.1.2.5. Jodové číslo.....	5
2.1.2.6. Dechlorační půlhodnota.....	6
2.1.2.7. Otěr.....	6
2.1.2.8. Tvrdost.....	6
2.1.2.9. Obsah popela.....	6
2.1.2.10. Obsah vody při balení.....	6
2.1.3. Adsorpce.....	6
2.1.3.1. Typy adsorpce.....	7
2.1.3.2. Adsorpce na aktivním uhlí.....	7
2.1.3.3. Parametry adsorpce.....	8
2.1.3.4. Reaktivace.....	10
2.2. Pesticidy.....	10
2.2.1. Dělení pesticidů.....	11
2.2.1.1. Biocidy.....	11
2.2.1.2. Přípravky na ochranu rostlin.....	12
2.2.2. Vlastnosti pesticidů.....	13
2.2.2.1. Rozpustnost.....	13
2.2.2.2. Stálost v prostředí.....	13
2.2.2.3. Vliv na ekosystém a člověka.....	13
2.2.2.4. Degradace pesticidů a metabolity.....	14
2.2.3. Způsob vniku pesticidů do životního prostředí.....	14
2.2.4. Limitní hodnoty v pitné vodě.....	16

2.2.5.	Národní akční plán k bezpečnému používání pesticidů v České republice	16
2.2.6.	Nejčastější pesticidy a jejich metabolity	17
2.2.7.	Acetochlor	19
2.2.8.	Acetochlor ESA.....	20
2.2.9.	Další možnosti odstranění pesticidů z vody	20
2.3.	Zájmové lokality.....	21
2.3.1.	Ivančice	21
2.3.2.	Moravské Bránice.....	22
2.3.3.	Popis problému.....	23
3.	Praktická část.....	25
3.1.	Lokalita Chroustov	25
3.1.1.	Spojitost se zájmovými lokalitami.....	28
3.2.	Použité typy aktivního uhlí.....	28
3.2.1.	Srovnání vlastností.....	28
3.3.	Provedené laboratorní zkoušky.....	32
3.3.1.	Příprava laboratorní zkoušky.....	32
3.3.2.	Vlastní měření a použité přístroje.....	35
3.3.3.	Výsledky laboratorního rozboru	37
3.4.	Vyhodnocení a závěry měření.....	39
4.	Závěr	41
5.	Seznamy	42
5.1.	Seznam použitých zdrojů	42
5.2.	Seznam použitých zkratk.....	44
5.3.	Seznam obrázků.....	45
5.4.	Seznam tabulek.....	46
5.5.	Seznam grafů	46
5.6.	Seznam příloh.....	46

1. ÚVOD

I přes skutečnost, že používání pesticidních látek je v současné době značně omezeno a u některých látek i zcela zakázáno, je jejich výskyt ve vodních zdrojích a v životním prostředí obecně stále značný, a to zejména kvůli jejich nesnadné odbouratelnosti a biokumulativním vlastnostem. Ve větším množství mohou pesticidy nepříznivě ovlivňovat zdraví člověka i necílových živých organismů, a to také prostřednictvím pitné vody, potravin či nejrůznějších prostředků používaných v domácnostech.

Pesticidní látky se nenacházejí pouze v povrchových vodách; postupem času došlo k jejich infiltraci z povrchových vod i do vod podzemních. Tím byla poznamenána kvalita mnohých zdrojů pitné vody.

V souvislosti s těmito skutečnostmi došlo k náhlému výskytu zvýšených koncentrací pesticidů, konkrétně pak metabolitu acetochlor ESA v podzemních zdrojích Ivančice a Moravské Bránice, jež spadají pod správu Vodárenské akciové společnosti, a. s., Divize Brno-venkov. Pro odstranění těchto látek z pitné vody byly do technologického postupu úpravy vody z těchto zdrojů zařazeny tlakové filtry s náplní z aktivního uhlí, konkrétně Silcarbonu S1240.

Tato bakalářská práce vznikala ve spolupráci s Vodárenskou akciovou společností, a. s., Divize Brno-venkov. Cílem práce bylo nejen provedení rešerše týkající se účinnosti adsorpce na aktivním uhlí při odstraňování pesticidů obecně (viz kapitola 2); vykonány byly také laboratorní zkoušky na filtračních kolonách pro ověření teoretických poznatků a správnosti zvoleného typu aktivního uhlí pro dané použití ve srovnání s jinými typy tohoto materiálu (viz kapitola 3).

Jelikož se pesticidní látky v zájmových lokalitách Ivančice a Moravské Bránice trvale nevyskytují, bylo pro účely laboratorních zkoušek v rámci této práce využito surové vody z podzemního zdroje Chroustov v okrese Žďár nad Sázavou v Kraji Vysočina, kde jsou zvýšené hodnoty výskytu metabolitu acetochlor ESA pozorovány dlouhodobě. Bylo tak možno ověřit účinnost adsorpce na reálném vzorku s obsahem stejného metabolitu, jaký se nárazově vyskytl právě ve zmíněných lokalitách Ivančice a Moravské Bránice.

2. TEORETICKÁ ČÁST

Tato část práce bude zaměřena na charakteristiku aktivního uhlí jakožto adsorbentu, přehled jeho nejdůležitějších vlastností a dostupných druhů a v neposlední řadě také možnosti jeho využití při úpravě vody. Dále bude rozebrána problematika pesticidů ve vodách, a to sice jak způsob jejich vniku do vodního prostředí, tak i možnosti jejich odstranění z vody. V závěru této části budou charakterizovány zájmové lokality Ivančice a Moravské Bránice, tedy zejména místní zdroje pitné vody. Na základě poskytnutých rozborů bude popsána kvalita vody surové i upravené, a to včetně situace, kdy bylo ve vodě detekováno zvýšené množství pesticidů.

2.1. Aktivní uhlí

Aktivní uhlí je materiál s vysoce porézní strukturou a velkým vnitřním povrchem. Ve vodárenství se využívá především k odstraňování organických znečišťujících látek a xenobiotik a ke zlepšování organoleptických vlastností. Mimo to jej lze použít také ke katalytickému rozkladu chloru, chlordioxidu a ozonu. [2]

V následující tabulce (Tab. 1) jsou uvedeny příklady dob zdržení a životnosti náplně z aktivního uhlí při odstraňování různých sloučenin z vody při její úpravě.

Tab. 1 Kontaktní doby a životnost aktivního uhlí pro jednotlivá využití (Zdroj: [2])

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

2.1.1. Typy aktivního uhlí

Aktivní uhlí se dle velikosti a tvaru částic dělí do následujících skupin:

- **prášková aktivní uhlí (PAU)** – jednotlivé částice svým průměrem většinou nepřekračují 0,2 mm (Obr. 1)
- **granulovaná (zrněná) aktivní uhlí (GAU)** – jednotlivá zrna jsou nepravidelného tvaru, jejich velikost se pohybuje od 0,2 do 5 mm (Obr. 2)
- **extrudovaná (válečková) aktivní uhlí** – zrna jsou válcovitého tvaru o průměrech od 0,8 do 5 mm (Obr. 3)
- **tkaninová aktivní uhlí** – jedná se o tkaninu vyrobenou z vláken aktivního uhlí (Obr. 4).

Pro kontinuální úpravu pitné vody se využívá zejména granulované aktivní uhlí, práškové se používá zpravidla pro nárazové odstraňování znečištění. Zbylé dva typy se ve vodárenství nevyužívají; své uplatnění nacházejí v čištění plynných fází. [2]



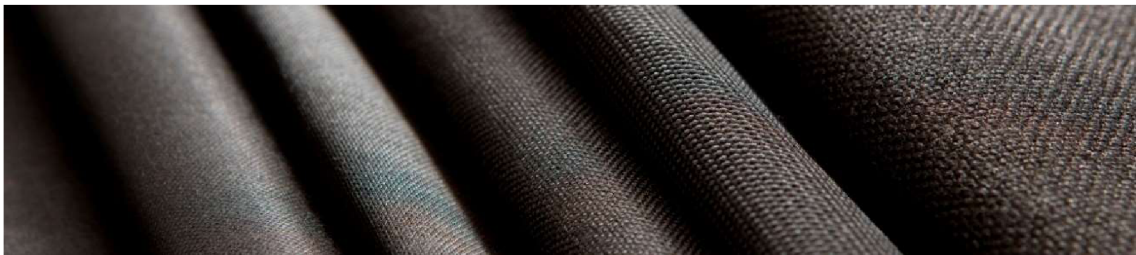
Obr. 1 Práškové aktivní uhlí (Zdroj: [11])



Obr. 2 Granulované aktivní uhlí (Zdroj: [12])



Obr. 3 Extrudované aktivní uhlí (Zdroj: [13])



Obr. 4 Tkaninové aktivní uhlí (Zdroj: [14])

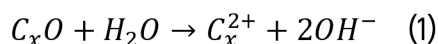
2.1.2. Výroba aktivního uhlí

Surovinu pro výrobu aktivního uhlí je možno volit ze široké škály uhlíkatých materiálů. K tomuto účelu jsou vhodné například lignit, živičné (bitumenové) uhlí, kokosové skořápky, dřevo či rašelina. Dle zvoleného zdrojového materiálu se od sebe jednotlivé typy aktivního uhlí liší svými vlastnostmi, jako například strukturou pórů a jejich distribucí. Na vlastnosti výsledného produktu má vliv také použitý způsob aktivace. [1]

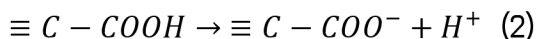
2.1.2.1. Způsoby aktivace

Postup aktivace výrazně ovlivňuje vlastnosti výsledného produktu. Dochází-li k aktivaci za vysokých teplot (cca 1 000 °C) a přítomnosti kyslíku, dochází k tvorbě povrchových funkčních skupin obsahujících kyslík a uhlík (C_xO , C_xO_2), které následně reagují s vodou dle rovnice (1). Tím se zvyšuje pH vody a povrch aktivního uhlí dostává kladný náboj. V důsledku toho jsou na těchto typech uhlí, nazývaném též H-uhlí,

adsorbovány zejména anionty. Do této skupiny náleží například aktivní uhlí obchodních názvů Norit či Filtrasorb. [3]



Je-li uhlí aktivováno za přítomnosti kyslíku při nižších teplotách, tedy mezi 200 a 400 °C, vzniká tzv. L-uhlí. Na povrchu materiálu se při tomto procesu vytváří karboxylové, fenolové, karbonylové a jiné funkční skupiny, které při kontaktu s vodou povrchu udělují především záporný náboj (rovnice (2)). V důsledku toho jsou těmito typy uhlí adsorbovány zejména kationty. Do této skupiny materiálů patří zejména Carboraffin a Nuchar. [3]



Mimo dva výše uvedené existují ještě tzv. **přechodné typy**, které již nemají nijak výrazně vymezené vlastnosti. [3]

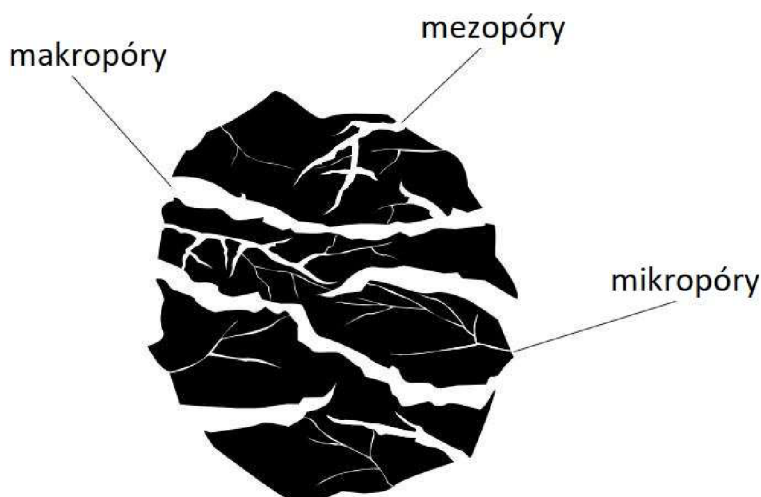
2.1.1. Struktura aktivního uhlí

Struktura aktivního uhlí je typicky vysoce pórovitá, jedná se v podstatě o soubor uhlíkových destiček s různě velkými mezerami mezi sebou. Tyto mezery (póry) pak vytvářejí onen velký vnitřní povrch. Je však nutno rozlišovat mezi jednotlivými typy pórů v aktivním uhlí, jelikož každý z nich zastává v adsorpčním procesu jinou funkci.

Mikropóry jsou užší než 2 nm. Jedná se o tzv. aktivní centrum, v němž probíhají adsorpční procesy zejména organických látek.

Mezi **transportní póry** pak řadíme **makropóry** (širší než 50 nm) a **mezopóry** (od 2 do 50 nm), které slouží k dopravování molekul znečištění k mikropórum. [2]

Na Obr. 5 je vyobrazeno zrno aktivního uhlí s vyznačením všech tří zmíněných typů pórů.



Obr. 5 Typy pórů v aktivním uhlí (Zdroj: [26])

2.1.2. Parametry aktivního uhlí

2.1.2.1. Velikost částic

Velikost částic (angl. *mesh size*) je zásadní zejména pro návrh doby kontaktu vody s aktivním uhlím, prací rychlosti a provozních průtoků s ohledem na tlakové ztráty. [2]

2.1.2.2. Koeficient stejnoměrnosti

Koeficient stejnoměrnosti (angl. *uniformity coefficient*) poukazuje na distribuci velikosti částic aktivního uhlí. Menší hodnota značí menší rozdíl mezi velikostí největších a nejmenších částic. [2]

2.1.2.3. Hustota

Hustota (angl. *density*) aktivního uhlí zahrnuje několik typů.

Sypná hmotnost (angl. *apparent density*) je maximální hustota po vibračním setřesení. Hustota lože (angl. *bed density*), při úpravě pitné vody nazývaná též hustota po vymytí a vysušení (angl. *backwashed and drained density*), je pak důležitá zejména pro přepočty objemu a hmotnosti aktivního uhlí. Sypná hmotnost bývá pro ta aktivní uhlí, u nichž bylo jakožto zdrojového materiálu pro výrobu využito černého uhlí, přibližně o 15 % vyšší než hustota lože. [2] To je dáno zvětšením prostoru mezi částicemi po procesu praní. [27]

Dále je definována například hustota částic (angl. *solid (skeletal) density*), která vyjadřuje situaci, kdy by byly z materiálu odstraněny veškeré póry a mezery. Hodnoty této charakteristiky se pohybují okolo $2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. [25]

2.1.2.4. Celkový povrch

Celkový povrch (angl. *total surface area, BET*) je důležitý zejména pro plynnou fázi. Pro úpravu vod však není příliš vypovídající, jelikož necharakterizuje poměr mikropórů a transportních pórů, což je v tomto případě nutno rozlišovat.

U aktivního uhlí bývá v důsledku vysoce pórovité struktury tato hodnota obecně vysoká, pohybuje se přibližně mezi 400 a $1\,500 \text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$. [2]

2.1.2.5. Jodové číslo

Jodové číslo (angl. *iodine number*) zčásti vypovídá o sorpčních vlastnostech aktivního uhlí a udává celkovou porozitu materiálu. Jedná se o charakteristiku důležitou zejména při použití aktivního uhlí do kapalných fází. Jodové číslo udává množství jódu v miligramech adsorbované 1 g aktivního uhlí za určitých podmínek (v rovnovážném stavu s určitou koncentrací jódu ve filtrátu). Dosahuje hodnot mezi 500 a $1\,200 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$. [2] [25]

2.1.2.6. Dechlorační půlhodnota

Dechlorační půlhodnota (angl. *chlorine half length*) charakterizuje účinnost aktivního uhlí v odstraňování silně oxidačních látek (chlor, chlordioxid, ozon atp.) a také životnost aktivního uhlí při jejich odstraňování. Nižší dechlorační půlhodnota značí vyšší účinnost a životnost aktivního uhlí při odstraňování silných oxidačních činidel. [2]

Dechlorační půlhodnota je charakterizována jako výška náplně aktivního uhlí v centimetrech, která způsobí snížení koncentrace chlóru ve vodě na polovinu, konkrétně pak z 5 ppm na 2,5 ppm při rychlosti 36 m·h⁻¹. [2]

2.1.2.7. Otěr

Otěr (angl. *abrasion*) určuje mechanickou pevnost aktivního uhlí v kapalně fázi co do zmenšení průměru jednotlivých zrn. Mezi procesy, které otěr způsobují, patří plnění do filtrů, praní filtrů a reaktivace aktivního uhlí, jedná se tedy z provozního hlediska o velmi důležitý parametr. [2]

2.1.2.8. Tvrdost

Tvrdost (angl. *hardness*) vyjadřuje podíl aktivního uhlí, které zůstane na síti po analýze velikosti částic. Tato charakteristika je důležitá zejména pro aplikaci materiálů pro plynnou fázi; pro využití v kapalinách je stěžejní otěr. [2]

2.1.2.9. Obsah popela

Obsah popela (angl. *ash content*) nehraje v případě úpravy vody prakticky žádnou roli. Tento parametr je důležitý pouze ve speciálních aplikacích, kde má význam vodivost materiálu. [2]

2.1.2.10. Obsah vody při balení

Obsah vody při balení (angl. *moisture as packed*) nemá technologický, ale pouze obchodní význam – vyjadřuje totiž, jak velký podíl z hmotnosti balení tvoří voda a jaký podíl přímo aktivní uhlí. [2]

2.1.3. Adsorpce

Adsorpce je proces, při němž dochází k zachycování a hromadění určitých složek tekutiny na povrchu obvykle velmi porézní pevné fáze. Tohoto děje je využíváno zejména při odstraňování složek vyskytujících se v daných tekutinách v malých koncentracích. Pevná fáze, na níž jsou látky z tekutiny odstraňovány, se nazývá **adsorbent**, složka, která je adsorbována, pak **adsorbát**. [18]

Tento proces nalézá v praxi mnoho využití. U plynných fází se adsorpce využívá jak pro zbavování vzduchu zápachajících a jedovatých látek v klimatizačních zařízeních, tak například pro dělení plynných směsí na jednotlivé složky. U kapalin je

adsorpce používáno u olejů, paliv a mazadel k odbarvování či k odstraňování vody. Dále se na tomto principu získávají například antibiotika a vitamíny z rostlinných výtažků a jiných roztoků. Adsorpce je rovněž velmi účinná při zbavování vody ropných produktů nebo při čištění odpadních vod. V neposlední řadě má adsorpce značné využití při úpravě pitné vody z hlediska odstraňování znečišťujících látek o velmi malých koncentracích a zlepšování organoleptických vlastností pitné vody. [18]

Při úpravě pitné vody se adsorpce umísťuje většinou za čiření nebo pískovou filtraci, jedná-li se však o adsorpci na práškovém aktivním uhlí, zařazujeme tento proces před filtraci. Pro odstranění některých látek je před adsorpci na zrněném aktivním uhlí vhodné zařadit ozonizaci, čímž dojde k výraznému zvýšení účinnosti odstraňování těchto látek z vody. Zároveň je tím také omezena tvorba biofilmu v rozvodném potrubí, čímž je zamezeno zhoršování jakosti dopravované vody cestou ke spotřebiteli. [6]

Jelikož adsorpce probíhá na povrchu pevné fáze, využívají se jakožto adsorbenty zejména materiály amorfní či mikrokrytalické struktury s velkým povrchem. Může se jednat o látky přírodní či syntetické. Kromě aktivního uhlí se používají například silikagel, aktivní oxid hlinitý, syntetické pryskyřice či molekulární síta na bázi hlinitokřemičitanů. U molekulárních sít mají všechny póry stejnou velikost, kdežto u ostatních adsorbentů závisí velikost a rozdělení pórů zejména na technologickém postupu výroby daného materiálu. [18]

Opakem adsorpce je desorpce, při níž dochází k přechodu molekul z pevné fáze zpět do fáze kapalné. [3]

2.1.3.1. Typy adsorpce

Dle povahy děje rozlišujeme tři typy adsorpce, a to fyzikální adsorpci, chemisorpci a elektrostatickou adsorpci (výměnu iontů).

Podstatou **fyzikální adsorpce** jsou van der Waalsovy síly mezi jednotlivými molekulami. Při tomto typu adsorpce může být dosahováno velké adsorpční kapacity, jelikož na tuhé fázi zde může vznikat i více vrstev adsorbátu. Základem **chemisorpce** je pak elektronová chemická vazba. Z tohoto důvodu se může vytvořit vždy jen jedna vrstva adsorbátu, což má za následek relativně malou adsorpční kapacitu. **Elektrostatická adsorpce** je založena na tzv. coulombovských silách, tedy přitažlivých a odpudivých silách působících mezi jednotlivými náboji. [3]

2.1.3.2. Adsorpce na aktivním uhlí

Aktivní uhlí řadíme z hlediska polarity mezi nepolární adsorbenty, což jej předurčuje k sorpci zejména nepolárních organických látek a látek neelektrolytické povahy. Při styku aktivního uhlí s vodou však může za jistých podmínek docházet ke změně tohoto adsorbentu na polární, čímž je pak umožněno sorbovat na aktivním uhlí i mnohé polární látky, jako například ionty kovů, a to se značnou účinností (překračující i 90 %). [3]

Kromě dějů fyzikálních a chemických na aktivním uhlí probíhají i biologické a mikrobiologické procesy, při nichž se pomalu odbourávají zachycené organické látky. [6]

2.1.3.3. Parametry adsorpce

K popisu adsorpce slouží tzv. **adsorpční izotermy**. Ty vyjadřují vzájemný vztah mezi adsorbátem a adsorbentem v rovnovážném stavu. Jednou z těchto rovnic je Freundlichova izoterma ve tvaru:

$$A = k \cdot c_r^{1/n} \quad (3), \text{ respektive } \log A = \log k + (1/n) \log c_r \quad (4),$$

kde A značí adsorbované množství, c_r rovnovážnou koncentraci adsorbátu, k a n pak konstanty závislé na charakteru adsorbentu a adsorbátu.

V případech, kdy dochází k nasycení povrchu adsorbentu již jedinou vrstvou adsorbátu, neshodují se experimentální výsledky s Freundlichovou izotermou. Tehdy je často lepší využít Langmuirovu izotermu. Její tvar je:

$$A = A_{max} \cdot \frac{b \cdot c_r}{1 + b \cdot c_r} \quad (5), \text{ respektive } \frac{c_r}{A} = \frac{1}{A_{max} \cdot b} + \frac{c_r}{A_{max}} \quad (6),$$

kde A představuje adsorbované množství, A_{max} maximální adsorbované množství, b je konstanta a c_r rovnovážná koncentrace adsorbátu.

Kromě dvou uvedených existuje ještě celá řada dalších, a mnohdy výrazně složitějších, rovnic popisujících proces adsorpce. Ty platí, stejně jako Freundlichova a Langmuirova izoterma, jen za určitých podmínek, žádná nemá univerzální platnost. [6]

Kinetika adsorpčních a desorpčních procesů je zpravidla vyjadřována rovnicí:

$$\frac{dc}{dt} = v = k \cdot (c - c_r) \quad (7),$$

kde v (resp. dc/dt) značí rychlost daného děje, k konstantu závislou na velikosti aktivního povrchu, c koncentraci adsorbátu a c_r rovnovážnou koncentraci adsorbátu. [6]

Při návrhu a modelování adsorpčních procesů se využívají tzv. **adsorpční zkoušky**, které mohou být buď statické, nebo dynamické. Statických zkoušek se využívá pro zjištění potřebných dávek a určení velikosti aktivního povrchu práškového aktivního uhlí, kdežto zkoušky dynamické slouží ke stanovení parametrů adsorpce na filtru se zrněným aktivním uhlím nebo jiným sorpčním materiálem. [6]

Na schématu v Obr. 6 je znázorněn reaktor s náplní z aktivního uhlí. L je výška filtrační náplně, V její objem. A značí průtočný profil náplně, C_o koncentraci znečištění na přítoku, C pak koncentraci znečištění na odtoku. Q je objemový průtok. [1]

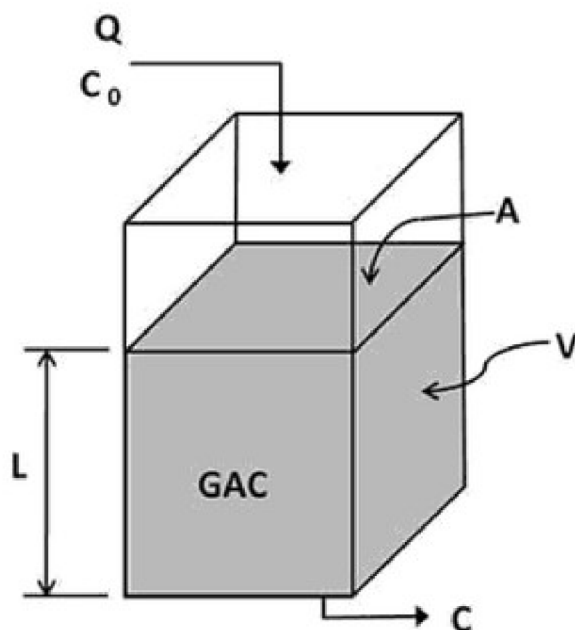
Jednou z nejdůležitějších charakteristik procesu adsorpce na aktivním uhlí je **hydraulické zatížení filtru** (přítoková rychlost, angl. *HLR – hydraulic loading rate*). Ta se vypočte jako podíl objemového průtoku a průtočného profilu náplně (rovnice (8)).

$$v = HLR = \frac{Q}{A} \quad (8)$$

Dalším významným parametrem je kontaktní doba prázdného lože (angl. *EBCT – empty bed contact time*). Tu je možno vyjádřit jako podíl objemu náplně a objemového průtoku, nebo jako výšku náplně podělenou rychlostí (rovnice (9)).

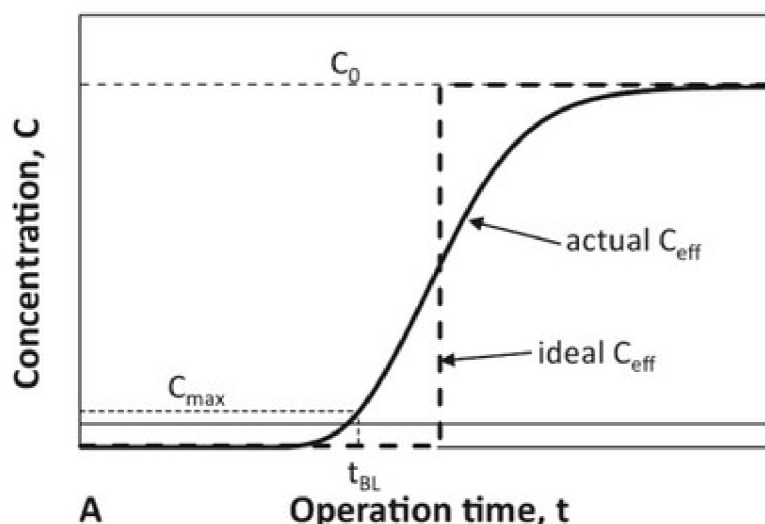
$$EBCT = \frac{V}{Q} = \frac{L}{v} \quad (9)$$

Tento parametr však nevyjadřuje skutečnou dobu zdržení τ – nezohledňuje totiž objem filtru, který zabírá náplň aktivního uhlí. To zabírá přibližně polovinu lože, tedy skutečná doba zdržení je zhruba poloviční než kontaktní doba EBCT. [1]



Obr. 6 Schéma průtokového reaktoru s pevným ložem (Zdroj: [1])

Po vyčerpání adsorpční kapacity adsorbentu začne opět docházet k výskytu adsorbované látky na odtoku. V idealizovaném případě dojde k okamžitému zvýšení koncentrace na odtoku z nuly na koncentraci C_0 . V reálných podmínkách však ke zvyšování koncentrace dochází postupně, přičemž se koncentrace na odtoku asymptoticky blíží hodnotě C_0 . V praxi je nutno náplň vyměnit po dosažení určité limitní koncentrace C_{max} tak, aby byla kontinuálně zajištěna vyhovující kvalita vody na odtoku z reaktoru. Popisované skutečnosti jsou zobrazeny v grafu na Obr. 7. [1]



Obr. 7 Graf závislosti koncentrace na odtoku na době provozu náplně (Zdroj: [1])

2.1.3.4. Reaktivace

V momentě, kdy dojde k vyčerpání sorpčních vlastností aktivního uhlí, je třeba jej reaktivovat, případně vyměnit za nové. Při reaktivaci je dosloužilý materiál odebrán do speciálních autocisteren, jimiž je přepravován na reaktivační linku, kde dochází k vlastnímu procesu reaktivace. Toho je dosahováno zahříváním materiálu. [2]

Samotný reaktivační proces se skládá ze čtyř fází. První z nich je sušení, následuje desorpce těkavých organických sloučenin za teploty do 250 °C. Třetí fází je pyrolýza a karbonizace netěkavých organických sloučenin, která již probíhá při vyšších teplotách (cca do 750 °C). Na nejvyšší teplotu je však materiál zahříván v poslední fázi procesu, aktivaci. Ta spočívá ve vytvoření velkého vnitřního povrchu materiálu a probíhá při teplotách okolo 800 °C. Závěrem je nutno doplnit úbytek reaktivovaného materiálu novým aktivním uhlím. [2]

2.2. Pesticidy

Pesticidy jsou látky určené k redukci či hubení živočišných škůdců, hub a plevelů za účelem ochrany zemědělských a jiných užitkových plodin. Uplatnění tyto prostředky nacházejí také v ochraně lesů či chovu ryb, kde se využívají například pro redukci zooplanktonu a vodních rostlin při ohrožení rybí obsádky kyslíkovým deficitem. [3]

Pesticidy zahrnují velké množství přípravků lišících se jak svou biologickou účinností (tzn. tím, na hubení které skupiny organismů jsou zaměřeny), tak chemickým typem účinné látky a působením na ošetřovaný organismus. [7]

Z hlediska chemického se může jednat o látky anorganické i organické povahy. Účinnou složkou anorganických pesticidů mohou být například rtuť, olovo, arsen, fluor, měď či síra. Výrazně početnější skupinu však tvoří pesticidy organické, z nichž nejvýznamnější jsou organochlorové a organofosforové pesticidy. Dalšími aktivními

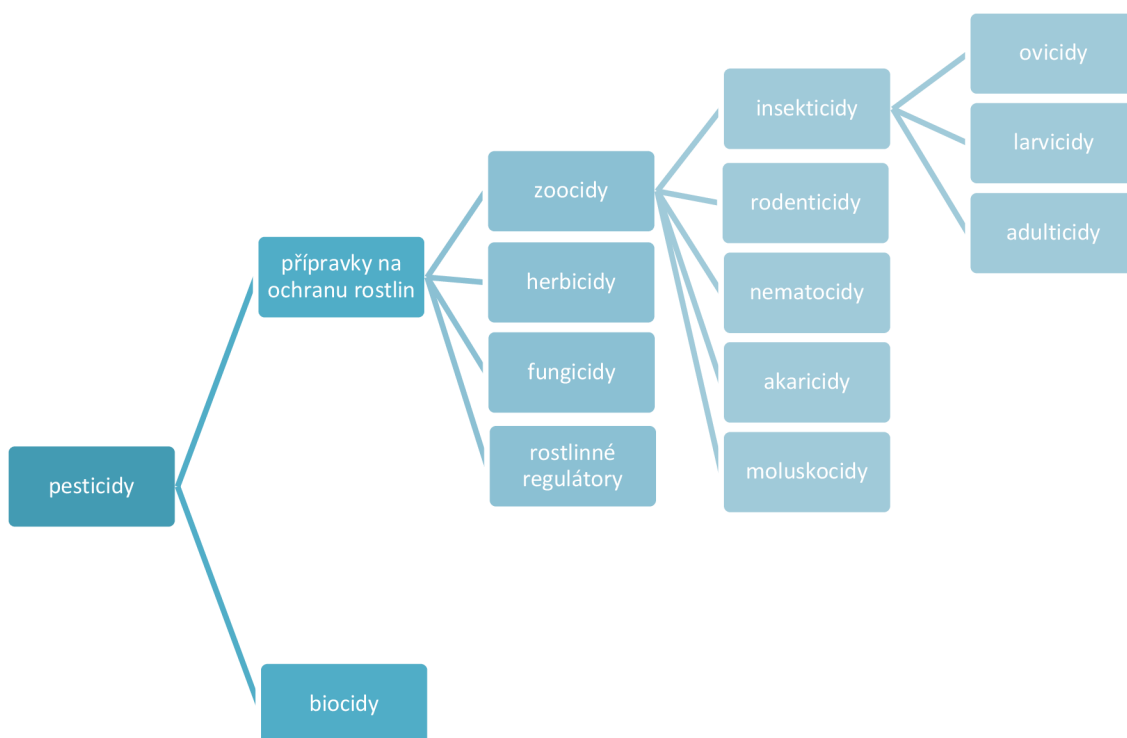
látkami u organických pesticidů mohou být deriváty močoviny, deriváty fenolů, heterocyklické sloučeniny, karbamáty apod. (viz kapitola 2.2.1). [3]

Pesticidy jsou označovány několika způsoby. Mimo chemického názvu a strukturního vzorce nese každý pesticid také určitý obecný název, který je pro jeho identifikaci zásadní, protože má mezinárodní platnost. To však neplatí pro označení obchodní, která jsou používána pro již hotové ošetřující přípravky, a tedy se liší v závislosti na konkrétním výrobcu. [3]

2.2.1. Dělení pesticidů

Pesticidní látky je možno klasifikovat z mnoha různých hledisek. Ani jedno rozdělení však nemá univerzální platnost; každé lze využít pouze ve specifické oblasti.

V Evropské unii se pod pojmem *pesticid* rozumí dvě základní podskupiny – biocidy a přípravky na ochranu rostlin. Ty se pak dále dělí dle biologického účinku následovně (Obr. 8):



Obr. 8 Rozdělení pesticidů dle biologického účinku (Zdroj: [15])

2.2.1.1. Biocidy

Jedná se o látky nebo směsi určené k hubení, odpuzování či omezování škůdců. S biocidy přicházejí lidé do styku častěji než s přípravky na ochranu rostlin, jelikož mezi ně řadíme i velké množství přípravků běžně používaných v domácnostech (např. pro hubení hmyzu a hlodavců, k dezinfekci, likvidaci plísní, k ochraně staveb a materiálů či k odstraňování řas z bazénů). Účinnými látkami biocidních látek mohou

být jak látky chemické, tak i mikroorganismy. Povolování biocidů přísluší činnosti Ministerstva zdravotnictví ČR. [15]

2.2.1.2. Přípravky na ochranu rostlin

V rámci terminologie EU se jedná o veškeré pesticidní látky využívané pro ochranu rostlin, ať už proti škůdcům, chorobám či plevelům. Může se jednat o chemické přípravky, mikroorganismy, feromony, výluhy, extrakty z bylin apod. Na základě biologické účinnosti se přípravky na ochranu rostlin dále dělí na zoocidy, herbicidy, fungicidy a rostlinné regulátory. [15]

Zoocidy se používají k likvidaci živočišných škůdců. Podle konkrétní skupiny organismů, na něž svými účinky cílí, se dělí na:

- insekticidy – hubení hmyzu (nejčastější zoocidy; působí buď na vajíčka hmyzu (ovocidy), na jeho larvy (larvicidy) či na dospělé (adulticidy))
- rodenticidy – hubení hlodavců
- akaricidy – hubení roztočů
- nematocidy – hubení háďátek
- moluskocidy – hubení plžů a mlžů. [15]

Herbicidy jsou látky využívané k likvidaci plevelných či invazních rostlin na zemědělsky využívané půdě. Jejich účinky mohou být selektivní, kdy daný herbicid působí pouze na konkrétní druhy plevelů, nebo neselektivní. [15]

Fungicidy jsou přípravky využívané ke zneškodnění či potlačení organismů způsobujících houbová onemocnění rostlin. Nejvýznamnějšími škodlivými produkty houbových organismů (konkrétně toxigenních plísní) jsou mykotoxiny, které vznikají jako následek nepříznivých teplotních a vlhkostních poměrů při sklizni, skladování a přepravě plodin. Některé mykotoxiny mohou po požití lidmi či zvířaty způsobovat poškození určitých orgánů (jater, trávicího traktu apod.), odumírání svaloviny či rakovinné bujení. V současné době se používají zejména fungicidy organické, ale také některé anorganické přípravky na bázi síry a mědi. Dle účinnosti pak rozlišujeme fungicidy na kontaktní a systémové. [15]

Rostlinné regulátory ovlivňují některé životní procesy u rostlin, nejsou tedy zaměřeny přímo na škodlivý organismus. Řadíme mezi ně například regulátory růstu, kterými se ošetřují obilniny pro zkrácení jejich stébel, aby nedocházelo k jejich poléhání. [15]

Jak již bylo zmíněno, podle chemického složení účinných látek lze rozlišit pesticidy organické či anorganické. [7] Zdroj [23] uvádí ještě následující dělení dle chemického složení:

- organochlorové deriváty – aldrin, dieldrin, DDT, lindan, heptachlor
- organofosfáty – chlorpyrifos, dimethoát, forát, acefát, diazinon
- dinitroanilinové pesticidy – trifluralin, pendimethalin
- karbamáty – fonoxykarb, karbofuran, karbaryl, oxamyl, pirimikarb

- pyrethroidy – cypermethrin, bifenthrin, deltamethrin, permethrin
- chloracetanilidové pesticidy – alachlor, acetochlor, metolachlor
- fenoxycarboňové pesticidy – 2,4-D, MCPA, MCPB, 4-CPA
- pesticidy na bázi močoviny – diuron, isoproturon, chloroturon
- triazinové a diazinové pesticidy – atrazin, cyanazin, terbutylazin
- pesticidy na bázi biopyridilů – dikvat, parakvat
- pesticidy na bázi kovů – fenylrtuť, tributylcin, chlorid rtuťnatý
- pesticidy na bázi glyfosfátu – glyfosfát, glufosinát, glyfosfát-IPA
- neonicotinové pesticidy – imidaklopid, acetamiprid, triamethoxam.

Dále je možno pesticidy dělit například dle spektra účinku na totální, širokospektré a selektivní. [23] Další rozdělení je dle složení přípravků, které může být jednoduché nebo kombinované. Dle způsobu účinku rozlišujeme pesticidní látky kontaktní, systémové, dýchací a žaludeční. V neposlední řadě je pak možno pesticidy klasifikovat dle molekulového mechanismu účinku či finální úpravy ošetřujícího přípravku [7].

2.2.2. Vlastnosti pesticidů

Vzhledem k tomu, že se jedná o velmi početnou a různorodou skupinu látek, různí se poměrně značně i vlastnosti jednotlivých pesticidů.

2.2.2.1. Rozpustnost

Nejmenší rozpustnost ve vodě vykazují organochlorové pesticidy, u nichž je dosahováno rozpustnosti řádově pouze $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Naproti tomu organofosforové pesticidy se vyznačují rozpustností dosahující hodnot až $1\ 000\ \text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. [3]

2.2.2.2. Stálost v prostředí

Biologická rozložitelnost pesticidů závisí zejména na jejich struktuře a má přímý vliv na odstranění těchto látek z vodního a půdního prostředí. Poměrně snadno biologicky rozložitelné jsou například organofosforové pesticidy, dále deriváty fenoxycarboňové kyseliny a karbamáty. Naopak problémem jsou organochlorové pesticidy a deriváty močoviny, které jsou biologicky stálé. Chlorované pesticidy jsou stálé také chemicky a biochemicky. [3]

2.2.2.3. Vliv na ekosystém a člověka

Ve vodním prostředí působí pesticidy ve vyšších koncentracích toxicky na některé součásti vodní biocenózy, především na ryby a zooplankton, čímž vzniká nebezpečí narušení biologické rovnováhy v daném toku či jiném vodním ekosystému.

Co se přímo vlastností vody týče, mohou pesticidy snižovat její samočisticí schopnost, zhoršovat organoleptické vlastnosti (zejména pach a chuť). Vyskytují-li se pesticidy v pitné vodě, mohou ohrozit zdraví člověka svými často toxickými či karcinogenními vlastnostmi. [3] Do lidského těla se tyto látky mohou dostat prostřednictvím kůže, očí, úst či dýchací soustavou. Akutními následky kontaktu s pesticidy mohou být bolesti hlavy a břicha, zvracení, vyrážka, podráždění očí, kýchání, problémy s dýcháním či ztráta vědomí. Při přímé expozici může v krajních případech dojít i k úmrtí. [21]

2.2.2.4. Degradace pesticidů a metabolity

K degradaci může docházet jak prostřednictvím fyzikálních vlivů, jako je například sluneční záření či vyšší teplota, tak i chemickými procesy, jako jsou například redoxní reakce či hydrolýza. V neposlední řadě může rozklad probíhat biologicky, tedy činností mikroorganismů. Obecně lze říci, že anaerobní podmínky s nízkými teplotami a absencí organismů budou mít za následek sníženou míru degradace pesticidů. [23]

Degradací pesticidů vznikají tzv. metabolity. Ty jsou v závislosti na svých vlastnostech (zejména toxicitě a biologické aktivitě) rozlišovány na **relevantní** a **nerelevantní**. Posuzovány jsou zejména závažné toxikologické vlastnosti jako karcinogenita, genotoxicita či toxicita pro reprodukci. Platí, že dá-li se očekávat, že produkt rozkladu mateřské pesticidní látky bude mít vlastnosti srovnatelné s touto mateřskou látkou, je dle příslušných právních předpisů posuzován stejně jako mateřská látka, tedy pro něj platí stejné limitní hodnoty v pitné vodě (nejčastěji $0,1 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, viz kapitola 2.2.4). Takovýto metabolit nazýváme relevantním. Pro nerelevantní metabolity je pak vždy nutné individuální posouzení jejich toxikologických rizik pro spotřebitele pitné vody, a to zejména tehdy, překročí-li koncentrace daného metabolitu v pitné vodě $0,75 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. [23]

2.2.3. Způsob vniku pesticidů do životního prostředí

Pesticidy se používají nejen v polním hospodářství, ale také v hospodářství lesním a vodním. Využití nacházejí i ve zdravotnictví a obsaženy jsou rovněž v hygienických a kosmetických přípravcích. [23]

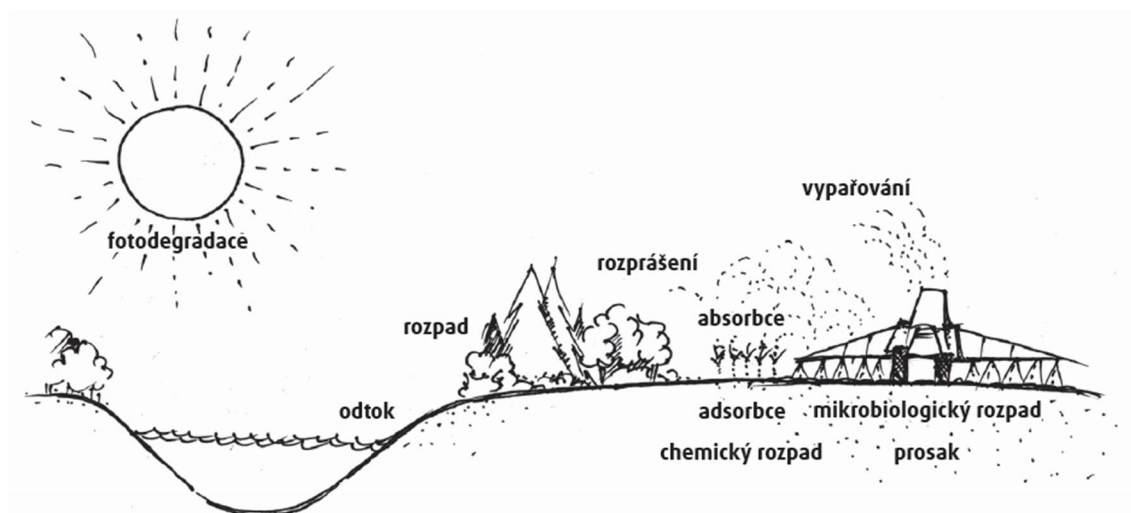
Vzhledem k využívání pesticidů zejména ve formě postřiků jsou nejvýznamnějším zdrojem kontaminace povrchových vod těmito látkami úlet postřikové kapaliny (drift), odplavení z povrchu do povrchových vod (splachy z polí apod.) či průnik do drenážního systému. U podzemních vod je nejčastějším způsobem kontaminace vertikální vyplavování. Dále může ke kontaminaci docházet nevhodným zacházením s danými přípravky či jejich obaly, nesprávným skladováním, přípravou aplikačních roztoků v blízkosti zdrojů vody, únikem vody z proplachování rozstřikovacích zařízení či prostřednictvím průmyslové odpadní vody z výroby pesticidů. V tomto případě se jedná většinou o zdroje tzv. lokální kontaminace. [3] [7]

V některých případech mohou být pesticidy aplikovány do vody také záměrně za účelem vymýcení přenašečů chorob a vodních rostlin například v zavlažovacích systémech. [23]

Nejlépe jsou pesticidy adsorbovány na jílovitých půdách a na půdách s vyšším podílem organického materiálu. Do půd písčitých se tyto látky adsorbují málo a snadno z nich vytěkají. Proces těkání značně usnadňuje také teplé a větrné počasí s drobnými srážkami. [23]

Čím nižší je adsorpce daného pesticidu, tím větší je riziko kontaminace podzemních vod. Avšak je-li adsorpce pesticidů naopak vysoká, snižuje se jejich koncentrace v podzemní vodě. Tím je snížena dostupnost pesticidů k degradaci – jsou tedy v půdě zadržovány, aniž by docházelo k jejich odbourávání. Vlivem desorpce pak může dojít ke zpětnému vyplavování pesticidů do podzemní vody a jejich následné degradaci a transformaci. [23]

Na Obr. 9 je znázorněn postup šíření pesticidů v životním prostředí.



Obr. 9 Osud pesticidů v životním prostředí (Zdroj: [23])

Přestože je v současné době například používání organochlorových pesticidních látek (DDT, aldrin, dieldrin apod.) téměř zakázáno, je i nadále jejich výskyt v životním prostředí značný. To je dáno jejich velkou biologickou a chemickou stálostí. Dalším problémem některých (kupříkladu již zmíněných organochlorových) pesticidů je také to, že jsou často jen velmi obtížně rozpustné ve vodě, v důsledku čehož je nutno pro vytvoření postřikové směsi přidávat rozpouštědla, emulgátory a dispergátory, které pak spolu s účinnými látkami z pesticidů působí problémy v životním prostředí, tedy i ve vodě. [3]

V souvislosti s chováním pesticidů v životním prostředí je důležité sledovat zejména jejich teplotu tání a varu, rozpustnost ve vodě, bioakumulační faktor, difúzní vlastnosti, koeficient sorpce, tlak par a další. V neposlední řadě je důležitá také jejich perzistence. Ta u pesticidů vyjadřuje poločas rozpadu, tzn. dobu, po jejímž uplynutí klesne obsah těchto látek v životním prostředí na polovinu původního množství. [23]

Dle délky poločasu rozpadu rozlišujeme 3 kategorie pesticidů:

- neperzistentní pesticidy – poločas rozpadu pod 30 dní
- středně perzistentní pesticidy – poločas rozpadu 30 až 100 dní
- vysoce perzistentní pesticidy – poločas rozpadu nad 100 dní. [23]

Rezidua pesticidů v životním prostředí představují potenciální riziko, a proto jsou pro jejich obsah v jednotlivých komoditách stanoveny tzv. maximální limity reziduí (MLR). [23]

2.2.4. Limitní hodnoty v pitné vodě

Limitní hodnoty pesticidů jsou uvedeny v Příloze č. 1 vyhlášky č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. V Tabulce B. Fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele, je uveden limit pro „každou jednotlivou pesticidní látku a její relevantní metabolit“ $0,10 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. To neplatí pro aldrin, dieldrin, heptachlor a heptachlorepoxyd, kde je limitní hodnota přísnější ($0,03 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$). Pro pesticidní látky celkem je limit stanoven na $0,50 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Tato hodnota se vztahuje na „součet jednotlivých stanovených a kvantitativně zjištěných pesticidních látek a jejich relevantních metabolitů“. [4]

Všechny tři uvedené limitní hodnoty jsou nejvyššími mezními hodnotami (NMH). Jedná se tedy o ze zdravotního hlediska důležitý ukazatel jakosti pitné vody. Dojde-li k překročení této limitní hodnoty, je vyloučeno použití vody jako pitné, není-li příslušným orgánem ochrany veřejného zdraví stanoveno jinak. [17]

Příloha č. 3 k nařízení vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech uvádí v Tabulce 1c pro acetochlor a jeho metabolity jako normu environmentální kvality (NEK) hodnotu $0,4 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Jedná se o celoroční průměrnou hodnotu. „Pro každý daný útvar povrchových vod se použitím NEK-RP rozumí, že aritmetický průměr koncentrací naměřených v různých časech průběhu roku v žádném reprezentativním monitorovacím místě ve vodním útvaru nepřekračuje dotyčnou normu.“ [5]

2.2.5. Národní akční plán k bezpečnému používání pesticidů v České republice

Národní akční plán k bezpečnému používání pesticidů v České republice (NAP) je dokument obsahující soubor opatření, jimiž se ve členských státech Evropské unie řídí program snižování nepříznivého ovlivňování zdraví lidí a životního prostředí přípravky na ochranu rostlin (netýká se biocidních přípravků). V NAP jsou stanoveny kvantitativně měřitelné úkoly, průběžné i konečné cíle a opatření či alternativní postupy, jimiž by mohla být snižována spotřeba těchto pesticidních látek a závislost na jejich používání. [16]

Tvorbu a vyhodnocení NAP má ve své kompetenci Ministerstvo zemědělství ve spolupráci s Ministerstvem zdravotnictví a Ministerstvem životního prostředí. Tento

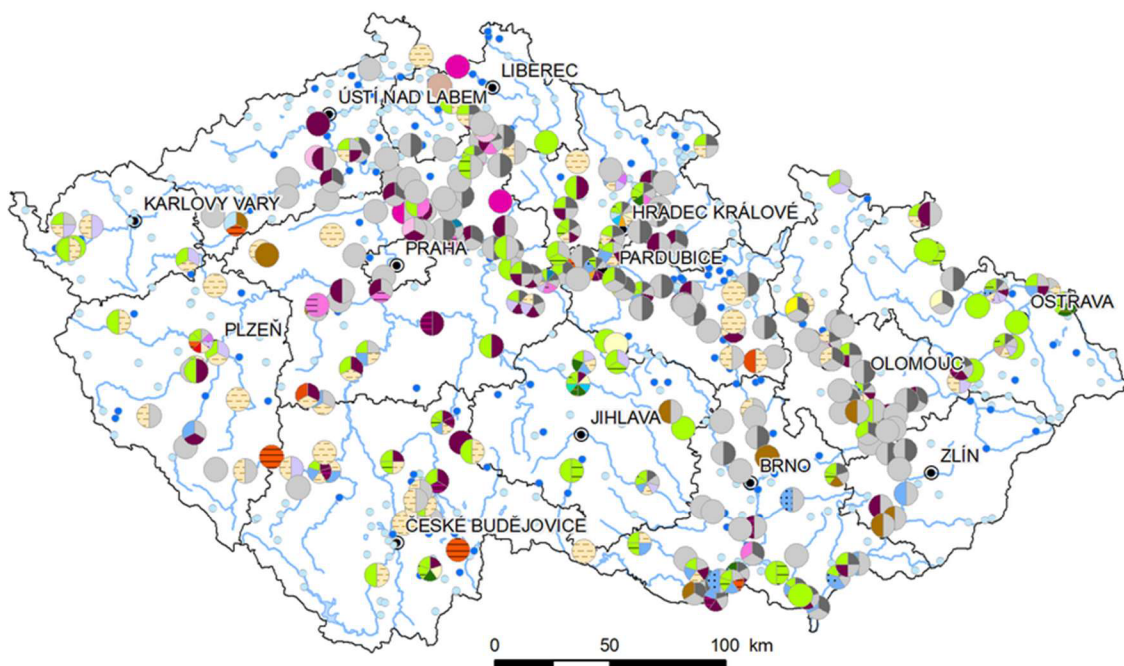
dokument musí být aktualizován vždy nejpozději po pěti letech. Veřejnosti je umožněno vznášet ve stanovené lhůtě k návrhu NAP připomínky. Národní akční plán schvaluje vláda České republiky. Ministerstvo zemědělství schválený NAP zveřejní a o veškerých významných změnách v něm informuje Evropskou komisi. [16]

Předmětem Národního akčního plánu jsou především ochrana zdraví lidí, ochrana podzemních a povrchových vod a ochrana necílových živých organismů. Mezi cíli v oblasti ochrany zdraví se vyskytuje zejména rozšíření osvěty a státního dozoru nad správností manipulace s ošetřujícími látkami či zavedení účinného systému kontroly přítomnosti reziduí pesticidů v potravinách. V oblasti ochrany vody je zmiňováno hlavně přijetí preventivních opatření pro snížení výskytu pesticidních látek zejména v povrchových a podzemních vodách sloužících jako zdroj pitné vody, dále zefektivnění monitoringu výskytu těchto látek ve vodách či regulace používání pesticidů v místech, kde byl ve vodních zdrojích zjištěn jejich nadlimitní výskyt. Co se ochrany necílových živých organismů týče, je hlavním cílem omezení používání ošetřujících prostředků v citlivých lokalitách, jako jsou chráněná území či lokality s výskytem citlivých druhů. [16]

2.2.6. Nejčastější pesticidy a jejich metabolity

Mezi pesticidy, které v ČR nejčastěji překračují limitní hodnoty, náleží z mateřských látek zejména atrazin, bentazon a hexazinon. Z relevantních metabolitů se jedná především o acetochlor ESA, acetochlor OA a desethylatrazin. Doporučené limitní hodnoty byly překročeny u nerelevantních metabolitů alachlor ESA a metazachlor OA. Uvedená data vyplývají z výzkumu provedeném Státním zdravotním ústavem na jaře a na podzim roku 2017. Výzkum byl zaměřen na 21 pesticidních látek a jejich metabolitů. Analyzováno bylo přes 170 vzorků z vodovodů po celém území ČR. [20]

Na Obr. 10 je pak znázorněno znečištění podzemních vod jednotlivými pesticidy a jejich metabolity dle dat z ČHMÚ z roku 2021.



- Překročena referenční hodnota
- Koncentrace nad mezí stanovitelnosti
- Koncentrace pod mezí stanovitelnosti

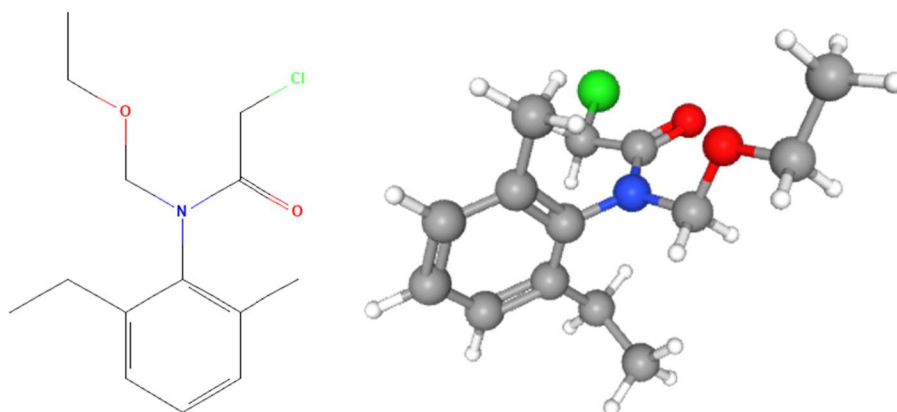
■ Metribuzin desamino diketo	■ MCPA
■ Chloridazon metyl desfenyl	■ AMPA
■ Chloridazon desfenyl	■ Prometryn
■ Chloridazon	■ Atrazin desetyl
■ Chlorthalonil TP R471811	■ Atrazin 2-hydroxy
■ Chlorthalonil TP R417888	■ Isoproturon
■ Metolachlor ESA	■ Tebukonazol
■ Metolachlor OA	■ Acetochlor ESA
■ Hexazinon	■ Acetochlor OA
■ Chlorotoluron	■ Klopyralid
■ Bentazon	■ Dimethenamid ESA
■ Dimethachlor ESA	■ Dimethenamid OA
■ Dimethachlor OA	■ Pethoxamid ESA
■ 2,6-dichlorbenzamid	■ Metazachlor OA
■ 1,2,4-triazol	■ Metazachlor ESA
■ Alachlor OA	
■ Alachlor ESA	

Zdroj dat: ČHMÚ

Obr. 10 Koncentrace pesticidů v podzemních vodách v ČR [$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$], 2021 (Zdroj: [19])

2.2.7. Acetochlor

Acetochlor je herbicid, který byl vyvinut firmami Monsanto a Zeneca. Po chemické stránce se jedná o amid monokarboxylové kyseliny, organochlorovou sloučeninu a aromatický amid. Chemický vzorec této látky je $C_{14}H_{20}ClNO_2$. Molekula acetochloru je znázorněna na Obr. 11. [9]



Obr. 11 Molekula acetochloru ve 2D a 3D (Zdroj: [9])

Acetochlor patří spolu s alachlorem, metolachlorem, dimethachlorem a metazachlorem mezi chloracetanilidové pesticidy. Ty se v půdě obecně poměrně rychle rozkládají a dostávají se snadno do povrchových vod. Tyto látky podléhají fotodegradaci, jejich rozpad je dále ovlivňován činností bakterií a hodnotou pH daného prostředí. [23]

Jedná se o viskózní, lehce olejovitou kapalinu nařialovělé barvy s rozpustností ve vodě $233 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Tato sloučenina je klasifikována jako látka dráždivá (GHS07), nebezpečná pro zdraví (GHS08) a nebezpečná pro životní prostředí (GHS09). [9]

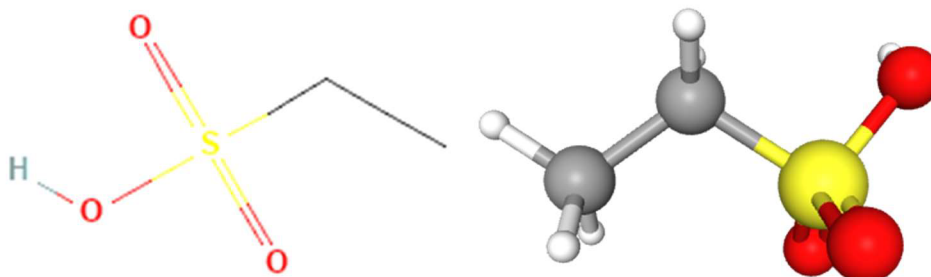
V zemědělství je využíván zejména na likvidaci jednoletých trav a plevelů při pěstování řepy, kukuřice, brambor, obilí, sóji, slunečnice, hrachu, peckovin a dalších plodin. Je vstřebáván klíčovými rostlinami či kořeny. [23]

Acetochlor je rozkládán zejména činností mikrobů, přičemž jeho poločas rozpadu činí přibližně 3 měsíce.

Prováděcím nařízením komise (EU) č. 1372/2011 ze dne 21. prosince 2011 bylo zrušeno předchozí schválení uvádění tohoto přípravku na ochranu rostlin na trh v rámci Evropské unie, tedy byl zakázán.

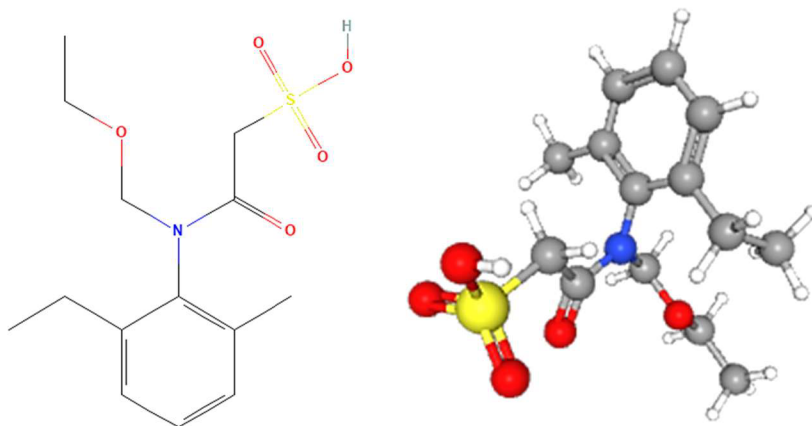
2.2.8. Acetochlor ESA

Acetochlor ESA je spolu s acetochlorem OA relevantním metabolitem acetochloru. ESA v názvu této látky je zkratkou anglického *ethane sulfonic acid*, tedy kyselina ethansulfonová ($C_2H_6O_3S$). Tu tento metabolit obsahuje ve své molekule, jak je patrné při porovnání Obr. 12 a Obr. 13.



Obr. 12 Molekula kyseliny ethansulfonové ve 2D a 3D (Zdroj: [22])

Po chemické stránce se tedy jedná o organosulfonovou kyselinu, jejíž chemický vzorec je $C_{14}H_{21}NO_5S$. [10] Molekula acetochloru ESA je vyobrazena na Obr. 13.



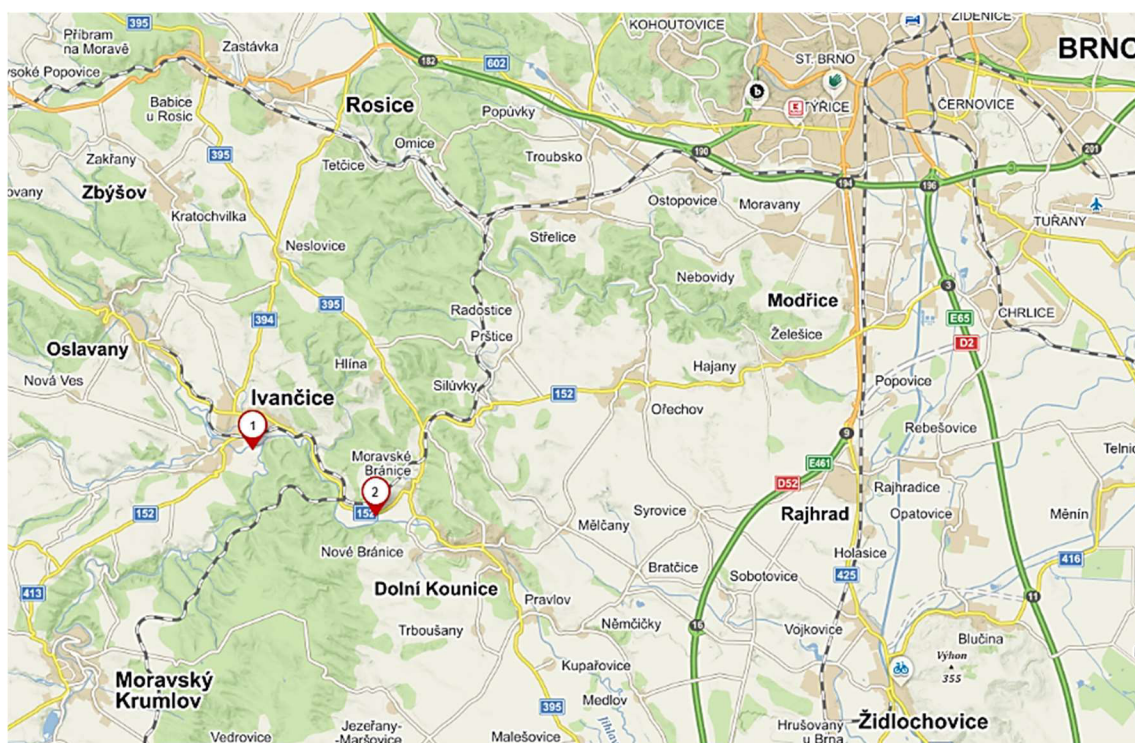
Obr. 13 Molekula acetochloru ESA ve 2D a 3D (Zdroj: [10])

2.2.9. Další možnosti odstranění pesticidů z vody

Kromě adsorpce na aktivním uhlí či kombinace tohoto procesu s ozonizací je k odstranění pesticidů při úpravě pitné vody možno využít také membránových procesů. Mikrofiltrace a ultrafiltrace tyto látky nebývá schopna odstranit, při nanofiltraci už dojde k částečnému odstranění pesticidních látek z vody. Reverzní osmózou je pak možno pesticidy odstranit zcela. [24]

2.3. Zájmové lokality

Zájmovými lokalitami jsou Ivančice a Moravské Bránice. Jedná se o obce ležící v okrese Brno-venkov v Jihomoravském kraji, a to cca 20 km jihozápadně od Brna. Na Obr. 14 je poloha jámacího objektu v k. ú. Němčice u Ivančic znázorněna číslem 1, v k. ú. Moravské Bránice pak číslem 2.



Obr. 14 Umístění zájmových lokalit ve vztahu k okolním obcím (Zdroj: Mapy.cz)

2.3.1. Ivančice

Prameniště a úprava vody Ivančice se nachází, jak již bylo zmíněno výše, v k. ú. Němčice u Ivančic (tedy v místní části Němčice obce Ivančice), a sice na pozemku p. č. st. 442/1. Pozemek je ve vlastnictví Svazku vodovodů a kanalizací Ivančice. Vzhledem k tomu, že se na zmíněné parcele nachází zdroj pitné vody, je na ní vymezeno ochranné pásmo vodního zdroje 1. stupně.

Objekt úpravy vody je v KN evidován pod č. ev. 1373 a jeho způsob využití je klasifikován jako stavba technického vybavení. Na Obr. 15 je daný objekt znázorněn v mapové aplikaci ČÚZK (Veřejný dálkový přístup (VDP) k datům Registru územní identifikace, adres a nemovitostí (RÚIAN)).



Obr. 15 Objekt úpravný vody a prameniště Ivančice (Zdroj: ČÚZK VDP k datům RÚIAN)

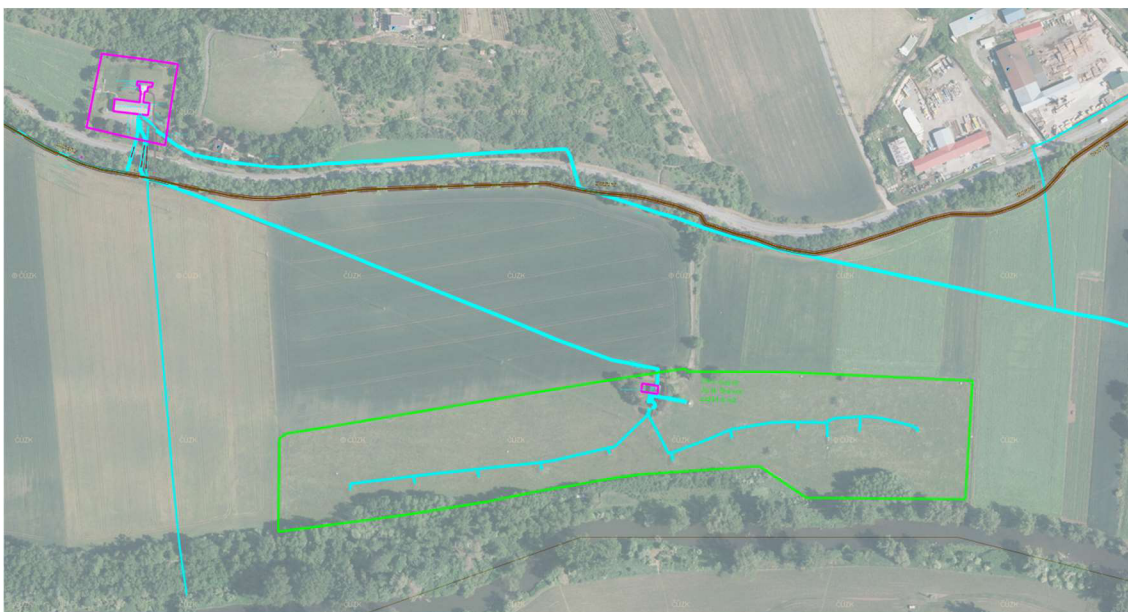
2.3.2. Moravské Bránice

Prameniště Moravské Bránice se nachází na pozemku č. 1624 v k. ú. Moravské Bránice. Jedná se o ostatní plochu s využitím ve smyslu manipulační plochy. Na parcele je vymezeno ochranné pásmo vodního zdroje 1. stupně a věcné břemeno zřízení a provozování vedení.

Z jímacího území je voda čerpána do objektu akumulace. Tam je voda hygienicky zabezpečována a následně odtud dochází k její distribuci ke spotřebiteli.

Na Obr. 16 je zeleně orámován pozemek č. 1624 s jímacím zařízením a parcela č. 1623 (zastavěná plocha a nádvoří se stavbou technického vybavení). Růžově je pak vyznačena parcela č. 1570, která obklopuje pozemek č. 1567, který je v KN definován jako zastavěná plocha a nádvoří se stavbou technického vybavení. Jedná se o objekty čerpací stanice a akumulace. Parcela č. 1570 je charakterizována jako ostatní plocha s využitím ve smyslu manipulační plochy. Je zde zřízeno věcné břemeno zřízení a provozování vedení.

Veškeré zmiňované parcely jsou ve vlastnictví Svazku vodovodů a kanalizací Ivančice.



Obr. 16 Prameniště Moravské Bránice (Zdroj: VAS, Divize Brno-venkov)

2.3.3. Popis problému

V roce 2015 byl v surové vodě v lokalitě Ivančice zaznamenán zvýšený výskyt relevantního metabolitu acetochloru ESA. V listopadu 2015 byly provedeny úplné rozbory vody. Jimi byla stanovena koncentrace acetochloru ESA v surové vodě v odběrném místě sběrné studny ČS4 na $0,300 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ (s nejistotou $\pm 30\%$), což je koncentrace překračující nejvyšší mezní hodnotu stanovenou příslušnými právními předpisy. Koncentrace metabolitu metazachloru ESA byla $0,590 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1} \pm 30\%$, metolachloru ESA $0,210 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1} \pm 30\%$ a metazachloru OA $0,110 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1} \pm 30\%$. Jelikož se ale v těchto případech jedná o metabolity nerelevantní, pro něž jsou limity podstatně mírnější, nebyly u těchto metabolitů překročeny. Koncentrace ostatních analyzovaných pesticidních látek byly pod $0,100 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ nebo pod mezí stanovitelnosti.

Pro zajištění vyhovující kvality vody byly na úpravnu vody v Ivančicích zařazeny tlakové filtry s náplní z granulovaného aktivního uhlí. Úplný rozbor ze stejného data jako výše zmíněný rozbor surové vody prokázal, že adsorpcí na aktivním uhlí bylo dosaženo snížení koncentrace acetochloru ESA a dalších zmíněných metabolitů pod mez stanovitelnosti, nebo v případě metazachloru ESA a metolachloru ESA pod hodnotu $0,030 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1} \pm 30\%$. Zároveň je z rozboru patrné, že po průchodu filtrační náplní z aktivního uhlí došlo ke zvýšení pH ze 7,3 na 8,2 a snížení zákalu a CHSK_{Mn} , což jsou ukazatele, které byly sledovány i v rámci praktické části této bakalářské práce.

Z rozborů pitné vody v síti v lokalitě Ivančice v letech 2017 a 2018 je patrné, že koncentrace relevantního metabolitu acetochloru ESA nabývaly opět vyhovujících hodnot ($0,057 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1} \pm 30\%$ v říjnu 2017 a $0,037 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1} \pm 30\%$ v dubnu 2018), ačkoli je v tomto směru stále nutná jistá obezřetnost. Úplné rozbory surové vody ze sběrné studny ČS4 jímacího objektu v Ivančicích z let 2020, 2021 a 2022 také vykazují podlimitní koncentrace tohoto metabolitu ($0,033 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1} \pm 30\%$ v srpnu 2020, $<0,025 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, tedy hodnotu pod mezí stanovitelnosti, v březnu 2021 a

0,032 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1} \pm 30\%$ v březnu 2022). Hodnoty koncentrací již dříve zmíněných nerelevantních metabolitů byly i nadále vyhovující.

V lokalitě Moravské Bránice byl rovněž pozorován výskyt acetochloru ESA, avšak jedná se stále o koncentrace podlimitní. V úplném rozboru pitné vody v síti v této lokalitě z dubna 2020 byla jeho koncentrace stanovena na 0,038 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1} \pm 30\%$. Dále byly provedeny úplné rozboru podzemní vody v čerpací stanici Moravské Bránice v letech 2020, 2021 a 2022. Jimi byly stanoveny následující hodnoty koncentrace acetochloru ESA: 0,042 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1} \pm 30\%$ v srpnu 2020, <0,025 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ v srpnu 2021 a 0,036 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1} \pm 30\%$ v květnu 2022. Také byl zaznamenán výskyt nerelevantních metabolitů jako jsou alachlor ESA, alachlor OA, metazachlor ESA, metazachlor OA a další. Všechny tyto látky však dosahovaly s rezervou podlimitních koncentrací. I v lokalitě Moravské Bránice je však z hlediska výskytu pesticidních látek třeba jisté míry obezřetnosti.

Veškeré zmiňované úplné rozboru jsou součástí Přílohy č. 1 této bakalářské práce.

3. PRAKTICKÁ ČÁST

V této části práce bude v první řadě popsána lokalita Chroustov, v níž byly odebrány vzorky pro laboratorní zkoumání. Dále bude rozebrána spojitost místa odběru se zájmovými lokalitami Ivančice a Moravské Bránice. V této kapitole budou uvedeny také použité typy aktivního uhlí a srovnány jejich vlastnosti. Následně budou popsány provedené laboratorní zkoušky a uvedeny jejich výsledky. Na závěr bude provedeno zhodnocení zjištěných hodnot.

3.1. Lokalita Chroustov

Chroustov je část obce Bohdalov v okrese Žďár nad Sázavou v Kraji Vysočina. Umístění vodojemu, z něž byl proveden odběr vzorků, je patrné z Obr. 17 a Obr. 18. Samotný objekt vodojemu je pak vyobrazen na Obr. 19. Odběr byl proveden po dohodě s Vodárenskou akciovou společností, a. s., Divize Žďár nad Sázavou (VAS ZR) za asistence zaměstnance společnosti.

Projektovaná kapacita vodního zdroje prameniště Chroustov je $0,400 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Surová voda je podzemní – jímání je realizováno dvěma vrtů. Třída kvality surové vody je A2. Před distribucí spotřebitelům prochází voda jednostupňovou úpravou, je z ní odstraňován radon a je také prováděna chemická dezinfekce chlornanem sodným. [8]

Jedná se o lokalitu, v níž je dlouhodobě pozorován nadlimitní výskyt pesticidních látek, a to konkrétně acetochloru ESA. Na základě dat z laboratorních rozborů z let 2017–2022 poskytnutých VAS ZR (Tab. 2) se jedná o průměrně $578 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ (průměr z 31 hodnot). Nejvyšší obsah této látky byl v lokalitě zaznamenán dne 17. 7. 2019 ve vrtu BC-1 ($1,390 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$), naopak nejnižších hodnot bylo dosaženo 25. 4. 2022 taktéž ve vrtu BC-1 ($0,278 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$).

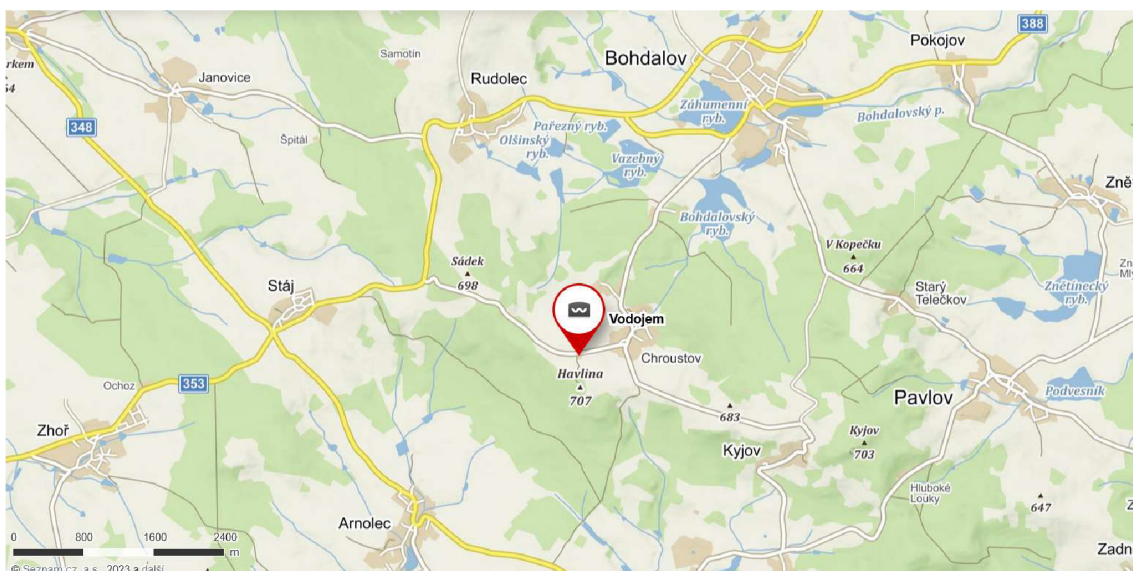
Pro potřeby praktické části práce byla odebrána surová voda před úpravou, a to dne 2. května 2023 v ranních hodinách (okolo 8:45) v objektu chroustovského vodojemu z jednoho ze dvou vrtů v této lokalitě. Odběr byl proveden v objemu cca 130 litrů do plastových kanystrů.

Tab. 2 Koncentrace acetochloru ESA v lokalitě Chroustov (Zdroj: VAS ZR)

Datum odběru	Místo odběru	Acetochlor ESA [$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$]
01.03.2017	vrt BC-1 výtlak ve VDJ kohout	0.660
01.03.2017	vrt BC-2 výtlak ve VDJ kohout	0.540
29.11.2018	vrt BC-2 výtlak ve VDJ kohout	0.657
29.11.2018	vrt BC-1 výtlak ve VDJ kohout	0.617
09.04.2019	vrt BC-2 výtlak ve VDJ kohout	0.605
09.04.2019	vrt BC-1 výtlak ve VDJ kohout	0.903
15.04.2019	vrt BC-1 výtlak ve VDJ kohout	0.645
15.04.2019	vrt BC-2 výtlak ve VDJ kohout	0.648
23.04.2019	vrt BC-2 výtlak ve VDJ kohout	0.625
23.04.2019	vrt BC-1 výtlak ve VDJ kohout	1.067
28.05.2019	vrt BC-1 výtlak ve VDJ kohout	0.758
28.05.2019	vrt BC-2 výtlak ve VDJ kohout	0.571
12.06.2019	vrt BC-1 výtlak ve VDJ kohout	0.626
12.06.2019	vrt BC-2 výtlak ve VDJ kohout	0.596
25.06.2019	vrt BC-2 výtlak ve VDJ kohout	0.575
17.07.2019	vrt BC-2 výtlak ve VDJ kohout	0.593
17.07.2019	vrt BC-1 výtlak ve VDJ kohout	1.390
20.04.2020	vrt BC-2 výtlak ve VDJ kohout	0.382
20.04.2020	vrt BC-1 výtlak ve VDJ kohout	0.496
22.04.2020	vrt BC-1 výtlak ve VDJ kohout	0.457
22.04.2020	vrt BC-2 výtlak ve VDJ kohout	0.482
02.06.2020	vrt BC-2 výtlak ve VDJ kohout	0.355
02.06.2020	vrt BC-1 výtlak ve VDJ kohout	0.549
23.06.2020	vrt BC-2 výtlak ve VDJ kohout	0.451
23.06.2020	vrt BC-1 výtlak ve VDJ kohout	0.484
17.03.2021	vrt BC-1 výtlak ve VDJ kohout	0.379
17.03.2021	vrt BC-2 výtlak ve VDJ kohout	0.415
26.04.2021	vrt BC-2 výtlak ve VDJ kohout	0.446
26.04.2021	vrt BC-1 výtlak ve VDJ kohout	0.355
25.04.2022	vrt BC-1 výtlak ve VDJ kohout	0.278
25.04.2022	vrt BC-2 výtlak ve VDJ kohout	0.314



Obr. 17 Poloha lokality Chroustov v rámci České republiky (Zdroj: Google Maps)



Obr. 18 Umístění lokality Chroustov vzhledem k okolním obcím (Zdroj: Mapy.cz)



Obr. 19 Pohled na vodojem v Chroustově (Zdroj: panorama Mapy.cz)

3.1.1. Spojitost se zájmovými lokalitami

V lokalitě Chroustov je dlouhodobě pozorován zvýšený výskyt pesticidu acetochlor ESA – tedy stejné látky, jaká byla zjištěna v lokalitách Ivančice a Moravské Bránice. Této spojitosti bylo v rámci praktické části využito pro zajištění relevantních vzorků pro laboratorní zkoušky.

Ve všech třech případech se jedná o podzemní zdroje.

3.2. Použité typy aktivního uhlí

Pro potřeby laboratorních zkoušek byly využity čtyři typy aktivního uhlí, a to sice Silcarbon S124, Norit GAC 1240 W, Silcarbon S1240 a Filtrasorb 400. V případě prvních tří zmíněných typů se jednalo o nové náplně. Vzhled těchto materiálů je patrný z Obr. 20, Obr. 21 a Obr. 22. U posledního zmiňovaného typu byla náplň ve filtrační koloně již zapracována a dříve používána.

Typ Silcarbon S1240 byl zvolen z důvodu jeho použití jakožto náplně do tlakových filtrů při úpravě vody ze zájmových lokalit Ivančice a Moravské Bránice. Ostatní typy byly zvoleny na základě dostupnosti jejich vzorků v laboratoři Ústavu vodního hospodářství obcí FAST VUT.

3.2.1. Srovnání vlastností

Na základě dat uvedených v technických listech jednotlivých typů aktivního uhlí bylo provedeno tabulkové srovnání jejich vlastností (Tab. 3).

Technické listy jsou součástí Přílohy č. 2 této bakalářské práce.

Výrobce	CalgonCarbon (Chemviron)	Silcarbon Aktivkohle	Cabot Norit	Silcarbon Aktivkohle
Typ	Filtrisorb 400	Silcarbon S124	Norit GAC 1240 W	Silcarbon S1240
Zdrojový materiál a výroba	reaglomerace bitumenového uhlí	černé uhlí aktivované parou	uhlí aktivované parou	černé uhlí aktivované parou
Jodové číslo [mg·g ⁻¹]	min. 1000 (1050)	min. 850	min. 950 (975)	min. 1000
Specifický povrch (BET) [m ² ·g ⁻¹]	1050	cca 900	1100	cca 950
Hustota po setřesení [g·cm ⁻³]	0,540	0,490 ± 0,030	0,470	0,470 ± 0,030
Hustota po vymytí a vysušení [g·cm ⁻³]	0,475	0,440 ± 0,030	0,420	0,420 ± 0,030
Velikost částic [mm]	0,425 - 1,70	0,425 - 1,70	0,425-1,70	0,425 - 1,70
Velikost částic [mesh]	12×40	12×40	12×40	12×40
Velikost efektivního zrna [mm]	0,55 - 0,75	-	0,6 - 0,7	-
Koeficient stejnoměrnosti	max. 1,9 (1,7)	-	1,7	-
Otěruvzdornost	min. 75	min. 90	-	min. 90
Tvrдость	-	-	97	-
Obsah vody při balení [%]	max. 2 (3)	max. 2	max. 5	max. 2
Standardní balení	pytle po 25 kg nebo vaky po 500 kg, autocisterna	pytle po 25 kg nebo vaky po 500 kg	pytle po 25 kg nebo vaky po 500 kg, autocisterna	pytle po 25 kg nebo vaky po 500 kg

Tab. 3 Srovnání vybraných vlastností použitých typů aktivního uhlí



Obr. 20 Silcarbon S124



Obr. 21 Norit GAC 1240W



Obr. 22 Silcarbon S1240

3.3. Provedené laboratorní zkoušky

V rámci laboratorního výzkumu byly provedeny pouze zkoušky dynamické; od statických zkoušek bylo pro jejich výrazně nižší průkaznost a menší souvislost s řešeným problémem nakonec upuštěno.

Dynamické zkoušky byly provedeny u každého ze čtyř vzorků aktivního uhlí pro tři různé doby zdržení – 1, 2 a 5 minut. Bylo využito laboratorních filtračních kolon o vnějším průměru 50 mm a vnitřním světlem průměru 44 mm.

3.3.1. Příprava laboratorní zkoušky

Před samotnou laboratorní zkouškou bylo třeba vyprázdnit a vypláchnout filtrační kolony (tedy kromě kolony se vzorkem Filtrasorb 400, kde byla využita stávající náplň v nezměněné podobě). Na dno kolon byly následně umístěny oblázky a skleněné kuličky různých průměrů (od největších po nejmenší směrem odspoda nahoru) pro zamezení vyplavování filtrační náplně z kolon při filtraci (Obr. 23).



Obr. 23 Kolony před naplněním filtrační náplní

Následně byly kolony naplněny jednotlivými vzorky aktivního uhlí a popsány pro vyloučení rizika jejich vzájemné záměny. Výška filtrační náplně u každé z kolon tvořila 90 cm. Výška náplně byla zvolena tak, aby korespondovala s výškou u stávající kolony se vzorkem Filtrasorb 400, a bylo tak možné vzájemné srovnání.

Jelikož je aktivní uhlí poměrně prašným materiálem, bylo do kolon vsypáváno pomocí skleněného trychtýře. Následně byly na naplněné filtrační kolony osazeny

horní díly s kohouty pro napojení rychlospojek. Poté byly kolony připevněny ve svislé poloze k tomu určené nosné konstrukci.

V dalším kroku bylo zahájeno namáčení filtrační náplně (Obr. 24) spolu s vypuzováním vzduchových bublin. Namáčení bylo provedeno vodou z vodovodní sítě. Kolony naplněné vodou byly posléze ponechány cca dva dny, aby došlo k řádnému nasycení filtrační náplně.



Obr. 24 Filtrační kolony během namáčení

Následoval proces praní vodou, jehož cílem bylo odstranit z náplně aktivního uhlí jemné částice (Obr. 25). K praní bylo opět, stejně jako při namáčení filtrační náplně, využito vody z vodovodní sítě. Při praní byl postupně sledován zákal pomocí laserového zákaloměru ZU5200 (Obr. 26). Po dosažení dostatečně nízké hodnoty zákalu byl proces praní ukončen.

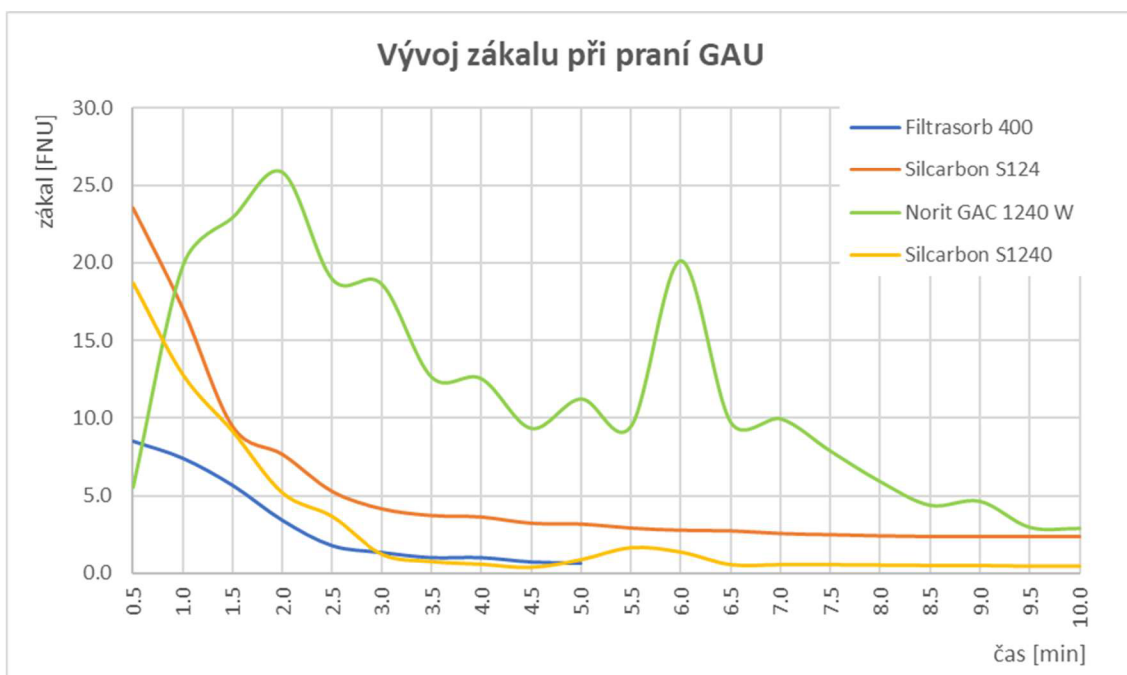


Obr. 25 Filtrační kolona při procesu praní



Obr. 26 Laserový zákaloměr ZU5200

Graf 1 znázorňuje pomocí vývoje zákalu v čase proces praní filtračních kolon. Jsou zde viditelné rozdíly mezi jednotlivými typy aktivního uhlí, například u materiálu Norit GAC 1240 W docházelo k poměrně výraznému kolísání zákalu během praní. Naopak u již dříve využívaného Filtrasorbu 400 nabýval zákal prací vody již od začátku pracího procesu výrazně nižších hodnot než ostatní nové, dříve neprané, náplně.



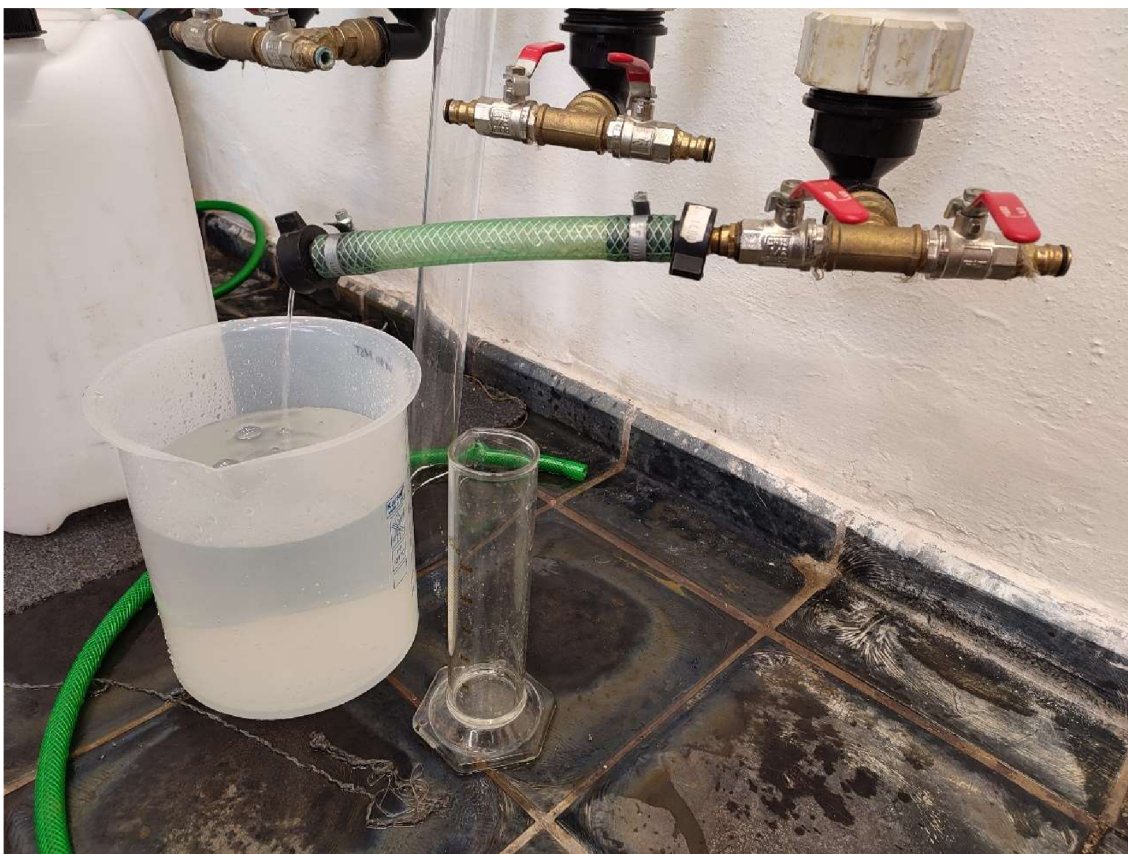
Graf 1 Vývoj zákalu prací vody při praní GAU

3.3.2. Vlastní měření a použité přístroje

Vlastní měření probíhalo v den odběru vzorků surové vody, tedy dne 2. 5. 2023, aby nedošlo k jejich znehodnocení. Pro každou z kolon bylo prvním krokem nastavení průtoku vypočteného pro danou dobu zdržení. Bylo postupováno vždy od nejdelší po nejkratší dobu zdržení. Po nastavení požadovaného průtoku byla jeho správnost ověřena objemovou metodou pomocí odměrného válce, kdy bylo sledováno proteklé množství za čas. Dosahovala-li skutečná hodnota průtoku hodnoty dostatečně blízké hodnotě vypočtené, byla tato skutečná hodnota zaznamenána a průtok dále nebyl měněn. Nebyla-li nastavená hodnota dostatečně přesná, byl průtok změněn a opět byla provedena objemová metoda pro jeho ověření. Tento postup byl pak opakován až do okamžiku, než bylo dosaženo optimální přesnosti.

Před odběrem vzorků bylo odpuštěno vždy alespoň 5 litrů vody při daném průtoku, aby bylo zajištěno, že se vymění vždy veškerá voda z předchozí doby zdržení. V případě první doby zdržení šlo o zajištění toho, že odeče všechna voda, jíž byly kolony namáčeny a prány. Proces odpouštění vody je patrný z Obr. 27, kde se nachází také odměrný válec, který byl využit pro ověření správnosti nastavení průtoku objemovou metodou.

Následoval odběr vzorků do speciálních vzorkovnic, poskytnutých přímo Vodohospodářskou laboratoří VAS Brno-venkov. Pro stanovení $CHSK_{Mn}$ byla laboratoří poskytnuta vzorkovnice z tmavého skla, v níž byla již před převzetím vzorkovnic vsypána chemická látka pro zakonzervování vody, aby nedošlo ke změně hodnoty $CHSK_{Mn}$ před jejím stanovením v laboratoři. Pro stanovení pesticidů byla poskytnuta malá vialka z čirého skla.



Obr. 27 Odpouštění vody před odběrem vzorků

Po odběru vzorků do zmíněných dvou typů vzorkovnic byl filtrát odebrán ještě do vialek pro potřeby stanovení zákalu v zákaloměru. Zákal byl stanovován přímo v laboratoři ÚVHO FAST VUT pomocí laserového zákaloměru ZU5200, stejně jako při sledování hodnoty zákalu při praní filtrů. Dále bylo stanovováno pH filtrátu (Obr. 28).

Sledována byla také teplota vody vždy před filtrací i po ní.



Obr. 28 Příklad přístroje pro měření pH

3.3.3. Výsledky laboratorního rozboru

Po odebrání vzorků do poskytnutých vzorkovnic byly tyto převezeny do Vodohospodářské laboratoře VAS Brno-venkov k rozboru CHSK_{Mn} a pesticidů. Kompletní výsledky rozborů jsou součástí Přílohy č. 3 této bakalářské práce.

V následujících tabulkách (Tab. 5, Tab. 6, Tab. 7, Tab. 8 a Tab. 9) jsou uvedeny hodnoty teploty, zákalu a pH naměřené pro surovou vodu a pro jednotlivé filtráty po daných dobách zdržení v kolonách s jednotlivými typy aktivního uhlí v laboratoři ÚVHO FAST VUT. Naměřené hodnoty jsou v tabulkách doplněny o údaje o CHSK_{Mn} a koncentraci acetochloru ESA z laboratorních rozborů provedených Vodohospodářskou laboratoří VAS Brno-venkov.

Tab. 4 Teplota vody během měření

při odběru	9.1	° C
před filtrací	10.3	° C
po filtraci	14.7	° C

Tab. 5 Surová voda

Číslo vzorku	Zákal				pH	CHSK_{Mn} [mg/l]	Acetochlor ESA [$\mu\text{g/l}$]
	1	2	3	průměr			
13	0.129	0.135	0.118	0.13	7.43	0.3	0.297

Tab. 6 Filtrasorb 400

Číslo vzorku	Doba zdržení návrhová	Zákal				pH	Průtok [l/min]	Skutečná doba zdržení [min]	CHSK_{Mn} [mg/l]	Acetochlor ESA [$\mu\text{g/l}$]
		1	2	3	průměr					
1	5	0.103	0.127	0.119	0.12	7.78	0.266	5.145	0.3	0.025
2	2	0.088	0.090	0.094	0.09	7.71	0.680	2.012	0.3	0.025
3	1	0.093	0.152	0.137	0.13	7.60	1.356	1.009	0.3	0.025

Tab. 7 Silcarbon S124

Číslo vzorku	Doba zdržení návrhová	Zákal				pH	Průtok [l/min]	Skutečná doba zdržení [min]	CHSK_{Mn} [mg/l]	Acetochlor ESA [$\mu\text{g/l}$]
		1	2	3	průměr					
4	5	0.088	0.090	0.092	0.09	9.30	0.272	5.031	0.3	0.025
5	2	0.082	0.084	0.098	0.09	9.17	0.690	1.983	0.3	0.025
6	1	0.096	0.105	0.112	0.10	8.66	1.356	1.009	0.4	0.025

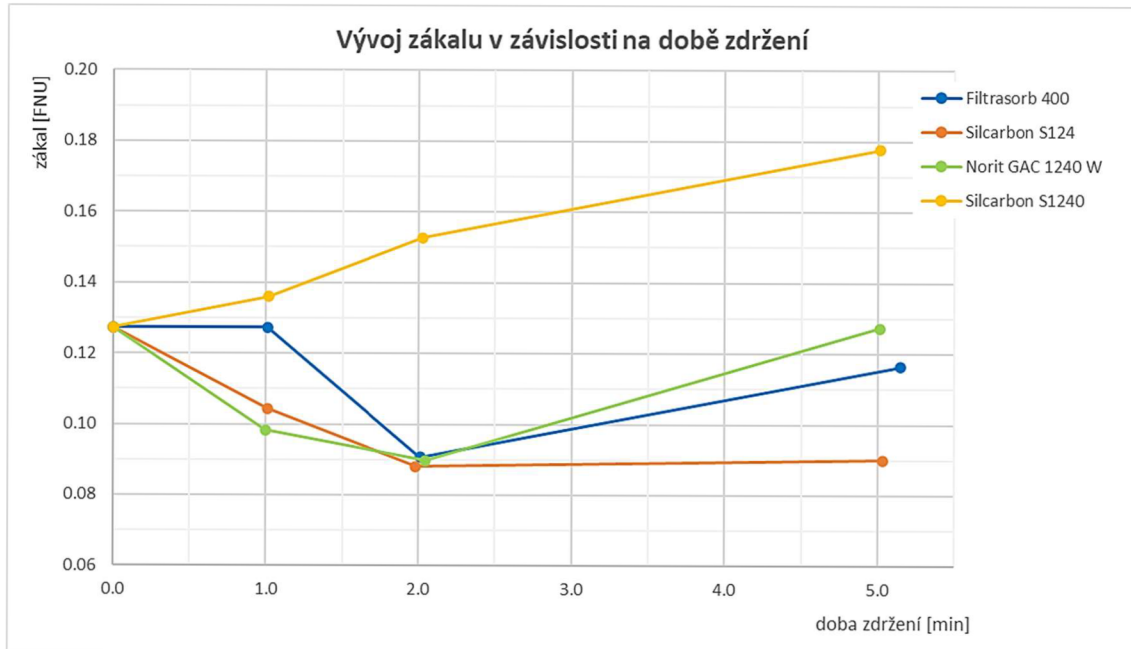
Tab. 8 Norit GAC 1240 W

Číslo vzorku	Doba zdržení návrhová	Zákal				pH	Průtok [l/min]	Skutečná doba zdržení [min]	CHSK_{Mn} [mg/l]	Acetochlor ESA [$\mu\text{g/l}$]
		1	2	3	průměr					
7	5	0.115	0.130	0.137	0.13	8.45	0.273	5.013	0.3	0.025
8	2	0.092	0.088	0.089	0.09	8.39	0.669	2.046	0.3	0.025
9	1	0.099	0.105	0.091	0.10	7.87	1.374	0.996	0.3	0.025

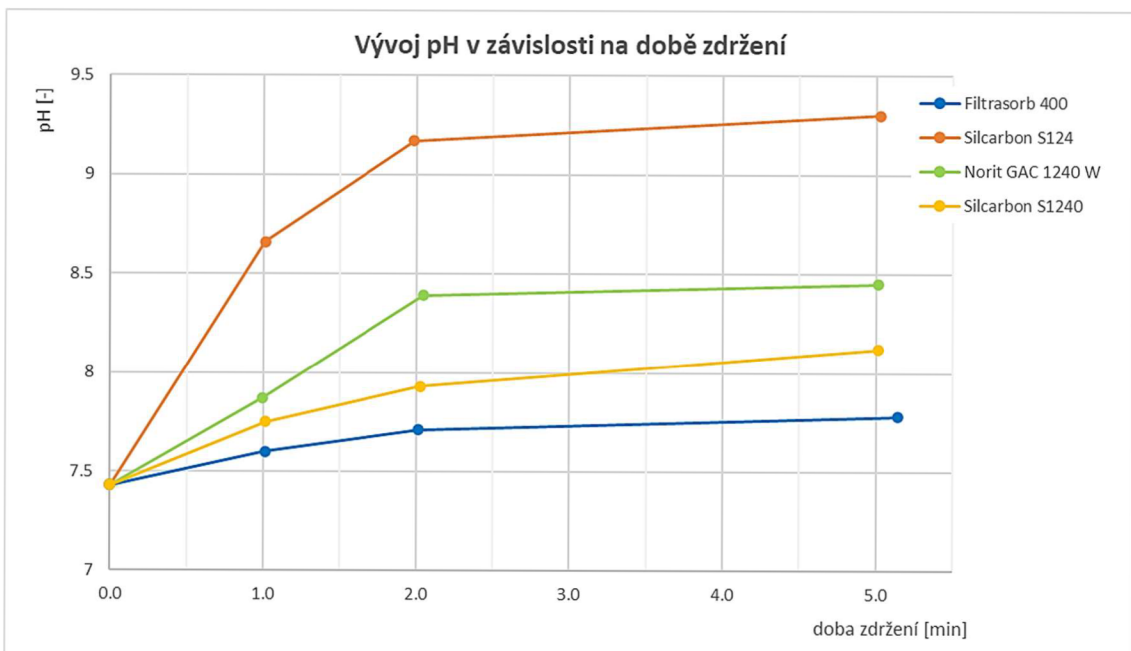
Tab. 9 Silcarbon S1240

Číslo vzorku	Doba zdržení návrhová	Zákal				pH	Průtok [l/min]	Skutečná doba zdržení [min]	CHSK_{Mn} [mg/l]	Acetochlor ESA [$\mu\text{g/l}$]
		1	2	3	průměr					
10	5	0.203	0.159	0.171	0.18	8.12	0.273	5.013	0.3	0.025
11	2	0.189	0.143	0.126	0.15	7.93	0.675	2.027	0.3	0.025
12	1	0.120	0.143	0.145	0.14	7.75	1.350	1.014	0.3	0.025

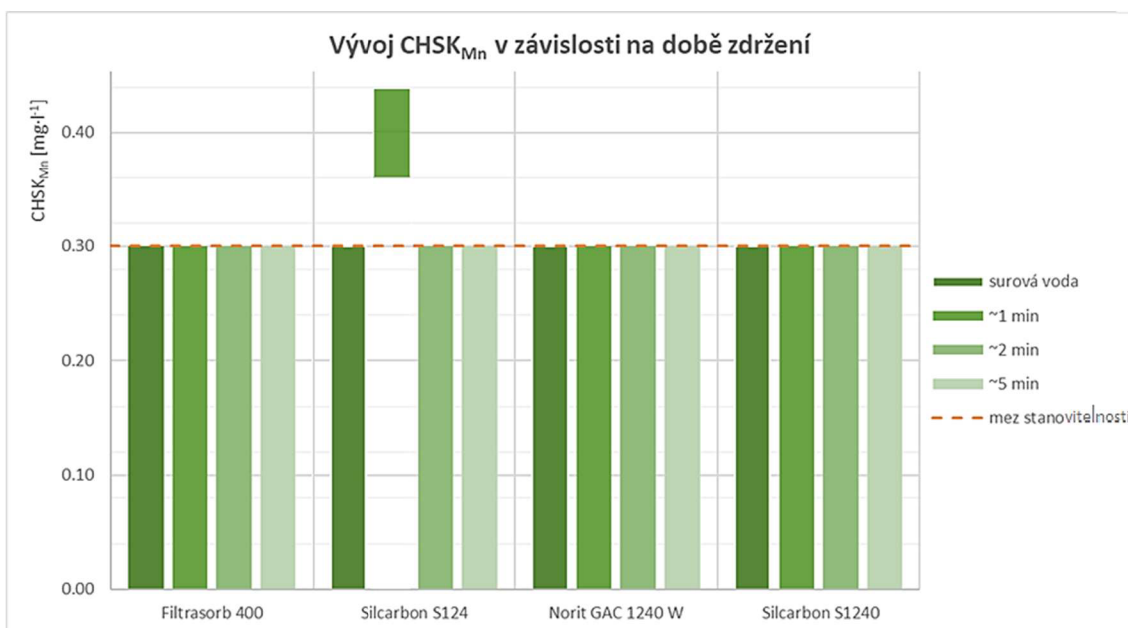
Vývoj jednotlivých měřených veličin (zákalu, pH, CHSK_{Mn} a pesticidů) v závislosti na době zdržení v koloně s náplní z daného typu aktivního uhlí je znázorněn níže (Graf 2, Graf 3, Graf 4 a Graf 5). Poslední dva odkazované grafy zahrnují vyznačení nejistot ve stanovení daných veličin. Sloupce vyjadřují rozpětí, v němž se může hodnota dle dat z rozborů pohybovat.



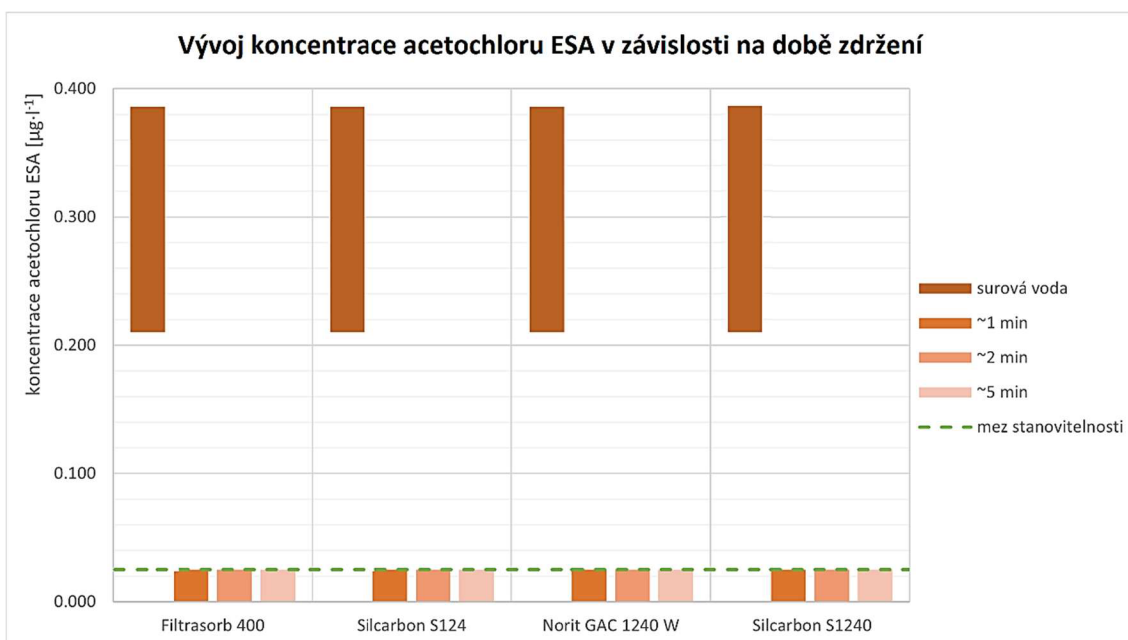
Graf 2 Vývoj zákalu v závislosti na době zdržení



Graf 3 Vývoj pH v závislosti na době zdržení



Graf 4 Vývoj CHSK_{Mn} v závislosti na době zdržení



Graf 5 Vývoj koncentrace acetochloru ESA v závislosti na době zdržení

3.4. Vyhodnocení a závěry měření

Laboratorním výzkumem bylo zjištěno, že aktivní uhlí je velmi účinným adsorbentem pro odstranění pesticidních látek z pitné vody. Již při době zdržení ve filtrační koloně po dobu 1 minuty bylo dosaženo koncentrace acetochloru ESA pod mezí stanovitelnosti. Tato skutečnost byla ale jistě do velké míry způsobena také tím, že se jednalo o nový materiál s nevyčerpanou adsorpční kapacitou. Bylo tomu tak i v případě již zapracovaného vzorku Filtrisorb 400, pravděpodobně také z toho důvodu, že byl dříve využíván pouze málo, a stále se tedy v podstatě jednalo o novou náplň. Při dlouhodobějším provozu náplně v tlakových filtrech v úpravně vody by docházelo k postupnému poklesu adsorpční kapacity a bylo by nutno použít delší

dobu zdržení, řádově okolo 10–15 minut, což je doba doporučovaná pro odstranění pesticidů na aktivním uhlí (viz Tab. 1).

Veličina $CHSK_{Mn}$ se pohybovala pod mezí stanovitelnosti. Výjimkou byla pouze jedna hodnota, a to u vzorku Silcarbon S124 při době zdržení 1 minuta, kdy byla $CHSK_{Mn}$ stanovena na $0,4 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \pm 10 \%$. Tento výkyv nad mez stanovitelnosti mohl být způsoben například mírným znečištěním při odběru konkrétního vzorku filtrátu nebo odchylkou při laboratorním stanovení této hodnoty. Průchodem náplně z aktivního uhlí by mělo obecně docházet ke snižování hodnoty $CHSK_{Mn}$.

Při průtoku filtrační kolonou docházelo také ke zvyšování pH vody. To bylo důsledkem kontaktu upravované vody s aktivním uhlím. Ve všech případech však hodnota pH splňovala požadavky dané vyhláškou č. 252/2004 Sb.

V případě zákalu docházelo k jeho mírnému kolísání, u vzorku Silcarbon S1240 pak k jeho růstu s prodlužující se dobou zdržení. Mohlo to být způsobeno například vyplavováním materiálu (zejména jemných částic) z náplně, jelikož pracím procesem nemusely být tyto zcela odstraněny. Protože zákal obecně dosahoval velmi malých hodnot, mohlo být kolísání způsobeno také jistou odchylkou v jeho měření.

4. ZÁVĚR

V teoretické části bakalářské práce byla provedena rešerše v oblasti odstraňování pesticidních látek z pitné vody adsorpcí na aktivním uhlí. V rámci ní byla charakterizována výroba aktivního uhlí, jeho různé formy, nejdůležitější vlastnosti a proces adsorpce včetně jeho hlavních parametrů. Dále byly popsány pesticidní látky, jejich vlastnosti a způsob vniku do životního prostředí. Zmíněny byly rovněž další možnosti odstranění pesticidů při úpravě vody. Zvláštní pozornosti bylo věnováno též relevantnímu metabolitu acetochlor ESA a jeho mateřské látce, acetochloru.

Dále byly popsány zájmové lokality Ivančice a Moravské Bránice, a to i na základě výsledků provedených úplných rozborů vody. V praktické části byl popsán zdroj Chroustov, z nějž byly odebrány vzorky vody pro laboratorní měření, včetně vývoje koncentrací pesticidní látky acetochlor ESA v tomto zdroji.

Účelem měření bylo porovnat účinnost jednotlivých typů aktivního uhlí při odstraňování metabolitu acetochlor ESA. Bylo zjištěno, že veškeré vzorky GAU již po nejkratší době zdržení odstranily pesticidní látky pod mez stanovitelnosti. Z tohoto důvodu nebylo bohužel možné mezi sebou jednotlivé vzorky GAU řádně porovnat. K dosažení porovnatelných hodnot by bylo zapotřebí například dalšího zkrácení doby zdržení, což by však mohlo být obtížněji technicky proveditelné z hlediska nutnosti vyšších průtoků. Tento problém by mohlo vyřešit například snížení výšky náplně ve filtrační koloně.

Zřejmě nejlepším způsobem, jak mezi sebou účinnosti jednotlivých typů aktivního uhlí při odstraňování pesticidních látek z vody porovnat, by bylo simulovat co nejdříveji skutečné provozní podmínky. Zejména by bylo vhodné instalovat filtrační kolony přímo ke zdroji analyzované vody a nechat jimi tuto vodu protékat kontinuálně alespoň po dobu několika týdnů. Bylo by tak možno lépe sledovat skutečnou účinnost jednotlivých náplní a postup degradace adsorpčních vlastností zvolených typů GAU, což je z hlediska provozu filtrů s těmito náplněmi velmi důležité. Tento výzkum by mohl být realizován například v rámci dalších akademických prací.

5. SEZNAMY

5.1. Seznam použitých zdrojů

- [1] ZAID, Chowdhury. Activated Carbon: Solutions for Improving Water Quality. 1. Denver: American Water Works Assn; Illustrated edition, 2012. ISBN 978-1583219072.
- [2] KOPECKÝ, Jaroslav. Aktivní uhlí – technologie pro úpravu pitných a bazénových vod. *Vodní hospodářství* [online]. 2003, 2003(7) [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <http://www.jako.cz/VH7-2003-AktivniUhli-valid-030709.pdf>.
- [3] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 5. aktualizované a doplněné vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015. ISBN 978-80-7080-928-0.
- [4] ČESKO. Vyhláška č. 252/2004 Sb., vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2023 [cit. 20. 3. 2023]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-252>.
- [5] ČESKO. Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2023 [cit. 20. 3. 2023]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-401>.
- [6] ŽÁČEK, Ladislav. Chemické a technologické procesy úpravy vod. Brno: NOEL 2000, 1999.
- [7] HLAVÍNEK, Petr a Jaromír ŘÍHA. *Jakost vody v povodí*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2815-5.
- [8] Zdroje pitné vody – VÚME úpravny vody za rok 2020. In: *Vodohospodářský informační portál VODA* [online]. 2022, 2020 [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: https://voda.gov.cz/data/ISVSVoda_Zdrojepitnevody.zip.
- [9] Acetochlor. *PubChem* [online]. Bethesda, Maryland, USA: National Center for Biotechnology Information, 2023 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Acetochlor>.
- [10] Acetochlor esa. *PubChem* [online]. Bethesda, Maryland, USA: National Center for Biotechnology Information, 2023 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Acetochlor-esa>.

- [11] Powder Activated Carbon. In: *Chemviron: A Kuraray Company* [online]. Feluy, Belgie, 2023 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: https://www.chemviron.eu/fileadmin/speciality_distribution/public/images/Sliders/PAC-Masthead.jpg.
- [12] Granular Activated Carbon. In: *Chemviron: A Kuraray Company* [online]. Feluy, Belgie, 2023 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: https://www.chemviron.eu/fileadmin/speciality_distribution/public/images/Sliders/Centaur-Masthead.jpg.
- [13] Extruded Activated Carbon. In: *Chemviron: A Kuraray Company* [online]. Feluy, Belgie, 2023 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: https://www.chemviron.eu/fileadmin/speciality_distribution/public/images/Sliders/Pellets-Masthead.jpg.
- [14] Charcoal Activated Carbon Cloth. In: *Chemviron: A Kuraray Company* [online]. Feluy, Belgie, 2023 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: https://www.chemviron.eu/fileadmin/speciality_distribution/public/images/Sliders/Cloth-Masthead.jpg.
- [15] DVORŽÁKOVÁ, Miluše. *Fakta o pesticidech, aneb, Co o nich asi nevíte...* Praha: Potravinářská komora České republiky, Česká technologická platforma pro potraviny, 2020. ISBN 978-80-88019-42-8.
- [16] Národní akční plán k bezpečnému používání pesticidů v ČR pro 2018 - 2022: 955/2018-MZE-17221. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2018.
- [17] AQUATEST A. S. ZKUŠEBNÍ LABORATOŘE. *Co znamenají naměřené hodnoty v pitné vodě?* Praha, 2005.
- [18] MÍKA, Vladimír a Lubomír NEUŽIL. *Chemické inženýrství II. 2.*, přeprac. vyd. Praha: VŠCHT, 1999. ISBN 80-7080-359-2.
- [19] Koncentrace pesticidů v podzemních vodách. *ENVIROMETR: Environmentální data online* [online]. 2021 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.envirometr.cz/data/koncentrace-pesticidu-v-podzemnich-vodach>.
- [20] MOULISOVÁ, Alena, Lenka BENDAKOVSKÁ, František KOŽÍŠEK, Adam VAVROUŠ, Hana JELIGOVÁ a Filip KOTAL. Pesticidy a jejich metabolity v pitné vodě: Jaký je současný stav v České republice?. *Vodní hospodářství* [online]. 2017 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://vodnihospodarstvi.cz/pesticidy-a%e2%80%afjejich-metabolity-pitne-vode/?highlight=Pesticidy%20a%e2%80%afjejich%20metabolity%20v%20pitn%C3%A9%20vod%C4%9B>.
- [21] KALYABINA, Valeriya P., Elena N. ESIMBEKOVA, Kseniya V. KOPYLOVA a Valentina A. KRATASYUK. Pesticides: formulants, distribution pathways and effects on human health – a review. *Toxicology Reports* [online]. 6. 6. 2021, 2021 (Volume 8), 1179-1192 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214750021001104?via%3Dihub>.

- [22] Ethanesulfonic acid. *PubChem* [online]. Bethesda, Maryland, USA: National Center for Biotechnology Information, 2023 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ethanesulfonic-acid>.
- [23] ALS CZECH REPUBLIC, S. R. O. *ALS Pesticidy*. Praha, 2015, 32 s. ALS Environmental. Dostupné také z: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjKzKj7-_n-AhVG_rslHRt7AWsQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.alsglob.al.cz%2Fmedia-cz%2Fpdf%2Fpesticidy-2015.pdf&usq=AOvVaw3401-R1pZjOBiKg-kDH9PW.
- [24] TUHOVČÁK, Ladislav, Pavel ADLER, Tomáš KUČERA a Jaroslav RACLAVSKÝ. *Vodárenství: A. Úprava vody* [online]. BRNO: VUT BRNO, 2006 [cit. 2023-05-19].
- [25] BROWN, Craig. Activated Carbon. *Pureflow TechNotes* [online]. Graham, Severní Karolína, USA, 2018 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://pureflowinc.com/wp-content/uploads/2018/07/SummerTN-ActivatedCarbon-Digital.pdf>
- [26] Pores of Activated Carbon. In: *ResearchGate* [online]. červen 2020 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Pores-of-activated-carbon-39_fig1_342924822
- [27] Activated Carbon Density: Everything You Should Know. In: *Zuiveringstechnieken.nl* [online]. 2. 2. 2021 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.zuiveringstechnieken.nl/activated-carbon-density>

5.2. Seznam použitých zkratk

angl.	anglicky
č.	číslo
č. ev.	číslo evidenční
ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
FAST VUT	Fakulta stavební Vysokého učení technického v Brně
FNU	<i>Formazine Nephelometric Unit</i> (jednotka zákalu)
GHS	globálně harmonizovaný systém pro chemické symboly nebezpečí
CHSK _{Mn}	chemická spotřeba kyslíku (pomocí manganistanu draselného)
k. ú.	katastrální území
KN	katastr nemovitostí
NAP	Národní akční plán k bezpečnému používání pesticidů v ČR pro 2018–2022
Obr.	obrázek

p. č.	parcelní číslo
PL	pesticidní látky
Pozn.	poznámka
ppm	<i>parts per million</i> (miliontina celku)
st.	stavební
Tab.	tabulka
ÚVHO	Ústav vodního hospodářství obcí
VAS	Vodárenská akciová společnost, a. s.
VAS ZR	Vodárenská akciová společnost, a. s., Divize Žďár nad Sázavou

5.3. Seznam obrázků

Obr. 1 Práškové aktivní uhlí (Zdroj: [11])	3
Obr. 2 Granulované aktivní uhlí (Zdroj: [12])	3
Obr. 3 Extrudované aktivní uhlí (Zdroj: [13])	3
Obr. 4 Tkaninové aktivní uhlí (Zdroj: [14])	3
Obr. 5 Typy pórů v aktivním uhlí (Zdroj: [26])	4
Obr. 6 Schéma průtokového reaktoru s pevným ložem (Zdroj: [1])	9
Obr. 7 Graf závislosti koncentrace na odtoku na době provozu náplně (Zdroj: [1])	10
Obr. 8 Rozdělení pesticidů dle biologického účinku (Zdroj: [15])	11
Obr. 9 Osud pesticidů v životním prostředí (Zdroj: [23])	15
Obr. 10 Koncentrace pesticidů v podzemních vodách v ČR [$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$], 2021 (Zdroj: [19])	18
Obr. 11 Molekula acetochloru ve 2D a 3D (Zdroj: [9])	19
Obr. 12 Molekula kyseliny ethansulfonové ve 2D a 3D (Zdroj: [22])	20
Obr. 13 Molekula acetochloru ESA ve 2D a 3D (Zdroj: [10])	20
Obr. 14 Umístění zájmových lokalit ve vztahu k okolním obcím (Zdroj: Mapy.cz)	21
Obr. 15 Objekt úpravný vody a prameniště Ivančice (Zdroj: ČÚZK VDP k datům RÚIAN)	22
Obr. 16 Prameniště Moravské Bránice (Zdroj: VAS, Divize Brno-venkov)	23
Obr. 17 Poloha lokality Chroustov v rámci České republiky (Zdroj: Google Maps)	27
Obr. 18 Umístění lokality Chroustov vzhledem k okolním obcím (Zdroj: Mapy.cz)	27
Obr. 19 Pohled na vodojem v Chroustově (Zdroj: panorama Mapy.cz)	28
Obr. 20 Silcarbon S124	30
Obr. 21 Norit GAC 1240W	30
Obr. 22 Silcarbon S1240	31
Obr. 23 Kolony před naplněním filtrační náplní	32
Obr. 24 Filtrační kolony během namáčení	33
Obr. 25 Filtrační kolona při procesu praní	34
Obr. 26 Laserový zákaloměr ZU5200	34
Obr. 27 Odpouštění vody před odběrem vzorků	36
Obr. 28 Přístroj pro měření pH	36

5.4. Seznam tabulek

Tab. 1 Kontaktní doby a životnost aktivního uhlí pro jednotlivá využití (Zdroj: [2])	2
Tab. 2 Koncentrace acetochloru ESA v lokalitě Chroustov (Zdroj: VAS ZR)	26
Tab. 3 Srovnání vybraných vlastností použitých typů aktivního uhlí	29
Tab. 4 Teplota vody během měření	37
Tab. 5 Surová voda	37
Tab. 6 Filtrasorb 400	37
Tab. 7 Silcarbon S124	37
Tab. 8 Norit GAC 1240 W	37
Tab. 9 Silcarbon S1240	37

5.5. Seznam grafů

Graf 1 Vývoj zákalu prací vody při praní GAU	35
Graf 2 Vývoj zákalu v závislosti na době zdržení	38
Graf 3 Vývoj pH v závislosti na době zdržení	38
Graf 4 Vývoj CHSK _{Mn} v závislosti na době zdržení	39
Graf 5 Vývoj koncentrace acetochloru ESA v závislosti na době zdržení	39

5.6. Seznam příloh

- Příloha č. 1 Protokoly o zkouškách – Ivančice a Moravské Bránice
- Příloha č. 2 Technické listy srovnávaných typů granulovaného aktivního uhlí
- Příloha č. 3 Protokoly o zkouškách – Chroustov (praktická část)

Pozn.: Veškeré výše uvedené přílohy jsou dostupné v elektronické formě bakalářské práce.