VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ
FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE POTRAVIN A BIOTECHNOLOGIÍ
INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY

ODSTRAŇOVÁNÍ METABOLITŮ PESTICIDNÍCH LÁTEK Z PODZEMNÍ VODY PŘI ÚPRAVĚ NA VODU PITNOU

REMOVAL OF METABOLITES OF PESTICIDES FROM GROUNDWATER DURING TREATMENT FOR DRINKING WATER

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **Bc. Michal Vaněk**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **Ing. Pavel Král, PhD.**
SUPERVISOR

BRNO 2021

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA CHEMICKÁ

Zadání diplomové práce

Číslo práce:	FCH-DIP1574/2020	Akademický rok:	2020/21
Ústav:	Ústav chemie potravin a biotechnologií		
Student:	**Bc. Michal Vaněk**		
Studijní program:	Chemie a technologie potravin		
Studijní obor:	Potravinářská chemie a biotechnologie		
Vedoucí práce:	**Ing. Pavel Král, PhD.**		

Název diplomové práce:

Odstraňování metabolitů pesticidních látek z podzemní vody při úpravě na vodu pitnou

Zadání diplomové práce:

1. Vypracujte literární rešerši k studované problematice
2. Proveďte adsorpční testy pesticidních látek na granulované aktivní uhlí.
3. Vyhodnoťte účinnost separace pesticidů s ohledem na fyzikálně–chemické vlastnosti těchto látek.

Termín odevzdání diplomové práce: 30.7.2021:

Diplomová práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí diplomové práce.

Bc. Michal Vaněk student(ka)	Ing. Pavel Král, PhD. vedoucí práce	prof. RNDr. Ivana Márová, CSc. vedoucí ústavu
		prof. Ing. Martin Weiter, Ph.D. děkan

V Brně dne 1.2.2021

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá vyhodnocením účinnosti odstraňování metabolitů pesticidů na úpravně vod. V úvodu je vypracována rešerše na problematiku pesticidních látek v surové vodě, jejich odstranění při úpravě na vodu pitnou a základní rozdělení pesticidů. V rámci diplomové práce je uvedeno seznámení s problematikou na konkrétní úpravně vod, technologické změny na úpravně vod, tabulkově graficky a zpracovány naměřené hodnoty metabolitů pesticidů ve zdroji podzemní vody a ve vodě pitné. V závěru diplomové práce jsou rozebrány jednotlivé metabolity pesticidů, posouzena jejich sorpce na granulovaném aktivním uhlí a vyvozeny závěry.

KLÍČOVÁ SLOVA

úprava vody, úpravna vody, pesticidy, pitná voda, granulované aktivní uhlí, sorpce

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the evaluation of the efficiency of pesticide metabolite removal at a water treatment plant. In the introduction, a research on the issue of pesticide substances in raw water, their removal during the treatment to drinking water and the basic classification of pesticides is made. The thesis includes an introduction to the issues at a specific water treatment plant, technological changes at the water treatment plant, tabulated and graphically processed measured values of pesticide metabolites in groundwater source and drinking water. In the conclusion of the thesis, individual pesticide metabolites are discussed, their sorption on granular activated carbon is assessed and conclusions are drawn.

KEYWORDS

water treatment, water treatment plant, pesticides, drinking water, granular activated carbon, sorption

VANĚK, Michal. *Odstraňování metabolitů pesticidních látek z podzemní vody při úpravě na vodu pitnou.* Brno, 2021. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/135708. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie potravin a biotechnologií. Vedoucí práce

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem citoval správně a úplně. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

……..

Bc. Michal Vaněk

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Pavlu Královi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a ochotu, kterou mi věnoval při psaní této práce. Děkuji také rodině a blízkým za velikou podporu v průběhu celého studia.

1 OBSAH

2 ÚVOD ... 6

3 TEORETICKÁ ČÁST ... 7

3.1 PESTICIDY ... 7

3.1.1 Historie ... 9

3.1.2 Rozdělení pesticidů ... 10

3.2 ODSTRAŇOVÁNÍ NEŽÁDOUCÍCH LÁTEK Z PITNÉ VODY ... 11

3.2.1 Filtrační metody ... 11

3.2.2 Filtrace pomocí aktivního uhlí ... 12

3.2.3 Pokročilé oxidační procesy ... 14

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST ... 17

4.1 SEZNÁMENÍ S PROBLÉMEM ... 17

4.2 SITUACE OBLASTI ... 17

4.3 ÚPRAVNA VODY ... 18

4.4 NÁLEZ PESTICIDNÍCH METABOLITŮ ... 19

4.5 VLIV INSTALACE GAU NA HODNOTY PESTICIDŮ ... 29

4.6 VYBRANÉ METABOLITY PESTICIDŮ ... 31

4.6.1 Metolachlor ... 32

4.6.2 Acetochlor ... 34

4.6.3 Propachlor ... 36

4.6.4 Alachlor ... 37

4.6.5 Metazachlor ... 38

4.6.6 Dimethachlor ... 39

4.6.7 Chloridazon ... 40

4.6.8 Bentazon ... 41

4.7 VLIV RŮZNÝCH FAKTORŮ NA SORPCI PESTICIDNÍCH LÁTEK ... 42

5 VÝSLEDKY A DISKUZE ... 45

5.1 HODNOCENÍ ABSORPCE NA GAU PODLE RŮZNÝCH VLASTNOSTÍ ... 45

5.1.1 Hodnocení závislosti sorpce na hodnotě PSA ... 45

5.1.2 Hodnocení závislosti sorpce na molární hmotnosti ... 45

6 ZÁVĚR ... 49

7 SEZNAM LITERATURY ... 50

SEZNAM OBRÁZKŮ ... 56

SEZNAM GRAFŮ ... 57

SEZNAM TABULEK ... 58

SEZNAM ZKRATEK ... 59

2 ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá metabolity pesticidů, které jsou použity při zemědělské produkci ve východních Čechách a jejich dopadem na životní prostředí. Jedná se především o metabolity pesticidů, které se dostávají do zdrojů podzemní vody.

V jedné úpravně vod (dále jen ÚV) byly zjištěny zvýšené hodnoty metabolitů pesticidních látek v surové vodě a muselo se tedy přistoupit k rychlému řešení problému na ÚV. Řada metabolitů se vejde to hygienických limitů, ale nachází se zde i tři metabolity, které limity nesplňují.

Diplomová práce bude z důvodu citlivosti dat psána anonymní formou. Nebudou zde uvedena jména měst, ale pouze přibližná oblast, kde byl prováděn výzkum pitné vody.

3 TEORETICKÁ ČÁST

Lidské populace se od 50. let 20. století rychle zvyšuje. V té době činila velikost populace přibližně 2,5 miliardy lidí. Do roku 2020 se populace více než ztrojnásobila a dosáhla hodnoty 7,8 miliardy lidí. Podle tohoto scénáře se má do konce 21. století dokonce zvýšit na hodnotu 10,9 miliardy [1].

Zároveň s tímto trendem se zvyšuje i poptávka po potravinách a kvůli tomu se zvyšují i požadavky na efektivitu a účinnost zemědělství. Takový vývoj nevyhnutelně povede k drastickému nárůstu poptávky po potravinách a dalších nezbytných zdrojích. Přesněji řečeno, během příštího desetiletí by měl potravinářský průmysl zvýšit svou produkci o 15 %, aby uspokojil výživové potřeby rostoucí populace, přičemž do roku 2050 se odhaduje nezbytné zvýšení o 50 % [2].

V tomto kontextu je zřejmé, že zemědělsko-potravinářský sektor se nachází na křižovatce, jejímž konečným cílem je udržitelnost. Termín "udržitelnost" v zemědělství popisuje nutnost uspokojit potravinové potřeby rostoucí lidské populace a zároveň zajistit minimální dopad na životní prostředí a populaci a také zajistit ziskovost pro producenty. Ačkoli odhad udržitelnosti v zemědělském systému zůstává nejasný a je náročný, panuje shoda, že udržitelnost zemědělství by se podle definice měla zabývat environmentálními, ekonomickými a sociálními otázkami spojenými s jeho provozováním [3].

3.1 Pesticidy

Pesticidy jsou látky, které jsou určeny k regulaci škůdců. Pod pojem pesticid spadají všechny následující látky: herbicidy, insekticidy (mohou zahrnovat regulátory růstu hmyzu, termiticidy atd.), nematocidy, molluskocidy, piscicidy, avicidy, rodenticidy, baktericidy, repelenty proti hmyzu, repelenty proti zvířatům, antimikrobiální látky a fungicidy.

Nejběžnější z nich jsou herbicidy, které představují přibližně 80 % veškerého používání pesticidů. Většina pesticidů má sloužit jako přípravky na ochranu rostlin, které obecně chrání rostliny před plevely, houbami nebo hmyzem [4].

Dle Vyhlášky č. 83/2014 Sb., kterou se mění Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, ve znění pozdějších předpisů se slovem pesticidy rozumí organické insekticidy, herbicidy, fungicidy, nematocidy, akaricidy, algicidy, rodenticidy, slimicidy, příbuzné produkty (např. regulátory růstu) a jejich relevantní metabolity, rozkladné nebo reakční produkty. Tato vyhláška také stanovuje nejvyšší mezní hodnotu (NMH) pro tyto látky viz tab.1

V této vyhlášce je možné také najít další měřené ukazatele pro pitnou vodu. Jedná se například o mikroorganismy, jednotlivé prvky, sloučeniny, pH, pach atd.

Zaměříme-li se na ochranu rostlin, roční ztráty na výnosech způsobené škůdci a patogeny se odhadují na 20 až 40 % celosvětové produkce a jsou umocněny změnou klimatu, která přispívá k výskytu chorob, hmyzu, virů nebo k rozvoji rezistence vůči pesticidům. Následně to vede ke zvýšenému počtu aplikací pesticidů. Např. k regulaci škůdců z řádu Lepidoptera v kukuřici cukrové na jižní, teplejší Floridě v USA bylo potřeba třikrát až šestkrát více aplikací než v severním a chladnějším New Yorku [5].

Nicméně nárůst aplikace pesticidů je velmi spojen s nepříznivými účinky na životní prostředí a lidské zdraví. Existují zprávy, které spojují aplikaci pesticidů s kolapsem hmyzích populací, nebo vymíráním hmyzích druhů po celém světě. Podílejí se na tom však i další faktory, jako je ztráta stanovišť v důsledku intenzifikace zemědělství (hlavní hnací síla tohoto jevu), změna klimatu, invazní druhy a znečištění [5].

3.1.1 Historie

Lidé začali používat pesticidy k ochraně svých plodin před mnoha tisíci lety. Prvním známým pesticidem bylo práškování elementární sírou, které se používalo ve starověké Mezopotámii asi před 4 500 lety.

V 15. století se na plodiny používaly toxické chemické látky, jako je arsen, rtuť a olovo, které měly za účel hubení škůdců [6].

V 17. století byl z tabákových listů extrahován síran nikotinu, který se používal jako insekticid. V 19. století byly zavedeny další dva přírodní pesticidy, pyretrum, které se získává z chryzantém, a rotenon, který se získává z kořenů tropické zeleniny [7].

Nárůst syntetických pesticidů se urychlil ve 40. letech 20. století, kdy byly objeveny účinky DDT, aldrinu, dieldrinu, endrinu a dalších. Tyto přípravky byly účinné a levné, přičemž DDT byl nejoblíbenější díky svému širokospektrálnímu účinku. O účincích DDT informoval veřejnost Dr. Paul Muller [6, 7].

DDT bylo dlouhou dobu široce používáno (a stále je používáno v některých rozvojových zemích), a myslelo se, že má nízkou toxicitu pro savce a snižuje výskyt nemocí způsobených hmyzem, jako je malárie, žlutá zimnice a tyfus. Nicméně v roce 1946 byla zaznamenána rezistence much domácích vůči DDT a vzhledem k jeho širokému používání se objevily zprávy o poškození necílových rostlin a zvířat a o problémech s rezidui. I přes tuto skutečnost v roce 1949 získal Dr. Paul Muller Nobelovu cenu za medicínu [8].

Výzkum pesticidů pokračoval a v sedmdesátých a osmdesátých letech 20. století byl představen nejprodávanější herbicid na světě, glyfosát [9].

V současné době se soubor nástrojů pro ochranu proti škůdcům rozšířil o používání geneticky modifikovaných plodin, které jsou navrženy tak, aby produkovaly vlastní insekticidy, vykazovaly rezistenci vůči širokospektrálním herbicidním přípravkům nebo škůdcům. Patří mezi ně plodiny tolerantní k herbicidům, jako je sója, kukuřice, řepka a bavlník. Kromě toho se rozšířilo používání systémů integrované ochrany proti škůdcům (IPM), které brání rozvoji populací škůdců a omezují používání agrochemikálií. Tyto změny změnily povahu ochrany proti škůdcům a mají potenciál snížit a/nebo změnit povahu používaných agrochemikálií [10].

3.1.2 Rozdělení pesticidů

Pesticidy můžeme dělit do různých kategorií, například podle určení, způsobu účinku, chemického složení. Můžeme mezi pesticidy zařadit i chemikálie, které oslabují růst rostlin, mikroorganismů nebo jiných škůdců.

3.1.2.1 Rozdělení podle cílových skupin

Podle cílového určení se děli pesticidy do několika skupin. Mezi nejvýznamnější patří Fungicidy (různé houby), Baktericidy (bakteriální onemocnění), Herbicidy (plevel), Insekticidy (hmyz), Rodenocidy (proti hlodavcům) a dalších mnoho skupin jako Avicidy, Akaricidy, Algicidy a další.

3.1.2.2 Rozdělení podle způsobu účinku

Existuje mnoho různých způsobů účinku pesticidů. Najdeme zde například aktivátory rostlin, které chrání rostlinu tím, že aktivují její vlastní obranné mechanismy. Různé atraktanty, které přilákají škůdce do připravených pastí. Různé regulátory růstu rostlin, repelenty, chemosterilanty a další.

Existují i další možnosti rozdělení pesticidů. Například podle chemického složení, nebezpečnosti, perzistence, rozpustnosti, nebezpečnosti a mnoho dalších možností, jak pesticidy rozdělit.

3.2 Odstraňování nežádoucích látek z pitné vody

V současné době je otázka bezpečnosti potravin velice diskutované téma. Především je diskutované téma ekologického zemědělství, tedy zemědělství, kde se nepoužívají chemické látky pro zlepšení úrodnosti. V tomto ohledu je velice důležité dokázat stanovit chemické látky a prokázat deklarovanou kvalitu ve všech ohledech. Dříve nebyla analytická chemie na takové úrovni jako je dnes a nebyla možnost dokázat stanovit například rezidua pesticidů či jiných látek v potravinách.

Výrobce má za povinnost pravidelně kontrolovat obsah nežádoucích látek v potravinách a při nevyhovujících koncentracích provést takové kroky, aby byly látky z potravin odstraněny.

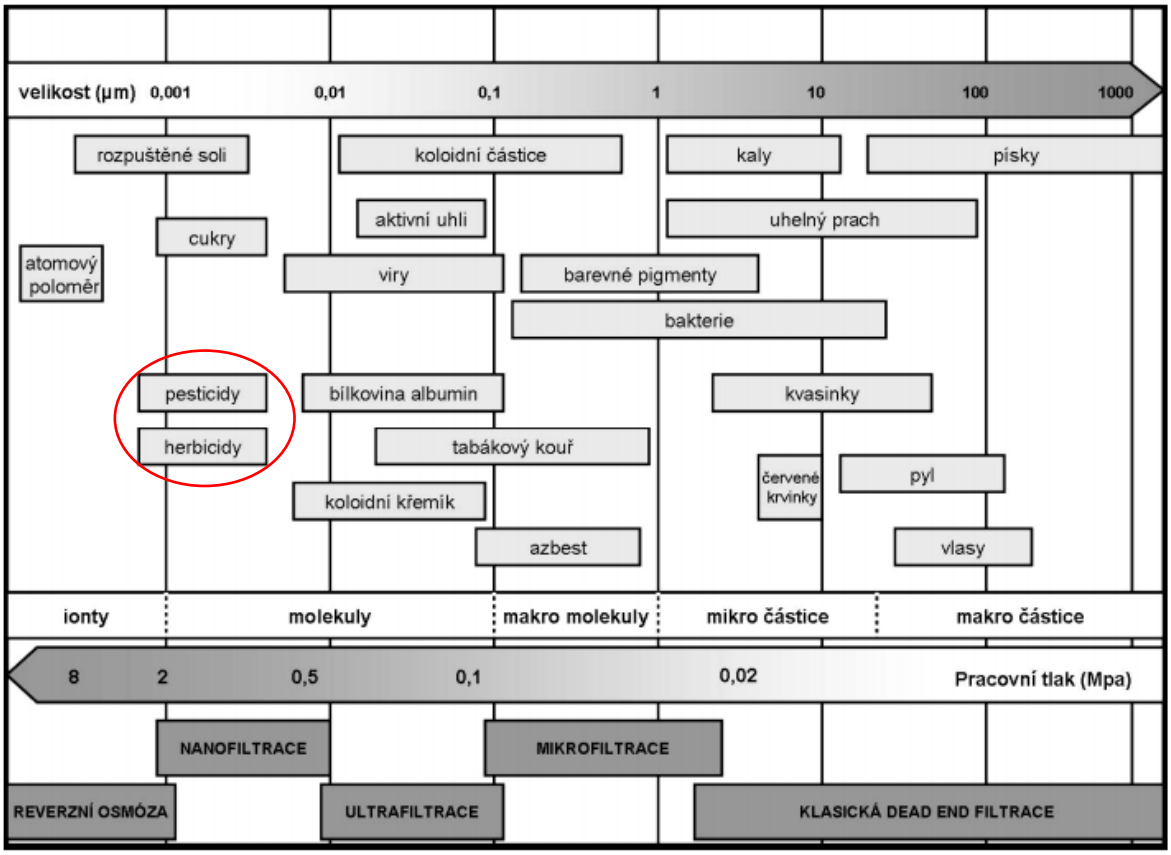
Pokud se budeme bavit o problému nežádoucích látek ve vodě, tak existuje mnoho možností, jak látky odstranit, ale v současné době se používají především tři hlavní technologie a těmi jsou: adsorpce a iontová výměna, membránové procesy a oxidační procesy. O výběru technologie rozhoduje druh látky, kterou chceme odstranit, ale dalším velice důležitým faktorem je také cena.

3.2.1 Filtrační metody

Membránové filtrační systémy se liší velikostí pórů a vlastnostmi povrchu. Podle zmenšující se velikosti pórů membrány se dělí filtrace na mikrofiltraci, ultrafiltraci, nanofiltraci a reverzní osmózu. Výběr typu membránové filtrace pak závisí na vlastnostech kontaminantu, který má být oddělen, z hlediska velikosti, náboje a hydrofobicity a hydrofilnosti.

Na Obrázku 1 jsou přehledně vidět nejčastější kontaminanty, které je snaha odstranit a také možnosti odstranění tohoto kontaminantu. Pesticidy a herbicidy jsou na hranici pro použití nanofiltrace nebo reverzní osmózy.

V poslední době je často využívaným způsobem filtrace pomocí aktivního uhlí. Tento způsob separace bude více popsán, protože je to současně separační metoda využitá v experimentální část diplomové práce.



Obrázek 1 - Filtrační metody

3.2.2 Filtrace pomocí aktivního uhlí

V této diplomové práci bude hlavní separační metodou použití aktivního uhlí (AU), konkrétně pak granulovanou formou aktivního uhlí (GAU). Aktivní uhlí je mikroporézní forma uhlíku s dobře vyvinutou strukturou pórů, objemem pórů, vysokým vnitřním povrchem a následně vysokou adsorpční kapacitou. AU také vykazuje na svém povrchu funkční skupiny, které ovlivňují pH roztoku, a tím i proces adsorpce. AU nachází široké uplatnění při úpravě a čištění vody, kde adsorpční mechanismy, jako je fyzikální sorpce nebo chemická sorpce, umožňují přesun kontaminantů z kapaliny na povrch pevné látky. [40]

Široké uplatnění AU při úpravě a čištění vody je dáno jeho relativně vysokým adsorpčním výkonem a použitelností, což podněcuje jeho použití jako potenciální alternativy ke konvenčním a pokročilým technologiím úpravy vody. Pokročilé technologie jsou nejen nerovnoměrně rozšířeny po celém světě, ale jsou také spojeny s vysokými náklady na provoz a údržbu. [40,41]

Z komerčního hlediska se aktivní uhlí ve velké míře získává z neobnovitelných zdrojů, jako je černé a hnědé uhlí a rašelina. Ty vykazují nízký obsah minerálů, vysoký obsah uhlíku a také vysokou pórovitost, což je vhodné jako prekurzory AU.

Vzhledem k souvisejícím environmentálním a ekonomickým problémům však roste zájem výzkumu o nalezení nízkonákladových odpadních materiálů z biomasy a zároveň i nízkonákladových procesů pro výrobu AU. Konkrétně v rozvojových zemích představují zemědělské a průmyslové odpady obrovský potenciál jako prekurzory pro výrobu AU. Důvodem je jejich široká dostupnost, nízká cena a jejich uhlíkatá povaha. Nasazení odpadů z biomasy jako prekurzorů AU poskytuje udržitelnou možnost likvidace odpadu na rozdíl od běžné praxe otevřeného spalování nebo ukládání odpadu. Při otevřeném spalování odpadů vznikají pevné částice a nepříjemné plyny, které znečišťují životní prostředí. Uložené odpady zase slouží jako líheň patogenů. [42,43]
Při uvážlivém výběru odpadní biomasy, metodách přípravy, pečlivé kontrole podmínek přípravy vykazuje AU získané z odpadní biomasy ve srovnání se svými komerčními protějšky vynikající adsorpční výkon.[44]

AU se prodává ve dvou formách, a to jako práškové aktivní uhlí (PAU) a granulované aktivní uhlí (GAU). PAU obvykle vykazuje vysoký specifický povrch a mikroporéznost, což zvyšuje jeho adsorpční kapacitu. Nicméně malé částice PAU vykazují pomalejší tendenci k usazování a odstraňování než GAU. Navzdory vyšší adsorpční kapacitě nelze PAU regenerovat kvůli obtížím s jeho oddělováním od vodného roztoku a také kvůli potenciálně vysoké míře znečištění prachem. Kvůli těmto obtížím se PAU obvykle používá ve vsádkových režimech, zejména v zařízeních na úpravu vody.[45] V provedeních, kde je při úpravě vody schůdnější použít kontinuální kolony a kde je z ekologických a ekonomických důvodů důležitá regenerace uhlíků, je GAU nejvhodnější formou AU. Důvodem je přizpůsobivost GAU ke kontinuálnímu kontaktu bez nutnosti oddělování od objemové kapaliny. Ve srovnání s PAU vykazuje GAU obvykle nižší adsorpční kapacity pro odstraňování znečišťujících látek z vodných roztoků. Tato adsorpční tendence GAC je způsobena efektem zanášení a také sníženým přenosem hmotnosti cílových znečišťujících látek. [45,46]

GAU se v současné době používá jako materiál pro úpravu vody, kdy je využíváno právě jeho vlastností k účinnému odstraňování řady znečišťujících látek, včetně organických mikropolutantů, léčiv, arsenu, karcinogenních sloučenin, mikroplastů, těžkých kovů, barvy a zápachu. Výběr GAU závisí na cílové znečišťující látce, koncentraci znečišťující látky, průtoku a adsorpční kapacitě. Výše uvedené faktory ovlivňují také životnost uhlíku [11].

3.2.3 Pokročilé oxidační procesy

Pokročilé oxidační procesy spočívají v použití oxidačních činidel k oxidaci kontaminantů. Mezi nejsilnější používané oxidační radikály patří hydroxylový radikál (-OH). Pro odstraňování organických kontaminantů z vody byl široce studován také síranový radikál (SO4--). Pokročilé oxidační techniky jsou chemické techniky šetrné k životnímu prostředí, které mohou rozkládat organické kontaminanty na neškodné produkty. Kromě toho má tato technika různé výhody, včetně rychlých reakčních rychlostí vedoucích ke zkrácení doby zdržení ve srovnání s jinými konvenčními technikami čištění, a nevyžaduje velkou plochu pro zpracování potřebného průtoku pro systém. Lze však poukázat i na různé nevýhody, včetně vysokých provozních nákladů a nákladů na údržbu. Má také složitou chemii přizpůsobenou konkrétním kontaminantům, což vyžaduje kvalifikovaný personál pro návrh systému [12]

Pokročilé oxidační procesy se obecně dělí na úpravu na pomocí ozonu, ultrafialového záření (UV), elektrochemické pokročilé oxidační procesy, katalytické pokročilé oxidační procesy a foto pokročilé oxidační procesy. Nejčastěji používané pokročilé oxidační procesy při zpracování pesticidů jsou popsány v následujících podkapitolách.

3.2.3.1 Volné radikály

Byla provedena studie účinnosti persíranu sodného (Na2S2O8) jako oxidačního činidla při odstraňování 17 různých pesticidů o počáteční koncentraci ve vodě mezi 0.02 až 1,17 mg/l.

Persíran by měl být aktivován za vzniku síranových radikálů, protože síranové radikály mají delší životnost než OH-, což jim umožňuje zůstat v kontaktu s organickými kontaminanty po delší dobu. Ideální aktivace persíranu je UV světlem (245 nm). Z důvodů proveditelnosti a snížení nákladů však bylo místo toho použito sluneční světlo. Fotolýza persíranu byla použita k produkci volných radikálů (SO4--), které mají schopnost oxidovat pesticidy na méně škodlivé látky, což nakonec povede k mineralizaci mateřského pesticidu na CO2 a vodu.

Výsledky ukázaly, že původní množství rozpuštěného organického uhlíku (DOC) se snížilo o 87 %. Čtyři ze sedmnácti testovaných pesticidů vykazovaly ve vodě hladinu nad mezí detekce. Proto se předpokládá, že oxidace sulfátovými radikály je slibnou metodou, která si zaslouží další zkoumání [11, 12]

Jiná studie ukázala, že fotoaktivace persíranového systému katalyzovaná železem by mohla odstranit 90 % pesticidu atrazinu z vody znečištěné 4 mg/l atrazinu. Tento pesticid se však používá k prevenci širokolistých plevelů v plodinách včetně kukuřice a cukrové třtiny [13]

3.2.3.2 Fotochemická degradace

Ultrafialové (UV) světlo je elektromagnetické záření, které se obvykle používá k fotodegradaci kontaminantů v odpadních vodách. UV záření lze rozdělit do čtyř kategorií podle jeho vlnové délky, a to na UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm), UV-C (180-280 nm) a vakuové UV záření (10-180 nm). Čím nižší je vlnová délka, tím silnější je jeho účinek. V čistírnách odpadních vod se používají různé UV lampy. UV světlo však obvykle samo o sobě k degradaci kontaminantů nestačí, proto se používá v kombinaci s dalšími technikami, mezi nimiž je hojně studována fotochemická degradace [13, 14].

Triazofos je organický thiofosfát neboli organothiofosfátový insekticid, který chrání plodiny bavlníku a rýže před mšicemi tím, že inhibuje acetylcholinesterázu. Je známo, že rezidua tohoto pesticidu jsou toxická pro životní prostředí. Byla studována fotodegradace triazofosu (10 mg/l) v přítomnosti oxidu titaničitého (TiO2) jako katalyzátoru a ukázala slibné výsledky. Metoda není nákladná, protože sluneční světlo je dostupné a oxid titaničitý není drahá chemická látka. Předběžné výsledky ukázaly účinnou míru rozkladu, přesto se vyskytlo 17 vedlejších produktů rozkladu, což vyžaduje analýzu toxicity. Metoda vyžaduje určité zlepšení, aby bylo dosaženo úplné mineralizace triazofosu [15].

Další studie se zabývala karbofuranem, jedním z nejtoxičtějších insekticidů používaných při ochraně plodin brambor, sóji a kukuřice inhibicí acetylcholinesterasy hmyzu.
Jeho odstranění pomocí fotokatalytické degradace v přítomnosti TiO2 nebo oxidu zinečnatého (ZnO) jako fotokatalyzátorů vykazovalo vysokou míru odstranění. Experiment byl proveden na přívodní vodě s obsahem 50 až 250 mg/l karbofuranu. Výsledky ukázaly, že odstraňování v přítomnosti TiO2 je účinnější než v přítomnosti ZnO. Sledování procesu mineralizace pomocí vysokoúčinné chromatografie (HPLC) navíc ukázalo, že během první hodiny se pesticidy rozložily na menší fragmenty, které byly později zcela mineralizovány. Výsledky prokázaly, že fotochemická degradace může být velmi účinnou metodou při mineralizaci pesticidů s podobnou chemickou strukturou [16].

Další nedávná studie se zaměřila na vliv UV záření v kombinaci s chlorací na rozklad pesticidů, UV/chlor je běžná metoda, která si v posledních letech získala pozornost, nicméně tvorba vedlejších produktů je velkým problémem. Studie se zaměřila na moluskocid, známý jako metaldehyd, a dva herbicidy (karbetamid a mekoprop). Výsledky ukazují, že kombinace UV záření a chloru je účinnou a proveditelnou možností, zejména pokud bylo pH ošetření upraveno tak, aby se snížil obsah vedlejších produktů. Při vysokém pH bylo dosaženo úplného odstranění mekopropu [17].

Fotodegradace ale není vhodnou metodou pro všechny typy organických kontaminantů a před přijetím jakékoli metody ve velkém měřítku by měla být pečlivě provedena laboratorní analýza. Například studie provedená v roce 2018 ukázala, že vystavení dikloranu, širokospektrého fungicidu, který inhibuje klíčení spor, fotodegradaci produkuje více vedlejších produktů dráždících kůži než samotný dikloran [18].

3.2.3.3 Ozonizace

Ozonizace je proces využití ozonu k odstranění kontaminantů buď přímým působením molekul ozonu na kontaminanty, nebo nepřímo oxidačním účinkem volných radikálů vznikajících rozkladem ozonu ve vodě. Vzniklé volné radikály jsou vysoce reaktivní a méně selektivní než chemické oxidanty. Ozon má velmi krátkou životnost, takže by měl být generován na místě, což zvyšuje náklady na úpravu vody [19, 20].

Studie [19] z Barcelony ve Španělsku, byla zaměřena na vyhodnocení účinku ozonu na pět pesticidů ve vodě (alachlor, atrazin, chlorfenvinfos, diuron a isoproturon). Počáteční koncentrace pěti pesticidů byla 16,6 mg/l atrazinu, 20,1 mg/l alachloru, 16,9 mg/l diuronu, 18,1 mg/l isoproturonu a 18,1 mg/l chlorfenvinfosu. Výsledky ukázaly, že všechny pesticidy z vody zcela zmizely po dobu působení mezi 30 min (pro isoproturon) až po 270 min (pro alachlor). Hladiny celkového organického uhlíku (TOC) však po 1000 min působení ozonu vykazovaly pouze 26% snížení. Samotná ozonizace tedy není vhodnou metodou pro celkovou mineralizaci pěti testovaných pesticidů, přesto může sloužit jako primární ošetření k rozkladu těchto organických molekul na biologicky odbouratelnější nebo k usnadnění fotodegradace či oxidace.

V jiné studii však byla technika ozonizace vylepšena přídavkem nano-ZnO (nZnO) k odstranění atrazinu z kontaminované vody. Účinnost odstranění se zvýšila ve srovnání se samotnou ozonizací. Při počáteční koncentraci atrazinu mezi 0,5 až 5 mg/l dosáhla technika nZnO-ozonizace 100% odstranění, zatímco při zvýšení počáteční koncentrace znečištění na 5 mg/l činila míra odstranění 90,2 % [21].

3.2.3.4 Fenton

Fentonova technologie je jednou z nejúčinnějších oxidačních metod pro odstraňování organických kontaminantů. Fentonova činidla jsou kombinací roztoku peroxidu vodíku (H_2O_2) se železem (obvykle síranem železnatým, $FeSO_4$) [22].

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Pesticidy jako takové nejsou tak velkým problémem pro životní prostředí z pohledu jejich toxicity a vlivu na životní prostředí. Mnohem větším problémem jsou právě metabolity pesticidních látek, které vznikají v biotickém nebo abiotickém prostředí.

Vznik metabolitů v biotickém prostředí může být způsoben pomocí metabolismu rostliny nebo živočichů, působením mikroorganismů, které mohou využívat pesticidy pro produkci jiných látek a tím způsobit vznik metabolitů.

Naopak v abiotickém prostředí probíhá vznik metabolitů vlivem okolního prostředí, kterým může být sluneční záření, pH, teplota, koncentrace kyslíku a jiné faktory.

V obecném měřítku by se dalo říci, že čím nižší teplota a koncentrace kyslíku ve vodě, tím bude naopak vyšší perzistence pesticidů a jejich metabolitů, a rozklad těchto látek se velmi prodlouží. Naopak biotické reakce způsobují vyšší rozpustnost ve vodě a větší polaritu, díky čemuž, je možnost reakce metabolitů s kyselinami v organismech a vyloučit neaktivní látky [23].

4.1 Seznámení s problémem

Úpravna vody ve východních Čechách s maximálním výkonem 30 l/s (běžný provozní výkon 17 l/s) zásobuje skupinový vodovod a okolní obce – tj. cca 15000 obyvatel. Zdrojem pro úpravu vody jsou tři podzemní vrty, které jsou vzdáleny cca 6 km od úpravny a města, kde je voda využívána. V tomto vodovodu bylo zjištěna nadlimitní koncentrace pesticidních látek a tento problém musel být neprodleně vyřešen.

4.2 Situace oblasti

Zdrojem surové vody je trojice podzemních vrtů, které jsou součástí nejmenované geologické struktury. Na nepropustném podloží leží štěrkopísky v mocnosti 10 až 17 metrů a jedná se o jakési podzemní údolí bývalé řeky, naplněné vodou. V oblasti jsou četné lokality těžby štěrkopísků, vytěžená jezera a také poměrně intenzivní zemědělská činnost. Vrty jsou hluboké cca 12 – 14 m a jsou charakteristické zvýšeným obsahem železa a manganu a poměrně vysokou tvrdostí.

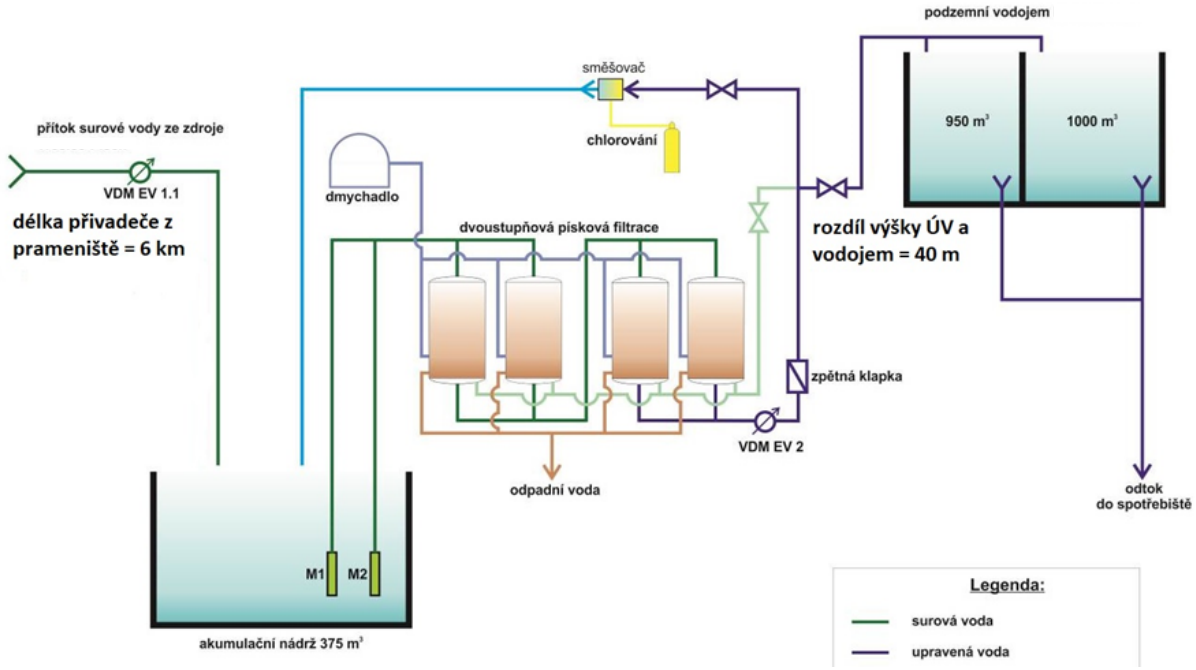
Naprostým specifikem této úpravny a lokality je však cca 6 km dlouhý přivaděč surové vody z prameniště. Voda je dopravována jako surová, bez chlorace a jakéhokoliv zásahu. A právě v tomto přivaděči dochází k samovolné oxidaci manganu a jeho ukládání na stěnách potrubí ve formě MnO_2. Přivaděč tak funguje jako samovolná a neřízená úpravna vody na mangan, který je ale nutné jednou za 2 – 3 roky mechanicky čistit.

Protože ještě při čerpání z vrtů je veškerý mangan v rozpuštěné formě, přikláníme se k hypotéze, že příčinou tohoto jevu je činnost manganatých bakterií, které se mohou vyskytovat v potrubí a svoji činnost vykonávají díky absenci dezinfekce a přítomnosti kyslíku z čerpání.

4.3 Úpravna vody

Úpravna vody má regionální význam, protože vodou zásobuje město o počtu cca. 5500 obyvatel a přilehlé obce, které mají cca 9000 obyvatel Výkon úpravny byl 30 l/s, původně bez větších možností regulace. Průměrná potřeba vody na vodovodu se však dle ročních období pohybuje mezi 14 – 17 l/s. Úpravna vody byla původně určena k odstranění železa a manganu.

Technologie byla jednoduchá z 80. let – oxidace plynným chlorem a následná dvoustupňová filtrace přes 2 x dvojici tlakových pískových filtrů. Voda se zbytkovým chlorem je s využitím přetlaku následně čerpána do dvojice podzemních vodojemů. Původní technologické schéma úpravny je na obrázku



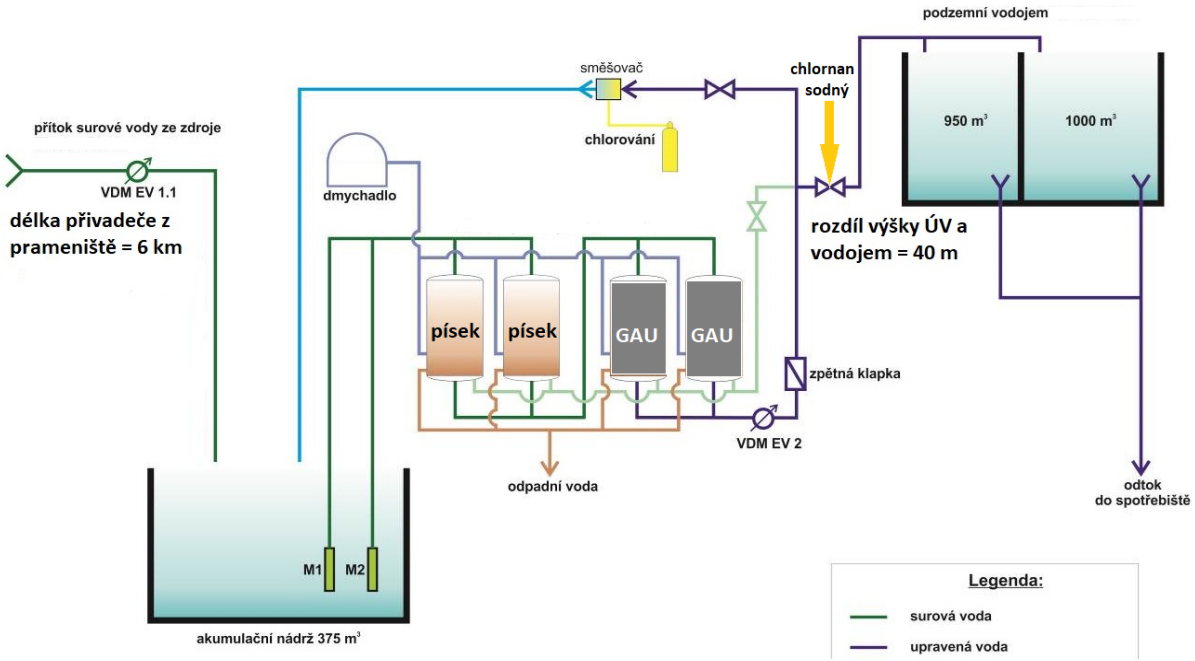
Obrázek 2 - Úpravna vod před rekonstrukcí

Úpravna vody měla původně za úkol odstranit zvýšené koncentrace manganu a železa ze surové vody. Využívala se dvoustupňová písková filtrace a oxidace chlorem. Zde se v přivaděči objevuje neobvyklý jev, který byl popsán již dříve. Při průchodu surové vody přivaděčem se mangan samovolně usazuje na stěně přivaděče což bylo pro náš problém velice důležité.

Díky tomuto jevu jsme mohli změnit technologii. Voda odebraná po prvním kroku filtrace byla již bez nálezu železa a manganu.

Byl podán návrh na výměnu filtrační náplně na druhém stupni, kdy bylo místo písku použito granulované aktivní uhlí. Z důvodu odstranění veškerého chlóru, je nutné dodávat do vody chlornan sodný pro dezinfekci.

Velikost filtrů umožňuje při snížení výroby na 13l/s kontaktní čas vody a GAU na 13 minut, což je považováno za dostatečné, ale hraniční. Upravené technologické schéma po výměně druhého filtračního stupně je uvedeno na obrázku



Obrázek 3 - Úpravna vod po rekonstrukci

Velkou zvláštností je především čas, který byl potřebný pro tuto celou realizaci. Vše proběhlo v horizontu několika málo týdnů.

4.4 Nález pesticidních metabolitů

V září roku 2019 se ve zdrojích pro tento vodovod potvrdil nadlimitní nález metabolitů pesticidních látek – konkrétně relevantních látek Acetochlor ESA a Acetochlor OA. Celý soupis testovaných látek je uveden v následující tabulce.

Tabulka 1 - Surová voda 23.9.2019

				vrt 2	vrt 3	vrt 4	směšovací výpočet
látka	**druh**	**plodina a poznámka**	**hygienický limit µg/l**	**23.09.2019 µg/l**	**23.09.2019 µg/l**	**23.09.2019 µg/l**	**23.09.2019 µg/l**
Acetochlor ESA	relevantní metabolit	kukuřice, zákaz 2013	0,10	0,16	0,38	0,17	0,268
Acetochlor OA	relevantní metabolit	kukuřice, zákaz 2013	0,10	0,14	0,15	0,13	0,141
Propachlor ESA	relevantní metabolit	řepka ozimá	0,10	0,049	0,15	0,055	0,099
Alachlor ESA	nerelevantní metabolit	řepka olejka/kukuřice, zákaz 2008	1,00	0,11	0,25	0,15	0,191
Alachlor OA	nerelevantní metabolit	řepka olejka/kukuřice, zákaz 2008	1,00	<0,010	0,018	0,017	0,016
metolachlor ESA	nerelevantní metabolit	kukuřice	6,00	0,087	0,11	0,19	0,135
metolachlor OA	nerelevantní metabolit	kukuřice	6,00	0,013	0,023	0,028	0,023
metazachlor ESA	nerelevantní metabolit	řepka olejka	5,00	0,22	0,58	0,32	0,427
metazachlor OA	nerelevantní metabolit	řepka olejka	5,00	0,15	0,22	0,19	0,198
dimetachlor ESA	potencionálně relevant	řepka ozimá	0,10	0,032	0,058	0,04	0,047
Chloridazon-desphenyl	nerelevantní metabolit	cukrová řepa	limit 6,0 v sumě	Neměřeno			
chloridazon -methyldesphenyl	nerelevantní metabolit	cukrová řepa		0,438	1,59	0,865	1,138
chloridazon	základní pesticid	cukrová řepa	0,10	<0,010	0,015	0,025	0,018
bentazon	základní pesticid	bob, len, fazole, hrách, brambory	0,10	<0,010	0,038	<0,010	0,023

Pomocí směšovací rovnice bylo spočítáno, že po smíchání vod ze tří samostatných vrtů, je nález u dvou pesticidních látek nadlimitní. Konkrétně pro Acetochlor ESA je nález více než dvaapůlkrát vyšší, než je povolený limit. Dalším nadlimitním metabolitem je Acetochlor OA. Pro ten je limit překročen téměř jedenapůlkrát. Propachlor ESA byl limit na úplné hranici.

Od září roku 2019 je pravidelně v intervalu tří měsíců provádělo testování surové vody. Protože se jedná o velmi využívanou zemědělskou oblast, je nález pesticidních látek potvrzen při každém odběru. Všechna data jsou uvedena v následujících tabulkách.

Tabulka 2 - Surová voda 22.1.2020

				vrt 2	vrt 3	vrt 4	směšovací výpočet
látka	**druh**	**plodina a poznámka**	**hygienický limit µg/l**	**21.01.2020 µg/l**	**21.01.2020 µg/l**	**22.01.2020 µg/l**	**21.01.2020 µg/l**
Acetochlor ESA	relevantní metabolit	kukuřice, zákaz 2013	0,10	0,18	0,33	0,18	0,251
Acetochlor OA	relevantní metabolit	kukuřice, zákaz 2013	0,10	0,12	0,097	0,11	0,105
Propachlor ESA	relevantní metabolit	řepka ozimá	0,10	0,043	0,093	0,059	0,072
Alachlor ESA	nerelevantní metabolit	řepka olejka/kukuřice, zákaz 2008	1,00	0,11	0,20	0,16	0,171
Alachlor OA	nerelevantní metabolit	řepka olejka/kukuřice, zákaz 2008	1,00	0,011	0,015	0,017	0,015
metolachlor ESA	nerelevantní metabolit	kukuřice	6,00	0,091	0,088	0,18	0,122
metolachlor OA	nerelevantní metabolit	kukuřice	6,00	0,013	0,014	0,22	0,089
metazachlor ESA	nerelevantní metabolit	řepka olejka	5,00	0,19	0,46	0,29	0,354
metazachlor OA	nerelevantní metabolit	řepka olejka	5,00	0,14	0,19	0,18	0,178
dimetachlor ESA	potencionálně relevant	řepka ozimá	0,10	0,038	0,057	0,043	0,049
Chloridazon-desphenyl	nerelevantní metabolit	cukrová řepa	limit 6,0 v sumě	Neměřeno			
chloridazon -methyldesphenyl	nerelevantní metabolit	cukrová řepa					
chloridazon	základní pesticid	cukrová řepa	0,10	<0,010	0,015	0,020	0,016
bentazon	základní pesticid	bob, len, fazole, hrách, brambory	0,10	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010

Tabulka 3 - Surová voda 1.6.2020

				vrt 2	vrt 3	vrt 4	směšovací výpočet
látka	**druh**	**plodina a poznámka**	**hygienický limit µg/l**	**01.06.2020 µg/l**	**28.07.2020 µg/l**	**01.06.2020 µg/l**	**01.06.2020 µg/l**
Acetochlor ESA	relevantní metabolit	kukuřice, zákaz 2013	0,10	0,23	0,310	0,230	0,268
Acetochlor OA	relevantní metabolit	kukuřice, zákaz 2013	0,10	0,17	0,140	0,190	0,163
Propachlor ESA	relevantní metabolit	řepka ozimá	0,10	0,077	<0,010	0,086	0,044
Propachlor OA	relevantní	řepka ozimá	0,10	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Alachlor ESA	nerelevantní metabolit	řepka olejka/kukuřice, zákaz 2008	1,00	0,140	0,240	0,200	0,209
Alachlor OA	nerelevantní metabolit	řepka olejka/kukuřice, zákaz 2008	1,00	0,011	0,017	0,018	0,016
metolachlor ESA	nerelevantní metabolit	kukuřice	6,00	0,140	0,123	0,220	0,161
metolachlor OA	nerelevantní metabolit	kukuřice	6,00	0,026	0,023	0,026	0,025
metazachlor ESA	nerelevantní metabolit	řepka olejka	5,00	0,270	0,450	0,410	0,406
metazachlor OA	nerelevantní metabolit	řepka olejka	5,00	0,170	0,230	0,250	0,227
dimetachlor ESA	potencionálně relevant	řepka ozimá	0,10	0,043	0,062	0,046	0,053
Chloridazon-desphenyl	nerelevantní metabolit	cukrová řepa	limit 6,0 v sumě	**0,983**	**4,350**	**2,020**	**2,952**
chloridazon -methyldesphenyl	nerelevantní metabolit	cukrová řepa		**0,432**	**1,050**	**0,896**	**0,893**
chloridazon	základní pesticid	cukrová řepa	0,10	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010

Tabulka 4 - Surová voda 15.9.2020

				vrt 2	vrt 3	vrt 4	směšovací výpočet
látka	**druh**	**plodina a poznámka**	**hygienický limit µg/l**	**15.09.2020 µg/l**	**15.09.2020 µg/l**	**15.09.2020 µg/l**	**15.09.2020 µg/l**
Acetochlor ESA	relevantní metabolit	kukuřice, zákaz 2013	0,10	**0,160**	**0,220**	**0,210**	**0,207**
Acetochlor OA	relevantní metabolit	kukuřice, zákaz 2013	0,10	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Propachlor ESA	relevantní metabolit	řepka ozimá	0,10	0,040	0,040	0,043	0,041
Propachlor OA	relevantní	řepka ozimá	0,10	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Alachlor ESA	nerelevantní metabolit	řepka olejka/kukuřice, zákaz 2008	1,00	0,098	0,160	0,150	0,146
Alachlor OA	nerelevantní metabolit	řepka olejka/kukuřice, zákaz 2008	1,00	<0,010	<0,010	0,013	0,010
metolachlor ESA	nerelevantní metabolit	kukuřice	6,00	0,170	0,130	0,270	0,187
metolachlor OA	nerelevantní metabolit	kukuřice	6,00	0,027	0,010	0,026	0,019
metazachlor ESA	nerelevantní metabolit	řepka olejka	5,00	0,260	0,360	0,420	0,365
metazachlor OA	nerelevantní metabolit	řepka olejka	5,00	0,170	0,150	0,240	0,186
dimetachlor ESA	potencionálně relevant	řepka ozimá	0,10	0,026	0,021	0,031	0,025
Chloridazon-desphenyl	nerelevantní metabolit	cukrová řepa	limit 6,0 v sumě	**0,713**	**1,510**	**1,780**	**1,478**
chloridazon -methyldesphenyl	nerelevantní metabolit	cukrová řepa		**0,448**	**0,948**	**1,040**	**0,900**
chloridazon	základní pesticid	cukrová řepa	0,10	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010

Tabulka 5 - Surová voda 2.11.2020

				vrt 2	vrt 3	vrt 4	směšovací výpočet
látka	**druh**	**plodina a poznámka**	**hygienický limit µg/l**	**02.11.2020 µg/l**	**02.11.2020 µg/l**	**02.11.2020 µg/l**	**02.11.2020 µg/l**
Acetochlor ESA	relevantní metabolit	kukuřice, zákaz 2013	0,10	**0,270**	**0,230**	**0,230**	**0,237**
Acetochlor OA	relevantní metabolit	kukuřice, zákaz 2013	0,10	**0,180**	**0,110**	**0,170**	**0,143**
Propachlor ESA	relevantní metabolit	řepka ozimá	0,10	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Propachlor OA	relevantní	řepka ozimá	0,10	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Alachlor ESA	nerelevantní metabolit	řepka olejka/kukuřice, zákaz 2008	1,00	0,150	0,160	0,200	0,173
Alachlor OA	nerelevantní metabolit	řepka olejka/kukuřice, zákaz 2008	1,00	<0,010	<0,010	0,015	0,010
metolachlor ESA	nerelevantní metabolit	kukuřice	6,00	0,170	0,120	0,250	0,175
metolachlor OA	nerelevantní metabolit	kukuřice	6,00	0,031	0,012	0,033	0,023
metazachlor ESA	nerelevantní metabolit	řepka olejka	5,00	0,290	0,410	0,450	0,405
metazachlor OA	nerelevantní metabolit	řepka olejka	5,00	0,180	0,160	0,230	0,189
dimetachlor ESA	potencionálně relevant	řepka ozimá	0,10	0,040	0,040	0,052	0,044
Chloridazon-desphenyl	nerelevantní metabolit	cukrová řepa	limit 6,0 v sumě	**0,972**	**1,880**	**1,880**	**1,731**
chloridazon -methyldesphenyl	nerelevantní metabolit	cukrová řepa		**0,446**	**1,18**	**1,190**	**1,064**
chloridazon	základní pesticid	cukrová řepa	0,10	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010

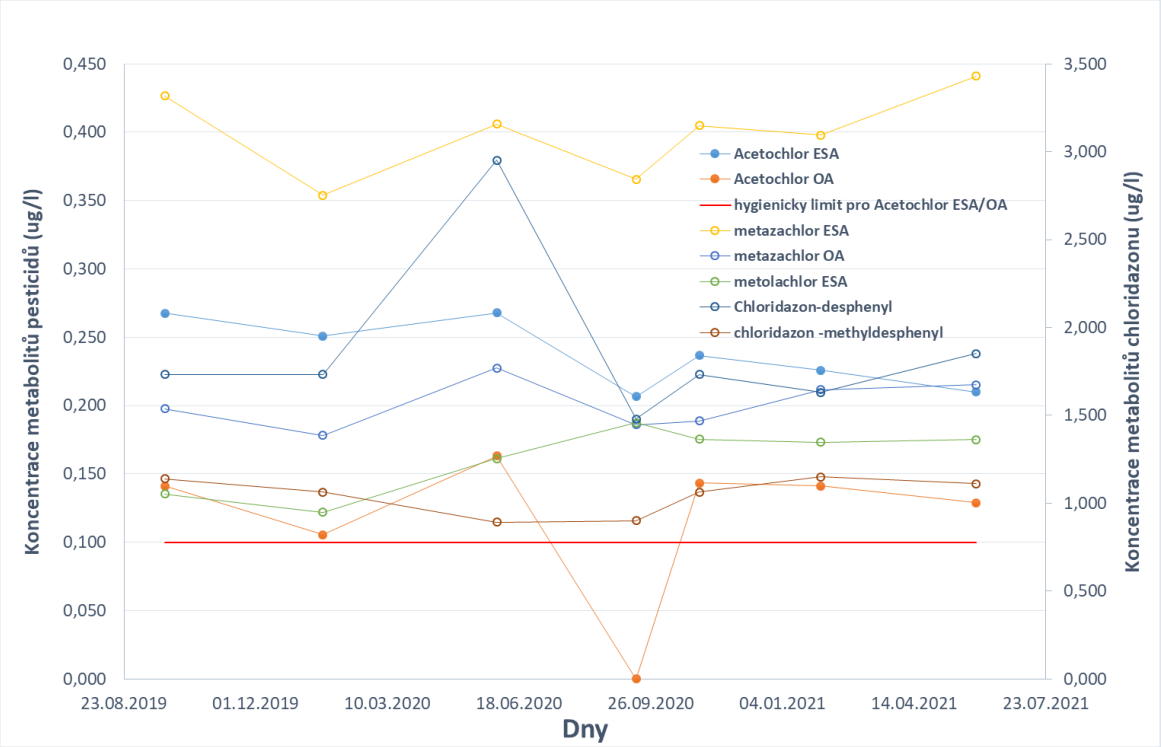
Tabulka 6 - Surová voda 2.2.2021

				vrt 2	vrt 3	vrt 4	směšovací výpočet
látka	**druh**	**plodina a poznámka**	**hygienický limit µg/l**	**02.02.2021 µg/l**	**02.02.2021 µg/l**	**02.02.2021 µg/l**	**02.02.2021 µg/l**
Acetochlor ESA	relevantní metabolit	kukuřice, zákaz 2013	0,10	**0,240**	**0,210**	**0,240**	**0,226**
Acetochlor OA	relevantní metabolit	kukuřice, zákaz 2013	0,10	**0,180**	**0,090**	**0,190**	**0,141**
Propachlor ESA	relevantní metabolit	řepka ozimá	0,10	0,075	0,067	0,078	0,072
Propachlor OA	relevantní	řepka ozimá	0,10	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Alachlor ESA	nerelevantní metabolit	řepka olejka/kukuřice, zákaz 2008	1,00	0,160	0,190	0,210	0,192
Alachlor OA	nerelevantní metabolit	řepka olejka/kukuřice, zákaz 2008	1,00	0,011	<0,010	0,018	0,015
metolachlor ESA	nerelevantní metabolit	kukuřice	6,00	0,140	0,110	0,270	0,173
metolachlor OA	nerelevantní metabolit	kukuřice	6,00	0,033	0,018	0,04	0,028
metazachlor ESA	nerelevantní metabolit	řepka olejka	5,00	0,290	0,380	0,470	0,398
metazachlor OA	nerelevantní metabolit	řepka olejka	5,00	0,180	0,170	0,280	0,212
dimetachlor ESA	potencionálně relevant	řepka ozimá	0,10	0,039	0,043	0,045	0,043
Chloridazon-desphenyl	nerelevantní metabolit	cukrová řepa	limit 6,0 v	**0,763**	**1,770**	**1,840**	**1,631**
chloridazon -methyldesphenyl	nerelevantní metabolit	cukrová řepa	sumě	**0,505**	**1,240**	**1,320**	**1,149**
chloridazon	základní pesticid	cukrová řepa	0,10	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010

Tabulka 7 - Surová voda 31.5.2021

				vrt 2	vrt 3	vrt 4	směšovací výpočet
látka	**druh**	**plodina a poznámka**	**hygienický limit µg/l**	**31.05.2021 µg/l**	**31.05.2021 µg/l**	**31.05.2021 µg/l**	**31.05.2021 µg/l**
Acetochlor ESA	relevantní metabolit	kukuřice, zákaz 2013	0,10	**0,210**	0	**0,210**	**0,210**
Acetochlor OA	relevantní metabolit	kukuřice, zákaz 2013	0,10	**0,150**	0	**0,170**	**0,164**
Propachlor ESA	relevantní metabolit	řepka ozimá	0,10	0,071	0	0,077	**0,075**
Propachlor OA	relevantní	řepka ozimá	0,10	<0,010	0	<0,010	<0,010
Alachlor ESA	nerelevantní metabolit	řepka olejka/kukuřice, zákaz 2008	1,00	0,120	0	0,170	**0,154**
Alachlor OA	nerelevantní metabolit	řepka olejka/kukuřice, zákaz 2008	1,00	<0,010	0	<0,010	<0,010
metolachlor ESA	nerelevantní metabolit	kukuřice	6,00	0,130	0	0,280	**0,233**
metolachlor OA	nerelevantní metabolit	kukuřice	6,00	0,018	0	0,037	**0,031**
metazachlor ESA	nerelevantní metabolit	řepka olejka	5,00	0,330	0	0,570	**0,496**
metazachlor OA	nerelevantní metabolit	řepka olejka	5,00	0,180	0	0,290	**0,256**
dimetachlor ESA	potencionálně relevant	řepka ozimá	0,10	0,030	0	0,035	**0,033**
Chloridazon-desphenyl	nerelevantní metabolit	cukrová řepa	limit 6,0 v	**1,02**	0	**2,330**	**1,923**
chloridazon -methyldesphenyl	nerelevantní metabolit	cukrová řepa	sumě	**0,499**	0	**1,220**	**0,996**
chloridazon	základní pesticid	cukrová řepa	0,10	<0,010	0	<0,010	<0,010
bentazon	základní pesticid	cukrová řepa	0,10	<0,010	0	0,037	0,037

Z předešlých tabulek byl vytvořen graf koncentrací metabolitů pesticidů ve sledovaném období. Kdy nebylo v posledním měření odebráno z vrtu číslo 2.



Graf 1- Koncentrace metabolitů pesticidů v surové vodě

Zjištěné koncentrace jsou pro Acetochlor ESA a Acetochlor OA nadlimitní. Pouze při jednom měření nebyla zjištěna přítomnost Acetochloru OA, ale s největší pravděpodobností se může jednat o chybu měření.

Z naměřených dat je jasné, že se jedná o stálý problém, který potřebuje řešení.

4.5 Vliv instalace GAU na hodnoty pesticidů

Po instalaci GAU, která byla dokončena ke konci roku 2019, bylo provedeno několik odběrů upravené vody v různých časových intervalech. Bylo také provedeno snížení výkonu ÚV, čímž se prodloužil čas, při kterém byla voda v kontaktu s GAU. Snížení výkonu ÚV se provedlo dvakrát. Poprvé 22.5.2020 ze 14 l/s na 10 l/s a podruhé o týden později na 8 l/s. Na výkonu 8 litrů za sekundu pracuje úpravna od výše zmíněného data.

Při prvních odběrech byla sorpce pesticidů na GAU vysoce účinná, protože pokud se podíváme na výsledky hodnoty pesticidů jsou pod mezí detekce přístroje. První zvýšení hodnot metabolitů bylo zjištěno 5.5.2020. Jednalo se o Acetochlor ESA a Acetochlor OA. Byl zaznamenán i nález jiných metabolitů jako například Metazchlor ESA a Metazachlor OA, ale jsou to nerelevantní metabolity a nalezené hodnoty jsou přibližně 50x menší, než je povolený hygienický limit.

Ve velmi podobných hodnotách, jen s malými odchylkami, se pohybovali nálezy pesticidů ještě další rok. Až rozbory vody odebrané 4.5.2021 a 31.5.2021 upozornily na možnou omezenost absorpční kapacity GAU při dlouhodobém vystavení některým metabolitům.

Po přibližně roce a půl od výměny náplně druhého separačního kroku se začínají zvyšovat nálezy pesticidních metabolitů a u některých se dokonce blížit hygienickým limitům pro pitnou vodu. Pro některé metabolity se účinnost separace snížila téměř o 50%, při porovnání hodnot v surové a upravené vodě, ale pro některé zůstává separační účinnost téměř 100%. Tento jev je nutné dále v diplomové práci řešit a ze získaných dat se pokusit najít důvod tohoto jevu, protože toto téma není v odborné literatuře zatím dostatečně popsáno

Tabulka 8 - Koncentrace metabolitů pesticidů v upravené vodě

			Upravená voda	Upravená voda	Upravená voda	Upravená voda	Upravená voda	Upravená voda	Upravená voda	Upravená voda	Upravená voda
látka	druh	hygienický limit µg/l	05.11.2019 µg/l	07.01.2020 µg/l	05.05.2020 µg/l	01.06.2020 µg/l	29.06.2020 µg/l	03.11.2020 µg/l	05.01.2021 µg/l	04.05.2021 µg/l	31.05.2021 µg/l
Acetochlor ESA	relevantní	0,10	<0,030	<0,030	**0,061**	**0,031**	**0,044**	**0,033**	**0,037**	**0,095**	**0,088**
Acetochlor OA	relevantní	0,10	<0,010	<0,010	**0,040**	**0,033**	**0,039**	**0,044**	**0,056**	**0,079**	**0,086**
Propachlor ESA	relevantní	0,10	<0,030	<0,030	**<0,030**	**<0,030**	**<0,030**	**<0,030**	**<0,030**	**<0,030**	**0,032**
Propachlor OA	relevantní	0,10	<0,010	<0,010	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**
Alachlor ESA	nerelevantní	1,00	<0,030	<0,030	**0,036**	**<0,030**	**0,033**	**<0,030**	**0,061**	**0,05**	**0,047**
Alachlor OA	nerelevantní	1,00	<0,010	<0,010	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**
Metolachlor ESA	nerelevantní	6,00	<0,010	<0,010	**0,047**	**0,019**	**0,05**	**0,026**	**0,03**	**0,051**	**0,066**
Metolachlor OA	nerelevantní	6,00	<0,010	<0,010	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**0,013**	**0,011**
Metazachlor ESA	nerelevantní	5,00	<0,010	<0,010	**0,11**	**0,091**	**0,098**	**0,12**	**0,14**	**0,22**	**0,24**
Metazachlor OA	nerelevantní	5,00	<0,010	<0,010	**0,089**	**0,069**	**0,083**	**0,098**	**0,110**	**0,150**	**0,160**
Dimetachlor ESA	potencionáln	0,10	<0,010	<0,010	**0,014**	**<0,010**	**0,012**	**0,013**	**0,014**	**0,022**	**0,018**
Chloridazon-desphenyl	nerelevantní	imit 6,0 v sum	<0,050	<0,050	**<0,050**	**<0,050**	**<0,050**	**<0,050**	**<0,050**	**<0,050**	**<0,050**
Chloridazon -methyldesphe	nerelevantní		<0,010	<0,010	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**
Chloridazon	základní látka	0,10	<0,010	<0,010	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**
Bentazon	základní látka	0,10	<0,010	<0,010	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**

4.6 Vybrané metabolity pesticidů

Celkem bylo měřeno 15 metabolitů pesticidů, ale většina není relevantní, nebo mělo zanedbatelné hodnoty. Konkrétně se jedná hlavně o tyto tři metabolity, které budou podrobně zpracovány

Pro lepší přehlednost, především u fyzikálně chemických veličin, vzorců a dalších informací o metabolitech pesticidů a výchozích látkách, nebyla přiřazena citace u každé jednotlivé sloučeniny, ale je uvedena zde hromadně na začátku kapitoly.

Další doplňující informace týkající se základní charakteristiky, vlastností, použití a podobně jsou již ocitovány podle citační normy ISO 690:2011.

Všechny uvedené fyzikálně-chemické vlastnosti pesticidů a jejich metabolitů byly získány z databáze PubChem. PubChem je databáze chemických sloučenin. Systém spravuje Národní centrum pro biotechnologické informace, součást Národní lékařské knihovny, která spadá pod Národní ústavy zdraví USA. [37]

4.6.1 Metolachlor

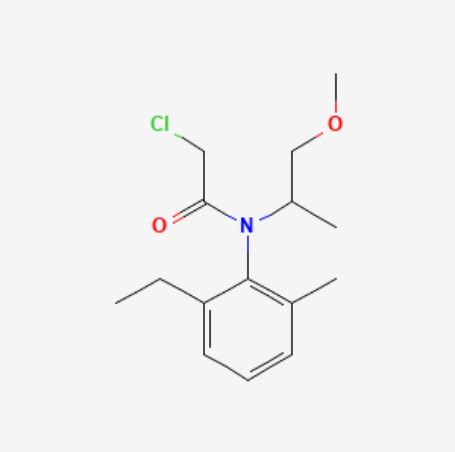
Metolachlor - 2-chloro-N-(2-ethyl-6-methylfenyl)-N-(methoxy-1-methylethyl) acetamid

$C_{15}H_{22}ClNO_2$

CAS číslo 51218-45-2

Molekulová hmotnost 283.80 g·mol−1

Rozpustnost ve vodě 530 mg/l

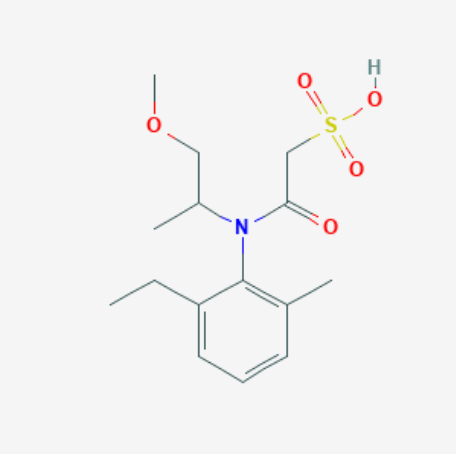


Obrázek 4 - Metolachlor

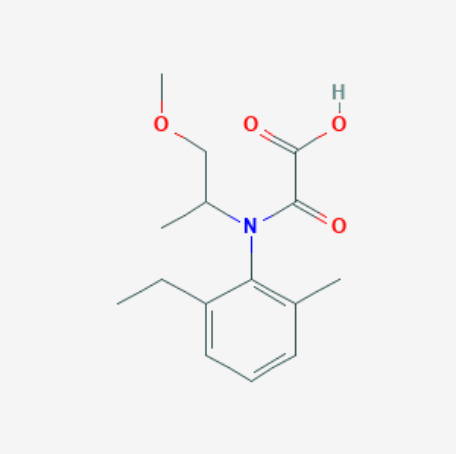
Jako nejdůležitější chloroacetanilidový herbicid, je široce používán k regulaci travních plevelů. Metolachlor má dlouhodobou perzistenci v půdě s poločasem rozpadu v rozmezí 15 až 70 dnů. Přestože je metolachlor aplikován především na zemědělské půdě, byl často detekován ve vodním prostředí díky své vysoké rozpustnosti (488 mg/1 při 20 °C). Rezidua metolachloru ve vodě navíc vydrží déle než v půdě, poločas rozpadu se pohybuje v rozmezí od 97 až 200 dní a je nepřímo úměrný pH vody [24].

Metolachlor se začal využívat až po roce 2005 místo herbicidu Atrazinu, který byl v Evropské Unii zakázán na základě rozhodnutí Evropské komise 2004/248/EC [25].

Metolachlor se rozkládá na čtyři různé metabolity. Nejběžnějšími metabolity Metolachlor ESA a Metolachlor OA. Tyto dva metabolity mají větší odolnost vůči rozkladu než výchozí herbicid, ale oproti tomu nebyly doposud zjištěny a potvrzeny žádné toxické účinky nebo jiné nežádoucí účinky na lidský organismus na rozdíl od Metolachloru, kde byly prokázány cytotoxické a genotoxické účinky na lidský organismus a také u některých živočichů [26].



Obrázek 5 - Metolachlor ESA



Obrázek 6 - Metolachlor OA

4.6.2 Acetochlor

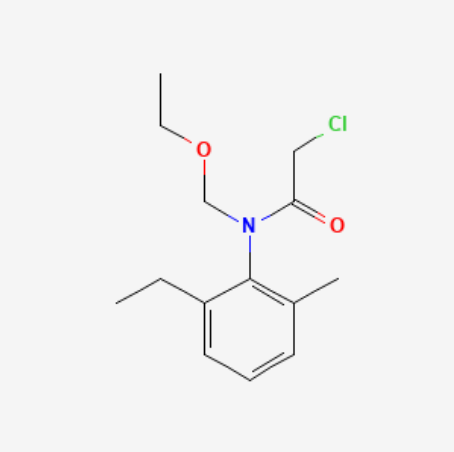
Acetochlor 2-chlor-*N*-(ethoxymethyl)-*N*-(2-ethyl-6-methylfenyl)acetamid

$C_{14}H_{20}ClNO_2$

CAS číslo: 34256-82-1

Molekulová hmotnost 269.77 g·mol−1

Rozpustnost ve vodě 223 mg/.



Obrázek 7 - Acetochlor

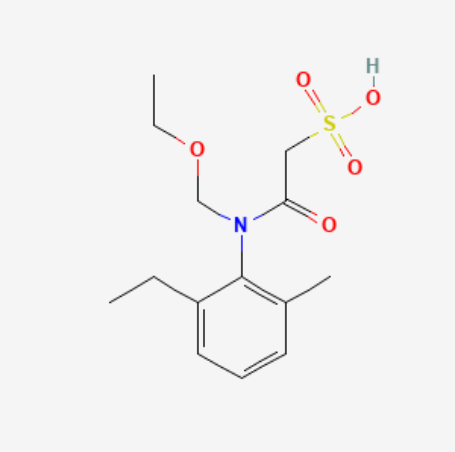
V zemědělství běžně používaný herbicid, který však představuje hrozbu pro živé organismy, protože může narušovat biologické systémy [27].

Acetochlor je snadno rozpustný ve vodě a půdě a byl zjištěn v mnoha přírodních prostředích, zejména ve vodě. Například koncentrace acetochloru v řece Jang-c'-ťiang dosáhla 1054,9 ng/l (10x vyšší koncentrace, než je limit v ČR), koncentrace v řekách Yazoo a Mississippi je 130-1660 ng/l a koncentrace ve vodě v blízkosti kanalizačních příkopů spojených s těmito řekami může dosáhnout dokonce 11400 ng/l (114x vyšší koncentrace, než je limit v ČR) [28].

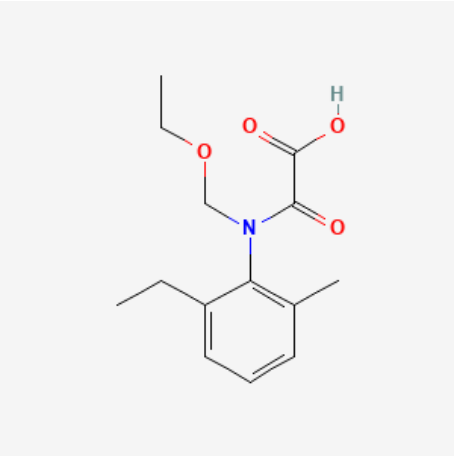
Studie prokázaly, že u vodních živočichů, včetně karase obecného, tolstolobika bílého a dospělých zebřiček, acetochlor nejen zvyšuje úmrtnost, ale také vede k abnormálnímu oxidačnímu stresu a poruchám genové exprese. Tyto účinky brání jejich růstu a vývoji a mohou také způsobit poškození různých orgánů a tkání vodních živočichů, jako jsou struktury DNA, hepatocyty, žábry a plicní sklípky. Americká agentura pro ochranu životního prostředí (EPA) proto klasifikovala acetochlor jako karcinogen třídy B-2 - možný lidský karcinogen [29].

Účinky acetochloru na lidské zdraví při nízkých dávkách nebo při nízké expozici v životním prostředí nejsou známy. Byl ale zaznamenán případ otravy s extrémně oteklými genitáliemi jako příznakem po kontaktu [30].

Acetochlor se rozkládá na dva relevantní metabolity, kterými jsou Acetochlor ESA a Acetochlor OA. Tyto dva metabolity jsou nejvíce obsažené v surové vodě.



Obrázek 9 - Acetochlor ESA



Obrázek 8 - Acetochlor OA

4.6.3 Propachlor

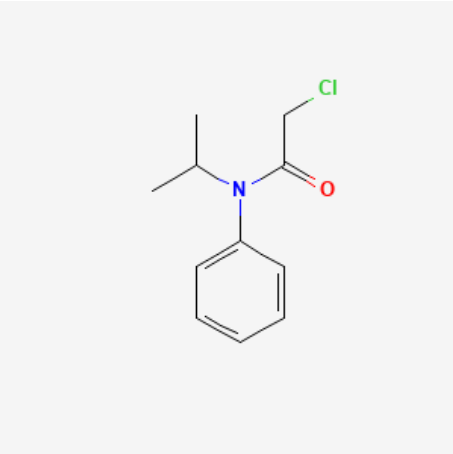
Propachlor - 2-chloro-N-(1-methylethyl)-N-fenylacetamid

$C_{11}H_{14}ClNO$

CAS číslo: 1918-16-7

Molekulová hmotnost: 211.69 g·mol−1

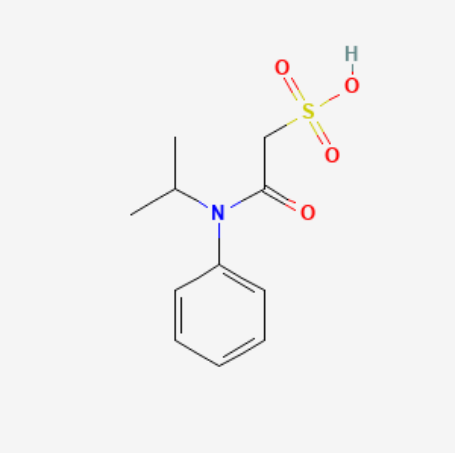
Rozpustnost ve vodě: 580 mg/L



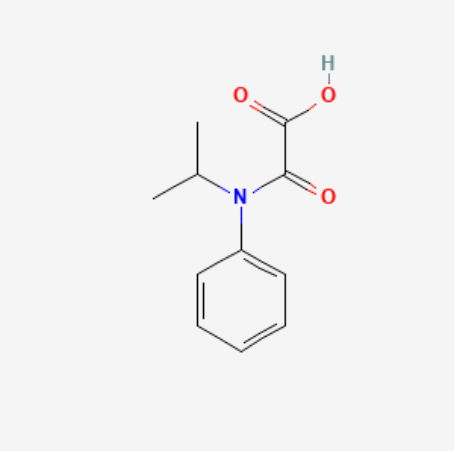
Obrázek 10 - Propachlor

Jeden z důležitých chloroacetanilidových herbicidů, které se v mnoha zemích hojně používají k prevenci růstu plevelů, jako jsou jednoleté trávy a některé širokolisté rostliny, při zemědělském pěstování. Ačkoli obliba některých chloroacetanilidových herbicidů, jako je alachlor, v posledních letech klesá, používání jiných se zvyšuje. Není divu, že nadměrná aplikace těchto herbicidů má za následek závažnou nebodovou kontaminaci podzemních vod a půdy. Chloroacetanilidové herbicidy totiž patří mezi nejčastěji zjišťované znečišťující látky v podzemních vodách a půdě na celém světě [31].

V naší studii se nachází dva metabolity od výchozího herbicidu. Jsou to Propachlor ESA a Propachlor OA.



Obrázek 11 - Propachlor ESA



Obrázek 12 - Propachlor OA

4.6.4 Alachlor

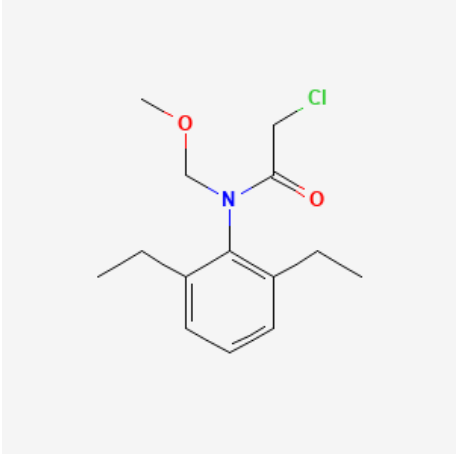
Alachlor - 2-chloro-*N*-(2,6-diethylphenyl)-*N*-(methoxymethyl) acetamid

$C_{14}H_{20}ClNO_2$

CAS číslo: 15972-60-8

Molekulová hmotnost: 269.77g·mol−1

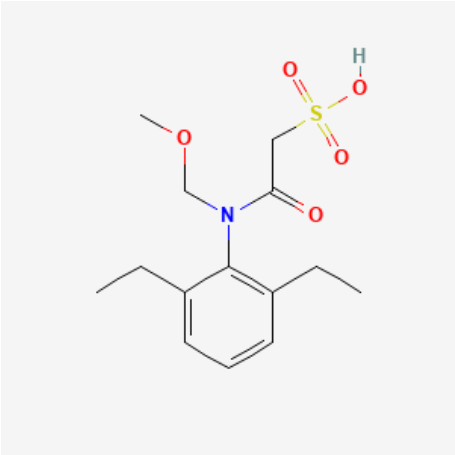
Rozpustnost ve vodě: 240 mg/L



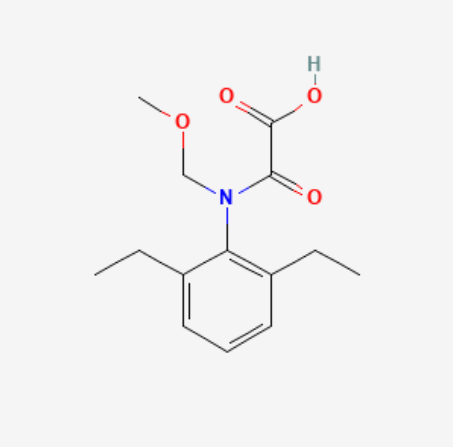
Obrázek 13 - Alachlor

Chloroacetanilidový herbicid, který se široce používá k hubení jednoletých trav a mnoha širokolistých plevelů na polích s kukuřicí, sójou a podzemnicí olejnou. Jeho intenzivní používání a zvýšená perzistence ve vodě (poločas rozpadu v podzemní vodě se odhaduje na 808 až 1518 dní) zvyšují rizika expozice člověka. Mezi rizika expozice člověka patří snížená kvalita spermií (ovlivňuje koncentraci a morfologii spermií), zvýšený výskyt rakoviny. Například kolorektálního karcinomu, leukémie nebo rakoviny hrtanu [36].

V naší studii nám opět jde o dva metabolity Alachloru a to konkrétně o Alachlor ESA a Alachor OA [36].



Obrázek 14 - Alachlor ESA



Obrázek 15 - Alachlor OA

4.6.5 Metazachlor

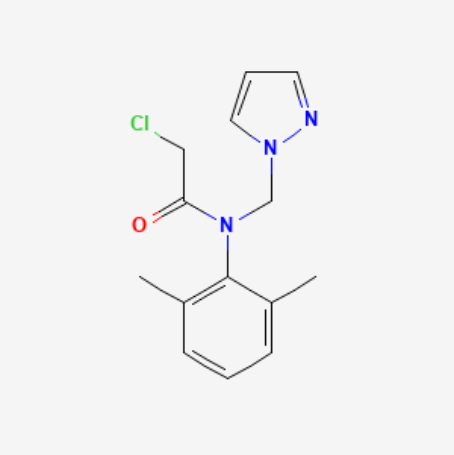
2-chloro-*N*-(2,6-dimethylphenyl)-*N*-(pyrazol-1-ylmethyl)acetamid

$C_{14}H_{16}ClN_3O$

CAS číslo: 67129-08-2

Molekulová hmotnost: 277.75g/mol

Rozpustnost ve vodě: 450 mg/L

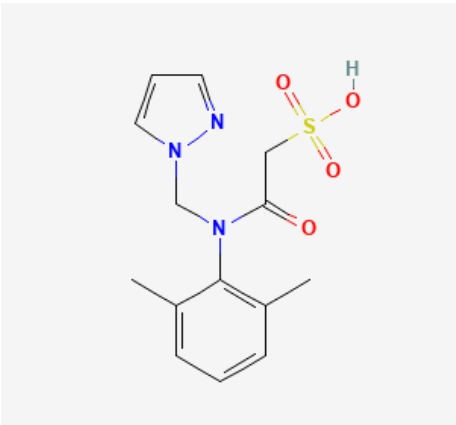


Obrázek 16 - Metazachlor

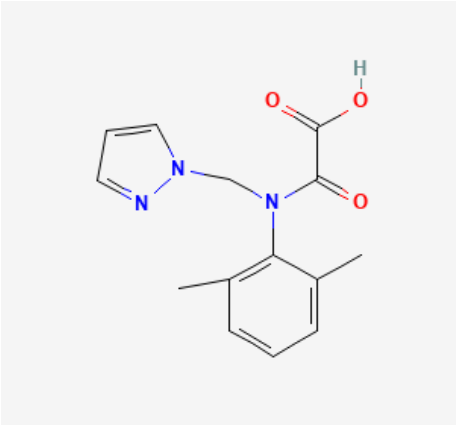
Metazachlor je chloroacetanilidový herbicid, který inhibuje buněčné dělení a je široce používán v zemědělství k preemergentní regulaci širokolistých plevelů a jednoletých trav. V České republice je ve velké míře aplikován v zimě a na jaře k preemergentní a postemergentní regulaci plevelů na polích kde je pěstována řepka, květák a zelí [32].

Metazachlor je klasifikován jako H400 "Vysoce toxický pro vodní organismy" a H410 "Vysoce toxický pro vodní organismy s dlouhodobými účinky". Vzhledem k tomu, že je metazachlor specifickým inhibitorem biosyntézy mastných kyselin s velmi dlouhým řetězcem s alkylovými řetězci delšími než C18, jsou k poškození nejvíce náchylné ty vyšší rostliny, které mají vysoké množství těchto mastných kyselin s velmi dlouhým řetězcem [32].

V naší studii nám jde o dva metabolity Metazachloru a to konkrétně o Metazachlor ESA a Metazachlor OA.



Obrázek 17 - Metazachlor ESA



Obrázek 18 - Metazachlor OA

4.6.6 Dimethachlor

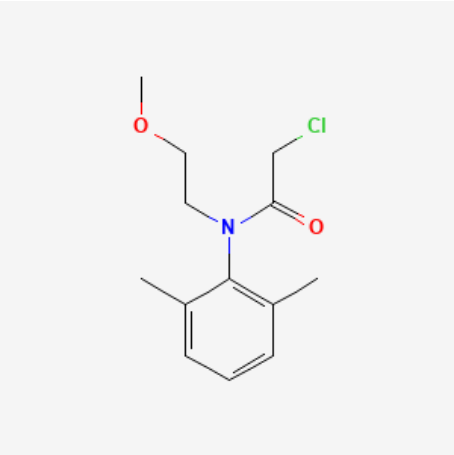
2-Chloro-N-(2,6-dimethylphenyl)-N-(2-methoxyethyl)acetamid

$C_{13}H_{18}ClNO_2$

CAS číslo: 50563-36-5

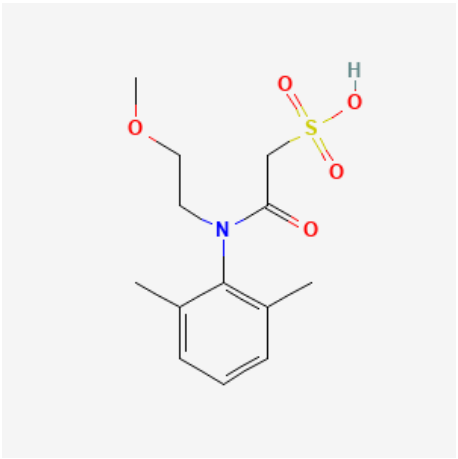
Molekulová hmotnost: 255.74 g/mol

Rozpustnost ve vodě: 2300 mg/L



Obrázek 19 - Dimetachlor

Dimethachlor je chloroacetanilidový herbicid, který je používán v zemědělství k preemergentní regulaci širokolistých plevelů a jednoletých trav hlavně při pěstování řepky olejky. Jeho nejčastějším metabolitem je Dimethachlor ESA, který má vysokou mobilitu a kvůli tomu se nachází ve spodních vodách [33].



Obrázek 20 - Dimetachlor ESA

4.6.7 Chloridazon

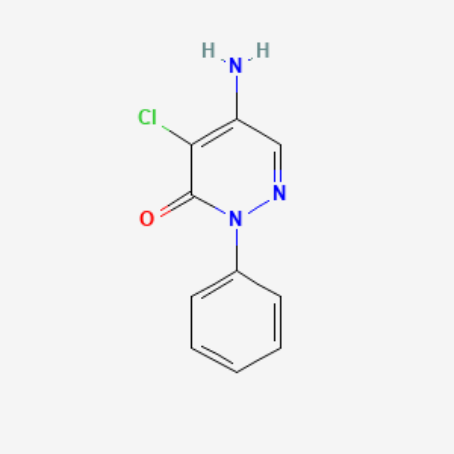
5-Amino-4-chloro-2-phenylpyridazin-3(2H)-on

$C_{10}H_8ClN_3O$

CAS číslo: 1698-60-8

Molekulová hmotnost: 221.64 g/mol

Rozpustnost ve vodě: 400 mg/l

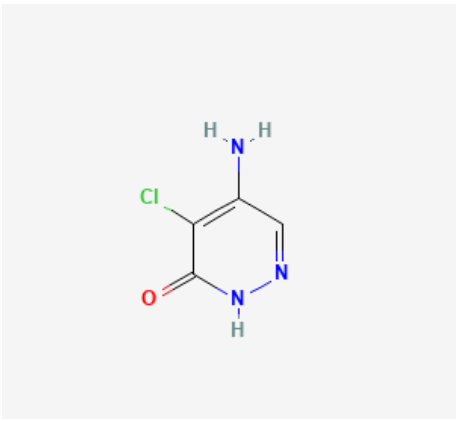


Obrázek 21 - Chloridazon

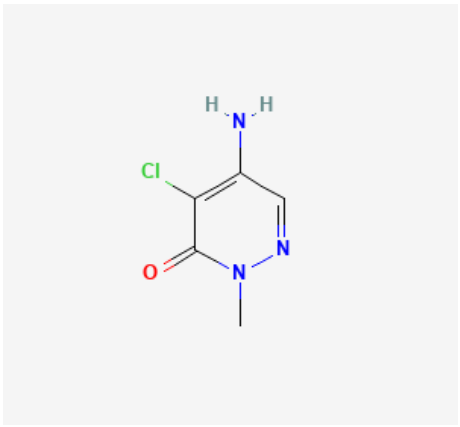
Chloridazon se používá jako herbicid při pěstování cukrové a krmné řepy. Postupně se metabolizuje na chloridazon-desphenyl a chloridazon-methyldesphenyl..

Chloridazon má různou perzistenci v životním prostředí. Perzistence se může pohybovat od 9 až do 180 dnů. Perzistence metabolitů chloridazonu se v závislosti okolních podmínkách pohybuje od 100 až po 150 dnů [34].

Chloridazon a jeho metabolity mají nízkou akutní toxicitu, nevykazují však mutagenní a genotoxické vlastnosti. Nebyl zjištěn ani onkogenní potenciál, nepůsobí teratogenně ani neurotoxicky. Přestože posouzení rizika vyplývající z reálného používání chloridazonu nevykázalo významný vliv na zdraví člověka, zvířat a životní prostředí, četné nálezy degradačního produktu chloridazon-desphenylu v rámci celé České republiky poukazují na nutnost sledování jeho akumulace v životním prostředí. Z důvodu opakujících se pozitivních nálezů metabolitu chloridazon-desphenylu v podzemních vodách se za účelem jejich ochrany nesmí aplikovat přípravky obsahující účinnou látku chloridazon vícekrát než jednou za tři roky na témže pozemku [35].



Obrázek 23 - Chloridazon desphenyl



Obrázek 22 - Chloridazon-methyldesphenyl

4.6.8 Bentazon

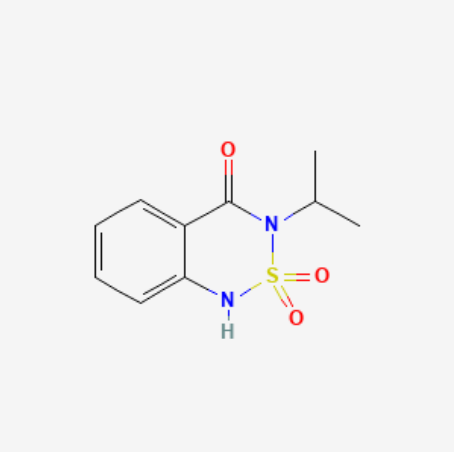
3-isopropyl-1H-2,1,3- benzothiadiazin-4(3H)-on- 2,2-dioxid

$C_{10}H_{12}N_2O_3S$

CAS číslo: 25057-89-0

Molekulová hmotnost: 240.28 g/mol

Rozpustnost ve vodě: 570 mg/l



Obrázek 24 - Bentazon

Bentazon je širokospektrální postemergentní herbicid patřící do chemické skupiny benzothiadiazinonů, který se používá k selektivnímu hubení širokolistých plevelů, a to ve vojtěšce, rýži, hrachu, cibuli, chřestu, lnu, kukuřici, podzemnici olejné, bramborách, fazolích, sóji, čiroku, ovocných stromech a dalších plodinách. Je to kontaktní herbicid, který působí na části rostliny, kam je aplikován. Působí kontaktně na byliny širokolistých (dvouděložné) a některých nerizikomatních cypřišovitých, vstřebává se listy a velmi slabě se z nich přenáší. V menší míře jej absorbují kořeny.

Bentazon je stabilní vůči hydrolýze a je velmi mobilní v půdě, proto má potenciál kontaminovat povrchové vody. [38]

Obavy o lidské zdraví jsou stále velmi vysoké, proto se bentazon v životním prostředí neustále monitoruje, aby se zabránilo riziku nákazy a vyhodnotily se jeho potenciální karcinogenní účinky. Zbytková množství bentazonu byla sledována ve vodě, půdě, medu, rostlinách, ovoci a zelenině. Kromě toho bylo zaznamenáno, že ovlivňuje zdraví živých živočichů [39]

Všechny výše uvedené fyzikálně-chemické vlastnosti pesticidů a jejich metabolitů byly získány z databáze PubChem. PubChem je databáze chemických sloučenin. Systém spravuje Národní centrum pro biotechnologické informace, součást Národní lékařské knihovny, která spadá pod Národní ústavy zdraví USA. [37]

4.7 Vliv různých faktorů na sorpci pesticidních látek

Z naměřených dat jsem provedl několik výzkumů. Granulované aktivní uhlí má totiž kvůli své pórovité struktuře velký povrch v řádech stovek m^2/g. Když byla zjištěna snižující se sorpce u metabolitů po přibližně roce a půl používání GAU, tak jsem provedl výzkum.

Z naměřených hodnot bylo zjištěno, že snížená sorpce neplatí pro všechny metabolity pesticidů, ale pouze pro některé metabolity. V následující tabulce je uveden přehled metabolitů a jejich účinnost sorpce.

Tabulka 9 - Záchyt metabolitů na GAU

	Metabolit	koncentrace v surové vodě [mg/l]	koncentrace v upravené vodě [mg/l]
1	Acetochlor ESA	0,210	**0,089**
2	Acetochlor OA	0,164	**0,087**
3	Propachlor ESA	0,075	0,032
4	Propachlor OA	<0,010	<0,010
5	Alachlor ESA	0,154	0,081
6	Alachlor OA	<0,010	<0,010
7	Metolachlor ESA	0,233	0,062
8	Metolachlor OA	0,031	0,013
9	Metazachlor ESA	0,496	0,230
10	Metazachlor OA	0,256	0,160
11	Dimetachlor ESA	0,033	0,017
12	Chloridazon-desphenyl	1,923	<0,050
13	Chloridazon -methyldesphenyl	0,996	<0,010
14	Chloridazon	<0,010	<0,010
15	Bentazon	0,037	<0,010

Ze získaných dat je zřejmé, že sorpce jsou velice rozdílné pro jednotlivé metabolity. Některé metabolity jako například Chloridazon-desphenyl nebo Chloridazon-methyldesphenyl jsou i po roce a půl stále sorbovány ze 100%, ale například Acetochlor ESA se sorbuje pouze z necelých 58 %. Důvody tohoto jevu jsou zkoumány dále v diplomové práci.

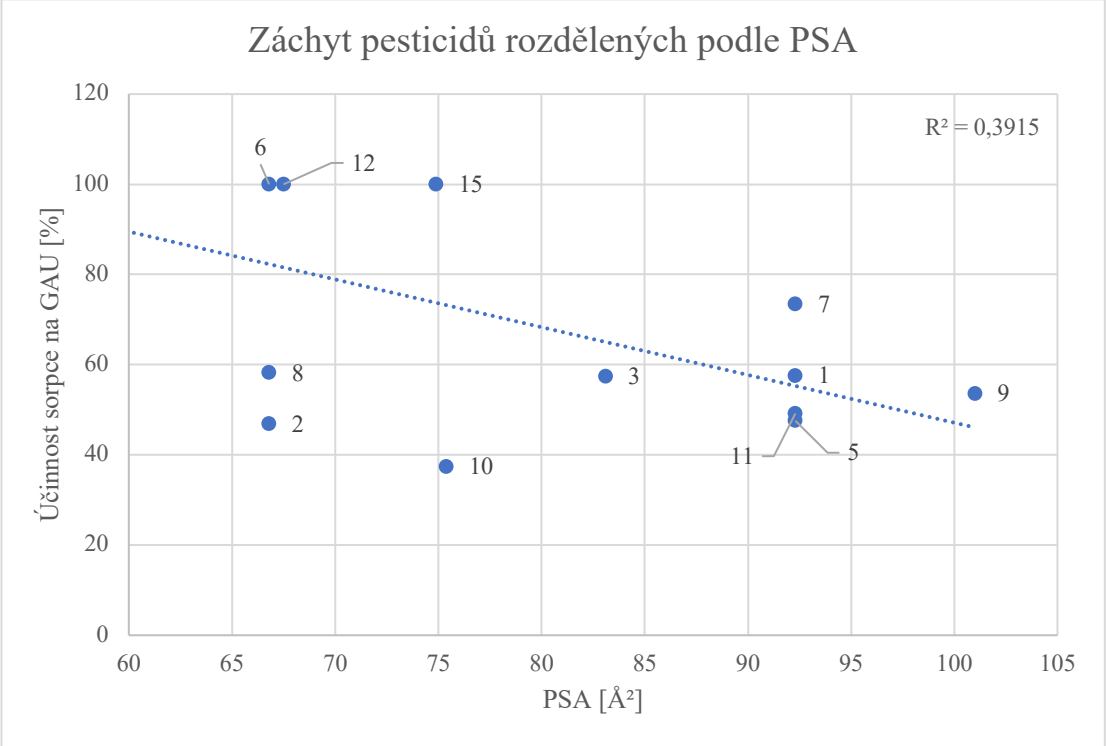
4.7.1.1 Závislost soprce na PSA

PSA (z anglického polar surface area) nebo také polární povrchová plocha nebo topologická polární povrchová plocha molekuly je definována jako povrchový součet všech polárních atomů nebo molekul, primárně kyslíku a dusíku, také včetně jejich připojených atomů vodíku.

V databázi PubChem (databáze chemických sloučenin) byly vyhledány příslušné hodnoty PSA pro jednotlivé metabolity a dal je do tabulky. Dále byl vytvořen graf závislosti účinnosti sorpce na PSA.

Tabulka 10 - Hodnoty PSA pro nalezené metabolity

	Metabolit	koncentrace v surové vodě [mg/l]	koncentrace v upravené vodě [mg/l]	zachyceno [%]	PSA [Å²]
1	Acetochlor ESA	0,210	**0,089**	57,62	92,30
2	Acetochlor OA	0,164	**0,087**	46,88	66,80
3	Propachlor ESA	0,075	0,032	57,41	83,10
4	Propachlor OA	<0,010	<0,010	100,00	57,60
5	Alachlor ESA	0,154	0,081	47,57	92,30
6	Alachlor OA	<0,010	<0,010	100,00	66,80
7	Metolachlor ESA	0,233	0,062	73,44	92,30
8	Metolachlor OA	0,031	0,013	58,20	66,80
9	Metazachlor ESA	0,496	0,230	53,58	101,00
10	Metazachlor OA	0,256	0,160	37,47	75,40
11	Dimetachlor ESA	0,033	0,017	49,18	92,30
12	Chloridazon-desphenyl	1,923	<0,050	100,00	67,50
13	Chloridazon -methyldesphenyl	0,996	<0,010	100,00	58,70
14	Chloridazon	<0,010	<0,010	100,00	58,70
15	Bentazon	0,037	<0,010	100,00	74,90



Graf 2 - Závislost PSA na účinnosti záchytu

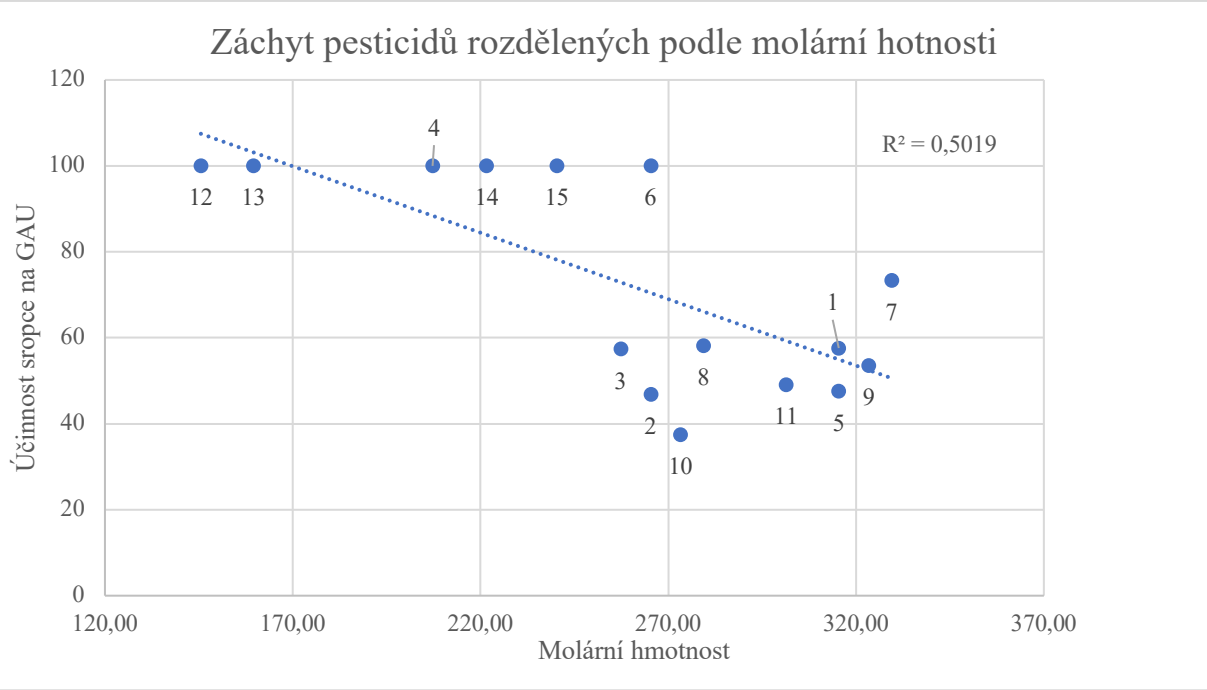
4.7.1.2 Závislost sorpce na molární hmotnosti

V databázi PubChem byly vyhledány pro jednotlivé metabolity molární hmotnosti a dány do tabulky.

Tabulka 11 - Molární hmotnosti nalezených metabolitů

	Metabolit	koncentrace v surové vodě [mg/l]	koncentrace v upravené vodě [mg/l]	zachyceno [%]	molární hmotnost [g·mol−1]
1	Acetochlor ESA	0,210	**0,089**	57,62	315,39
2	Acetochlor OA	0,164	**0,087**	46,88	265,30
3	Propachlor ESA	0,075	0,032	57,41	257,31
4	Propachlor OA	<0,010	<0,010	100,00	207,23
5	Alachlor ESA	0,154	0,081	47,57	315,39
6	Alachlor OA	<0,010	<0,010	100,00	265,30
7	Metolachlor ESA	0,233	0,062	73,44	329,40
8	Metolachlor OA	0,031	0,013	58,20	279,33
9	Metazachlor ESA	0,496	0,230	53,58	323,37
10	Metazachlor OA	0,256	0,160	37,47	273,29
11	Dimetachlor ESA	0,033	0,017	49,18	301,36
12	Chloridazon-desphenyl	1,923	<0,050	100,00	145,55
13	Chloridazon -methyldesphenyl	0,996	<0,010	100,00	159,57
14	Chloridazon	<0,010	<0,010	100,00	221,64
15	Bentazon	0,037	<0,010	100,00	240,28

Dále byl vytvořen graf závislosti molární hmotnosti na účinnosti.



Graf 3 - Závislost molární hmotnosti na účinnosti záchytu

5 VÝSLEDKY A DISKUZE

Byly zjištěny nadlimitní koncentrace pesticidních metabolitů a problém musel být ihned vyřešen. Proběhla výměna 2. pískového filtračního stupně na úpravně vody za granulované aktivní uhlí. To snížilo obsah pesticidních metabolitů na minimum, ale pouze pro dobu dlouhou přibližně 6 měsíců. Po této době se opět zvýšila koncentrace u většiny metabolitů. U většiny jsou hodnoty vysoko pod hygienickým limitem, ale hodnoty u relevantních metabolitů jsou na hranici tohoto limitu.

5.1 Hodnocení absorpce na GAU podle různých vlastností

Po více než ročním sledování situace ohledně metabolitů pesticidů bylo provedeno vyhodnocení získaných dat z několika různých hledisek specifických, pro daný metabolit.

5.1.1 Hodnocení závislosti sorpce na hodnotě PSA

Z grafu vyplívá, že sorpce není přímo závislá na hodnotě PSA pro daný metabolit, ale i pro některé metabolity, především s vyšší hodnotou PSA, je sorpční účinnost snížena. Narážíme zde na problém, že sníženou sorpční účinnost mají i metabolity s podstatně nižší hodnotou PSA, takže závislosti sorpce na PSA nebyla potvrzena.

5.1.2 Hodnocení závislosti sorpce na molární hmotnosti

Z kapitoly, která se věnovala závislosti sorpce na molární hmotnosti metabolitů, byl vytvořen graf.

Z grafu nám vyšla hodnota spolehlivosti R^2 0,5019. Z této hodnoty byl vyvozen výsledek, že existuje možná závislost molární hmotnosti na účinnosti sorpce. Z tohoto důvodu bylo testováno několik možností, jestli ještě jiná neexistuje jiná závislost.

Bylo zjištěno, že pokud rozdělíme metabolity do různých skupin podle jejich molární hmotnosti, tak je zde jistá závislost. Do tabulky byly zařazeny pouze pesticidy, které neměly nulové hodnoty při analýze.

Tabulka 12 - Pesticidy s nenulovým nálezem v surové vodě

	Metabolit	molární hmotnost [g·mol−1]	koncentrace v surové vodě [mg/l]	koncentrace v upravené vodě [mg/l]	zachyceno [%]
1	Chloridazon-desphenyl	145,55	1,92	<0,050	100,00
2	Chloridazon -methyldesphenyl	159,57	1,00	<0,010	100,00
3	Propachlor ESA	257,31	0,08	0,03	57,41
4	Acetochlor OA	265,30	0,16	0,09	46,88
5	Metazachlor OA	273,29	0,26	0,16	37,47
6	Metolachlor OA	279,33	0,03	0,01	58,20
7	Dimetachlor ESA	301,36	0,03	0,02	49,18
8	Acetochlor ESA	315,39	0,21	0,09	57,62
9	Alachlor ESA	315,39	0,15	0,08	47,57
10	Metazachlor ESA	323,37	0,50	0,23	53,58
11	Metolachlor ESA	329,40	0,23	0,06	73,44

Při rozdělení do dvou skupin podle molární hmotnosti zjistíme, že při molární hmotnosti do 200 $g \cdot mol^{-1}$ je sorpce stále stoprocentní, ale při vyšších molárních hmotnostech metabolitů se jejich sorpce na granulované aktivní uhlí snižuje.

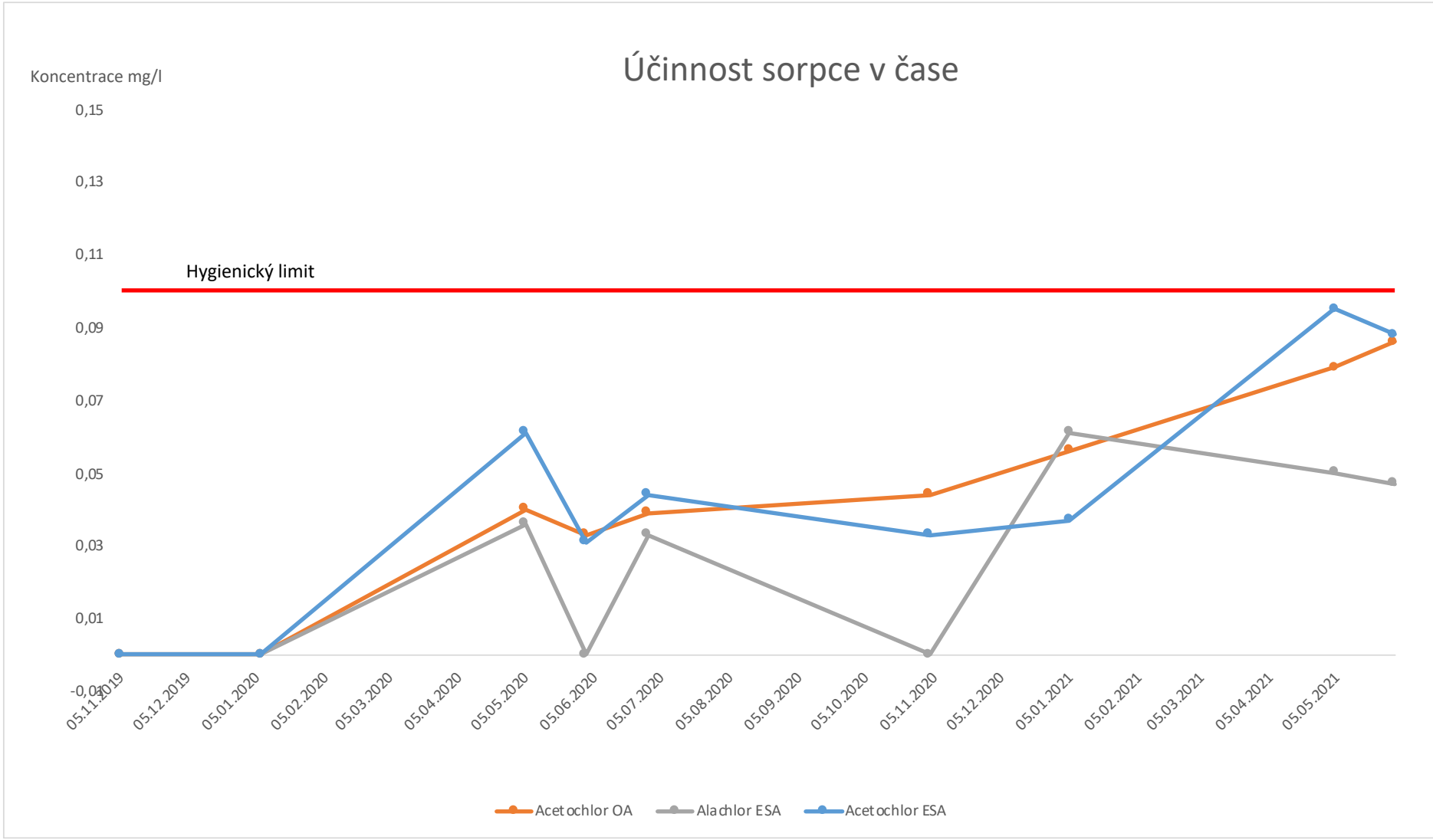
U relevantních metabolitů, viz graf pod textem, přichází první nález již po půl roce sledování. Tyto metabolity se začínají přibližovat k hranici hygienického limitu. Jsou zde ale i další metabolity, které mají sníženou sorpci, ale pro ně je hygienický limit vysoký a hodnoty jsou několika násobně pod hranicí.

Z tohoto důvodu bude muset proběhnout výměna granulovaného aktivního uhlí, aby byla zachována hygienická bezpečnost pitné vody.

Z provedeného výzkumu není možné přesně říct, proč se tento jev objevuje pouze u několika metabolitů. I když byla zjištěna závislost molární hmotnosti a sorpce, tato spojitost není zatím v odborné literatuře vůbec popsána, a nemůžeme tedy opřít závěry o jiné práce, bude tato diplomová práce bude použita pro další výzkum v této oblasti vodohospodářství.

Je potřeba ještě mnoho dalších výzkumů pro potvrzení nebo vyvrácení této teorie, ale pokud je tato teorie správná, můžeme tuto diplomovou práci brát jako velký posun v této oblasti.

I nadále se budeme této problematice intenzivně věnovat a kontrolovat stav metabolitů pesticidních látek v pitné i surové vodě, protože nejmenovaná úpravna vod bude procházet v budoucnu velkou rekonstrukcí informace a poznatky, které jsme zjistily budou zohledněny v plánované rekonstrukci. Další informace, které nám pomohou v technologické rekonstrukci, budou také výsledky testů použitého granulovaného uhlí, které bude po výměně posláno do specializované laboratoře výrobce, kde bude podrobeno sorpčním testům a výsledky nám budou poskytnuty pro další výzkum.



Graf 4 - Kocentrace relevantních metabolitů v čase

6 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zpracovat naměřená data surové a upravené vody, která zásobuje asi 15 000 obyvatel okolních měst.

V úvodu práce jsem popsal obecnou problematiku týkající se pesticidů a jejich metabolitů v pitné vodě. Včetně jejich rozdělení, toxicity, použití a dalších faktorů.

Dále jsem zpracoval možnosti jejich odstranění těchto pesticidů ze zdrojů podzemní, respektive pitné vody. Popsána byla například filtrace na aktivní uhlí, filtrační procesy nebo pokročilé oxidační procesy.

V další části bylo seznámení s oblastí výzkumu, úpravnou vody a také s problémem, který se objevil na této úpravně. Byla zde také popsána úpravna vody před rekonstrukcí a po rekonstrukci, která byla provedena velice rychle a efektivně.

Hlavní částí diplomové práce bylo vyhodnocení získaných dat. Byly změřeny koncentrace v surové vodě a ve vodě po filtraci pomocí granulovaného aktivního uhlí. Stále probíhají pravidelné rozbory upravené vody, protože metabolity v vodě surové jsou stále přítomny, musíme stále vyhodnocovat a vytvářet plán rekonstrukce úpravny vod, aby byla zajištěna bezpečnost obyvatel při používání této pitné vody.

Největším problémem je neznalost všech metabolických procesů těchto metabolitů na lidské zdraví a celý ekosystém, který je těmto látkám vystaven.

V následujících letech bude tato problematika zcela určitě více probírána a zkoumána, protože se stále posouvají možnosti stanovení látek a více se klade důraz na zdraví člověka, faunu, flóru a celkově na zdravě fungující ekosystém.

7 SEZNAM LITERATURY

[1] KLEIN, Tamir a William R.L. ANDEREGG. A vast increase in heat exposure in the 21st century is driven by global warming and urban population growth. *Sustainable Cities and Society* [online]. 2021, **73** [cit. 2021-8-30]. ISSN 22106707. Dostupné z: doi:10.1016/j.scs.2021.103098

[2] LYKOGIANNI, Maira, Eleftheria BEMPELOU, Filitsa KARAMAOUNA a Konstantinos A. ALIFERIS. Do pesticides promote or hinder sustainability in agriculture? The challenge of sustainable use of pesticides in modern agriculture. *Science of The Total Environment* [online]. 2021, **795** [cit. 2021-8-30]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2021.148625

[3] LYKOGIANNI, Maira, Eleftheria BEMPELOU, Filitsa KARAMAOUNA a Konstantinos A. ALIFERIS. Do pesticides promote or hinder sustainability in agriculture? The challenge of sustainable use of pesticides in modern agriculture. *Science of The Total Environment* [online]. 2021, **795** [cit. 2021-8-30]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2021.148625

[4] HAKIM, Sammi R. PS-RCV: Pesticides Spraying Remotely Controlled Vehicle. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology* [online]. 2021, **9**(1), 398-402 [cit. 2021-8-30]. ISSN 23219653. Dostupné z: doi:10.22214/ijraset.2021.32822

[5] LYKOGIANNI, Maira, Eleftheria BEMPELOU, Filitsa KARAMAOUNA a Konstantinos A. ALIFERIS. Do pesticides promote or hinder sustainability in agriculture? The challenge of sustainable use of pesticides in modern agriculture. *Science of The Total Environment* [online]. 2021, **795** [cit. 2021-8-30]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2021.148625

[6] KAMARULZAMAN, Nitty Hirawaty, Norida MAZLAN, Salini Devi RAJENDRAN a Mohd Ghazali MOHAYIDIN. Role of biopesticides in developing a sustainable vegetable industry in Malaysia. *International Journal of Green Economics* [online]. 2012, **6**(3) [cit. 2021-8-30]. ISSN 1744-9928. Dostupné z: doi:10.1504/IJGE.2012.050973

[7] KUMAR, Suresh a Archana SINGH. Biopesticides: Present Status and the Future Prospects. *Journal of Biofertilizers & Biopesticides* [online]. 2015, **06**(02) [cit. 2021-8-30]. ISSN 21556202. Dostupné z: doi:10.4172/jbfbp.1000e129

[8] MAHMOOD, Isra, Sameen Ruqia IMADI, Kanwal SHAZADI, Alvina GUL a Khalid Rehman HAKEEM. Effects of Pesticides on Environment. HAKEEM, Khalid Rehman, Mohd Sayeed AKHTAR a Siti Nor Akmar ABDULLAH, ed. *Plant, Soil and Microbes* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2016, 2016-03-02, s. 253-269 [cit. 2021-8-31]. ISBN 978-3-319-27453-9. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-27455-3_13

[9] GOMES, Marcelo P., Elise SMEDBOL, Annie CHALIFOUR, Louise HÉNAULT-ETHIER, Michel LABRECQUE, Laurent LEPAGE, Marc LUCOTTE a Philippe JUNEAU. Alteration of plant physiology by glyphosate and its by-product aminomethylphosphonic acid: an overview. *Journal of Experimental Botany* [online]. 2014, **65**(17), 4691-4703 [cit. 2021-8-31]. ISSN 1460-2431. Dostupné z: doi:10.1093/jxb/eru269

[10] GILES, Kristopher L, Brian P MCCORNACK, Tom A ROYER a Norman C ELLIOTT. Incorporating biological control into IPM decision making. *Current Opinion in Insect Science* [online]. 2017, **20**, 84-89 [cit. 2021-8-31]. ISSN 22145745. Dostupné z: doi:10.1016/j.cois.2017.03.009

[11] JJAGWE, Joseph, Peter Wilberforce OLUPOT, Emmanuel MENYA a Herbert Mpagi KALIBBALA. Synthesis and application of Granular activated carbon from biomass waste materials for water treatment: A review. *Journal of Bioresources and Bioproducts* [online]. 2021 [cit. 2021-8-31]. ISSN 23699698. Dostupné z: doi:10.1016/j.jobab.2021.03.003

[12] RIBEIRO, Ana R., Olga C. NUNES, Manuel F.R. PEREIRA a Adrián M.T. SILVA. An overview on the advanced oxidation processes applied for the treatment of water pollutants defined in the recently launched Directive 2013/39/EU. *Environment International* [online]. 2015, **75**, 33-51 [cit. 2021-8-31]. ISSN 01604120. Dostupné z: doi:10.1016/j.envint.2014.10.027

[13] TAKALA, Heikki, Petra EDLUND, Janne A. IHALAINEN a Sebastian WESTENHOFF. Tips and turns of bacteriophytochrome photoactivation. *Photochemical & Photobiological Sciences* [online]. 2020, **19**(11), 1488-1510 [cit. 2021-8-31]. ISSN 1474-905X. Dostupné z: doi:10.1039/D0PP00117A

[14] Radiation: Ultraviolet (UV) radiation. WHO | World Health Organization [online].Copyright © [cit. 31.08.2021].
Dostupné z: https://www.who.int/news-room/q-a-detail/radiation-ultraviolet-(uv)

[15] AUNGPRADIT, T., P. SUTTHIVAIYAKIT, D. MARTENS, S. SUTTHIVAIYAKIT a A.A.F. KETTRUP. Photocatalytic degradation of triazophos in aqueous titanium dioxide suspension: Identification of intermediates and degradation pathways. *Journal of Hazardous*

Materials [online]. 2007, **146**(1-2), 204-213 [cit. 2021-8-31]. ISSN 03043894. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhazmat.2006.12.007

[16] MAJUMDER, Soma, Somenath CHATTERJEE, Parita BASNET a Jaya MUKHERJEE. ZnO based nanomaterials for photocatalytic degradation of aqueous pharmaceutical waste solutions – A contemporary review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* [online]. 2020, **14**[cit. 2021-8-31]. ISSN 22151532. Dostupné z: doi:10.1016/j.enmm.2020.100386

[17] SALEH, Iman A., Nabil ZOUARI a Mohammad A. AL-GHOUTI. Removal of pesticides from water and wastewater: Chemical, physical and biological treatment approaches. *Environmental Technology & Innovation* [online]. 2020, **19** [cit. 2021-8-31]. ISSN 23521864. Dostupné z: doi:10.1016/j.eti.2020.101026

[18] SALEH, Iman A., Nabil ZOUARI a Mohammad A. AL-GHOUTI. Removal of pesticides from water and wastewater: Chemical, physical and biological treatment approaches. *Environmental Technology & Innovation* [online]. 2020, **19** [cit. 2021-8-31]. ISSN 23521864. Dostupné z: doi:10.1016/j.eti.2020.101026

[19] SALEH, Iman A., Nabil ZOUARI a Mohammad A. AL-GHOUTI. Removal of pesticides from water and wastewater: Chemical, physical and biological treatment approaches. *Environmental Technology & Innovation* [online]. 2020, **19** [cit. 2021-8-31]. ISSN 23521864. Dostupné z: doi:10.1016/j.eti.2020.101026

[20] REKHATE, Chhaya V. a J.K. SRIVASTAVA. Recent advances in ozone-based advanced oxidation processes for treatment of wastewater- A review. *Chemical Engineering Journal Advances* [online]. 2020, **3** [cit. 2021-8-31]. ISSN 26668211. Dostupné z: doi:10.1016/j.ceja.2020.100031

[21] SALEH, Iman A., Nabil ZOUARI a Mohammad A. AL-GHOUTI. Removal of pesticides from water and wastewater: Chemical, physical and biological treatment approaches. *Environmental Technology & Innovation* [online]. 2020, **19** [cit. 2021-8-31]. ISSN 23521864. Dostupné z: doi:10.1016/j.eti.2020.101026

[22] SALEH, Iman A., Nabil ZOUARI a Mohammad A. AL-GHOUTI. Removal of pesticides from water and wastewater: Chemical, physical and biological treatment approaches. *Environmental Technology & Innovation* [online]. 2020, **19** [cit. 2021-8-31]. ISSN 23521864. Dostupné z: doi:10.1016/j.eti.2020.101026

[23] ŠUTA, Miroslav. *Chemické látky v životním prostředí a zdraví*. Brno: ZO ČSOP Veronica, 2008. ISBN 978-80-87308-00-4.

[24] SUN, Yang, Lixia ZHAO, Xiaojing LI, Huijuan XU, Liping WENG, Lijuan YANG a Yongtao LI. Response of soil bacterial and fungal community structure succession to earthworm addition for bioremediation of metolachlor. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [online]. 2020, **189** [cit. 2021-8-31]. ISSN 01476513. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoenv.2019.109926

[25] EUR-Lex - 32004D0248 - EN - EUR-Lex. EUR-Lex — Access to European Union law — choose your language [online]. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2004.078.01.0053.01.ENG&fbclid=IwAR0rIXk5H9alw-vif2FL2sJv1Y7bCbSj-OoMz6forIC6o8CX8epGad2FdI0

[26] EXTOXNET PIP - METOLACHLOR. EXTOXNET - The EXtension TOXicology NETwork [online]. Dostupné z: http://extoxnet.orst.edu/pips/metolach.htm

[27] TATARKOVÁ, V., E. HILLER a R. HALKO. Retention characteristics of acetochlor in soils collected from different depths in relation to soil properties (Žitný ostrov area, SW Slovakia). *Soil and Water Research*[online]. 2014, **9**(2), 58-65 [cit. 2021-8-31]. ISSN 18015395. Dostupné z: doi:10.17221/98/2013-SWR

[28] REBICH, R, R COUPE a E THURMAN. Herbicide concentrations in the Mississippi River Basin—the importance of chloroacetanilide herbicide degradates. *Science of The Total Environment* [online]. 2004, **321**(1-3), 189-199 [cit. 2021-8-31]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2003.09.006

[29] CABALLERO-GALLARDO, Karina, Jesus OLIVERO-VERBEL a Jennifer L. FREEMAN. Toxicogenomics to Evaluate Endocrine Disrupting Effects of Environmental Chemicals Using the Zebrafish Model. *Current Genomics* [online]. 2016, **17**(6), 515-527 [cit. 2021-8-31]. ISSN 13892029. Dostupné z: doi:10.2174/1389202917666160513105959

[30] TIAN, Runhui, Lingyun LIU, Zuowen LIANG a Kaimin GUO. Acetochlor poisoning presenting as acute genital edema: A case report. *Urology Case Reports* [online]. 2019, **22**, 47-48 [cit. 2021-8-31]. ISSN 22144420. Dostupné z: doi:10.1016/j.eucr.2018.10.014

[31] MUNOZ, Ana, William C. KOSKINEN, Lucía COX a Michael J. SADOWSKY. Biodegradation and Mineralization of Metolachlor and Alachlor by Candida xestobii. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 2011, **59**(2), 619-627 [cit. 2021-8-31]. ISSN 0021-8561. Dostupné z: doi:10.1021/jf103508w

[32] WIEMANN, Christiane, Manuela GOETTEL, Audrey VARDY, et al. Metazachlor: Mode of action analysis for rat liver tumour formation and human relevance. *Toxicology* [online]. 2019, **426** [cit. 2021-8-31]. ISSN 0300483X. Dostupné z: doi:10.1016/j.tox.2019.152282

[33] AN, Wei, Chenhui SANG, Kristian Marienlund JENSEN, Peter Borgen SØRENSEN, Bin ZHANG a Min YANG. Application of the health risk assessment of acetochlor in the development of water quality criteria. *Journal of Environmental Sciences* [online]. 2021 [cit. 2021-8-31]. ISSN 10010742. Dostupné z: doi:10.1016/j.jes.2021.03.014

[34] VELISEK, Josef, Alzbeta STARA, Eliska ZUSKOVA, Jan CHABERA, Jan KUBEC, Milos BURIC a Antonin KOUBA. Effects of chloridazon on early life stages of marbled crayfish. *Chemosphere* [online]. 2020, **257** [cit. 2021-8-31]. ISSN 00456535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2020.127189

[35] LIFE2Water. *LIFE2Water* [online]. Copyright ©2014 Mamba company. All rights reserved. By [cit. 31.08.2021]. Dostupné z: http://www.life2water.cz/znecisteni_chemicals.html

[36] PEREIRA, Susana P., Sandra M.A. SANTOS, Maria A.S. FERNANDES, et al. Improving pollutants environmental risk assessment using a multi model toxicity determination with in vitro, bacterial, animal and plant model systems: The case of the herbicide alachlor. *Environmental Pollution* [online]. 2021, **286** [cit. 2021-8-31]. ISSN 02697491. Dostupné z: doi:10.1016/j.envpol.2021.117239

[37] PubChem. PubChem [online]. Copyright © 2021 Denis Pushkarev [cit. 31.08.2021]. Dostupné z: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov

[38] SPALTRO, Agustín, Sandra SIMONETTI, Silvia Alvarez TORRELLAS, Juan Garcia RODRIGUEZ, Danila RUIZ, Alfredo JUAN a Patricia ALLEGRETTI. Adsorption of bentazon on CAT and CARBOPAL activated carbon: Experimental and computational study. *Applied Surface Science* [online]. 2018, **433**, 487-501 [cit. 2021-8-31]. ISSN 01694332. Dostupné z: doi:10.1016/j.apsusc.2017.10.011

[39] ABUDAYYAK, M., S. OZDEN, B. ALPERTUNGA a G. ÖZHAN. Effects of bentazone on lipid peroxidation and antioxidant systems in human erythrocytes in vitro. *Drug and Chemical Toxicology* [online]. 2013, **37**(4), 410-414 [cit. 2021-8-31]. ISSN 0148-0545. Dostupné z: doi:10.3109/01480545.2013.870193

[40] SYCH, N.V., N.T. KARTEL, N.N. TSYBA a V.V. STRELKO. Effect of combined activation on the preparation of high porous active carbons from granulated post-consumer polyethyleneterephthalate. *Applied Surface Science* [online]. 2006, **252**(23), 8062-8066 [cit. 2021-8-31]. ISSN 01694332. Dostupné z: doi:10.1016/j.apsusc.2005.10.009

[41] ALVES, Adenes Teixeira, Dimas José LASMAR, Ires Paula DE ANDRADE MIRANDA, Jamal DA SILVA CHAAR a Jardson DOS SANTOS REIS. The Potential of Activated Carbon in the Treatment of Water for Human Consumption, a Study of the State of the Art

and Its Techniques Used for Its Development. *Advances in Bioscience and Biotechnology* [online]. 2021, **12**(06), 143-153 [cit. 2021-8-31]. ISSN 2156-8456. Dostupné z: doi:10.4236/abb.2021.126010

[42] JJAGWE, Joseph, Peter Wilberforce OLUPOT, Emmanuel MENYA a Herbert Mpagi KALIBBALA. Synthesis and application of Granular activated carbon from biomass waste materials for water treatment: A review. *Journal of Bioresources and Bioproducts* [online]. 2021 [cit. 2021-8-31]. ISSN 23699698. Dostupné z: doi:10.1016/j.jobab.2021.03.003

[43] HUGGINS, Tyler M., Alexander HAEGER, Justin C. BIFFINGER a Zhiyong Jason REN. Granular biochar compared with activated carbon for wastewater treatment and resource recovery. *Water Research*[online]. 2016, **94**, 225-232 [cit. 2021-8-31]. ISSN 00431354. Dostupné z: doi:10.1016/j.watres.2016.02.059

[44] TRAN, Hai Nguyen, Hoang Chinh NGUYEN, Seung Han WOO, et al. Removal of various contaminants from water by renewable lignocellulose-derived biosorbents: a comprehensive and critical review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* [online]. 2019, **49**(23), 2155-2219 [cit. 2021-8-31]. ISSN 1064-3389. Dostupné z: doi:10.1080/10643389.2019.1607442

[45] CAI, Zhenghan, Xiuchun DENG, Qiong WANG, Jianjun LAI, Hailiang XIE, Yandan CHEN, Biao HUANG a Guanfeng LIN. Core-shell granular activated carbon and its adsorption of trypan blue. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2020, **242** [cit. 2021-8-31]. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2019.118496

[46] KÅRELID, Victor, Gen LARSSON a Berndt BJÖRLENIUS. Pilot-scale removal of pharmaceuticals in municipal wastewater: Comparison of granular and powdered activated carbon treatment at three wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Management* [online]. 2017, **193**, 491-502 [cit. 2021-8-31]. ISSN 03014797. Dostupné z: doi:10.1016/j.jenvman.2017.02.042

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Filtrační metody 12
Obrázek 2 - Úpravna vod před rekonstrukcí 18
Obrázek 3 - Úpravna vod po rekonstrukci 19
Obrázek 4 - Metolachlor 32
Obrázek 5 - Metolachlor ESA 33
Obrázek 6 - Metolachlor OA 33
Obrázek 7 - Acetochlor 34
Obrázek 8 - Acetochlor OA 35
Obrázek 9 - Acetochlor ESA 35
Obrázek 10 - Propachlor 36
Obrázek 11 - Propachlor ESA 36
Obrázek 12 - Propachlor OA 36
Obrázek 13 - Alachlor 37
Obrázek 14 - Alachlor ESA 37
Obrázek 15 - Alachlor OA 37
Obrázek 16 - Metazachlor 38
Obrázek 17 - Metazachlor ESA 38
Obrázek 18 - Metazachlor OA 38
Obrázek 19 - Dimetachlor 39
Obrázek 20 - Dimetachlor ESA 39
Obrázek 21 - Chloridazon 40
Obrázek 23 - Chloridazon-methyldesphenyl 40
Obrázek 22 - Chloridazon desphenyl 40
Obrázek 24 - Bentazon 41

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1- Koncentrace metabolitů pesticidů v surové vodě 28
Graf 2 - Závislost PSA na účinnosti záchytu 43
Graf 3 - Závislost molární hmotnosti na účinnosti záchytu 44
Graf 4 - Kocentrace relevantních metabolitů v čase 48

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Surová voda 23.9.2019 20
Tabulka 2 - Surová voda 22.1.2020 22
Tabulka 3 - Surová voda 1.6.2020 23
Tabulka 4 - Surová voda 15.9.2020 24
Tabulka 5 - Surová voda 2.11.2020 25
Tabulka 6 - Surová voda 2.2.2021 26
Tabulka 7 - Surová voda 31.5.2021 27
Tabulka 8 - Koncentrace metabolitů pesticidů v pitné vodě 30
Tabulka 9 - Záchyt metabolitů na GAU 42
Tabulka 10 - Hodnoty PSA pro nalezené metabolity 43
Tabulka 11 - Molární hmotnosti nalezených metabolitů 44
Tabulka 12 - Pesticidy s nenulovým nálezem v surové vodě 46

SEZNAM ZKRATEK

ÚV….. Úpravna vod

NMH….. nejvyšší mezní hodnota

DDT….. dichlordifenyltrichlorethan

IPM….. integrovaná ochrana proti škůdcům

AU….. aktivní uhlí

GAU….. granulované aktivní uhlí

PAU….. práškové aktivní uhlí

UV….. ultrafialové záření

DOC….. množství rozpuštěného organického uhlíku

TOC….. množství celkového organického uhlíku

PSA….. polární povrchová plocha