

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA  
V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO  
MODELOVÁNÍ



VÝSKYT PESTICIDNÍCH LÁTEK  
V SUROVÝCH POVRCHOVÝCH VODÁCH

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Petra Sychová, Ph.D.

Bakalant: Lucie Holečková

2020

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Lucie Holečková

Krajinářství  
Územní technická a správní služba

Název práce

Výskyt pesticidních látek v surových povrchových vodách

Název anglicky

The occurrence of pesticide substances in surface water

---

### Cíle práce

Předmětem bakalářské práce je studium výskytu pesticidních látek a jejich metabolitů v surových povrchových a podzemních vodách. V obecném měřítku je zde řešeno především ohrožení zdrojů pitných vod zvýšeným obsahem těchto látek a dále jsou definována možná ochranná opatření. Současně je pozornost věnována i řešení důsledků znečištění, včetně nutné úpravy, resp. doplnění technologických postupů v úpravách vody.

Dílčím cílem je analýza realizovaného řešení ohrožení pesticidními látkami na studijní lokalitě, konkrétně v ÚV Klíčava, kde v minulosti došlo k havarijnímu ohrožení kvality surové vody.

### Metodika

- literární rešerše dotčené problematiky
- výběr studijní lokality
- charakteristika ÚN Klíčava s ohledem na ohrožení pesticidy
- zhodnocení zjištěných informací

**Doporučený rozsah práce**

35

**Klíčová slova**

surová voda, kvalita vody, pesticidní látky, ÚN Klíčava

---

**Doporučené zdroje informací**

CREMLYN, Richard a Reiner SEIFERT. Pesticidy. 1. vyd. Praha: SNTL, 1985.

GRAY, N. F. Drinking Water Quality. Problems and Solutions. 2nd Edition. Cambridge University Press, 2008. 520 p. ISBN 978-0-521-70253-9

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

TOMLIN, C. D. S. The pesticide manual: a world compendium. 14th. Alton: BCPC, 2006. ISBN 1901396142;9781901396140

---

**Předběžný termín obhajoby**

2019/20 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Petra Sychová, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 19. 3. 2020

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 20. 3. 2020

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 21. 03. 2020

## Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Výskyt pesticidních látek v surových povrchových vodách vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Rakovníku dne 27. června 2020

  
Lucie Holečková

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěla poděkovat především vedoucí mé bakalářské práce paní Ing. Petře Sychové, Ph.D. za poskytnutí rad. Děkuji za její ochotu a čas, který mi věnovala při zpracování této bakalářské práce.

## Abstrakt

Cílem této práce je popsat v užší míře problematiku pesticidů v povrchových a podzemních vodách. Ve zpracovávané literární rešerši je popsána problematika podzemních a povrchových vod z hlediska jejich ohrožení kontaminací, především pesticidy. V bakalářské práci je popisováno základní využití a rozdělení pesticidů, včetně uvedení legislativních dokumentů vztahujících se svým obsahem jak k problematice pesticidů, tak zmiňujících i legislativní požadavky na pitnou vodu. Závěrečná část bakalářské práce představuje možné metody odstranění pesticidních látek z podzemních a povrchových vod v rámci úpravy těchto vod na vodu pitnou. Jako příklad možné kontaminace pesticidy ve vodním prostředí je v této práci uvedeno řešení této problematiky na údolní nádrži Klíčava. Na základě zjištěných informací z tohoto prostředí je zmapováno, jak tato problematika pesticidů v surové vodě byla na dané úpravě vody vyřešena. Výsledkem je zhodnocení situace, která na úpravě vody Klíčava nastala a popis postupu řešení této problematiky. Přínosem získaných informací a následné zpracování bakalářské práce rešeršního charakteru je zvýšení informovanosti o zpracovávané problematice. Dále pak apel na nebezpečnost nadměrného používání pesticidů bez ohledu na udržitelnost životního prostředí, především zachování nezávadné jak povrchové, tak podzemní vody. Zachování kvality povrchové a podzemní vody, omezení rizika její případné kontaminace na minimum, aby i nadále zůstala použitelná pro zpracování a vhodná pro úpravu na vodu pitnou.

Klíčová slova:

surová voda, kvalita vody, pesticidní látky, ÚN Klíčava

## **Abstract**

The aim of this work is to describe detailed problematics of pesticides in surface water and groundwater. The literature research describes the issue of groundwater and surface water in terms of their threat of contamination by pesticides point of view. There is described main use and distribution of pesticides, including legislative documents linked to pesticides and requirements to drinking water. The final part of the work presents possible methods leading to elimination of pesticides from groundwater and surface water as part of their treatment for drinking water. As example of contamination by pesticides, the literary research presents solution of this problem in valley reservoir Klicava. Based on information received, it is mapped how the problematic of pesticides in raw water was solved at the given water plant treatment. The outcome is evaluation of the situation, which happened at the water treatment Klicava and description of the process of solving the situation. The benefit of obtained information and following compiling of the literary research is increasing of awareness about given problematics. Furthermore, the call to danger of excessive using of pesticides regardless environmental sustainability, in particular, keeping safe both surface water and groundwater. Keeping the quality of surface and groundwater and risk elimination of contamination to a minimum, so that the water remains usable for processing and suitable for its treatment into potable water.

Key words:

raw water, water quality, pesticidal substances, valley reservoir Klicava

## Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Cíle práce.....	3
3.	Metodika.....	4
4.	Voda.....	5
4.1.	Voda a vodní zdroje .....	5
4.2.	Podzemní voda.....	8
4.3.	Povrchová voda .....	9
5.	Pesticidy.....	11
5.1.	Pesticidy a jejich vlastnosti.....	11
5.2.	Rozdělení pesticidů.....	16
5.3.	Znečištění a zatížení půdy pesticidy.....	18
5.4.	Pesticidy ve vodě .....	21
5.5.	Kontaminace podzemních a povrchových vod pesticidy.....	23
6.	Výskyt pesticidů v ÚV Klíčava.....	30
6.1.	Popis území a vodního díla .....	30
6.2.	Kontaminace zdroje pitné vody .....	33
6.3.	Postup řešení odstranění kontaminace .....	34
7.	Metody odstraňování pesticidů ve vodním prostředí .....	36
8.	Diskuze .....	40
9.	Závěr .....	43
10.	Seznam citované a použité literatury .....	44
11.	Seznam použitých obrázků.....	49



# 1. Úvod

Znečištění životního prostředí představuje problém po celém světě především díky rychlému nárůstu industrializace a urbanizace na naší planetě (Aydinalp, Porca, 2004). Znehodnocování životního prostředí má mnoho forem, od chemického znečištění až po např. zanechávání vraků starých aut a jiných odložitelných věcí v přírodě a krajině (Cremllyn, 1978).

Voda v našem světě představuje nenahraditelnou surovinu pro žití člověka a veškerých živých organismů a měla by být zajištěna v dostatečném množství, ale také i v náležité kvalitě.

Jedná se o jednu z nejrozšířenějších látek na planetě Zemi (Cílek et al., 2017). Člověk ani žádný živý organismus se bez vody dlouhodobě neobejde. Voda představuje pro populaci zdroj potravy, je pro ni zásobárnou energie (vodní elektrárny) a také nepostradatelnou surovinou. Voda se v našem životě nachází také ve většině potravin, které jsou pro naše fungování nezbytné. Celková spotřeba vody se na zeměkouli stále zvyšuje. Vodu nenalzááme pouze u nás na planetě Zemi, ale můžeme jí nalézt i ve vesmíru (Syrucěk, 2011).

Voda pro obyvatelstvo na planetě plní mnoho funkcí, mimo jiných také např. rekreační. Lidé se ve vodě koupají, využívají k tomu přírodní nebo umělá koupaliště, aktivně odpočívají, provozují tzv. vodní sporty a vodní turistiku. Podmínky využívání vody pro rekreační účely závisí do značné míry na vodohospodářských poměrech (klimatických, morfologických atd.) dané oblasti, kde je voda k rekreačním účelům využívána.

V přírodě se voda vyskytuje v surovém stavu jak na povrchu Země, tak pod zemí. Voda v oceánech tvoří převážnou část planety Země, jedná se přibližně o 71 % zemského povrchu. Voda se v životním prostředí vyskytuje v kapalném, pevném a plynném skupenství, přičemž kapalné skupenství je považováno za nejčastější a nejrozšířenější. Vznik naší civilizace byl již od svého počátku závislý na vzniku vodních zdrojů (Hrkal, 2018).

Pro Českou republiku má udržitelnost vodních zdrojů zásadní význam. Česká republika je často nazývána střechou Evropy, tzn. že velká část vody z území odtéká řekami do moře Baltského, Severního a Černého. Voda se na naše území dostává převážně z atmosférických srážek, a právě z tohoto důvodu je nutné vodní zdroje chránit před jejich znečištěním. Hospodařit tak, aby se s vodou zbytečně neplýtvalo

při dlouhodobějším nebo nadměrném suchu, kdy nedochází k pravidelným dešťovým srážkám zajišťujícím vláhu v krajině.

V České republice se problematikou vody, hospodařením s vodou, předcházením ztrát vody atd. z pohledu legislativy zabývá Zákon o vodách a o změně některých zákonů (dále jen „vodní zákon“) č. 254/2001 Sb. ze dne 28. června 2001, ve znění pozdějších předpisů. Dále je v České republice problematika ohledně vod řešena vodohospodářskou politikou, která se věnuje především zajištění bezproblémového zásobování pitnou vodou pro obyvatelstvo, ale také vyřešení možných důsledků, např. při nedostatku vody. Vodohospodářská politika České republiky řeší v neposlední řadě, dnes často zmiňované negativní dopady stále postupujícího sucha, které má např. za následek nedostatek vody v přírodě, stále se snižující hladiny podzemních vod nebo vysušenou půdu. Dalším řešeným zásadním tématem vodohospodářské politiky jsou naopak extrémní přívalové srážky, které stále častěji způsobují lokální nebo rozsáhlé povodně mající negativní dopad i na kvalitu současných zdrojů pitné vody, např. kontaminace studní.

Správu vodních toků a vodních děl na našem území ve vlastnictví státu zajišťuje Ministerstvo zemědělství České republiky (dále jen „MZe ČR“) prostřednictvím státních podniků Povodí Vltavy, Povodí Moravy, Povodí Labe, Povodí Ohře, Povodí Odry a státního podniku Lesy ČR. Jako ústřední vodoprávní úřad odpovídá MZe ČR za výkon státní správy ve smyslu vodního zákona č. 254/2001 Sb. a zákona o vodovodech a kanalizacích č. 274/2001 Sb.

Hospodaření a nakládání s vodami není zásadním tématem pouze pro Českou republiku, ale jde o celosvětové řešené a probíratelné téma. Z rozhodnutí Rady OSN byl proto 22. březen vyhlášen Světovým dnem vody. Účelem tohoto Světového dne je přivedení větší pozornosti k tématu udržitelného užívání vody a k nakládání s vodami. Každoročně se Světový den vody věnuje problematice vod z jiného úhlu pohledu. Např. v roce 2018 bylo téma světového dne „Příroda pro vodu“, v roce 2019 bylo téma světového dne „Voda pro všechny“ a pro rok 2020 je tématem světového dne vody „Voda a klimatická změna“ (Ministerstvo zemědělství ČR©2009–2020).

## **2. Cíle práce**

Cílem této bakalářské práce je zaměřit se na problematiku pesticidů v surové vodě, konkrétně pak v úpravně vody Klíčava na Rakovnicku a získat tak na tuto problematiku ucelenější pohled.

Formou literární rešerše popsat zmíněnou problematiku pesticidů v surové vodě, která zde nastala a pomocí zajištěných opatření zjistit, jaké postupy a řešení byly v dané problematice využity pro snížení hranice, případně odstranění kontaminace pesticidů a zjistit jaká opatření je potřeba přijmout do budoucna, aby se tomuto jevu dalo předejít.

### 3. Metodika

Bakalářská práce se zabývá problematikou vod, pesticidů a metod odstranění těchto pesticidních látek z vodního prostředí.

Ke zpracování této bakalářské práce jsou využity informace z odborných domácích i zahraničních knižních publikací týkajících se problematiky znečišťování podzemních a povrchových vod. Dále informace uveřejněné v odborných elektronických i tištěných periodických zabývajících se touto problematikou. Z důvodu zmapování vývoje, především problematiky pesticidů s návazností na kontaminaci vod, v delším časovém období je použita odborná literatura jak současná, tak zpracovaná již od konce 70. let 20. století.

Pro zpracování řešení konkrétního problému v úpravě vody Klíčava jsou využity informace uveřejněné v odborných tištěných nebo elektronických periodických, dále jsou využity také informace poskytované provozovatelem ÚV Klíčava. Informace ohledně technologického procesu v ÚV Klíčava a fotodokumentace instalované technologie jsou získané během domluvených osobních konzultací přímo v úpravě vody Klíčava a poskytnuté jejím vedoucím p. Tomášem Křečkem.

## 4. Voda

### 4.1. Voda a vodní zdroje

Voda představuje neobnovitelný zdroj a její množství na Zemi je v současné době neměnné. Zatímco celkový objem vody zůstává ve světě v podstatě konstantní, kvalita a dostupnost vody se výrazně liší a omezuje dle místa jejího výskytu a potřeby (Gray, 2008). Vyskytuje se na Zemi v několika skupenstvích a zastupuje na ní významnou roli. Jedná se o nejrozšířenější látku na povrchu naší zeměkoule (Kudrna, Stehlík, 1989). Voda, vyskytující se v krajině, je roztokem plyných, kapalných a tuhých látek, mezi kterými vznikají chemické procesy.

Z biologického hlediska je voda pro přírodu, pro lidské tělo a jeho zdraví nedílnou součástí. V každé kapce vody lidské tělo přijme nějakou informaci, kterou kapka vody obsahuje a stává se jeho součástí (Syrůček, 2011). Lidská těla a těla savců jsou tvořena asi z 70–80 % vodou (Syrůček, 2011). Voda přispívá ke správnému fungování lidského těla a lidského organismu jako takového. Je důležitá pro tvorbu biomasy a je její základní složkou u živých organismů.

Zemský povrch je tvořen z 2/3 vodou (Syrůček, 2011). Přes 90 % tvoří na Zemi slané a mořské vody (Price, 2004). Sladké vody, spodní vody a povrchové vody tvoří tedy výraznou menšinu a vytvářejí zbývající část vod na Zemi. Převážný objem sladkých vod představují ledovce, které bohužel vlivem změny klimatu stále ubývají.

Voda přírodní se vyskytuje v přírodě jako součást přirozeného hydrologického cyklu (Kudrna, Stehlík, 1989). Na naší planetě se voda téměř nenachází v klidovém stavu, tzn. stále cirkuluje. Voda se neustále recykluje ve formě tzv. hydrologického cyklu (Gray, 2008). Atmosférickými srážkami začíná tzv. koloběh vody na Zemi. Je to stálý cyklus oběhu vody podzemní a povrchové v přírodě, který doprovází změny skupenství vody. Můžeme ho rozdělit na malý koloběh a velký koloběh vody.

Malý koloběh vody probíhá buďto nad pevninským celkem, nad jeho bezodtokovými částmi nebo pouze nad oceány.

Ve velkém koloběhu vody jsou koloběhem ovlivňovány vody mezi oceány a pevninou. Koloběh vody jako takový v určité míře ovlivňuje zemské klima. V jeho průběhu dochází ke vzniku dešťových a ostatních srážek, ale v neposlední řadě také ke vzniku vodních par. Vodní pára patří mezi jeden z nejvýznamnějších druhů

skleníkových plynů, které již nějakou dobu ohrožují naši planetu a má na ni zásadní vliv (VUT Brno©2019)

Problematikou vod se zabývá vědní obor hydrologie. Posuzuje vodní zákonitost, časové a prostorové rozdělení oběhu vody na Zemi. Předmětem zkoumání tohoto oboru je celá hydrosféra, tzn. zkoumání veškeré vody na Zemi, všech jejích skupenství. Věda se dále dělí na více odvětví např. na hydrometrii nebo hydrografii. Problematikou vod v zemské atmosféře se zabývá obor meteorologie. Jedná se o vědu zabývající se atmosférou. Studuje její složení, vlastnosti a jevy v ní probíhající (např. počasí).

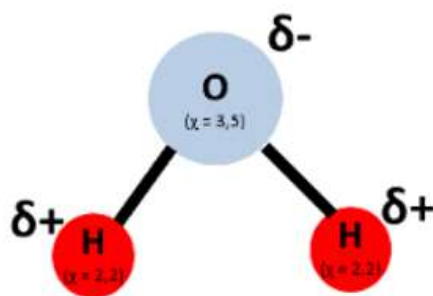
Voda půdní představuje takovou vodu, která se vyskytuje dočasně nebo stále v půdním profilu Země. Tato voda podporuje půdotvorné procesy a půdní vegetaci. Voda se též v neposlední řadě podílí na utváření krajiny. Vodní útvary, které tvoří významné krajinnotvorné prvky jsou důležité z hlediska ochrany přírody a krajiny. Do krajiny se voda převážně dostává atmosférickými srážkami.

Funkci, vývoj nebo strukturu vodních ekosystémů závislých na vodním prostředí označujeme jako ekologický stav vod (Neruda, Slavík 2014).

Voda provozní představuje vodu užitkovou, která se používá k průmyslovým a zemědělským účelům. Tato voda musí splňovat požadované fyzikální (teplota, hustota), chemické (např. výskyt jednotlivých prvků) nebo biologické (např. počet buněk sinic) ukazatele podle účelu jejího užití (Povodní Vltavy, s. p.©2010–2020).

Voda z chemického hlediska vzniká sloučením jednoho atomu kyslíku a dvou atomů vodíku. Vazba těchto atomů je v molekule vody zprostředkována na základě vazeb elektronů, které se posouvají ve prospěch atomu, který je elektronegativnější (Cílek et al., 2017). Molekula vody představuje tupouhýlý trojúhelník (Kudrna, Stehlík, 1989).

V molekule vody jsou její atomy uspořádány pod úhlem cca  $104^\circ$  (obr. č.1), tím pádem představuje molekula vody, molekulu lomenou (Cílek et al., 2017). Atomy vodíku a kyslíku mají různou afinitu neboli příbuznost. Atom kyslíku má silný záporný náboj a atom vodíku má slabý kladný náboj. Čtyřstěnná podstata molekuly vody je zachována ve všech skupenstvích.



Obr. č. 1: Molekula vody (VŠCHT Praha, 2018)

Voda ve své kapalné formě představuje na základě svých chemických a fyzikálních projevů jednu z nejsložitějších jednoduchých látek na světě (Cílek et al., 2017). Systematicky bývá voda nazývána oxidan, jedná se tedy o jednojaderný hydrid končící na příponu -an. V českém jazyce používáme pro vodu chemický název oxid vodný, chemicky vyjádřený značkou  $H_2O$ .

Za normálního atmosférického tlaku, za který se považuje hodnota 1013 hPa jde o bezbarvou čirou kapalinu bez zápachu. V silnější vrstvě může mít až namodralou barvu. Barva vody bývá ovlivňována mnoha faktory, např. rozpuštěnými a suspendovanými látkami přítomnými ve vodě, mikroorganismy, kteří se zde nacházejí atd. (Cílek et al., 2017). Bod varu vody je při tomto tlaku při zahřátí na  $100^{\circ}C$ . Bod varu vody, jakožto mimořádná vlastnost vody se z historického hlediska stal základem Celsiovy teplotní stupnice (Cílek et al., 2017). U většiny látek teplota varu roste na základě teplotní a molekulové váhy dané látky. U vody tomu tak není a to díky tzv. vazbám vodíkových můstků. Aby, se tato vazba v molekule kapalné vody mohla přerušit je potřeba vynaložit velké množství energie a tím pádem vznikne tak vysoký bod varu a výparná vysoká teplota (Cílek et al., 2017). Hustota vody je největší v její kapalné formě, a to  $999,97 \text{ kg/m}^3$  při teplotě  $3,98^{\circ}C$ , poté hustota vody klesá, až voda dosáhne bodu tání (Cílek et al., 2017), tzn. při poklesu hustoty vody se zvětšuje její objem. Chemicky čistá voda je velmi slabě elektricky vodivá.

Polarita vody způsobuje dobrou rozpustnost polárních a iontových látek ve vodě. Vodivost ukazuje vysokou elektrickou permitivitu vody. Voda se z normálního pohledu jeví jako běžná věc, která je v našem každodenním životě běžnou součástí. Z vědeckého hlediska, ale i přesto dokáže překvapit. Anomálie vody spočívá právě v anomáliích, které věda dosud nedokázala objasnit (Syrůček, 2011). V současnosti známe 66 anomálií vody.

Z pohledu životního prostředí je důležitou anomálií teplotní anomálie, která zajišťuje v zimním období např. přežívání ryb v řekách a vodních nádržích. Druhou důležitou anomálií je hustotní anomálie způsobující plavání ledu na vodě.

Vlastnosti vody, které zásadním způsobem ovlivňuje chemická struktura, především geometrie molekuly vody a také místo, kde voda vznikla (její původ), můžeme považovat za mimořádné.

Fyzikální a chemické vlastnosti molekuly vody závisí především také na kombinaci a složení izotopů vodíku a kyslíku z jakých jsou dané molekuly vody složeny (Kudrna, Stehlík, 1989).

Na základě chemických vlastností vody rozdělujeme dále na anorganické a organické. Tyto vody mají různorodé vlastnosti, které se dále hodnotí dle celé řady fyzikálních, chemických, biologických a dalších kritérií (Kudrna, Stehlík, 1989).

## **4.2. Podzemní voda**

Podzemní vody patří mezi největší a nejcitlivější sladkovodní zdroj, jehož prvotní účel je zásobování obyvatel pitnou vodou (Ministerstvo životního prostředí ČR©2008–2020). Ochranou, nakládáním, úpravou a hospodařením s podzemními vodami se v České republice zabývá již výše uvedený vodní zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů, v platném znění ze dne 28. 6. 2001.

Podzemní voda se považuje za jeden z cennějších a nejkvalitnějších zdrojů vod. Podzemní voda do půdy proniká z povrchu půdního profilu nebo vyvěrá z hornin pod povrchem. Vody podzemní převážně proudí v horninách, které nemálo ovlivňují její složení. Složení podzemních vod se mění cirkulací vod v podloží. Vyskytuje se často v anoxickém stavu. Obvykle se vyskytuje v neznečištěném stavu. Pod povrchem se vyskytuje převážně ve třech formách. Ve formě gravitační, kapilární a absorpční. Chrání ji právě pokryv půdy (zeminy), pod kterým se nachází.

Ve složení podzemních vod má dominanci vápník. V podzemních vodách se v menší míře vyskytuje i sodík. Obsah železa a manganu je u podzemních vod vyšší než u povrchových vod. V podzemních vodách dominují hydrogenuhličitan, méně častěji se tam vyskytují sírany a chloridy. V podzemních vodách lze nalézt také dusičnany, ale pouze převážně tam, kde se vyskytuje antropogenní činnost.

Výhodou podzemních vod je jejich stálost, objem podzemní vody se mění méně častěji než objem u povrchových vod. Podzemní voda např. při suchém období nebo



naopak ve zmrzlé krajině v tzv. permafrostu se z krajiny vytrácí jako poslední. Podzemní voda v některých oblastech Země mnohdy představuje jediný zdroj vody, z tohoto pohledu představuje voda v podzemí pro obyvatelstvo v této oblasti velmi důležitý vodní zdroj (Price, 2004). Převážně tento jev můžeme pozorovat v suchých oblastech, kde právě voda z podzemních zdrojů většinou představuje jediný zdroj vody na daném území. Při vyschnutí zdroje podzemní vody, např. při změnách klimatu, které jsou v dnešní době stále častěji zmiňovaným problémem trvá daleko déle, než se zdroj podzemní vody obnoví.

### 4.3. Povrchová voda

Povrchovou vodou se dá označit veškerá voda vyskytující se na zemském povrchu. Voda povrchová se vyskytuje na zemském povrchu přirozeně a je jeho součástí. Povrchová voda představuje zdroj vody pitné a užitkové. Zároveň ale také voda povrchová slouží jako příjemce odpadních a splaškových vod z měst a průmyslu, které způsobují její znečištění. Zdroj povrchové vody je náchylnější na jeho znečištění než znečištění zdroje podzemní vody. Např. často zmiňovaným zdrojem znečištění povrchové vody mohou být pesticidy používané v zemědělství.

Povrchová voda vzniká z atmosférických srážek, výronem z podzemních vod nebo táním ledovců. V ledovcích je vázáno okolo 70% vody (největší zásoby má Antarktický pevninský ledovec) (Hrkal, 2018). Povrchové atmosférické vody jsou málo mineralizované a mají nízkou tlumivou kapacitu. Jsou významným zdrojem nutrientů, ale také i toxických kovů.

Vody povrchové se rozdělují dle druhu na vody tekoucí (lotické) a vody stojaté (lentické). Vody lotické se dále dělí na přirozené (např. potoky, bystřiny, řeky) a umělé (např. kanály, průtoky). U tekoucí vody, tedy lotické povrchové vody se většinou přirozeně prohlubuje koryto, tvoří se meandry, vznikají eroze koryta vodní nádrže nebo se naopak působením tekoucí vody vyrovnává dno nádrže, ve které voda proudí. Vody povrchové lentické (stojaté) se dělí též na přirozené (např. moře, oceány, jezera) a umělé (např. rybníky, nádrže). U lentických povrchových vod dochází k hromadění živin, sedimentaci.

Dle oblastí výskytu povrchové vody se ve vodním zdroji vyskytují různé koncentrace organických látek. Složení povrchových vod je ovlivňováno několika faktory. Povrchové vodní zdroje mohou být ovlivněny geologickými poměry krajiny, klimatickými poměry krajiny, půdními poměry krajiny, lidskou činností atd. Složení

povrchové vody ve vodním zdroji se mění v celé oblasti vodního zdroje (např. v celém toku). Rozlišujeme povrchovou vodu z pohledu obsahu živin oligotrofní, mezotrofní nebo eutrofní. Oligotrofní povrchová voda je chudá na živiny vyskytující se ve vodním zdroji. Naopak eutrofní povrchová voda obsahuje živin nejvíce. Složení povrchových vod a v neposlední řadě ovlivňuje také čas.

Problém znečišťování a znečištění vodních zdrojů povrchových vod živinami a nežádoucími látkami je dnes velmi aktuálním a diskutovaným tématem. Zvyšování obsahu živin v povrchových vodách neovlivňuje pouze zemědělská činnost či energetická činnost, která je v souvislosti s touto problematikou velmi často zmiňována, ale také celkové využití krajiny, ve které se pozorovaný vodní zdroj nachází, tzv land use.

## 5. Pesticidy

### 5.1. Pesticidy a jejich vlastnosti

Růst spotřeby různých druhů pesticidů v moderním světě budí stále větší obavy z vážného znečištění životního prostředí, k němuž používáním pesticidních látek dochází (Cremlyn, 1978). Pesticidy svými nežádoucími, v některých případech i drastickými účinky na necílové druhy ovlivňují biologickou rozmanitost zvířat a rostlin vodní a suchozemské potravinové sítě a ekosystémy na Zemi (Mahmood et al. 2016). Z důvodu plošného využívání pesticidních látek, zasahují tyto látky velmi významnou část životního prostředí, kde následně mohou narušovat stabilitu celého zasaženého ekosystému. Díky častému nadužívání pesticidů nebo jejich nevhodné aplikaci v současné době dále stoupá jejich nebezpečnost pro životní prostředí.

Pesticidní látky představují širokou a různorodou skupinu látek masivně používaných především v zemědělských oblastech pro ochranu pěstovaných plodin před škůdci z řad mikroorganismů, hmyzu, živočichů a nežádoucích rostlin, mezi které řadíme např. plevele. Pesticidní látky lze využívat k hubení buďto širšího spektra škůdců nebo specifických druhů nebo skupin škodlivých organismů (Gray, 2008). V méně častějších situacích bývají kombinace pesticidních látek použity současně, zejména pro fumigace a sterilizace organismů, v těchto případech se většinou jedná o široce působící insekticid a fungicid (Gray, 2008).

Látky pesticidního charakteru jsou považovány za nebezpečné, právě díky jejich chemickému původu (Gray, 2008). Pesticidní látky nalézají své využití i v oblasti vodního hospodářství. Pesticidy lze bezprostředně zařadit mezi chemické přípravky a patří mezi nejrizikovější látky z pohledu kontaminace vodních zdrojů, a to jak povrchových, tak i podzemních. Ve vodním prostředí slouží jako likvidátor zooplanktonu a některých nežádoucích vodních rostlin v tomto prostředí (Pitter, 2009). Problematika pesticidů je dlouhodobým a stále aktuálním tématem. Historie a používání pesticidů je klíčem k pochopení toho, jak a proč pesticidy představují pro vodní systémy hrozbu, a proč se tato hrozba ve vyspělých zemích zmenšuje a mnoha rozvojových zemích zůstává problémem (Ongley, 1996).

Nebezpečí pesticidních látek spočívá ve fyziologické poruše projevující se až po překročení určité hranice kontaminace reziduí biocidů. Toxické účinky pesticidů vznikají v případě, kdy je koncentrace pesticidů v těle zasažených živočichů výrazně vyšší, než je jejich původní koncentrace v okolním prostředí (Hayo, Werf, 1996). Při

rozhodování, zda a v jakém rozsahu a množství užívat pesticidy, je třeba vzít v úvahu více faktorů. Je nutné najít určité propojení mezi jejich obávanými negativními dopady a zjevnými pozitivy pro zemědělce, spotřebitele a životní prostředí.

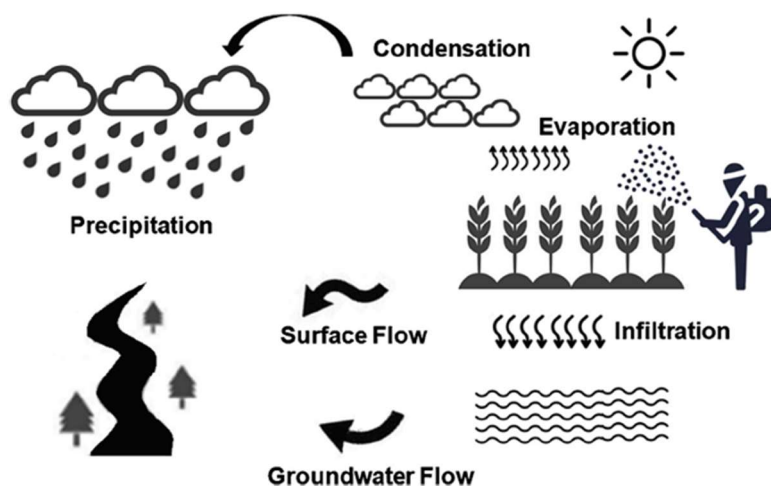
Používání pesticidů se ve světě výrazně rozšířilo po druhé světové válce. Největší rozmach pesticidů nastal po objevu a využití insekticiduálních vlastností dichlordifenyiltrichlorethanu známého pod označením DDT (dále jen „DDT“). Používání DDT, které lze zařadit mezi nežádoucí pesticidy ovlivňuje svými nežádoucími účinky především nervový systém zasažených organismů (Gray, 2008). Aplikace a využívání pesticidů v době po druhé světové válce byly, ale zároveň limitovány stále se zpřísňujícími podmínkami. Cílem bylo způsobovat při největším možném využití pesticidů co nejmenší negativní dopad na okolní organismy.

Původně pesticidy představovaly jedy s nesespecifickou účinností, které hubily jak plevely, kvůli kterým byly prioritně vyvinuty, ale také i rostliny na kterých byly použity. Což bylo z pohledu používání pesticidů považováno za nežádoucí negativní dopad v jejich užívání. V pozdějších dobách byly objeveny méně jedovaté a mnohem selektivněji využívané organické chemické pesticidy. Ukázkovým příkladem selektivních organických pesticidů jsou selektivní herbicidy na bázi fenoxycetových kyselin (Cremllyn, 1978).

Problematika pesticidů a podobných přípravků na ochranu rostlin a jejich vlivu na povrchové a podzemní vody je velmi složitá. Pesticidní látky nelze zahrnout do jediné skupiny nežádoucích látek z důvodu rozdílnosti a vlastností aktivních látek podle účelu daného pesticidu.

Oblast životního prostředí je značně ovlivňována aplikací pesticidů. Pesticidy nalézáme ve všech oblastech životního prostředí. Přípravky na ochranu proti škůdcům výrazně ovlivňují např. vodní prostředí a neposlední řadě zasahují do prostředí půdní biomasy. Zejména intenzivní používání pesticidních přípravků způsobilo v mnoha zemích některé environmentální problémy (Aydinalp, Porca, 2004).

Proces těkavosti může pesticidní látky používané např. v zemědělství, přenášet na velké vzdálenosti. Transport pesticidů životním prostředím znázorňuje obr. č. 2.



Obr. č. 2: Pesticidy v hydrologickém cyklu (de Souza et al 2020)

Ideální chemický pesticid by měl být vysoce toxický pro terčového škůdce, neměl by být perzistentnější, než je nezbytně nutné pro zasažení terčového objektu, a neměl by již nijak jinak ovlivňovat zasažený ekosystém, aby přirození nepřátelé škůdce a další užitečný hmyz zůstali nedotčeni (Cremllyn, 1978).

Pesticidy podléhají časové přeměně dle rychlosti svého rozkladu. Některé pesticidy svým rozkladem způsobují ještě toxičtější metabolity, než jsou ony samy. Používají v různých formách, např. jako postřiky, granuláty, pěny atp. V celosvětovém měřítku je registrováno okolo 8000 sloučenin účinných látek pesticidů (ALS Czech Republic©2015).

Pesticidy aplikované v současné době označujeme jako tzv. moderní. Jedná se o sloučeniny, které jsou polárnější, lehce odbouratelné. Nekumulují se v živých organismech a mohou působit selektivně proti jednomu organismu.

Ekologické účinky pesticidů přesahují jednotlivé organismy a mohou se rozšířit i na celé ekosystémy (Ongley, 1996). Ekologické dopady pesticidů např. ve vodním prostředí jsou stanoveny podle několika kritérií, jako je toxicita pesticidů, vytrvalost pesticidů, degradace pesticidů atp.

Výskyt koncentrací účinných látek pesticidů a jejich metabolitů ve vodním prostředí ovlivňuje podle vlastností jednotlivých přípravků, jako je rozpustnost ve vodě, mobilita a perzistence v půdním a horninovém prostředí, vodě apod., také rozsah a četnost jejich používání, vegetační období, růstová fáze ošetřované plodiny při aplikaci, svažitost pozemku, půdní a povětrnostní podmínky (Ministerstvo zemědělství ČR©2009–2020).

Mnoho pesticidů v půdním prostředí se naopak rychle rozptýlí (degradace pesticidů). Jedná se o proces označující se jako mineralizace. Tento proces má za následek přeměnu pesticidů na jednodušší sloučeniny, jako je  $H_2O$ ,  $CO_2$  a  $NH_3$  (Ongley, 1996). Zatímco část procesu mineralizace je výsledkem chemických reakcí, jako je hydrolýza a fotolýza, mikrobiologický katabolismus a metabolismus je obvykle hlavní cestou zmiňujícího se procesu (Ongley, 1996).

Obecný vývoj pesticidů se v současnosti přesunul z vysoce toxických, perzistentních a bioakumulačních pesticidů, jako je např. DDT na pesticidy, které se v prostředí rychle degradují a jsou méně toxické pro necílové organismy (Ongley, 1996).

V dnešní době si je již lidstvo převážně vědomo nebezpečí plynoucího z používání pesticidů. Každý pesticid, který se dále využívá komerčně, podstupuje nespočet testů ke zjištění a prověření jejich vlastností a reziduí. Výzkum pesticidů je díky tomuto postupu a způsobu zkoumání bezpečnější.

Výzkum pesticidů se snaží získat právě ty pesticidní látky, které co nejúčinněji působí proti škůdci. Upravit potřebné dávkování pesticidů, aby bylo co nejmenší. Menší dávka pesticidů při jejich aplikaci na cílový druh sníží zároveň náklady na jejich pořízení a konečnou aplikaci. Ve výzkumu je kladen značný důraz na zmírnění dopadů užívání a aplikací pesticidních látek na životní prostředí.

Údajů o monitorování pesticidů je obecně velmi málo ve většině zemí světa a zejména v těch rozvojových. Význam monitorování pesticidů spočívá v tom, že mnoho novějších a rozpustných pesticidů lze detekovat pouze krátce po jejich aplikaci v životním prostředí (Ongley, 1996).

Pravidelným monitorováním obsahu pesticidů ve vodním prostředí se v České republice zabývá Český hydrometeorologický ústav. Dle sledování hydrometeorologického ústavu se liší limity koncentrací pesticidů v různých půdních oblastech. Více pesticidů se vyskytuje v zemědělských oblastech, hlavně kvůli chemikáliím, které se využívají při pěstování plodin.

V dnešní době existuje ve světě více než 1200 registrovaných aktivních látek s pesticidním účinkem rozdělených do více než 100 skupin, v České republice je používáno zhruba 450 z nich (ALS Czech Republic©2013). Nejčastěji se u nás využívají pesticidní látky na bázi glyfosátu, kvarterních amoniových solí, močovinové bázi atp.

Celková roční světová spotřeba pesticidů se pohybuje v rozmezí 2 – 2,5 milionů tun těchto přípravků. Dle dat Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu

zemědělského se v České republice každoročně spotřebuje jen k zemědělským účelům cca 5 tisíc tun pesticidů (Halešová, 2018).

Zásadní legislativou z pohledu nakládání s pesticidními látkami je zejména Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/128/ES, která stanoví rámec pro činnost Společenství, který má za cíl dosáhnout udržitelného používání pesticidů. Dále pak mezi důležité dokumenty lze řadit zákon č. 326/2004 Sb., o rostlinolékařské péči a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů; vyhlášku č. 32/2012 Sb. o přípravcích a dalších prostředcích na ochranu rostlin, ve znění pozdějších předpisů a v neposlední řadě se také problematikou snižování používání pesticidů v České republice zabývá Národní akční plán (Liška et al., 2014). Podle čl. 4 směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/128/ES, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství za účelem dosažení udržitelného používání pesticidů, každý členský stát připraví vlastní Národní akční plán a přednese jej Evropské komisi a ostatním členským státům (Ministerstvo zemědělství ČR©2009–2020).

V České republice MZe ČR pravidelně zpracovává podrobné zprávy o jakosti vod v České republice, včetně znečištění způsobených účinnými látkami a jejich metabolity (Ministerstvo zemědělství ČR©2009–2020). Český národní akční plán vychází z ustanovení paragrafu 48a zákona č. 326/2004 Sb., o rostlinolékařské péči a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů (Ministerstvo zemědělství ČR©2009–2020).

Národní akční plán k bezpečnému používání pesticidů představuje soubor opatření, kterým je ve členských státech Evropské unie realizován program snížení nepříznivého vlivu přípravků na ochranu rostlin, na zdraví lidí a životní prostředí (Ministerstvo zemědělství ČR©2009–2020).

Národní akční plán dále stanoví kvantitativně měřitelné úkoly, průběžné i konečné cíle, opatření a harmonogramy pro snížení rizik a omezení odpadů používání pesticidů na lidské zdraví a životní prostředí, s cílem podpoření vývoje a zavádění integrované ochrany rostlin a alternativních přístupů nebo postupů, aby se snížila závislost na používání chemických přípravků (Ministerstvo zemědělství ČR©2009–2020).

Převážná většina přípravků, která je uváděna na trh v České republice, je klasifikována jako nebezpečná pro lidské zdraví, tj. má přiřazenu některou kategorii nebezpečnosti, která je přiřazena v příslušné třídě nebezpečnosti (Ministerstvo zemědělství ČR©2009–2020).

Z důvodu ochrany životního prostředí, především vody a negativního vlivu pesticidů na lidské zdraví je nutné pesticidy užívat v omezené míře.

## 5.2. Rozdělení pesticidů

Na pesticidy lze nahlížet z různých úhlů pohledu a dělit je do několika skupin. Pesticidní látky se dělí např. podle jejich biologické účinnosti, stability nebo podle chemického typu účinné látky, která je v nich obsažena (Kizlink, 2005).

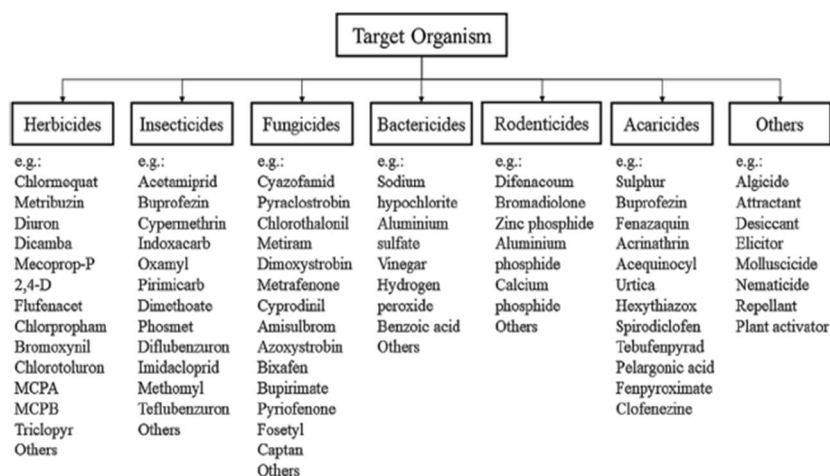
Podle původu se rozdělují na:

- pesticidy přírodního původu,
- syntetické látky,
- biopreparáty.

Dle biologické účinnosti na:

- fungicidy (slouží k ochraně před houbovými chorobami),
- algicidy (slouží k hubení řas),
- piscicidy (slouží k hubení ryb),
- herbicidy (slouží k hubení plevelů),
- insekticidy (slouží k hubení hmyzu) aj.

Rozdělení pesticidů z hlediska použitelnosti proti škodlivým činitelům podle Evropské komise je znázorněno na obr. č. 3.



Obr. č. 3: Hlavní typy pesticidů (Evropská komise 2019)



Ze všech kategorií pesticidů jsou považovány za nejvíce toxické pesticidní látky insekticidy, zatímco fungicidy a herbicidy se v seznamu toxicity látek řadí do druhé a třetí kategorie (Mahmood et al. 2016).

Podle způsobu aplikace pesticidů lze rozlišovat pesticidy kontaktní, systémové, respirační a požerové.

Kontaktní pesticidy působí na rostliny dotykem. Nepronikají do hloubky tkání rostlin. Největší účinnost mají na povrchu ošetřovaných rostlin, kde zůstávají a hubí nežádoucí organismy při kontaktu s ošetřenými částmi rostliny. Nevýhodou těchto pesticidů je, že účinek těchto pesticidních látek závisí na různých povětrnostních a klimatických vlivech. Účinek kontaktních pesticidů se využíval při aplikaci prvních zaváděných pesticidů (Cremllyn, 1978).

Systémově působící pesticidy jsou z pohledu jejich aplikace výhodnější a aplikují se lépe než kontaktní pesticidy. Rychle pronikají kutikulou rostlinných buněk a jsou rozváděny cévním systémem postřikovaných rostlin (Cremllyn, 1978). Aplikace systémových pesticidů je však spojena s nebezpečím fytotoxicity, poškození nebo zničení ošetřovaných rostlin, protože chemikálie přicházejí do intimního styku s rostlinnými rozmnožovacími tkáněmi (Cremllyn, 1978). Využívání systémových pesticidů nastalo ve větší míře v období padesátých let minulého století. Jednalo se především o využívání organofosforových insekticidů.

Aplikace pesticidů nemusí být prováděna pouze již zmiňovaným kontaktním a systémovým způsobem. Některé používané herbicidy, jako např. simazin, musí být nejprve transportovány až ke kořenům ošetřovaných plevelů, na které působí (Cremllyn, 1978).

Respirační neboli vdechové pesticidy způsobují úhyn zasažených živočichů především tím, že jejich účinky způsobí ochrnutí centrální nervové soustavy právě jimi napadených jedinců (živočichů).

Požerové pesticidy vnikají do těla živočichů zažívacím traktem a způsobují jejich vykrvácení (živočich pozření jedu např. schovaného v jeho potravě nerozpozná). Požerové pesticidy mají ovšem tu nevýhodu, že je může pozřít i necílový živočich. Proto je jejich plošná aplikace u nás v České republice zakázána, respektive regulována Ministerstvem životního prostředí České republiky.

### 5.3. Znečištění a zatížení půdy pesticidy

Současný zemědělský systém v České republice představuje umělý systém závislý na pesticidech. V klasickém zemědělství je v dnešní době užití pesticidů velmi časté a obvyklé. Pesticidy vyskytující se v obhospodařované půdě nabývají na významu právě v souvislosti s dnešní zemědělskou činností. V ekologických typech hospodaření s půdou se využívání pesticidů minimalizuje. Aplikace je zde omezena pouze na aplikaci pesticidů přírodního charakteru. Použití syntetických pesticidů je v tomto odvětví zcela zakázáno.

Používání pesticidů představuje dlouhodobě řešené a citlivé téma. Využívání pesticidních látek v zemědělské oblasti působí problémy pro celý přírodní ekosystém a následně ovlivňuje i širší životní prostředí, stejně jako kvalitu půdy v dotčené oblasti.

V České republice se aplikace pesticidů řídí příslušnými normami upravujícími používání pesticidních přípravků např. se jedná o Zákon č.326/2004 Sb., o rostlinolékařské péči, v platném znění. Jeho plnění podléhá následným kontrolám dodržování těchto postupů. V rámci Evropského společenství je nakládání s pesticidními látkami v zemědělské oblasti důkladně kontrolováno, např. díky Směrnici EP a Rady 2009/128/ES, kterou se stanoví rámeček pro činnost Společenství za účelem dosažení udržitelného používání pesticidů. Díky těmto opatřením lze předejít rizikům a případným vzniklým škodám při využívání pesticidů a minimalizovat jejich dopady s ohledem na zdraví člověka a životní prostředí.

Kontaminace půdního profilu nežádoucími látkami (např. právě pesticidními látkami) vzniká především při zvýšeném obsahu potencionálních rizikových látek v půdním prostředí. Zpravidla se jedná o látky antropogenního původu. Patří mezi ně látky jako jsou například perzistentní organické polutanty, radioaktivní prvky a jiné chemikálie.

V oblastech hospodaření s půdou, kde se praktikuje intenzivní monokultura, bylo použití pesticidů využito jako standardní metoda pro hubení škůdců (Ongley, 1996). Využití pesticidních látek spočívá především v této oblasti v ochraně rostlin před škůdci a omezení výskytů škůdců na zemědělských plodinách a zemědělské půdě.

Při nežádoucí kontaminaci půdy dochází k narušení základních funkcí půdního profilu. Dochází především k prostupu nežádoucích látek do povrchových a podzemních vod a dalších složek životního prostředí. Mimo fyzikálně-chemických vlastností je vstup pesticidů do jednotlivých částí životního prostředí ovlivněn také v té

době panujícími povětrnostními podmínkami. Zásadní vliv na vstup pesticidů do životního prostředí má také druh půdy, na kterou jsou pesticidní látky aplikovány (Halešová, 2018). Na základě chování pesticidních látek v životním prostředí se mohou tyto látky a jejich metabolity vyskytovat i na místech, kde bychom jejich výskyt v žádném případě nepředpokládali (např. jedná-li se o aplikaci již zmiňovaných požerových pesticidů) (Halešová, 2018).

Do zemědělsky obhospodařovaných půdních profilů se mohou potenciálně rizikové prvky dostat použitím nekvalitních průmyslových hnojiv, organickými látkami nebo pesticidy. Potencionálně rizikové prvky v zemědělsky obhospodařovaných půdách představuje i aplikace kalů z čistíren odpadních vod.

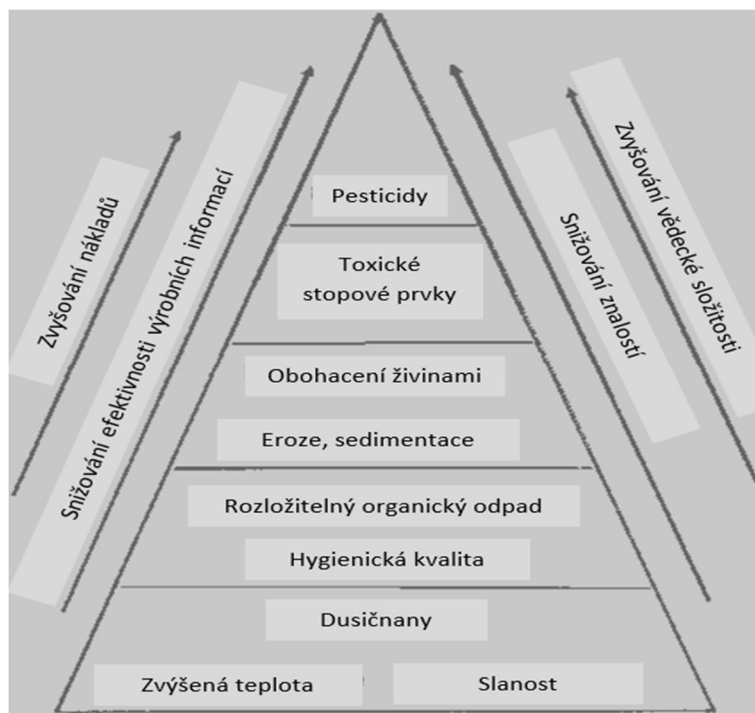
Současně využívané pesticidy v zemědělství by měly pro životní prostředí představovat menší zátěž než v minulosti, měly by působit mnohem příznivěji než zakazované pesticidní látky v minulosti (Hofman et al., 2018).

Pesticidní přípravky na ochranu rostlin využívají k ochraně proti nežádoucím organismům minimálně jednu účinnou látku z jejich složení. Využívají se především k ochraně organismů před případnými chorobami. Další využití spočívá v hubení různých plevelů, které rostlinu napadají. Pesticidní látky svojí aplikací ovlivňují růst chráněných rostlin. V současném moderním zemědělském hospodaření se využívá mnoho různých pesticidních přípravků k jeho ochraně před nežádoucími škůdci. Můžeme mezi ně zařadit např. glyfosáty. Glyfosát zastupuje skupinu herbicidů a jedná se o jeden z nejpoužívanějších herbicidů na hubení plevelů. V zemědělské oblasti hospodaření se nejvíce využívají organofosfátové pesticidy. Používají se jako nervové jedy, a tak také účinkují. Napadají nervový systém zneškodňovaných škůdců.

Nadužívání chemických přípravků ve většině oblastí jejich využití je v dnešní době tak daleko, že v podstatě patří do každého zemědělského procesu klasického hospodaření se zemědělskou půdou. Průnik pesticidů do půdního profilu je v současné době úměrný jejich používání v dané oblasti. Pesticidní látky bývají většinou aplikovány na celou plochu orné půdy, kde se zemědělská plodina, kterou má pesticid před škůdci ochránit vyskytuje, aby bylo docíleno co největší účinnosti aplikace.

Rozsah a relativní složitost znečištění zemědělských necílových zdrojů jsou znázorněny na obr. č. 4. Závažnost kontaminace pesticidy je na samém vrcholu hierarchické pyramidy a představuje tedy nejvíce vědecky složitý problém. Pyramida zároveň ukazuje provázanost jednotlivých rizik, finanční náročnost a také úroveň dostupných informací. Se vzrůstající potřebnou vědeckou komplexitou zároveň klesá

obecná úroveň znalostí daného rizika, ale na druhé straně stoupá finanční náročnost. Z uvedené hierarchické provázanosti lze také vyvodit, že odstraněním méně závažných rizik jako např. snížením půdní eroze se snižuje riziko závažnější kontaminace, a to za výrazně nižší finanční náročnosti.



Obr. č. 4: Hierarchická složitost problémů s kvalitou vody v důsledku zemědělství (Rickert, 1993)

Při aplikaci přípravků k hubení škůdců zemědělci využívají především pesticidů ve formě postřiků. Přímo při aplikaci je jejich dávka, v závislosti na růstovém stádiu plodin, formulační technice a podmínkách počasí, rozdělena mezi půdu, rostliny a jejich zbytky a případné ztráty, které mohou být způsobeny úletem pesticidních látek při jejich aplikaci do okolního prostředí.

Zemědělské rostliny nebo plodiny, na které se pesticidy aplikují, nesmí po určitou dobu sloužit jako krmivo pro zvířectvo nebo být využity k další spotřebě, aby nedošlo ke zbytečné kontaminaci pesticidy dalších částí potravinového řetězce. Na polích, ale bohužel velmi často dochází ke styku zvířat s rostlinami těsně po aplikaci pesticidních látek a může dojít k jejich přímému vystavení jejich nežádoucích účinků.

## 5.4. Pesticidy ve vodě

Za výrazný problém znečištění surové vody se v dnešní době považuje nejen sucho, ale ve větší míře také i špatné hospodaření s půdou např. především používání chemikálií, postřiků a hnojiv v zemědělství, popř. v přírodě obecně. Díky tomuto chování dochází ke kontaminaci podzemních vod různými chemikáliemi, mezi které dlouhodobě patří i pesticidy, které představují vysoké zdravotní riziko a mohou způsobovat vážné zdravotní komplikace a nemoci.

Naše vodní ekosystémy tvoří nedílnou součást zemědělské krajiny a riziko jejich kontaminace v intenzivně hospodářsky využívaných územích je vysoké. Dopady pesticidů na vodní ekosystémy se často studují pomocí modelu hydrologického transportu pohybu chemických látek a jejich osudu ve vodních tocích (Srivastava et al., 2018).

V České republice a Evropské unii se v současné době využívají jedny z nejpřísnějších zákonných norem pro ochranu přírodních i umělých zdrojů vody. Pesticidy jako ohrožující prvek vodních zdrojů v České republice byly vyhodnoceny jako závažné riziko pro vodní zdroje také v Národním akčním plánu (Kohout et al., 2018).

Použití různých typů pesticidů a insekticidů v zemědělství způsobuje znečištění vody (Srivastava et al, 2018). Znečištěním vodních toků a vodních nádrží se postupně zhoršuje kvalita vodních ekosystémů i ekosystémů v jejich okolí. Pesticidy představují znečištění, které se dostává do vodních nádrží a vodotečí především jejich vyplavováním z polí, smýváním pesticidů z plodin a přenosem nežádoucích látek pomocí větru např. při leteckém postřiku.

Pesticidy se do vodních útvarů dostávají pomocí povrchového odtoku a pronikáním přes půdu do podzemní vody. Ke znečištění vody a vodních zdrojů může docházet z rozptýlených nebo bodových zdrojů znečištění (Srivastava et al., 2018). Bodové zdroje znečištění vznikají při dopravě, plnění postřikovačů, při přebytku postřiků a jejich odpadu. Difuzní (rozptýlený) zdroj znečištění vody je jedním ze zdrojů klíčových dopadů na kvalitu vody v našich vodních cestách (Srivastava et al., 2018). Difuzní zdroje znečištění mohou vzniknout při prosakování nežádoucích látek, při smyvu srážkami nebo při rozptylu chemické látky při její aplikaci.

Pesticidní přípravky mohou být přepravovány do vody erodováním půdy (Papendick et al., 1986). Faktory ovlivňující schopnost pesticidů kontaminovat vodu

jsou jejich rozpustnost ve vodě, vzdálenost od místa aplikace k poškozenému vodnímu zdroji, počasí, půdní typ, pěstovaná plodina a metoda použití aplikace pesticidního přípravku.

Pesticidy mají z pohledu svého složení rozdílnou chemickou strukturu, která způsobuje i jejich rozdílnou rozpustnost ve vodě. Nejvíce rozpustné ve vodním prostředí jsou organofosforové pesticidy a nejméně rozpustné jsou pak organochlorové pesticidy. Pesticidy ve vodním prostředí podléhají chemickému nebo biologickému rozkladu. Ve vodě probíhá především jejich hydrolýza. Degradace pesticidů ve vodních ekosystémech je ovlivňována chemickými a biologickými účinky právě pesticidů, které do těchto vodních ekosystému vstupují.

Pesticidy se nachází v povrchových vodách, v minulosti již byla také jejich rezidua nalezena i ve vodách podzemních (Ongley, 1996). Toto zjištění lze doložit studií, která vznikla na začátku 90. let 20. století v USA. Studie uvádí 4,2 % venkovských studní kontaminovaných jedním nebo více pesticidy a u komunálních studní se jedná až o 10,4 %, kde byla detekována hladina jednoho nebo více pesticidů. Národní průzkum byl proveden Agenturou pro ochranu životního prostředí USA (US-EPA) (Ongley, 1996).

Pesticidní látky se vyskytují ve více než polovině podzemních vod v České republice, resp. ve vyhodnocovaných vzorcích odebíraných podzemních vod (ALS Czech republic©2013).

Kvalitu povrchové vody lze určit na základě biologického rozboru povrchové vody, který stanoví stav znečištění vody způsobený rozloženými organickými látkami.

Vodní zdroje je nutné chránit před kontaminací pesticidy pro budoucí udržitelné použití (Aydinalp, Porca, 2004). V posledních letech se ve vodních zdrojích jak povrchových, tak podzemních rostoucím tempem vyskytují pesticidy se zvyšujícími se koncentracemi (Kohout et al., 2018). Škodlivé toxiny, které se akumulují v potravním řetězci jsou ve vodním prostředí produkovány např. sinicemi (Schmit et al., 2013). Extrémně toxický pesticid může způsobit smrt ryb a dalších vodních organismů už při nízkých koncentracích (Aydinalp, Porca, 2004).

Výzkum pesticidů již z konce 90. let 20. století ukázal, že původ pesticidů ve vodě je závislý na jejich povaze a vlastnostech, kterými na vodní prostředí působí (Carter, 1999). Rozpustnost znečišťujících (např. pesticidních) látek ve vodním prostředí je jedním z majoritních faktorů, který rozhoduje o rozšíření a stabilitě daného pesticidu v životním prostředí.

## 5.5. Kontaminace podzemních a povrchových vod pesticidy

Kontaminace podzemních a povrchových vod představuje v dnešní době mnohem závažnější problém, než předpokládáme. Při dnešních nedostatečných dešťových srážkách představuje i kontaminace zdrojů vody podzemní nebo povrchové, byť menšího rázu mnohem větší problém, než si jako veřejnost představujeme. Např. znečištění vody spojené s antropogenními činnostmi je charakteristické svižným a převyšujícím evolučním potenciálem ekosystémů. (Kamble, Rao, 2016).

Ochrana vod a prevence před jejich kontaminací je v české legislativě zakotvena v několika zákonech, nařízeních vlády a vyhláškách.

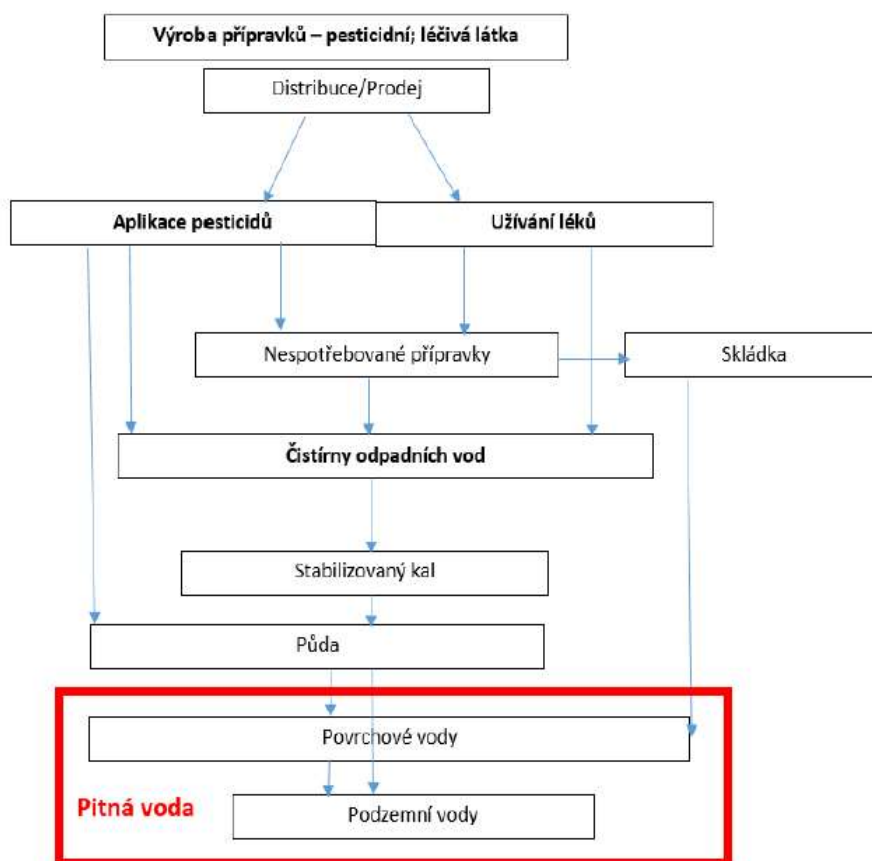
Seznam právních předpisů v ochraně vod (ČIŽP©2004-2016):

- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů,
- Zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a o omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně zákonů (zákon o integrované prevenci), ve znění pozdějších předpisů,
- Zákon č. 167/2008 Sb., o předcházení ekologické újmy a o její nápravě a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů,
- Zákon č. 25/2008 Sb., o integrovaném registru znečišťování životního prostředí a integrovaném systému plnění ohlašovacích povinností v oblasti životního prostředí a o změně některých zákonů, účinný od 1.9.2012,
- Vyhláška č. 450/2005 Sb., o náležitostech nakládání se závadnými látkami a náležitostech havarijního plánu, způsobu a rozsahu hlášení havárií, jejich zneškodňování a odstraňování jejich škodlivých následků, ve znění pozdějších předpisů,
- Vyhláška č. 5/2011 Sb., o vymezení hydrogeologických rajónů útvarů podzemních vod, způsobu hodnocení stavu podzemních vod a náležitostech programu zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod, ve znění pozdějších předpisů.

Dozorovým orgánem těchto předpisů je Česká inspekce životního prostředí (dále jen „ČIŽP“), která provádí kontroly u zdrojů znečištění, resp. ohrožení jak komunální, tak průmyslové a zemědělské sféry. ČIŽP je povinna vyžadovat odstranění zjištěných nedostatků a závad, jejich příčin a škodlivých následků, a ukládat opatření k jejich odstranění a nápravě a viníky pokutovat. V případě,

že dochází k velmi závažnému ohrožení životního prostředí, je inspekce oprávněna nařídit zastavení výroby nebo jiné činnosti, která ohrožení způsobuje, a to až do doby odstranění nedostatků nebo jejich příčin.

Kontaminace podzemních a povrchových vod můžeme rozdělit na kontaminace úmyslné a neúmyslné. Neúmyslná kontaminace bývá zapříčiněna několika faktory ve svém okolí, např. zanášení půdních částic důsledkem eroze do vodních zdrojů a vodotečí, anorganickými průmyslovými kaly vypouštěnými z průmyslových objektů, vysokými teplotami, při kterých vzniká mikrobiální znečištění a toxickými látkami, včetně pesticidů. Schéma možnosti prostupu pesticidů do zdrojů pitné vody zobrazuje obr. č. 5.



Obr. č. 5: Schéma transportu pesticidů a léčiv v životním prostředí, s možností dopadu na zdroj pitné vody (Halešová, 2018).

Za neúmyslný způsob kontaminace povrchových nebo podzemních vod mohou v neposlední řadě být považovány i přírodní vlivy. Mezi přírodní vlivy, které mohou ovlivnit neúmyslný způsob kontaminace vody lze zařadit např. extrémně dlouhotrvající sucha, hydrologické změny v krajině, povodně a zemětřesení.



Úmyslná kontaminace bývá způsobena např. osobou nebo skupinami osob za účelem přerušení dodávek pitné vody, která putuje ke spotřebiteli na vodním zdroji nebo na vodovodní síti.

Ochranu vody, vodních zdrojů a malých vodních nádrží zajišťují ochranná pásma. Ochranná pásma v České republice mají dva stupně.

Ochranné pásmo prvního stupně slouží k ochraně vodního zdroje v bezprostředním okolí jímacího nebo odběrného zařízení. Ochranné pásmo druhého stupně slouží k ochraně vodního zdroje v územích stanovených vodohospodářským orgánem tak, aby nemohlo dojít k ohrožení jeho vydatnosti, jakosti nebo zdravotní nezávadnosti (Ministerstvo životního prostředí ČR©2008–2020).

Pesticidy vstupují do povrchových a podzemních vod především smyvem z plodin, na které jsou aplikované, nejčastěji se tak stává v zemědělské oblasti (např. když zaprší, aplikovaná látka, která se nestačila vstřebat při aplikaci, steče na půdu a půdním profilem se vsákne do podzemních vod) (Srivastava et al., 2018).

Ochrana povrchových vod před zanášením nežádoucími látkami je klíčová jak pro zachování ekosystému, tak pro zachování možnosti využití povrchové vody nejen jako užitkové, ale také jako zdroje pitné vody.

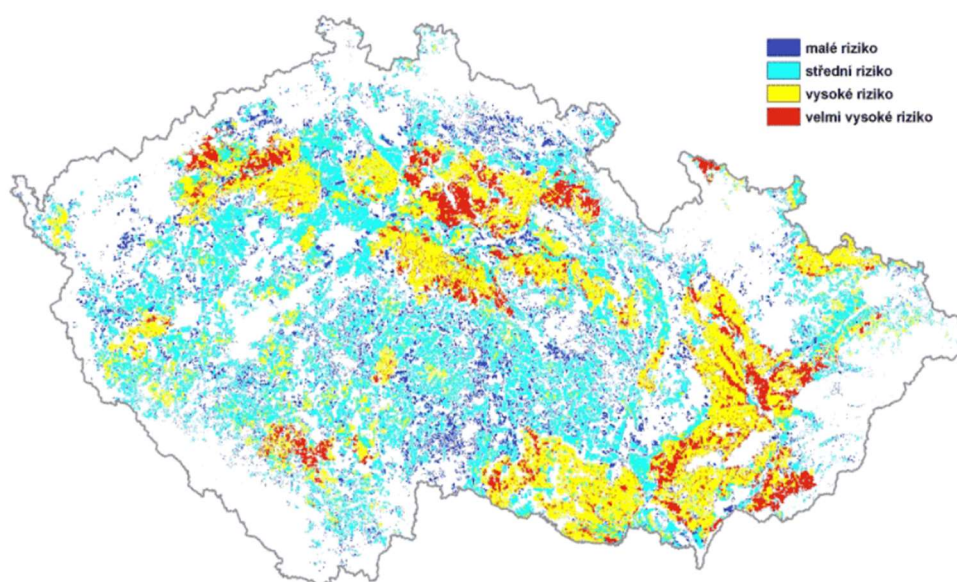
V současné době probíhá v povrchových vodách sledování specifických organických látek, které pocházejí jak z bodových zdrojů znečištění, tak z plošných zdrojů znečištění a jsou výhradně antropogenního původu. Jedná se především o větší skupinu pesticidních látek a jejich metabolických produktů – jako jsou např. triaziny, chloracetanilidy, deriváty kyseliny močové (tzv. urony), pyrethroidy a další látky, které nalézají své uplatnění především v zemědělské oblasti na ochranu rostlin (Liška et al., 2014).

Z hlediska transportu do vodního prostředí se mohou organické látky rozdělit všeobecně na dvě skupiny. První skupinou jsou látky pronikající do vodního prostředí z plošných zdrojů znečištění (jedná se zpravidla o důsledek zemědělského hospodaření, řadíme sem především přípravky na ochranu rostlin, popřípadě můžeme zařadit i jejich metabolity) (Liška et al., 2014). Druhou neopomenutelnou skupinou zdrojů znečištění jsou tzv. produkty lidské spotřeby. Můžeme sem zařadit zejména léčiva, hormony atd. (zpravidla největší produkce těchto zdrojů znečištění se dá sledovat v okolí lidských sídel, tj. do toků přicházejí kanalizací, většinou přes ČOV (Liška et al., 2014).

Z výsledků sledování pesticidů a léčiv v různých matricích lze sledovat, jak je třeba reagovat na výskyt pesticidních látek, ale i léčiv v životním prostředí. Existuje

několik způsobů, jak lze výrazně omezit výskyt těchto látek, je možné co nejvíce zamezit vstup látek do prostředí např. vytyčením ochranných zón nebo omezením nebo snížením spotřeby pesticidních látek. V dnešní uspěchané době nelze očekávat, že by došlo k většímu nebo výraznějšímu omezení používání pesticidních látek, a proto je třeba situaci řešit hledáním a připravováním moderních technologií, které umožní co nejšetrněji odstranění těchto látek z životního prostředí a zamezí jejich dalšímu přenosu v životním prostředí (v dnešní době se může jednat o úpravny pitných vod nebo čistírny odpadních vod) (Halešová, 2018).

Nebezpečí kontaminace povrchových vod pesticidy je sledováno ve spolupráci Českého hydrometeorologického ústavu (dále jen „ČHMÚ“) a Státní rostlinolékařské správy. Mapa na obr. č. 6 znázorňuje jako oblasti s velmi vysokým rizikem kontaminace povrchových vod pesticidy např. severní Čechy a Polabí. To odpovídá intenzitě a typu průmyslu a zemědělství v daných lokalitách.



Obr. č. 6: Rizikovost území z hlediska kontaminace povrchových vod pesticidy (Český hydrometeorologický ústav podle Státní rostlinolékařské správy, 2008).

Stále větší podíl na znečištění povrchových vod má zemědělská činnost (Hlavínek, Říha, 2004). V povrchových vodách se v současnosti v nezanedbatelných koncentracích nacházejí a velmi často frekvenčně vyskytují zejména dusíkaté pesticidy a jejich metabolity, uronové pesticidy a některé repelentní látky např. DEET. Plošné znečištění vodních toků značí nebezpečí ohrožení kvality vody (Hlavínek, Říha, 2004). Z hlediska indikace výskytu pesticidních látek věnují laboratoře státního

podniku Povodí Vltavy nejvýznamnější pozornost povodí Želivky, Úhlavy a Klíčavy (Liška et al., 2014). V současné době se dusíkaté pesticidy z povrchových vod důkladně sledují v laboratořích státní podniku Povodí Vltavy, sledování dusíkatých pesticidů se zde provádí již od roku 2005 (Liška et al., 2014). Z hlediska vlivu dusíkatých pesticidních látek na vodní toky je důležitá doba a způsob jejich aplikace. Výskyt těchto pesticidních látek v povrchových vodách je závislý především na srážkovém režimu a hydrologických podmínkách daného roku (Liška et al., 2014).

Pesticidy v podzemních vodách jsou velmi závažný problém (Aydinalp, Porca, 2004). Rozsah kontaminace podzemních vod není tak snadno určitelný jako možná kontaminace povrchových vod. Při průniku pesticidních látek z plošně chemicky ošetřovaných zemědělských pozemků do půdního profilu se mohou právě pesticidy stát zdrojem znečištění podzemních vod.

Nejvýraznějším ukazatelem jakosti podzemních vod a porovnání s limitními hodnotami těchto vod jsou právě přípravky jakou jsou pesticidy. Zejména pak herbicidy používané pro ošetřování zemědělských plodin. Dalším ukazatelem pro nás může být obsah anorganických látek, organických látek a kovů v půdě.

Pesticidní látky se objevují v České republice podle ČHMÚ ve více jak polovině sledovaných zdrojů podzemních vod (Vodárenství.cz©2017). Přitom téměř 40 % sledovaných míst vykazuje podle Českého hydrometeorologického ústavu nadlimitní koncentrace pesticidů. Obecné pravidlo uvádí, že právě vyšší koncentrace těchto pesticidů bývá naměřena v intenzivněji využívaných zemědělských oblastech.

Podzemní voda v České republice je znečištěná pesticidy, které v převážné míře pocházejí z pěstování řepky a kukuřice. Plodiny, které se nejčastěji v současné době využívají k výrobě biopaliv. Mezi nejproblémovější pesticidní látky patří přípravky, které jsou aplikovány k pěstování řepky, kukuřice nebo cukrové řepy, tj. jedná se o pesticidy ze skupin chloracetanilidových pesticidů a triazinových pesticidů. Některé metabolity těchto pesticidních látek můžeme zařadit mezi relevantní metabolity a v pitných vodách vyskytující se nad povoleným hygienickým limitem (Halešová, 2018).

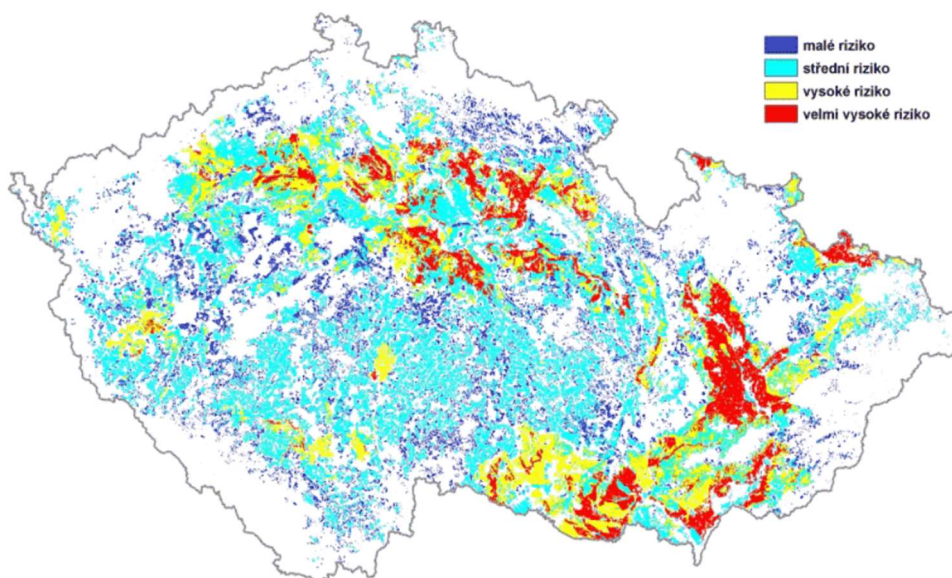
Sledováním jakosti podzemních vod se v České republice zabývají subjekty, které sledují a posuzují kvalitu podzemní vody na základě odebraných vzorků podzemní vody (Kodeš et al., 2016). Kvalitu vody v daném okamžiku je možné zjistit pravidelným sledováním a hodnocením vzorků odebrané vody. Zdali se podle výsledků vyhodnocení má dělat nějaký závěr, např. vědecký, je potřeba provádět

sledování odebraných vzorků vody s pravidelností a v dostatečných počtech (Hlavínek, Říha, 2004).

Objekty státní sítě, která u nás sleduje jakost podzemních vod tvoří podmnožinu z cca 1850 objektů pozorovací sítě podzemních vod Českého hydrometeorologického ústavu České republiky. Síť byla koncipována tak, aby sledovala, pokud možno neovlivněný režim podzemních vod a záměrně se vyhýbala lokalitám, které mohou být antropogenně ovlivněny bodovými zdroji znečištění (Kodeš et al., 2016). Optimální počet monitorovacích objektů je tři a více na útvar podzemních vod v závislosti na hydrogeologických a klimatických podmínkách a velikosti plochy útvaru sledovaného vodního útvaru (Kodeš et al., 2016).

Kvalita vody se vyhodnocuje na základě odebraných vzorků. Odběr vzorků kontaminované vody se provádí dvakrát do roka. Z pravidla na jaře a na podzim. Sleduje se tímto způsobem kvalita vody jak ve vrtech, tak i v pramenech. Kvalitu vody v České republice dlouhodobě sleduje Český hydrometeorologický ústav České republiky.

Mapa na obr. č.7 znázorňuje jako oblasti s velmi vysokým rizikem kontaminace podzemních vod pesticidy především oblasti s intenzivním zemědělstvím jako je jižní a střední Morava.



Obr. č. 7: Rizikovost území z hlediska kontaminace podzemních vod pesticidy (Český hydrometeorologický ústav podle Státní rostlinolékařské správy, 2008).

Na některých místech, které byly zařazeny do měření bylo zjištěno překročení limitů. V některých zkoumaných vzorcích podzemních vod bylo nalezeno i 10 až 20 různých druhů pesticidů v jednom sledovaném vzorku (Ekologické centrum Most pro Krušnohoří©2018). Zajímavostí může být, že u zkoumaného vzorku, který pochází z oblasti např. pěstování klasických obilnin (např. ječmenu, pšenice) Český hydrometeorologický ústav nenašel účast téměř žádných škodlivých pesticidních látek.

## 6. Výskyt pesticidů v ÚV Klíčava

V této části práce bude uveden konkrétní případ kontaminace povrchové vody, která se využívá jako zdroj pro vodu pitnou. Součástí bakalářské práce bude popis zájmového území společně s technickými daty jak o údolní nádrži Klíčava, tak i o úpravně vody Klíčava. Dále bude popsán daný problém kontaminace zdroje vody na úpravně a aplikovaný způsob řešení.

### 6.1. Popis území a vodního díla

Vodní nádrž Klíčava je využívána jako zdroj surové vody pro úpravu vody na vodu pitnou pro město Kladno a další obce (Liška et al., 2014). Povrchová voda se využívá jako zdroj surové vody pro výrobu vody pitné v úpravně vody Klíčava na Rakovnicku (obr. č. 8). Úpravna vody Klíčava se nachází v chráněné krajinné oblasti Křivoklátsko a je jedním ze dvou hlavních zdrojů pitné vody ve Středočeském kraji. Křivoklátsko se stalo chráněnou krajinnou oblastí dne 24. 11. 1978 a to na základě výnosu Ministerstva kultury ČSR č. j. 21972/78, o zřízení Chráněné krajinné oblasti „Křivoklátsko. Na území Křivoklátska se nachází cca 340 menších vodních nádrží, rybníků.



Obr. č. 8: Úpravna vody Klíčava (Křeček, 2020).

Vodní nádrž Klíčava leží na stejnojmenném potoce a řadíme ji mezi významnější a větší vodní dílo této oblasti. Vodní dílo Klíčava se nachází nad soutokem Klíčavského a Lánského potoka (Středočeské vodárny©2020). Údolní nádrž se využívá také jako ochranná stavba před případnými povodněmi a velkou vodou.

Potok Klíčava po většině délky svého toku protéká údolím se zarůstajícími nivními loukami a mokřadními olšinami. Pouze okolí obce Ruda a osady Amálie je zemědělsky využíváno. Tok protéká několika menšími vodními nádržemi (rybník Dolní a Horní Kracle, sedimentační nádrž nad nádrží Klíčava) (Beran, 1995). Vodní nádrž zasahuje do katastrálních území Zbečno a Městečko v okrese Rakovník a do katastrálních území Běleč a Lány v okrese Kladno (Středočeské vodárny©2020).

Z vodní nádrže Klíčava je čerpána voda povrchová, jakožto z jediného zdroje povrchové vody na území Rakovnicka a Kladenska. Tento vodní zdroj pokrývá zhruba 15 % odběrů vody na území Středočeského kraje. Odběr je tak malý z důvodu nedostatečné kapacity nádrže, která v dnešní době nedokáže pokrýt větší počet odběrů.

Vodní nádrž Klíčava byla současně s úpravou vody Klíčava vybudována mezi lety 1953–1956. Vodárenská nádrž Klíčava byla poprvé uvedena do provozu v roce 1955 za účelem zásobovat vodou Kladno a okolí (Duras, 2010) Nádrž je užšího charakteru, korytového tvaru, její hladina je chráněná před větrem vysokými a příkrými svahy Klíčavského údolí (Duras, 2010)

Během provozu úpravny vody Klíčava proběhlo několik rekonstrukcí různého rozsahu. Na základě informací poskytnutých od vedoucího střediska Voda Klíčava pana Křečka došlo k první větší rekonstrukci sledující především zvýšení výkonu a odstranění technologických nedostatků zařízení, zejména dávkování a prvního separačního stupně v roce 1970. V letech 1992–1995 proběhla rekonstrukce druhého separačního stupně, resp. instalace nového drenážního systému typu Novák (obr. č. 9). Další zásadní rekonstrukcí, kterou úpravna vody prošla byla v letech 1997–1999 úprava technologie provzdušňování vody, úprava dávkování chemikálií, úprava prvního separačního stupně a čerpání upravené vody. Poslední významnou a zásadní rekonstrukcí byla komplexní modernizace úpravny v letech 2018–2019, kdy došlo k obměně prvního separačního stupně – instalace flotace, ale především k instalaci třetího filtračního stupně, a to filtrů s granulovaným aktivním uhlím (GAU) (obr. č. 10).





Obr. č. 9: Pískové filtry v úpravně vody Klíčava (autor, 2020)



Obr. č. 10: Filtry s granulovaným aktivním uhlím v úpravně vody Klíčava (autor, 2020).

V současné době úpravnu vody Klíčava vlastní společnost Vodárny Kladno – Mělník, a. s. (VKM a.s.) a provozují ji Středočeské vodárny, a. s. (SVAS)



ze skupiny Veolia Česká republika spadající do koncernu Veolia Environnement. Obě tyto společnosti mají svá sídla na Kladně.

Voda čerpaná z vodní nádrže musí projít úpravou v úpravně vody, než se z ní stane voda vhodná ke konzumaci. Úpravna vody odebírá surovou vodu z údolní nádrže Klíčava, a to z hloubky 14 m, 21 m a 28 m pod hladinou (Středočeské vodárny©2020). Odebranou surovou vodu z vodní nádrže přivádí do úpravny vody dvě litinová potrubí DN 450 mm v délce 450 m k úpravě vody (Středočeské vodárny©2020).

Z důvodu eliminace rizika kontaminace vody je v okolí vodního díla vyhrazené hygienické pásmo I. stupně ochrany, tedy přísný zákaz skládky a vyhazování nebezpečných odpadů. Celé území vodní nádrže je obklopeno Lánskou oborou a není tím pádem tedy veřejně přístupné, veřejnost může pouze vstupovat na korunu hráze údolní nádrže. Hygienické pásmo I. stupně ochrany spravuje státní podnik Povodí Vltavy se sídlem v Praze.

## **6.2. Kontaminace zdroje pitné vody**

Případem úmyslného znečištění vodního zdroje byla událost ze dne 23. září. 2012, která ohrozila zdroj pitné vody ve vodní nádrži Klíčava na Rakovnicku. Havárie ekologického typu tím ohrozila i dodávku pitné vody pro tisíce obyvatel obcí na Rakovnicku a obcí na Kladensku ve Středočeském kraji, které jsou z této úpravny zásobovány.

V blízkosti vodní nádrže Klíčava a v oblasti potoka nazývaném Karlův Luh byl nalezen nespočet pytlů a barelů s chemikáliemi, přesněji se v tomto případě jednalo o pesticidy. Pesticidy obsažené v neoznačených barelech způsobily kontaminaci části zdroje pitné vody, která by jinak odešla přes úpravnu vody ke konečnému spotřebiteli. Díky rychlému zásahu hasičského záchranného sboru se chemikáliemi znečištěná a kontaminovaná voda nedostala do vodovodu a dále do domácností obyvatel Rakovníka a Kladna. Firma Středočeské vodárny, a. s. - středisko Kladno, které úpravnu vody Klíčava spravuje nebyla nucena v případě havárie z roku 2012, dle informací vedoucího střediska, použít havarijní plán, pro tyto případy připravovaný, a to díky včasnému zásahu, kdy bylo zabráněno rozsáhlé kontaminaci pitné vody v nádrži.

Na základě výsledků kontrolního odběru vody z toku byl jako hlavní pesticid identifikován atrazin, který není již v České republice registrován a v Evropské unii je zakázán (Benáková, Wanner, 2017). Jeho koncentrace ve vzorcích se blížily k hranici 1 mg/l, přičemž nejvyšší mezní hodnota (NMH) pro jednotlivé pesticidní látky podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. je 0.1 µg/l.

### 6.3. Postup řešení odstranění kontaminace

Po rekonstrukci na úpravně vody Klíčava byla připravena technologie na dávkování práškového aktivního uhlí (PAU), kterou úpravna využívala při úpravě vody na vodu pitnou, k odstranění případných pesticidů ve vodě. Ovšem nebyl to jediný důvod, technologie se používala i k odstranění sulfanu, který se v nádrži objevoval při vysokých odběrech a záklesech hladiny nádrže v minulosti (Hloušek, 2014). Dávkování práškového aktivního uhlí bylo optimalizováno na úplné odstranění atrazinu z pitné vody. Koncentrace atrazinu byla v upravené vodě úspěšně udržována pod mezí detekce a po následných povodních došlo k vymizení atrazinu i ze surové vody. Z důvodu možnosti výskytu metabolitů pesticidu a také z důvodu citlivosti vnímavějších spotřebitelů na pach a chuť vody dávkování práškového uhlí nadále pokračovalo (Benáková, Wanner, 2017).

Ve sledované úpravně pitné vody Klíčava na Rakovnicku se od znovuobnovení provozu úpravně, který proběhl v roce 2005 pesticidní látky sledovaly pouze v souladu s českou legislativou v požadovaném minimálním rozsahu, tj. 2 rozbory surové vody/rok a 2 rozbory vyrobené vody/rok (Hloušek, 2014). V březnu 2013 si Povodí Vltavy nechalo zpracovat kompletní rozbor vody. Výsledky tohoto rozboru ukázaly přítomnost nejen atrazinu, ale i jiných pesticidních látek a jejich metabolitů v pitné vodě. Závěrem bylo, že stávající dávkování PAU (6 g/m<sup>3</sup>) je dostatečné pro eliminaci atrazinu ze surové vody, ale nedostatečné pro eliminaci některých metabolitů. I přes následné navýšení dávkování PAU na nejvyšší možnou provozní hodnotu (20 g/m<sup>3</sup>) nedošlo ke splnění požadovaných limitů na pitnou vodu. Dalším krokem, který měl pomoci odstranit kontaminaci bylo používání neregenerovaného PAU. Ani maximální dávka nového typu PAU, ale bohužel nevedla k odstranění všech kontaminantů a voda stále nesplňovala požadavky. Posledním opatřením k odstranění škodlivých látek bylo zvýšení doby zdržení ve filtrech navýšením jejich počtu ze 4 na 6 v kombinaci s dávkováním PAU 15.5 g/m<sup>3</sup>. Po tomto opatření se kvalita vody poprvé dostala do limitů stanovených legislativou (Hloušek, 2014).

V současné době se na úpravně vody Klíčava dává pro odstranění nežádoucích pesticidních látek z upravované vody granulované aktivní uhlí (GAU). K této změně v aplikaci aktivního uhlí bylo přistoupeno po rekonstrukci technologií, která proběhla na úpravně v letech 2018–2019. Kontrolní vzorkování vody probíhá, dle informace vedoucího střediska Klíčava, s frekvencí dvakrát ročně a vzorky jsou zpracovávány specializovanou laboratoří v Plzni.

## 7. Metody odstraňování pesticidů ve vodním prostředí

Problematika výskytů, a především odstraňování historických ekologických zátěží v pitných vodách je stále jedním ze zásadních problémů provozovatelů zdrojů pitných vod a vodovodů (Král, 2010). V obecné rovině se dá říci, že organické látky vyskytující se ve vodním prostředí jako nějaká forma znečištění mohou vystupovat ve své přirozené formě a jedná se tedy o látky antropogenního původu (např. výluhy z půd a sediment). Látky organické mohou být rezistentního charakteru, ale pocházející z přírodních zdrojů a některé látky antropogenní mohou být biochemicky odbouratelné. Těžko rozložitelné látky nejen že, ovlivňují vlastnosti vody nebo vodních zdrojů, ve kterých se vyskytují, ale především nemusí být běžnými úpravárenskými ani čistírenskými procesy odstranitelné a mohou se i nadále kumulovat ve zdrojích pitné vody (Hlavínek, Říha 2004).

Pro Českou republiku je vyhláškou č. 252/2004 Sb. stanovena hranice koncentrace obsahu jednotlivých pesticidů v pitné vodě na hodnotu 0.1 µg/l. Celkový obsah všech pesticidních látek ve vodě musí být do hodnoty 0,5µg/l.

V České republice nebylo do roku 2014 žádným způsobem systematicky řešeno sledování rozsahu pesticidních látek a jejich metabolitů v pitné vodě. S novelou vyhlášky č. 252/2004 Sb. (vyhláškou č. 83/2014 Sb.), která stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, došlo ke zlomu v řešení problematiky pesticidů. K vyhodnocování účinných látek pesticidů s předpokládaným výskytem v dané lokalitě bylo přidáno také sledování rozkladných produktů těchto pesticidů (Halešová, 2018). Stanovení většiny skupin organických látek ve vodě, biotě a v sedimentu probíhá speciálními analytickými technologiemi, např. kapalinovou chromatografií (HPLC) (Liška et al., 2014). Pomocí této metody lze na základě separace jednotlivých složek testovaného vzorku vyhodnotit přítomnost a koncentraci těchto složek.

Pro výběr vhodné metody odstranění pesticidů je nutné znát vlastnosti a aspekty kontaminantu, který má být odstraňován (Rodriguez-Narvaez et al., 2017).

Mezi metody odstranění pesticidních látek z pitné vody na úpravných vod lze zařadit sorpci na aktivním uhlí, reverzní osmózu, UV záření, oxidační procesy a v neposlední řadě také tzv. pokročilé oxidační procesy (Král, 2010).

Používání aktivního uhlí dnes patří mezi jednu z nejvíce používaných metod odstraňování pesticidů z vodního prostředí. Aktivní uhlí je vysoce kvalitní materiál, který se vyrábí z černého uhlí nebo se dá vyrobit i z kokosových skořápek, mající

širokou škálu použití. Filtrování vody pomocí aktivního uhlí odstraní z vody většinu látek organického a některé látky anorganického původu. Dechlorační filtry s aktivním uhlím dokáží z vody odstranit chlór a látky organického původu, ale i některé anorganické látky např. těžké kovy. Zvýšené množství chlóru používaného k hygienizaci pitné vody ve vodárenství, může způsobit nepříjemný zápach upravené vody. Úpravny vody, které využívají aktivní uhlí a mají dechlorační stanici, právě tímto způsobem nechtěný chlór z vody odstraňují. Aktivní uhlí se v úpravných pitných vod používá nejčastěji i díky jednoduchosti celého procesu. Filtry s aktivním uhlím se snadno udržují a jsou energeticky nenáročné.

Aktivní neboli adsorpční uhlí se dále dělí na:

- granulované aktivní uhlí („dále jen GAU“),
- práškové aktivní uhlí („dále jen PAU“),
- formované aktivní uhlí (válečkové aktivní uhlí),
- impregnované aktivní uhlí.

GAU představuje granulát, který má nepravidelný tvar. Jeho využití spočívá především v čištění kapalin. Ve větším množství se granulát používá k čištění pitné vody ve stanicích na úpravu vody (např. zlepšení barvy vody, odstranění pesticidů a huminových sloučenin), dále pak např. pro katalytické odstraňování zbytkového chlóru a ozónu.

PAU představuje takové aktivní uhlí, které se využívá v podobě namletých granulek, které mají po namletí velikost v setinách milimetru. Pro použití aktivního uhlí je potřeba mít nainstalované dávkovací systémy, které PAU uvolňují postupně. Využití spočívá např. při úpravě pitné vody, odstranění organických sloučenin v čistírnách odpadních vod atd.

Válečkové aktivní uhlí se skládá z granulátu ve tvaru válečků. Využívá se při potřebě redukce těkavých organických látek, při ochraně dýchacích cest nebo při znovuzískání organických sloučenin.

Impregnované aktivní uhlí většinou představuje válečkové aktivní uhlí, jehož povrch byl pro další využití pokryt příslušnou chemickou sloučeninou. Vhodný výběr chemické sloučeniny způsobuje zvýšení efektivity reakce aktivního uhlí. Využití impregnovaného aktivního uhlí spočívá převážně v katalytickém odstraňování neorganických sloučenin z plynů různého druhu.

Další metodou úpravy vody jsou membránové separační technologie, které stále více nalézají uplatnění ve vodohospodářství, stále častěji např. při úpravě pitné

vody nahrazují klasické separační procesy (Přidal, 1999). Technologie spočívá v přivedení proudu vody na membránu, kde se voda rozdělí na dvě složky – koncentrovaný odpad (retentát) obohacený o složky, které membrána nepropustí a produkt (permeát), který je těchto složek zbaven. Zástupcem membránových procesů může být mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace a reverzní osmóza. Reverzní osmóza patří mezi hojně využívanou technologii pro úpravu vody. Jedná se o nejvyšší formu filtrace, která dokáže z vody odstranit nemalé množství např. minerálních solí nebo těžkých kovů. Jedná se o přírodní jev, objevený laureátem Nobelovy ceny Jacobusem Henricusem van Hoffem. Reverzní osmóza pracuje na principu přitahování tekutiny materiály, např. těžkými kovy.

Membránové separační procesy představují dnes již ekonomicky rovnocenné náhrady klasických separačních procesů, které jsou stále zdokonalovány (Honzačková et al., 2011).

Pokročilé oxidační procesy patří k dalším metodám odstranění pesticidních látek ve vodním prostředí. Podstatou procesů je přidavek nebo tvorba vysoce reaktivních částic. Částice jsou schopny oxidovat i velmi stabilní molekuly (Beneš, 2008). Mezi oxidační procesy odstranění pesticidů na úpravnách vod řadíme odstranění pesticidů ozónem. Ozón představuje silné oxidační činidlo využívané při úpravě pitné vody. Ozón se v souvislosti s úpravou vody na úpravnách používá už od roku 1866, kdy byla rozeznána schopnost ozónu dezinfikovat znečištěnou vodu (Vodovod.info©2013).

Ke spolehlivému odstranění bakterií a mikroorganismů ve vodním prostředí, lze dále mimo jiné využít i UV záření. Uplatnění UV záření nalezneme jak při úpravě vody podzemní, povrchové, tak i v místě spotřeby pitné vody (např. kombinace filtru s UV lampou). Jedná se o fyzikální proces dezinfekce při záření o vlnové délce v rozmezí cca 100-400 nm. Postup spočívá v čištění vody prostřednictvím ultrafialového záření (pomocí UV lampy), které zničí mikroorganismy i bakterie, a přitom nezmění fyzikálně-chemické vlastnosti vody. K chemické změně DNA dochází při maximu 260–265 nm, kdy dochází k inaktivaci reprodukce mikroorganismů nebo k jejich usmrcení (Janeba, Kopecký, 2002).

Při dezinfekci vody UV zářením se do upravené vody nevnáší žádné nežádoucí chemikálie, nemění se původní složení upravované vody, usměřují se pouze mikroorganismy ve vodě obsažené (např. řasy, bakterie) (Šašek, 2013).

Důležitými faktory pro využití vhodné UV lampy jsou teplota upravované vody a možnost změny velikosti vyzařované energie (Janeba, Kopecký, 2002). Tím lze

zajistit stabilní kvalitu upravované vody i v případě změny průtoku nebo kvality upravované vody.

K degradaci některých pesticidů (např. atrazinu) dochází za použití ultrazvuku, jinými používanými metodami, se kterými se můžeme také setkat jsou oxidace Fentonovým činidlem, homogenní fotokatalýza nebo heterogenní katalýza (Krysová et al., 2005).

V úpravách vody se při úpravách pitné vody využívá v hojné míře také koagulace pomocí koagulačních činidel. Koagulace pracuje na principu shlukování koloidních a makromolekulárních organických částic do větších celků (Vurm, Bystrianský, 2013).

Oxidace Fentonovým činidlem se nejčastěji používá při sanačních procesech. Fentonovo činidlo představuje peroxid vodíku aktivovaný dvojmocným železem v kyselém prostředí. Pro jeho silné oxidační účinky ho lze velmi často aplikovat k sanaci kontaminovaných lokalit obtížněji rozložitelnými látkami.

## 8. Diskuze

Tato práce podává popis o vlivu pesticidů používaných převážně v zemědělství na celé životní prostředí se zaměřením na povrchové a podzemní vody jako zdroje pitné vody. Používání pesticidů je celosvětový problém, a tak nelze řešení, resp. omezení používání těchto chemikálií a tím snížení rizika vztáhnout pouze k jednomu státu, možná ani k jednomu světadílu.

Jednostranné opatření ohledně používání pesticidů by mohly vést k zásadně odlišným podmínkám a také zemědělským výsledkům v porovnání s okolními státy a finanční dopad by také byl zásadní. Jak uvádí i Ongley (1996) kontaminace pesticidy se může snadno rozšířit na celé ekosystémy, takže je otázkou, jak velký by byl efekt takových opatření na životní prostředí a celý ekosystém, včetně podzemních a povrchových vod, protože tady hranice neexistují a jde o propojený globální proces. K vyhodnocení těchto jevů a k jejich simulaci se využívají modely hydrologického transportu pohybu chemických látek (Srivastava et al., 2018).

Na druhou stranu, každý světadíl, každý stát, každá kultura vnímá ekologické problémy odlišně a má jinak nastavené priority. Z tohoto pohledu je výhodné sdružení států do různých společenství (např. Evropská unie) tak, aby přijatá opatření byla více efektivní, kontrolovatelná a také v neposlední řadě vymahatelná.

Pokud jde o odstranění již způsobené kontaminace vod, toto závisí na objektivních podmínkách daného subjektu a specifické kontaminace vody. Výběr správné technologie pro odstranění pesticidů z vody závisí např. na výši kontaminace a na typu kontaminantu. Z pohledu instalace technologií úpraven vod je určitě možné tyto technologie definovat na základě zhodnocení rizika možné kontaminace pesticidy daných zdrojů vody a také typů používaných pesticidů ve spádové lokalitě. Tento přístup by mohl snížit riziko kontaminace pitné vody způsobené neúmyslně nebo z části i úmyslně, ale úmyslné havárie nepředpokládaným pesticidem stále představují riziko.

Jak bylo uvedeno v příkladu úpravny vody Klíčava, i přes znalost kontaminantů ve vodě bylo potřeba vyzkoušet a ověřit několik různých nastavení zařízení, než byl stanoven správný proces vyhovující dané aplikaci. Jak zmiňuje Hloušek (2014) to, že na této úpravně byla dostupná technologie, která mohla být využita pro odstranění daného pesticidu byla vlastně náhoda. Původní důvod instalace technologie PAU byl, jak je již zmíněno výše, jiný. Otázkou je, jestli v případě výše diskutovaného zhodnocení dané lokality a rizika kontaminace pesticidy by bylo takovéto riziko



v lokalitě Chráněné krajinné oblasti Křivoklátsko, Lánské obory a samozřejmě i vodohospodářského ochranného pásma předpokládáno.

Pokud jde o samotnou instalovanou technologii GAU, jde v současné době o dostačující řešení pro dané potřeby úpravny vody a definované kontaminace (Tomáš Křeček, III. 2020, in verb.). Technologie je víceúčelová – odstranění pesticidů, odstranění zápachu a zjemnění chuti. Používání technologie GAU nevyžaduje výrobu ani manipulaci s jiným nebezpečným médiem jako např. ozón, což je také důležitý aspekt při posuzování technologií. Také z pohledu nákladovosti jde o preferovanou technologii, která nemá zásadní vliv na cenu dodávané vody.

Technologii GAU lze porovnat např. s metodou reverzní osmózy, která je také vysoce účinná v odstraňování znečištění vody a samotná technologie je také relativně nenáročná. Nevýhodou ovšem může být odstranění i ostatních minerálů během procesu filtrace reverzní osmózou. Výsledkem je demineralizovaná voda, u které se např. snižuje pH a zvyšují se její korozivní účinky. Demineralizovaná voda není ze zdravotních důvodů vhodná ani jako pitná voda. Z toho vyplývá, že při použití reverzní osmózy je nutné do přefiltrované vody opět řízeně doplnit množství minerálů, např. sodík, vápník, hořčík atd. tak, aby splňovala legislativní požadavky. I toto může být podstatný aspekt při výběru použité metody a její nákladovosti a komplexnosti.

Druhou srovnatelnou metodou úpravy surové vody je její úprava na vodu pitnou pomocí UV záření. Jedná se o spolehlivou dezinfekční metodu, nevytvářející žádné vedlejší produkty a bez negativních důsledků na životní prostředí (Janeba, Kopecký, 2002). Tato dezinfekční metoda umožňuje odstranění chlorace z procesu úpravy vody. V tom případě je ale nutné přijmout dostatečná opatření např. pravidelný proplach sítě nebo občasnou šokovou dávku chloru k zabránění tzv. druhotné kontaminace vody v průběhu její dopravy ke spotřebiteli (Janeba, Kopecký, 2002).

Dalším aspektem, který také Hloušek (2014) zmiňuje, je legislativou stanovená povolená nejvyšší mezní hodnota 0.1 µg/l. Tato velmi nízká hodnota samozřejmě zajišťuje velmi vysokou kvalitu pitné vody z pohledu kontaminace pesticidy. Na druhé straně, ale tento limit platí jak pro povolené pesticidní látky, tak i pro ty zakázané. Za předpokladu, že zakázané látky lze považovat za více nebezpečné, je správné mít stejně nízkou hranici NMH i pro ty povolené, tedy méně nebezpečné? Ze zdravotního hlediska obecně to samozřejmě správné je – čím nižší obsah kontaminantů, tím lépe. Ale je tato hodnota dlouhodobě reálně udržitelná i při zvyšujících se spotřebách pesticidních látek? Paradoxem může být, že velké množství pesticidních látek se používá pro pěstování plodin (řepka, kukuřice) používaných jako bio přísad do paliv

z důvodu zvýšení jejich ekologičnosti. Zároveň ale na druhé straně dochází k poškozování jiné složky životního prostředí, a to vody. Opět se tady ukazuje provázanost celého (eko)systemu a nutnost brát v potaz problematiku jako celek a nezaměřovat se pouze na jednu část.

Při studiu dostupných odborných materiálů pro zpracování této bakalářské práce jsem se dostala k velice zajímavým skutečnostem, které změnilý můj celkový pohled na danou problematiku. Dostala jsem se k širším skutečnostem této problematiky, které pro mě osobně byly velkým přínosem.

Poměrně velkým překvapením pro mě bylo to, že i v oblasti vyhlášené jako chráněná krajinná oblast se vyskytují takovéto, z mého pohledu podstatné ekologické zátěže.

## 9. Závěr

Cílem této práce bylo zpracování literární rešerše za využití dostupných odborných literárních zdrojů, které se vybrané problematice věnovaly a zabývaly se aplikací pesticidů v zemědělství, a především jejich možným dopadem na životní prostředí, resp. na zdroje pitné vody. Práce se také věnovala konkrétnímu případu kontaminace zdroje pitné vody a následným aplikovaným opatřením v úpravně vody Klíčava, které zajistily odstranění pesticidní zátěže z pitné vody.

Ze získaných informací a dat vyplývá, že i přes snahu o co největší optimalizaci používání pesticidů, a to jak v jejich množství, tak jejich chemického složení, není v současné době reálné, aby došlo v zemědělství k zásadnímu útlumu používání těchto chemikálií a tím ke snížení ohrožení kontaminace vod.

Uvedený příklad kontaminace vodního zdroje Klíčava ukazuje, jak snadné je způsobit takovou kontaminaci a ohrozit životní prostředí, resp. zdraví obyvatel, ale naopak odbourání takovéto zátěže je složitý a dlouhodobý úkol. Udržení stálé kvality pitné vody, odpovídající legislativním požadavkům vyžaduje instalace stále nových technologií, které mají samozřejmě i dopad na finanční stránku úpravy vody.

Dalším zjištěním z úpravny vody Klíčava, které potvrzuje nebezpečnost používání pesticidů je jejich výskyt ve vodách i v oblastech, kde se takovéto látky nepoužívají, a tedy ani jejich výskyt se v nich nepředpokládá.

Zbývajícím řešením, kterým lze alespoň omezit riziko kontaminace, je tak dodržování legislativních nařízení týkajících se zacházení s pesticidy, dále dodržování správných postupů aplikace látek a v neposlední řadě také dodržování bezpečnostních postupů.

## 10. Seznam citované a použité literatury

- ALS Czech republic©2013: Pesticidy v podzemní vodě (online) [cit. 2020.03.08], dostupné z <[https://www.alsglobal.cz/aktuality/Pesticidy-v-podzemni-vode\\_1111](https://www.alsglobal.cz/aktuality/Pesticidy-v-podzemni-vode_1111)>.
- ALS Czech republic©2013: Stanovení pesticidů (online) [cit. 2020.03.08], dostupné z <<https://www.alsglobal.cz/premiove-analyzy/pesticidy>>.
- ALS Czech republic©2015: Stanovení pesticidů (online) [cit. 2020.03.08], dostupné z <<https://www.alsglobal.cz/media-cz/pdf/pesticidy-2015.pdf>>.
- Aydinalp C., Porca M. M., 2004: The effects of pesticides in water resources. Journal of Central European Agriculture. 2004/5: 5–12.
- Benáková A., Wanner J., 2017: Problematika mikropolutantů při čištění odpadních vod a při úpravě vody na vodu pitnou. Časopis Sovak 4, 31 s.
- Beneš J., 2008: Pokročilé oxidační procesy – AOP. Sborník konference Pitná voda 2008, 135-140 s.
- Beran L., 1995: Vodní měkkýši Klíčavy (online) [cit. 2020.03.08], dostupné z <<http://strednicechy.ochranaprirody.cz/res/archive/171/022328.pdf>>.
- Carter A. D., 1999: Pesticide Chemistry and Bioscience, The Food-Environment Challenge. Woodhead Publishing. 438 s.
- Cílek V., Just T., Sůvová Z., 2017: Voda a krajina. Nakladatelství Dokořán, 200 s.
- Cremlyn R., 1978: Pesticides – Preparation and Mode of Action. John Wiley&Sons, Chichester, 240 s.
- Česká inspekce životního prostředí©2004-2016: Ochrana vod (online) [cit. 2020.03.08], dostupné z <<http://www.cizp.cz/Ochrana-vod>>.
- Duras J., 2010: Nádrž Klíčava – vztah kvality vody a intenzity vodárenského využívání. Sborník konference Pitná voda 2010, 271–276 s.
- Ekologické centrum Most pro Krušnohoří©2018: Kontaminace podzemní vody aneb žlutá smrt (online) [cit. 2020.03.08], dostupné z <[http://www.ecmost.cz/clanky.php?page=podzemni\\_voda](http://www.ecmost.cz/clanky.php?page=podzemni_voda)>.
- Gray, N. F., 2008: Drinking Water Quality. Problems and Solutions. 2nd Edition. Cambridge University Press, 520 s.
- Halešová T., 2018: Pesticidy, léčiva a jejich eliminace z ŽP (online) [cit. 2020.03.29], dostupné z <<http://www.odpadoveforum.cz/TVIP2018/prispevky/137.pdf>>.

- Hayo M. G., Werf V. D., 1996: Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agric Ecosyst Environ.* 60: 81-96.
- Hlavínek, P., Říha, J., 2004: *Jakost vody v povodí*. 1.vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 209 s.
- Hloušek T., 2014: Výskyt pesticidů v ÚN Klíčava a jejich odstranění na ÚV Klíčava. *Sborník konference Pitná voda 2014*, 77–80 s.
- Hofman J., Hvězová M., Kosubová P., Dinisová P., Šimek Z., Brodský L., Šudoma M., Škulcová L., Sáňka M., Svobodová M., Krkošková L., Vašíčková J., Neuwirthová N., Bielská L., 2018: Rezidua pesticidů v orných půdách České republiky (online) [cit. 2020.02.29], dostupné z <<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/ochrana-obecne/rezidua-pesticidu-v-ornych-pudach-ceske-republiky>>.
- Honzajková Z., Kubal M., Podhola M., Patočka T., Šír M., Kocurek P., 2011: Membránové technologie a jejich použití při čištění podzemních vod a skládkových výluhů. *Chemické listy* 105, 245–250 s.
- Hrkal Z., 2018: *Voda včera, dnes a zítra*. Mladá fronta, a. s., 217 s.
- Janeba Z., Kopecký J., 2002: Pokroky technologie úpravy pitných vod – dezinfekce pitné vody UV-zářením v úpravně vody Mokošín (online) [cit. 2020.06.19], dostupné z <<https://www.smv.cz/res/archive/014/001648.pdf>>.
- Kamble V. S., Rao K. R., 2016: Intentional Study of Bioaccumulative Behaviour of Isomers of Organochlorine Pesticide Thiodan In Fresh Water Mollusc, *Lamellidens Corrianus* During Monsoon Season. *Indian Journal of Applied Research.* 6: 264-266.
- Kizlink J., 2005: *Technologie chemických látek: chemický průmysl, koroze, konstrukční materiály, technické plyny, anorganické a organické produkty, dřevo, zpracování uhlí, výroba paliv, petrochemie, pesticidy, tenzidy, plasty a kaučuk, různé přísady, katalyzátory, výbušniny, biotechnologie, doprava, aktualizované vydání* Brno. *Vysoké učení technické v Brně*, 282 s.
- Kodeš V., Svátková M., Freisleben J., 2016: Dvacet pět let systematického sledování jakosti podzemních vod v České republice (online) [cit. 2020.03.08], dostupné z <[https://www.vtei.cz/wp-content/uploads/2016/04/5506-VTEI\\_Dvacet-pet-let-systematickeho.pdf](https://www.vtei.cz/wp-content/uploads/2016/04/5506-VTEI_Dvacet-pet-let-systematickeho.pdf)>.

Kohout P., Milický M., Novák P., Mráz A., Ocelka T., Skalický M., Šupíková I., 2018: Možnosti ochrany vodárenských zdrojů pře poškozování přípravky na ochranu rostlin (online) [cit. 2020.02.29], dostupné

z <[https://www.vak.cz/soubory/Sbornik2018/2018\\_Kohout\\_ochrana%20vod,%20pesticidy.pdf](https://www.vak.cz/soubory/Sbornik2018/2018_Kohout_ochrana%20vod,%20pesticidy.pdf)>.

Král P., 2010: Provozní zkušenosti s odstraňováním triazinových herbicidů na GAU. Sborník konference Pitná voda 2010, 169–174 s.

Krýsová H., Krýsa J., Hubáčková J., Tříška J., Jirkovský J., 2005: Odstraňování herbicidu atrazinu z povrchové vody. Chemické listy 99, 179–184 s.

Kudrna K., Stehlík V., 1989: Naučný slovník zemědělský. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 789 s.

Liška M., Soukupová K., Koželuh M., Tajč V., 2014: Organické mikrokontaminanty v povrchových vodách pocházející z plošných a bodových zdrojů, nejen v povodích vodárenských zdrojů. Sborník konference Pitná voda 2014, 57–70 s.

Mahmood I., Imadi S. R., Shazadi K., Gul A., Hakeem K. R., 2016: Effects of Pesticides on Environment, Springer International Publishing Switzerland, Switzerland.

Ministerstvo zemědělství ČR©2009–2020: Národní akční plán k bezpečnému používání pesticidů v České republice pro 2018–2022 (Životní prostředí, eAGRI) (online) [cit. 2020.02.03], dostupné z <<http://eagri.cz/public/web/mze/zivotni-prostredi/udrzitelne-pouzivani-pesticidu/>>.

Ministerstvo zemědělství ČR©2009–2020: Voda (Voda, eAGRI) (online) [cit. 2020.03.08], dostupné z <<http://eagri.cz/public/web/mze/voda/novinky/svetovy-den-vody-2020.html>>.

Ministerstvo životního prostředí ČR©2008–2020: Podzemní vody (online) [cit. 2020.01.13], dostupné z <[http://www.mzp.cz/cz/podzemni\\_vody](http://www.mzp.cz/cz/podzemni_vody)>.

Neruda M., Slavík L., 2014: Hospodaření s vodou v krajině. Univerzita J. E. Purkyně, Ústí n. Labem, 108 s.

Ongley E. D., 1996: Control of water pollution from agriculture (online) [cit. 2020.02.03], dostupné z <<http://www.fao.org/3/w2598e/w2598e00.htm#Contents>>.

- Papendick R. I., Elliott L. F., Dahlgren R. B., 1986: Environmental consequences of modern production agriculture: How can alternative agriculture address these issues and concerns. *American Journal of Alternative Agriculture*. 1: 3-10.
- Pitter P., 2009: *Hydrochemie 4*, aktualizované vydání Praha. Vysoká škola chemicko-technologická Praha, 579 s.
- Povodní Vltavy, s. p.©2010–2020: Jakost vody (online) [cit. 2020.03.08], dostupné z <<http://www.pmo.cz/cz/o-podniku/vodohospodarsky-slovník/jakost-vody/>>.
- Price M., 2004: *Introducing Groundwater*. Taylor&Francis Ltd., 296 s.
- Přidal J., 1999: Separační membrány a jejich průmyslové použití – dnešní trendy a vybrané moderní aplikace. *Chemické listy* 93, 432–440 s.
- Rodriguez-Narvaez O. M., Peralta-Hernandez J. M., Goonetilleke A., Bandala E. R., 2017: Treatment technologies for emerging contaminants in water: A review. *Chemical Engineering Journal*. 323: 361-380.
- Schmidt J. R., Shaskus M., Estenik J. F., Oesch C., Khidekel R., Boyer G., 2013: Variations in the microcystin content of different fish species collected from a eutrophic lake. *Toxin*. 5: 992-1009.
- Srivastava A., Jangid N. K., Srivastava M., 2018: Pesticides as Water Pollutants (online) [cit. 2020.02.23], dostupné z <[https://www.researchgate.net/publication/327802056\\_Pesticides\\_as\\_Water\\_Pollutants](https://www.researchgate.net/publication/327802056_Pesticides_as_Water_Pollutants)>.
- Středočeské vodárny©2020: Vodárenská nádrž Klíčava (online) [cit. 2020.03.08], dostupné z <<https://www.svas.cz/o-spolecnosti/z-historie/vodarenska-nadrz-klicava/>>.
- Syruček M., 2011: *Voda, jak jí neznáme*. Nakladatelství Epoque, 209 s.
- Šašek J., 2013: Použití UV záření pro dezinfekci pitné vody (online) [cit. 2020.06.19], dostupné z <<https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/9697-pouziti-uv-zareni-pro-dezinfekci-pitne-vody>>.
- Vodárenství.cz©2017: Pesticidy zamořily většinu zdrojů podzemní vody (online) [cit. 2020.03.08], dostupné z <<http://www.vodarenstvi.cz/2018/10/05/chmu-pesticidy-zamorily-vetsinu-zdroju-podzemi-vody/>>.
- Vodovod.info©2013: Využití ozónu při úpravě vody (online) [cit. 2020.03.15], dostupné z <<http://www.vodovod.info/index.php/clanky/vodarenstvi/337-vyuziti-ozonu-pri-uprave-vody#.Xm4wlahKh9B>>.

Vurm R., Bystrianský M., 2013: Čištění odpadních vod pomocí koagulace (online) [cit. 2020.03.15], dostupné

z <[https://uchop.vscht.cz/files/uzel/0011054/Navody\\_koagulace.pdf?redirected](https://uchop.vscht.cz/files/uzel/0011054/Navody_koagulace.pdf?redirected)>.

Vysoké učení technické v Brně©2019: Vodní pára je neúčinnějším skleníkovým plynem, její efekt si studenti FEKT VUT budou moci sami ověřit (online)

[cit. 2020.03.08], dostupné z <<https://zvut.cz/napady-objevy/napady-a-objevy-f38103/vodni-para-je-nejucinnejsim-sklenikovym-plynem-jeji-efekt-si-studenti-fekt-vut-budou-moci-sami-overit-d189233>>.

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů, v platném znění.



## 11. Seznam použitých obrázků

Obr. č. 1.: Molekula vody (Vysoká škola chemicko-technologická Praha) (online) [cit. 2020.02.04], dostupné z <<http://e-learning.vscht.cz/mod/page/view.php?id=13069>>

Obr. č. 2.: Pesticidy v hydrologickém cyklu (de Souza et al.: Process Safety and Environmental Protection) (online) [cit. 2020.02.04], dostupné z <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582019318683>>

Obr. č. 3.: Hlavní typy pesticidů (de Souza et al.: Process Safety and Environmental Protection) (online) [cit. 2020.02.04], dostupné z <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582019318683>>

Obr. č. 4.: Hierarchická složitost problémů s kvalitou vody v důsledku zemědělství (Rickert, 1993)

Obr. č. 5: Schéma transportu pesticidů a léčiv v životním prostředí, s možností dopadu na zdroj pitné vody (Halešová, 2018).

Obr. č. 6.: Rizikovost území z hlediska kontaminace povrchových vod pesticidy (Český hydrometeorologický ústav podle Státní rostlinolékařské správy) (online) [cit. 2020.02.29], dostupné z <<http://hydro.chmi.cz/pasporty/>>

Obr. č. 7.: Rizikovost území z hlediska kontaminace podzemních vod pesticidy (Český hydrometeorologický ústav podle Státní rostlinolékařské správy) (online) [cit. 2020.02.29], dostupné z <<http://hydro.chmi.cz/pasporty/>>

Obr. č. 8.: Úpravna vody Klíčava (Křeček, 2020).

Obr. č. 9.: Pískové filtry v úpravně vody Klíčava (autor, 2020).

Obr. č. 10.: Filtry s granulovaným aktivním uhlím v úpravně vody Klíčava (autor, 2020).