ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA PLÁNOVÁNÍ KRAJINY A SÍDEL

Vliv léčiv a výrobků pro osobní hygienu (PPCPs) na vodní prostředí

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce:
doc. Ing. Michal Kuráž, Ph.D.

Konzultant: Maria Mursaikova

Bakalant: Iryna Shmonina

2024

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Iryna Shmonina

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

Vliv léčiv a výrobků pro osobní hygienu (PPCPs) na vodní prostředí

Název anglicky

Impact of Farmaceucals and Personal Care Products on water environment

---

Cíle práce

Hlavním cílem navržené bakalářské práce je seznámení s problemakou výskytu farmaceuckých látek A prostředků pro osobní hygienu ve vodním prostředí. Popsat a klasifikovat této látky na zaklade jejich fyzikálně-chemických vlastností.Dílčími cíli jsou:

1.Určit pět nejnebezpečnějších látek ze skupiny léčiv a přípravků osobní hygieny pro vodní biocenózu.
2.Provést klasifikace studovaných látek dle ekotoxicity;
3.Prozkoumat schopnost bioakumulace těchto látek v jednotlivých složkách vodní hoprostředí;
4.Prozkoumat účinky těchto látek na vodní mikroorganismy.
5.Prozkoumat dopad těchto látek na kvalitu pitné vody.

Metodika

Na zaklade analýzy vědecké literatury a odborných článků bude zkoumána problema ka znečištění vodního prostředí farmaceu ckými látkami, produkty pro osobní hygienu, pes cidy a herbicidy. V navržené práci této látky budou klasifikované podle mezinárodní klasifikace ATC (Anatomical Therapeu c Chemical). Prozkoumat soubor právních předpisů na základě přípustných expozičních limitů těchto látek a stanovit pět nejnebezpečnějších chemických látek pro vodní biocenózu. Na zaklade mezinárodních pozorovacích studií proběhne shrnu majoritních zdrojů vypouštění těchto kontaminantů do vodního prostředí. Dále bude vyhodnocen vliv těchto látek na mikroorganismy, které jsou hlavními přirozenými stabilizátory biochemické rovnováhy přirozeného vodního prostředí. V neposlední řade budou posuzované metody predikce a odbouraní z hlediska jejích účinnos vůči zkoumaným látkám. V této čas zvláštní důraz bude kladen na metody využívajících procesy ozonizace, UV – záření, aerobních a anaerobních procesů.

Doporučený rozsah práce

30 normostran

Klíčová slova

farmaceuka, vodní prostředí, kontaminace, kvalita pitné vody

Doporučené zdroje informací

AyscoughN., FawellJ., FranklinG., YoungW., 2000: Review of human pharmaceucals in the environment. Environment Agency, Bristol, 114s.

Ebele A.J., Abdallahab M.A.-E., Harrad S., 2017: Pharmaceucals and personal care products (PPCPs) in The freshwater aquatic environment. Emerging Contaminants Volume 3.S.1-16.

Moldovan, Z. ,2006: Occurrences of pharmaceucal and personal care products as micropolutants in Rivers from Romania. Chemosphere Volume 64.S.1808-1817.

Mudgal S., De Toni A., Lockwood S., Salès K., Backhaus T., Sorensen B.H., 2013: Study on the Environmental risks of medicinal products, Final Report prepared for Execuve Agency for Health And Consumers. BIO Intelligence Service, 310s

Shafi S. M., 2005: Environmental Polluon. Atlanc Publishers and Distributors, New Delhi, 456s.

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FŽP

Vedoucí práce doc. Ing. Michal Kuráž, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 11. 3. 2024

Elektronicky schváleno dne 12. 3. 2024

prof. Ing. Mar n Hanel, Ph.D.
Vedoucí katedry

prof. RNDr. Michael Komárek, Ph.D.
Děkan

V Praze dne 18. 03. 2024

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: *Vliv léčiv a výrobků pro osobní hygienu (PPCPs) na vodní prostředí* 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 verzi tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 27. 3. 2024 _____

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Marii Mursaikové, za odbornou pomoc při zpracování této bakalářské práce.

Seznam zkratek

ALS – Ammonium Lauryl Sulphate, laurylsulfát amonný.

SDS – Sodium dodecyl sulfate, dodecylsulfát sodný.

ATC – Klasifikační systém Anatomical Therapeutic Chemical.

EC – European Community, evropská komunita

SLS – Sodium Lauryl Sulfate, laurylsulfát sodný

PAL – Povrchově aktivní látky.

PPCP – Pharmaceuticals and Personal Care Products, léčiva a produkty osobní péče

((Q)SAR) – Quantitative structure – activity relationship, kvantitativní vztah mezi strukturou a aktivitou

Vliv léčiv a výrobků pro osobní hygienu (PPCPs) na vodní prostředí

Abstrakt

Bakalářská práce je věnována zhodnocení otázek znečištění vody farmaceutickými látkami a prostředky osobní hygieny (PPCP). Jsou diskutovány otázky souboru právních norem týkajících se existujících standardů jakosti vody. Byly identifikovány pět nejnebezpečnějších skupin chemických látek pro vodní biocenózu, a to antibiotika, hormony, narkotické látky, povrchově aktivní látky a antiseptika. Bylo zdůrazněno, že tyto látky vykazují mutagenní, karcinogenní a teratogenní účinky. Byl posouzen vliv těchto látek na mikroorganismy, jakožto hlavní stabilizátory biochemické rovnováhy přírodního vodního prostředí. Byly zjištěny způsoby a míra bioakumulace PPCP, ukázán jejich negativní vliv na jakost pitné vody a možné důsledky vlivu zkoumaných látek na organismy zvířat a lidí.

Klíčová slova: PPCP, farmaceutické přípravky, prostředky osobní hygieny, vodní prostředí, znečištění, mikroorganismy

Abstract

The bachelor thesis is dedicated to the assessment of issues of water pollution by pharmaceutical substances and personal care products (PPCPs) is investigated in the work. The complex of legal norms regarding existing water quality standards is considered. The five most dangerous groups of chemical substances for the aquatic biota are identified: antibiotics, hormones, narcotics, surfactants, and antiseptics. It is emphasized that these substances exhibit mutagenic, carcinogenic, and teratogenic effects. The impact of these substances on microorganisms, as the main stabilizers of the biochemical balance of the natural aquatic environment is evaluated. The pathways and degree of bioaccumulation of PPCPs are identified, showing their negative impact on drinking water quality and possible consequences of the studied substances on the organisms of animals and humans.

Keywords: PPCP, pharmaceuticals, personal care products, aquatic environment, pollution, microorganisms

Obsah

1. Úvod 10
2. Cíle práce 11
3. Dopad léčiv a výrobků pro osobní hygienu (PPCPs) na vodní životní prostředí 12
   3.1 Problém znečištění vod různými produkty lidské činnosti 12
      3.1.1 Zemědělské produkty (herbicidy, pesticidy, hnojiva) 12
      3.1.2 Průmyslový odpad 13
      3.1.3 Čisticí prostředky a produkty osobní péče 15
      3.1.4 Farmaceutické látky 16
   3.2 Vliv farmaceutických léčiv a přípravků osobní péče na vodní flóru a faunu 17
      3.2.1 Vliv PPCPs na flóru 17
      3.2.2 Vliv PPCPs na faunu 19
      3.2.3 Hodnocení rizik a důsledků vlivu PPCPs na vodní prostředí 20
      3.2.4 Vliv PPCPs na kvalitu pitné vody 21
   3.3 Analýza stávajících předpisů a legislativy 24
   3.4 Metody a způsoby znečišťování vodního prostředí s pomoci léčivy a přípravky osobní hygieny 25
   3.5 Klasifikace léčivých přípravků a výrobků osobní péče 26
      3.5.1 Úrovně klasifikace PPCPs 26
      3.5.2 Stanovení pěti nejnebezpečnějších látek ze skupiny léčiv a přípravků osobní péče pro vodní biocenózu 28
   3.6 Možné metody snížení dopadu PPCP na vodní ekosystémy 32
      3.6.1 Regulace vyhazování odpadů z farmaceutických podniků (co, kde, v jakém množství) podle právních předpisů 32
      3.6.2 Kontrola kvality filtrů a čistíren farmaceutických podniků 33
      3.6.3 Recyklace odpadů pomocí mikroorganismů 34
      3.6.4 Zvyšování informovanosti veřejnosti o správných metodách likvidace PPCPs 36
4. Výsledky 38
5. Diskuse 39
6. Závěr a přínos práce 41
7. Přehled literatury a použitých zdrojů 42
8. Přílohy 47

Úvod

V současné době je po celém světě rozsáhle zkoumán vliv léčiv a produktů osobní péče (PPCP) na životní prostředí. Nyní se tento problém stal mnohem naléhavějším než před 20 lety. Podle zdroje PubMed se počet vědeckých studií na toto téma od roku 2005 do roku 2023 zvýšil jedenáctkrát, což ukazuje na relevanci tohoto problému. PPCP byly zjištěny ve vodních útvarech ve všech zemích světa. Současný stav výzkumu ukazuje, že léčiva a produkty osobní hygieny stále více ovlivňují životní prostředí a vodní organismy [Niemuth N.J. 2015, Wang J, Wang S., 2016]. V posledních desetiletích se rozmanitost a počet PPCP používaných lidmi výrazně zvýšil, což neumožňuje modernímu výzkumu včas určit vliv každé z těchto látek nebo jejich metabolitů na přírodu. Každý rok se vyrobí více než dvacet milionů tun PPCPs [Wang J, Wang S., 2016]. Abnormální spotřeba PPCP vede ke zvýšení jejich počtu ve vodních nádržích a následně i v organismech, které tam žijí. Při výrobě, používání a likvidaci se PPCP dostávají do životního prostředí, což s sebou nese určitá rizika. V klasických čistírnách odpadních vod se tyto látky prakticky nerozkládají. Některé z nich jsou velmi stabilní a mohou se hromadit v prostředí. To přispívá k destabilizaci stávajících biocenóz. Léky a PPCP mohou být toxické a mutagenní pro řadu organismů. To vše předurčilo volbu tématu této bakalářské práce. **„Vliv léčiv a výrobků pro osobní hygienu (PPCPs) na vodní prostředí".**

1. Cíle práce

Hlavním cílem bakalářské práce je popsat a klasifikovat rizika těchto látek a jejich možnou akumulaci v životním prostředí.

Specifickým cílem této práce je:

- analyzovat odbornou literaturu, zkoumat problematiku znečištění vodního prostředí léčiva, přípravky osobní hygieny PPCP, studovat metody kontroly kvality vody;
- analyzovat detergenty a kosmetiku, které se hromadí ve vodních zdrojích. Ukázat způsoby, jak se léky a produkty PPCP dostávají do přírodních vodních nádrží;
- popsat vliv těchto látek znečišťujících vodní prostředí na mikroorganismy, které jsou hlavními přirozenými uživateli organických (heterotrofy) a anorganických látek (chemotrofy) a také stabilizátory biochemické rovnováhy přirozeného vodního prostředí. Ukázat dopad farmaceutického a chemického odpadu na vodní život jako hlavní fotosyntetikum;
- označit důležitosti a efektivity zpracovatelských zařízení ve farmaceutických a chemických podnicích, jakož i potřeby kontroly tuhého komunálního odpadu ze zdravotnických zařízeních.
- předpovídat zlepšení stavu vodního prostředí správnou likvidací veškerého domovního odpadu, kontrolou dešťových systémů a kanalizací a také dostupností účinných čistících zařízení ve farmaceutických a chemických podnicích.

2. Dopad léčiv a výrobků pro osobní hygienu (PPCPs) na vodní životní prostředí

3.1 Problém znečištění vod různými produkty lidské činnosti

3.1.1 Zemědělské produkty (herbicidy, pesticidy, hnojiva)

Pro 20. a 21. století je typický intenzivní rozvoj průmyslu, dopravy, energetiky a industrializace zemědělství. To vše vedlo k tomu, že antropogenní vliv na životní prostředí nabyl globálního charakteru. Mezi hlavní typy znečištění povrchových a podzemních vod patří: chemické, bakteriální, tepelné a radioaktivní. Chemické znečištění – vnikání různých chemických látek do vody, například odpadů z živočišných farem, odpadních vod z průmyslových odvětví jako petrochemických, celulózo-papírenských, komunálních i domovních. Toto se projevuje zvýšením celkové mineralizace a koncentrace makro- a mikrokomponentů a tedy vznikem ve vodě nespecifických minerálních sloučenin. Často je to doprovázeno vznikem zápachu, zbarvením a zvýšením teploty vody. Odtok teplé vody z jaderných a tepelných elektráren zvyšuje celkovou teplotu vodních toků i vodních nádrží. To vede k urychlenému zarůstání řasami a omezení typického života pro tyto oblasti.

Každý rok se farmáři a vlastníci soukromých zemědělských pozemků, kteří se věnují zemědělství, ujímají všech nezbytných opatření, která by jim pomohla získat bohatou úrodu. To zahrnuje používání pesticidů – toxických látek určených proti různým druhům hmyzu, hlodavcům atd.; herbicidů, které se používají k boji s plevely; a hnojiv, která jsou schopna aktivovat metabolické procesy rostlin a zvýšit úrodnost.

I přes tzv. přínos pro úrodu mají tyto látky mnohem větší negativní dopad na životní prostředí. Znečišťují půdu, vzduch i vodní zdroje, včetně podzemních vod. Toto jsou hlavní zdroje chemického a bakteriologického znečištění hydrosféry.

Zvláště nebezpečná se ukazuje chemizace zemědělství při porušování technologických norem skladování a aplikace chemických látek. Nejrozšířenějšími skupinami pesticidů jsou herbicidy, které se používají k boji s plevelem, insekticidy – přípravky na likvidaci škodlivých hmyzích organismů v zemědělských plodinách, a fungicidy – prostředky proti houbovým onemocněním rostlin. Do půdy se v současné době dostává ještě více minerálních hnojiv. Při splachování dešťovými vodami se škodlivé chemické látky infiltrují do půdy a znečišťují podzemní vody, dále se transportují do povrchových nádrží a toků. Některé pesticidy jsou velmi odolné a uchovávají se v půdě přes 10 let. [Vasyukova G., 2009].

Ke znečištění povrchových vod toxickými chemikáliemi a minerálními hnojivy dochází několika způsoby. Do vody se dostávají při smývání z porostu a půdního pokryvu, při postřiku, otrávení polí pesticidy a při vstupu kontaminovaných podzemních vod do nádrží. Znečištění vody hnojivy a pesticidy je obzvláště nebezpečné kvůli své všudypřítomnosti. Znečištění vody pesticidy překračující maximální přípustné normy je zvláště rozšířené v oblastech s neustálým používáním zavlažování. Kromě chemického anorganického znečištění přírodních vod přispívá zemědělství k jejich organickému a bakteriálnímu znečištění. Voda obohacená odpadem z hospodářských zvířat o organickou hmotu a bakterie způsobující nemoci nerušeně proudí do povrchových a podzemních vod. Eutrofizace nádrží, kdy nárůst biogenních látek v nádržích, zejména obsahujících dusík a fosfor, narušuje normální biologický cyklus, snížení obsahu kyslíku a v konečném důsledku i úhyn vodních organismů. Bakteriální kontaminace povrchových a podzemních vod způsobuje propuknutí epidemií závažných infekčních onemocnění. [Kyzyma R, 2010]. Informace je uvedena v Příloze 1.

Znečištění vody vede ke snížení její kvality, k narušení ekologické bilance a následně hrozí výrazné zhoršení situace vodních útvarů. Znečištění způsobuje změnu charakteru prostředí a vlastností jeho složek, často nepříznivě ovlivňuje vývoj živých organismů. Míra změn a škála následků závisí na intenzitě a charakteru znečištění, dále na samočisticí schopnosti prostředí (ekosystému) a na odolnosti vůči vnějším vlivům. Rozvoj opatření k prevenci znečišťování životního prostředí je jedním z hlavních bodů v oblasti ochrany přírody. Informace je uvedena v Přílohách 2 a 3.

3.1.2 Průmyslový odpad

V průmyslových oblastech se každý den vytváří obrovské množství odpadních vod. Je prakticky nemožné je zpracovat tak, aby byly naprosto bezpečné. Mnoho továren nedodržuje stanovené normy pro čištění a vypouští do vodních toků toxické látky, které se dostávají do podzemních proudů a artéských studní. Objem průmyslových odpadních vod třikrát přesahuje množství komunálních odpadů.

Jedním z hlavních znečišťovatelů vody jsou chemické továrny, rafinérie, těžební průmysl a papírenské a potravinářské závody.

Odpadky obsahující rtuť, olovo a měď se shromažďují v určitých oblastech poblíž břehů, avšak určitá část z nich se dostává daleko za hranice teritoriálních vod. Znečištění rtutí významně ovlivňuje primární produkci mořských ekosystémů, jelikož brzdí rozvoj fytoplanktonu. Odpadky obsahující rtuť se obvykle koncentrují v dnových sedimentech

zátok nebo ústí řek. Jejich další migrace je doprovázena akumulací methylrtuti a jejím začleněním do trofických řetězců vodních organismů.

Dřevní hmota, která se dostává do odpadních vod z celulózo-papírenského průmyslu, je oxidována, dochází ke značné spotřebě kyslíku a následkem toho dochází k úhynu plůdků i dospělých ryb. Nerozpustné látky a vlákna zhoršují fyzikální a chemické vlastnosti vody. Z kůry a tlejícího dřeva se do vody uvolňují třísloviny. Pryskyřice absorbuje kyslík, což také vede ke smrti vodních organismů. Tyto látky navíc ucpávají řeky a jejich dna. Zároveň jsou ryby ochuzeny o místa ke tření a ke shánění potravy.

Při znečištění vody ropou a ropnými produkty dochází k vytvoření povlaků na hladině vodní plochy, těžké frakce se usazují na dně. Změní se chuť, barva, viskozita i povrchové napětí vody. Voda získává toxické vlastnosti a představuje hrozbu pro lidi a zvířata. V odpadních vodách ropných zařízení se nachází fenol. Jeho přítomnost v říčních vodách výrazně limituje biologické procesy v nich probíhající, narušuje se proces samočištění vody. V takové vodě se vyskytuje zápach karbolky.

Podniky potravinářského průmyslu jsou jedním z největších spotřebitelů vody, kde 95 % vznikajících odpadních vod obsahuje vysoké koncentrace znečišťujících látek. K získání hotového výrobku se spotřebuje několikanásobně více vody než je zpracováno surovin.

Výroba potravinářských výrobků je doprovázena tvorbou pevných, kapalných i plynných odpadů, které znečišťují hydrosféru, atmosféru a půdu. Nicméně hlavním ekologickým problémem potravinářské výroby je spotřeba vody, která je používána přímo k mytí zařízení a pro jiné účely. Většina této vody je ve formě znečištěných odpadních vod vyvedena z výrobního procesu a dostává se do okolního prostředí. Její hlavní vlastností je vysoký obsah rozpuštěných organických látek, které tvoří zbytky surovin a produktů jejich transformace. [Pysarenko V. N. a kol., 2008] Procentuální využití vody různými podniky potravinářského průmyslu je uvedeno v Příloze 4. Odpadní vody (OV) potravinářských výrobních provozů představují složité polydisperzní systémy a obsahují různé druhy znečištění: tuk, mléko, šupiny, srst, krev, soli, minerální nerozpustné příměsi, písek, čisticí prostředky a další. To komplikuje úlohu kanalizačních sítí, čerpacích stanic a čistíren odpadních vod. Odpadní vody potravinářských výrobních provozů jsou různorodé podle složení komponentů i podle koncentrace znečišťujících látek a jsou složitým fyzikálně-chemickým systémem. Množství odpadních vod, jež vznikají v podnicích potravinářského průmyslu, je uvedeno v Příloze 2. [Swatantra P. Singh a kol.,

2021] Je třeba poznamenat, že podle studie publikované v The Lancet znečištění vody způsobilo 1,8 milionu úmrtí v roce 2015. Informace je uvedena v Příloze 5.

3.1.3 Čisticí prostředky a produkty osobní péče

V současné době jsou lidé nároční při výběru čisticích prostředků. Na trhu jsou vysoce žádané čisticí prostředky, které mají bělící a dezinfekční vlastnosti. Mezi nimi jsou atraktivnější prostředky, které mají pozitivní vliv na lidskou pokožku, uvolňují vůni a dokonce mají léčivé účinky. Syntetické čisticí prostředky (SCP) jsou vysokoúčinné čisticí přípravky obsahující 10 až 40 % povrchově aktivních látek a další přísady, které přispívají ke zvýšení čisticí aktivity prostředku. Podle účelu se SCP dělí do osmi podskupin. Podskupiny se liší procentuálním obsahem povrchově aktivních látek a dalších přísad, stejně jako úrovní alkalinity prostředí, které vytváří: pro úklid ve veřejných prostorách; čisticí prostředky pro potravinářský průmysl a průmyslové čisticí prostředky; čisticí prostředky pro textilní průmysl; čisticí prostředky pro mytí nádobí; čisticí prostředky pro dopravu; čisticí prostředky pro kovy; čisticí prostředky na tkaniny; kosmeticko-hygienické čisticí prostředky [Gorenkova G.A. a kol., 2009; Nevdah K.G., 2016.];

Povrchově aktivní látky (PAL) jsou chemické látky obsažené v mnoha přípravcích domácí chemie, které se používají k mytí nádobí, praní prádla, čištění povrchů domácích předmětů i automobilových interiérů. Pokud tyto látky v čisticích prostředcích chybí, klesá jejich účinnost v odstraňování nečistot, a proto je přítomnost PAL v domácí chemii nezbytná, protože zvyšují efektivitu odstraňování zejména tuků.

S ohledem na ekologické vlastnosti čisticích prostředků je jejich bezpečnost vůči životnímu prostředí rozhodující. Vliv na životní prostředí je charakterizován biodegradabilitou syntetických čisticích prostředků. Kvůli přítomnosti látek v čisticích prostředcích, zejména obsahujících benzenová jádra a fosforové sloučeniny, jsou tyto látky schopny se hromadit ve vodních nádržích, což vede k úhynu živých organismů a komplikuje proces čištění vody.

Hlavní zdroje znečištění vod souvisí s provozovnami služeb pro domácnosti, jako jsou prádelny, které používají syntetické čisticí prostředky. Odpadní vody prádelen, jež jsou vypouštěny do kanalizace, obsahují všechny chemické sloučeniny přítomné v syntetických čisticích prostředcích, stejně jako nečistoty přenášené z povrchu oděvů ve formě částic, např. saze, různá olejová a mastná znečištění a vlákna tkanin. V závislosti na obsahu a typu alkalických solí přítomných v syntetických čisticích prostředcích činí pH odpadních vod prádelny 7 až 10. Odpadní vody z prádelny jsou tedy velmi komplexní,

mají alkalické pH a jsou významně znečištěny organickými látkami, povrchově aktivními látkami a částicemi nečistot.

Důležité je poznamenat, že různé instituce ve sféře služeb, včetně salonů krásy, kadeřnictví, sportovních klubů a veřejných bazénů, mají negativní dopad na vodní ekosystémy. To souvisí s intenzivním používáním čisticích prostředků a prostředků osobní hygieny, které jsou v těchto zařízeních používány. Kromě toho je třeba zohlednit potenciální znečištění způsobené činností obyvatelstva, zejména ve velkých městech a metropolích.

Produkty osobní péče jsou rozděleny do čtyř tříd: vůně, konzervační látky, dezinfekční prostředky a opalovací krémy. [Wang J., Wang S., 2016]. Tyto složky se nachází v kosmetice, parfémech, produktech pro ženskou hygienu, pleťových vodách, šamponech, mýdlech, zubních pastách a opalovacích krémech. Takové produkty se dostávají do životního prostředí po vyloučení z těla uživatele nebo při smytí a mohou se také dostat do půdy či kanalizačního systému při likvidaci odpadů, septiků nebo kanalizačním potrubím. [Downs C. A., 2016].

3.1.4 Farmaceutické látky

Mezi různými zdroji znečištění vod zastupují zvláštní místo farmaceutické podniky, které vyrábí širokou škálu léčivých přípravků. Vliv farmaceutického průmyslu na vodní zdroje se stává stále problematičtějším, protože vyrábí různé chemické sloučeniny, které mohou potenciálně ovlivnit ekosystémy vodních nádrží a kvalitu pitné vody. V tomto ohledu se diskutuje o nutnosti hlubšího zkoumání a posuzování vlivu farmaceutického průmyslu na životní prostředí a potřebě vývoje efektivních strategií pro minimalizaci negativního dopadu na vodní ekosystémy.

V Evropě vstupuje zhruba 80 % farmaceutických reziduí do životního prostředí přes domovní odpadní vody, zatímco 20 % pochází z lékařských zařízení, dle odhadů z roku 2012. [EU project report, 2012]. Lidé uvolňují zbytky farmaceutických přípravků do životního prostředí přímo tím, že nevyužité léky likvidují do septiků, kanalizačních systémů nebo komunálního odpadu. Protože tyto látky se většinou snadno rozpouští a nepřeměňují se při normálních teplotách, často se dostávají do půdy a vodních nádrží.

Ve většině zemí Evropské unie, přibližně 50 %, se nespotřebované humánní léčivé přípravky nesbírají za účelem řádné recyklace. V EU se odhaduje, že je 30–90 % perorálně podaných dávek vyloučeno v moči ve formě účinných látek.

Farmaceutické přípravky nebo léky, které jsou vydávány na předpis i bez předpisu, určené pro lidi i pro zvířata a agro byznys, jsou běžně rozšířené PPCP, které se vyskytují v životním prostředí.[Wang J., Wang S., 2016]. Existuje devět tříd farmaceutických přípravků, které tvoří součást PPCP: hormony, antibiotika, lipidové regulátory, nesteroidní protizánětlivé léky, beta-blokátory, antidepresiva, antikonvulziva, antineoplastické léky a diagnostické kontrastní látky [Shinn H., 2019.] Například výzkum Hernando M., Mezcua M., Fernández-Alba A., Barceló D. odhalil významné koncentrace 28 farmaceutických sloučenin ve stokách čistíren odpadních vod, povrchových vodách a sedimentech. I když většina chemických koncentrací byla zjištěna na nízkých úrovních (nanogramy na litr, ng/l), existují vážné nejistoty ohledně úrovně toxicity a rizik bioakumulace těchto farmaceutických sloučenin [Hernando M.D., a kol., April 2006].

Kromě zjištěných znečištění z lidských léků bylo identifikováno i difúzní znečištění například farmaceutickými přípravky používanými v zemědělství. Studie provedené v Německu, Francii a Skotsku také ukázaly zbytky léčiv před vypouštěním odpadních vod z čistíren do řek [EU project report, 2015].

3.2 Vliv farmaceutických léčiv a přípravků osobní péče na vodní flóru a faunu

3.2.1 Vliv PPCPs na flóru

Mezi různými běžnými znečišťujícími látkami jsou čisticí prostředky a PPCP největším rizikem pro přírodní ekosystémy. Nejrozšířenější jsou ty obsahující fosfáty, jejichž škodlivost je dobře prokázána. Pokud se dostanou do vodních toků, ovlivňují vodní faunu i flóru. Eutrofizace, tvorba pěny, změny povrchového napětí a pH vody, zakalení a snížení biodiverzity jsou důsledky používání čisticích prostředků a PPCP [Sheyla Andrea Ortiz de García a kol., 2014].

Léčivé přípravky a prostředky osobní hygieny obsahující různé chemické sloučeniny pravidelně pronikají do vodních zdrojů prostřednictvím různých cest, včetně odpadních vod a zemědělských ekosystémů. Informace je uvedena v Příloze 6.

V mnoha případech se tyto sloučeniny adsorbují v primárním a sekundárním kalu, ale mohou zůstat i v přečištěné odpadní vodě a šířit se do vod povrchových, podzemních, do sedimentárních usazenin [Christian G. Daughton and Thomas A. Ternes, 1999].

Proto je důležitá výroba moderních čisticích prostředků bez fosfátů a rozvinuté země jim již dlouho dávají přednost.

Podobné znečištění může mít negativní ekologické důsledky, zejména může vést ke změnám ve složení a funkci vodních mikroorganismů a makroorganismů. Akumulace vodních rostlin a řas způsobená zvýšeným obsahem živin může způsobit eutrofizaci vodních nádrží a vyvolat masivní růst vodních rostlin, což negativně ovlivňuje biodiverzitu a ekologickou rovnováhu.

Mnoho složek PPCP mohou být pro rostliny při vysokých koncentracích toxické. Mohou ovlivňovat metabolické procesy rostlin, narušovat absorpci živin a vody, což vede ke zhoršení stavu rostlin.

PPCP mohou ovlivňovat mikroorganismy, které jsou důležité pro zdraví půdy a rostlin. Některé z těchto chemických látek mohou potlačovat užitečné mikroorganismy nebo stimulovat vývoj patogenních mikroorganismů, což může flóru zásadně poškozovat. [Anekwe Jennifer Ebele a kol., March 2017].

Některé PPCP se mohou hromadit v tkáních a orgánech rostlin, což může vést k poklesu kvality produkce a bezpečnosti pro zdraví lidí a zvířat, kteří tyto rostliny konzumují.

Celkově mohou PPCP negativně ovlivňovat flóru prostřednictvím znečištění vody, toxicitou, narušením biologické rovnováhy a akumulací v rostlinách, což zdůrazňuje důležitost kontroly, správy používání a uvolňování těchto chemických látek do životního prostředí.

Výzkum vlivu PPCP na vodní ekosystémy má za cíl stanovení úrovně znečištění, identifikaci klíčových chemických sloučenin, které mohou mít největší vliv na vodní ekosystémy, hodnocení rizik a určení strategií řízení těchto rizik. Výsledky těchto studií mohou sloužit jako základ pro vytvoření účinných opatření a politik regulace s cílem zachovat a obnovit stav vodních ekosystémů a zajištění stability a ekologické bezpečnosti vodních zdrojů.

Farmaka jsou určena k příznivému účinku na lidi nebo zvířata a představují jakýkoli chemický produkt s biologicky aktivní sloučeninou. Farmaceutické přípravky, které vznikají lidskou činností, se dostávají do vodního prostředí především prostřednictvím odpadních vod a negativně ovlivňují flóru a faunu. Tyto látky se mohou hromadit v tkáních a narušovat životní funkce rostlin, jako je fotosyntéza, dýchání a růst, což nakonec může vést k bioakumulaci v potravních řetězcích a k dalšímu přenosu těchto toxických látek na vyšší organismy. Některé farmaceutické přípravky mohou ovlivňovat i procesy ve vodních rostlinách jako regulace růstu a vývoje, fungování genů a metabolická výměna. [M. Hejna a kol., July 2022].

Důležité je včasné identifikování a prozkoumání potenciálních problémů s kontaminací životního prostředí, aby se situace nestala kritickou. Tímto způsobem je možné zachovat uspokojivý ekologický stav přírodních vodních ploch.

3.2.2 Vliv PPCPs na faunu

Znečištění vody představuje zvláštní problém pro vodní faunu, protože vodní organismy jsou v procesu nepřetržitého životního cyklu, který ovlivňuje několik generací. Možnost trvalého, avšak nepozorovaného nebo nepoznaného vlivu na vodní organismy vyvolává zvláštní obavy, protože účinky se mohou hromadit tak pomalu, že vážné změny zůstanou nepovšimnuty, dokud kumulativní úroveň těchto účinků nakonec nevyústí v nevratné změny, které by jinak mohly být přisouzeny přirozené adaptaci nebo ekologické dědičnosti.

Je třeba poznamenat, že některé látky se mohou v tkáních organismů vodní fauny hromadit v průběhu delšího časového období. Tento proces vede k bioakumulaci, kdy se koncentrace látky zvyšuje s rostoucí úrovní potravního řetězce. To může vést k toxickým účinkům i při nízkých koncentracích ve vodě. [Alistair B.A. a kol., 2012]

Aktivní složky PPCP mohou být toxické pro vodní organismy, což může vést k poruchám dýchání, trávení, růstu, reprodukce a i k úmrtí vodních živočichů. Farmaceutické přípravky mohou ovlivňovat chování a vývoj vodních organismů, včetně jejich schopnosti hledat potravu, plavat, bránit se a migrovat. Tyto změny mohou vést ke snížení přežití a biodiverzity druhů. [Alistair B.A. a kol., 2012]

Rizika spojená s únikem farmaceutických přípravků a osobních hygienických prostředků do životního prostředí jsou způsobena nejen jejich akutní ekotoxicitou, ale také jejich genotoxickým účinkem, vývojem rezistence patogenů a endokrinními poruchami zasažených organismů. [Sheyla Andrea Ortiz de García a kol., 2014].

Jedním z potenciálních důsledků působení farmaceutických přípravků na vodní faunu je možnost vzniku hermafroditismu u ryb i dalších vodních organismů. Pod vlivem určitých farmaceutických přípravků, jako jsou hormonální tablety obsahující estrogeny nebo androgeny, mohou být pozorovány změny v pohlavním systému ryb ve vodním prostředí. To může vést k tomu, že se ryby stávají hermafrodity nebo prožívají jiné formy poruch pohlavního vývoje. [Jobling, S. a kol., 2003]

Hermafroditismus u ryb může mít vážné důsledky pro populace a ekosystémy jako celek. Například to může vést ke snížení plodnosti a přežití potomstva, což nakonec může vést ke snížení početnosti rybí populace. Navíc hermafroditismus u ryb může vést

ke zhoršení kvality jejich genetického materiálu, což dále může ovlivnit zdraví celého ekosystému. [Kidd, K. A. a kol., 2007].

To je jedním z hlavních důvodů, proč je ohledně vlivu farmaceutických přípravků na vodní faunu potřeba provádět další výzkumy, stejně jako vypracovávat opatření ke snížení jejich negativních dopadů.

Negativní vliv PPCP na vodní organismy může vést k nerovnováze ve vodních ekosystémech, což nakonec může ovlivnit všechny úrovně biodiverzity.

3.2.3 Hodnocení rizik a důsledků vlivu PPCPs na vodní prostředí

Používání PPCP může přispět k vytvoření rezistence vodních organismů vůči určitým chemickým látkám, což zvyšuje potřebu kontroly znečištění.

Prvním krokem je identifikace chemických látek obsažených v PPCP a jejich potenciálně nebezpečných vlastností pro vodní prostředí a vodní organismy. To zahrnuje analýzu toxikologických dat a literární přehled vlivu konkrétních látek na faunu a ekosystémy.

Dalším důležitým kritériem je posouzení expozice PPCP pro vodní organismy, včetně hodnocení koncentrací ve vodním prostředí, citlivosti vodních organismů na tyto látky, četnosti a doby trvání expozice.

Následuje hodnocení rizika, které určuje pravděpodobnost vzniku negativních účinků na vodní organismy a ekosystémy. Výsledky hodnocení rizika mohou zahrnovat posouzení úrovní rizika pro konkrétní látky a celkové riziko pro celý komplex PPCP.

Na základě výsledků hodnocení rizika se určují způsoby řízení a snižování rizik spojených s působením PPCP na vodní prostředí. To může zahrnovat vytváření doporučení a strategií pro minimalizaci uvolňování těchto látek do životního prostředí a zlepšení metod čištění odpadních vod a nakládání s odpady. Informace je uvedena v Příloze 7.

Nedílnou součástí je monitorování ke sledování koncentrací PPCP ve vodním prostředí a hodnocení účinnosti přijatých opatření pro řízení rizik. V případě potřeby se provádí aktualizace hodnocení rizik na základě nových dat a změn v expozici a zranitelnosti vodního prostředí. [Sebastian Birk a kol., 2012], [Klaus Kümmerer (Ed), 2008].

Vodní flora vykazuje vysokou citlivost a rychlost reakce na změny chemického složení vody, což ji činí cenným indikátorem celkového znečištění vodních systémů. Mikroorganismy, jako jsou vodní řasy a rostliny, mají jedinečné mechanismy interakce s

různými chemickými látkami přítomnými ve vodě. Jejich reakce na změny v chemickém složení vody mohou být využity k posouzení kvality a úrovně znečištění vodního prostředí. Tyto mikroorganismy jsou důležitými biologickými indikátory, jež umožňují hodnotit stav vodních ekosystémů a určovat účinná opatření k jejich ochraně a obnově.

Mezi nejběžnější metody patří analýza biotoxicity pomocí fotobakterií, jednobuněčných řas a vodních rostlin.

Například biozkouška inhibice s mořskými fotobakteriemi Vibrio fischeri se ukázala jako užitečný způsob hodnocení akutní ekotoxicity mnoha chemických látek. Biozkouška s těmito fotobakteriemi umožňuje posoudit akutní ekotoxicitu různých chemických látek, včetně PPCP. Například biozkouška měření inhibice fluorescence u mořských Vibrio fischeri již prokázala svou účinnost při detekci akutních účinků mnoha chemických látek. [A. Białk-Bielińska a kol., 2022].

Další oblíbenou metodou k určení toxicit různých látek je použití jednobuněčných řas, jako jsou rody Pseudokirchneriella nebo Chlorella. Řasy jsou citlivé na změny v chemickém složení vody a mohou být použity k posouzení akutní i chronické ekotoxicity PPCP.

Třetí metodou je využití vodních rostlin rodu Lemna nebo Myriophyllum v biotestech k posouzení toxicity. Tyto rostliny mohou reagovat na přítomnost toxických látek ve vodě změnou svého růstu, fyziologie a dalších parametrů, což je činí užitečnými indikátory pro odhalení potenciálních negativních dopadů PPCP na vodní ekosystémy.

Pokud jsou tyto hodnoty ekotoxicity neznámé, existuje metoda „Kvantitativní vztah struktura–aktivita“ ((Q)SAR) jako alternativní přístup k posouzení osudu a negativního vlivu těchto látek na životní prostředí. Metoda (Q)SAR bere v úvahu fyzikálně-chemické vlastnosti a molekulární strukturu sloučenin k posouzení jejich biodegradace, biologické ekotoxicity, mutagenity a karcinogenity mezi dalšími vedlejšími účinky. [Sheyla Andrea Ortiz de García a kol., 2014].

Využití těchto různorodých metod hodnocení biotoxicity je levný a pohodlný způsob detekce potenciálních negativních dopadů PPCP na životní prostředí a zajištění ekologické bezpečnosti vodních zdrojů.

3.2.4 Vliv PPCPs na kvalitu pitné vody

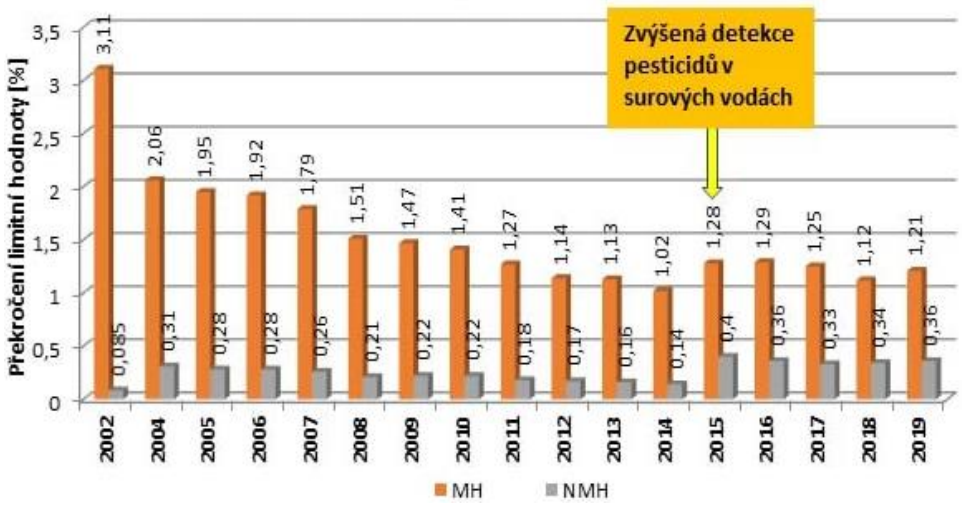
Kvalita vody je soubor fyzikálních, chemických, biologických a bakteriologických ukazatelů, které určují vhodnost vody k použití v průmyslové výrobě i v domácnosti. Projevuje se změnou jejích fyzikálních vlastností (průhlednost, zápach,

chuť) a chemického složení (kyselost, množství organických a minerálních nečistot, obsah jedovatých látek apod.), snížením obsahu kyslíku ve vodě, změnou množství a druhového složení mikroorganismů či nárůstem choroboplodných bakterií. Znečištění přírodních vod může vést k tomu, že se stávají nevhodnými k pití, koupání a někdy mohou být nevhodné i pro technické účely. Obvykle je silně znečištěná voda nevhodná i pro použití v průmyslu, protože narušuje normální průběh technologického procesu a může snižovat kvalitu vyráběných produktů. [Malymon S.S., 2009]. Informace je uvedena v Příloze 8, 9.

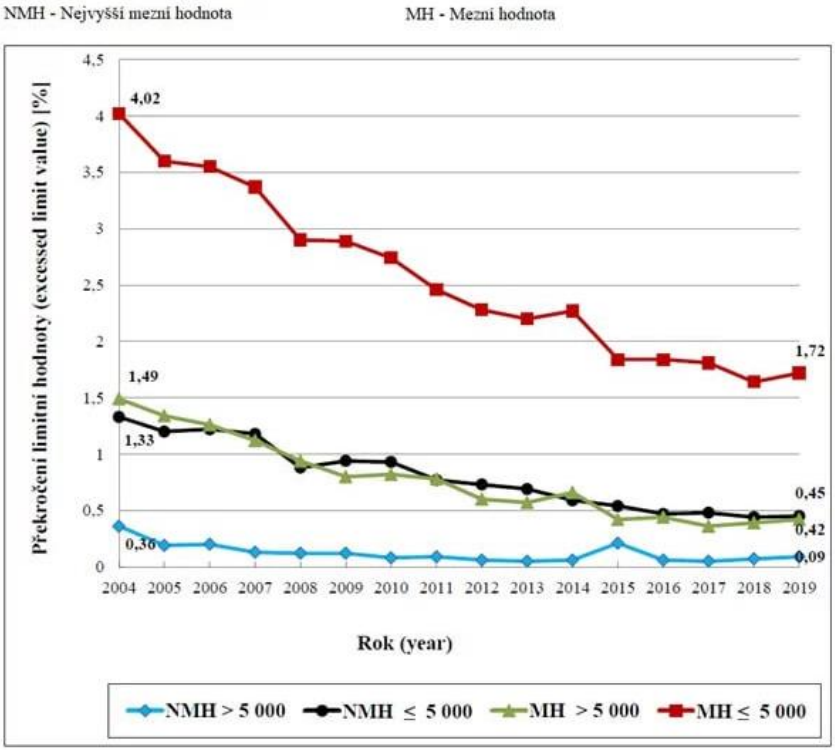
Zbytky farmaceutických přípravků, chemikálie používané v zemědělství a osobní hygienické prostředky představují vážné ohrožení kvality pitné vody, protože se dostávají do řek a vodních nádrží – klíčových zdrojů pitné vody. Navzdory procesům filtrace, kterými voda prochází, než se stane vhodnou k použití, ne všechny zařízení pro úpravy vody jsou schopny zajistit efektivní a úplnou úpravu. Kromě toho uvedené chemické znečišťující látky mohou pronikat do podzemních vodních zdrojů, které také slouží k zásobování obyvatelstva pitnou vodou.. Proto představuje přítomnost různých chemických látek v pitné vodě v různých koncentracích vážný problém pro zdraví populace a ekologickou stabilitu vodních ekosystémů.

Je důležité zdůraznit, že dlouhodobý vliv pesticidů přes konzumaci vody může v lidském těle snižovat imunitu, narušovat hormonální rovnováhu, způsobovat problémy spojené s reprodukčním systémem, vytvářet karcinogenní účinky a snižovat intelekt, zejména u dětí v období jejich vývoje těla. [Yadav I.C. a kol., 2015].

Výsledky monitorování kvality pitné vody v České republice podle údajů oddělení vodohospodářských služeb komunálního podniku TEPVOS, který je členem asociace vodárenských a kanalizačních systémů České republiky (SOVAK ČR), jsou zobrazeny na obrázcích 3.1 a 3.2.



Obr. 3.1. Podíl vzorků s překročením limitních hodnot jakosti pitné vody v letech 2002–2019



Obr. 3.2. Jakost pitné vody v monitorovaných oblastech rozdělených podle počtu zásobovaných osob. Rok 2004–2019

Každoročně TEPVOS uchovává více než 1 milion ukazatelů kvality pitné vody. Z této hodnoty překračuje méně než 1,6 % maximálních hodnot parametrů stanovených

nařízením pro pitnou vodu, což je velmi dobrý výsledek. To svědčí o tom, že systém dodávek vody má efektivní metody čištění a kontroly kvality, což umožňuje poskytovat bezpečnou a čistou pitnou vodu pro spotřebitele v České republice. Takový výsledek je důležitý pro zajištění veřejného zdraví populace.

Nicméně ne všechny evropské země mají takto pozitivní výsledky. Například ve všech oblastech Ukrajiny neodpovídá kvalita pitné vody mezinárodním standardům. Proto toto téma vyžaduje další výzkumy s cílem zajistit bezpečnost a kvalitu pitné vody zaměřené na identifikaci, monitorování a snižování vlivu farmaceutických a chemických látek na vodní zdroje. Dále je důležité vyvíjet a zdokonalovat technologie čištění vody, které umožní efektivně odstranit znečištění farmaky a dalšími chemickými látkami a zajistit obyvatelstvu kvalitní a bezpečnou pitnou vodu.

3.3 Analýza stávajících předpisů a legislativy

Ochrana vodních zdrojů je soubor opatření směřujících k zajištění souladu jakosti a množství povrchových a podzemních vod s požadavky legislativy České republiky a Evropské unie.

Pro sledování kvality vody určené k veřejnému použití v zemích Evropské unie byly vyvinuty přísné kontrolní ukazatele. Mezi tyto ukazatele patří mikrobiologické parametry, chemické složení, přítomnost vedlejších chemických látek a další důležité aspekty. Kritéria kvality vody pro společnost jsou stanovena legislativou, směrnicemi a nařízeními, jež stanoví minimální standardy a požadavky na využívání vody. Tato opatření jsou zaměřena na zajištění bezpečnosti a zdraví obyvatel a také na podporu ochrany ekologické udržitelnosti vodních soustav. Normy kvality vody jsou přísně sledovány a pravidelně aktualizovány v souladu s novým vědeckým a technologickým pokrokem a také s měnícími se potřebami společnosti.

Legislativa upravující ochranu vod a jejich využívání zahrnuje zákon č. 254/2001 Sb., o vodě a o změně některých zákonů (vodní zákon). Konkrétní aspekty a ustanovení upravují podle tohoto zákona nařízení a rozhodnutí vlády. Vodní zákon působí jako klíčový legislativní akt v oblasti vodního hospodářství, který odpovídá moderním evropským vodohospodářským strategiím a reflektuje požadavky udržitelného a racionálního využívání vodních zdrojů ve 21. století. [Ministerstvo životního prostředí, 2023]

Jedním z hlavních právních předpisů je Směrnice č. 98/83/ES Evropského parlamentu a Rady EU ze dne 3. listopadu 1998 o jakosti vody určené k lidské spotřebě.

Tento legislativní nástroj stanoví minimální požadavky na jakost pitné vody na celém území Evropské unie za účelem ochrany zdraví obyvatel. Informace je uvedena v Příloze 10.

3.4 Metody a způsoby znečišťování vodního prostředí s pomoci léčivy a přípravky osobní hygieny

Znečištění vody je změna přirozeného složení vody tím, že se do ní vnáší nadměrné množství látek, které mohou poškodit zdraví člověka, zvířat anebo celý ekosystém. Znečišťující látky pochází z biologických, chemických nebo fyzikálních procesů. Ačkoli přírodní procesy, jako jsou sopečné erupce nebo vypařování, mohou někdy způsobit znečištění vody, většina znečištění pochází z lidských činností.

Ve vodním prostředí můžeme detekovat řadu látek, které se používají pro kauzální nebo profylaktické účely léčby v medicíně i ve veterinární medicíně. Tyto látky se dostávají do vody po terapii, kdy jsou vylučovány z těla, a přes čistírny, jejichž metody odstranění nejsou 100% účinné, se dostávají do povrchových vod. Nespotřebované léky mohou skončit i na skládkách, kde mohou kontaminovat povrchové a podzemní vody. Dalším zdrojem znečištění životního prostředí může být hnůj od hospodářských zvířat pro hnojení zemědělských půd, který může být zdrojem zbytků léčiv a jejich metabolitů.

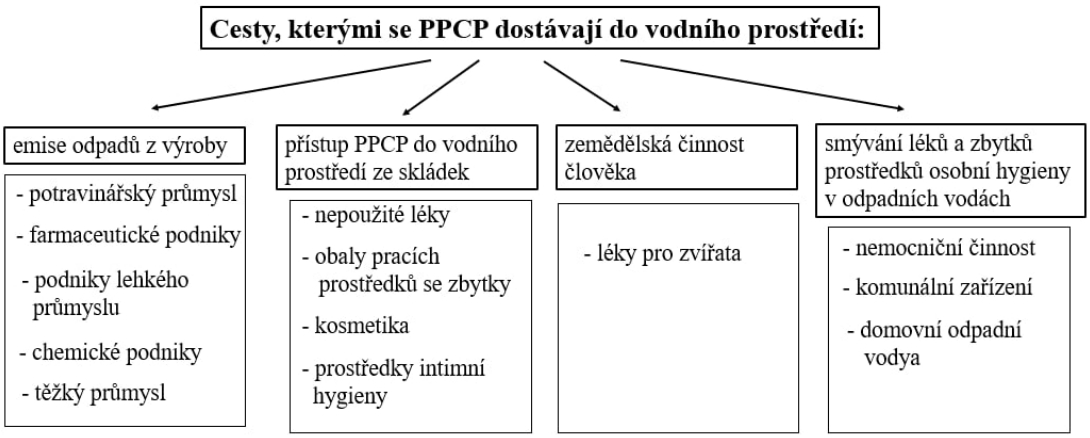
V části 3.1 již byly uvedeny obecné informace o způsobech, kterými se různé znečišťující látky (produkty lidské činnosti) dostávají do vodního prostředí. Proto lze hlavní metody a způsoby vstupu PPCP do vodního prostředí seskupit a klasifikovat následovně:

- přímé vypouštění odpadů z různých průmyslových odvětví do vodních systémů a nádrží;
- vstup PPCP do vodního prostředí ze skládek;
- jako výsledek zemědělské činnosti;
- v důsledku smytí zbytků prostředků osobní hygieny a jejich výskyt i v přečistěných v odpadních vodách.

Způsoby, jakými se PPCP dostávají do vodního prostředí:

- emise odpadů z průmyslu (potravinářský průmysl, farmaceutické společnosti, lehký průmysl, chemické podniky, těžký průmysl);

- PPCP se dostávají do vodního prostředí ze skládek (nevyužité léky, obaly mycích prostředků s jejich zbytky, kosmetické přípravky, hygienické prostředky atd.);
- zemědělská činnost člověka (léky pro zvířata);
- splachování léků a zbytků prostředků osobní hygieny do odpadních vod (lékařská zařízení, městské instituce, domácí odpadní vody).



Obrázek 3.2. Schéma cest, kterými se PPCP dostávají do vodního prostředí

Údaje o koncentraci pesticidů v podzemních vodách (látky s přebytkem na dvou a více místech) v roce 2021 jsou uvedeny v Příloze 11.

3.5 Klasifikace léčivých přípravků a výrobků osobní péče

3.5.1 Úrovně klasifikace PPCPs

Existuje řada metod klasifikace PPCP. Léčivé přípravky lze klasifikovat podle jejich farmakologického a terapeutického účinku a také podle jejich účinku na organismus. Různé léčivé přípravky mohou mít různé účinky a vyvolávat odlišné reakce. Mnoho z nich může mít různé mechanismy účinku, ale přesto mohou vykazovat podobné účinky, a proto mohou být zařazeny do stejné skupiny.

Nejčastěji používaným systémem klasifikace léků je systém ATC [Schwabe 1995]. Systém ATC klasifikuje léky na pěti různých úrovních v závislosti na orgánu nebo systému, na který působí, terapeutických vlastnostech a chemických i farmakologických vlastnostech. [P. Imming a kol., (2004)].

Účinek PPCP na organismy probíhá interakcí s makromolekulárními strukturami nebo změnou fyzikálních a chemických vlastností organismu [Classification of drug actions, 2024, https://www.vedantu.com/jee-main/chemistry-classification-of-drugs].

Produkty osobní péče jsou rozděleny do čtyř tříd: vůně, konzervační látky, dezinfekční prostředky a opalovací krémy. Všechny tyto látky ovlivňují i funkční vlastnosti živých organismů. Proto lze podle účinku na organismus rozlišovat tyto skupiny PPCP: hormonální léky, antibiotika, nesteroidní antirevmatika, antiseptika, antidepresiva, psychoaktivní látky, beta-blokátory, regulátory lipidů a další. [P. Imming a kol., 2004; Maria Włodarczyk-Makuła, 2024].

Hormony mohou narušit strukturu a funkce příslušných endokrinních žláz. Antibiotika působí toxicky na játra, narušují komplexní systém střevní mikroflóry, a tím způsobují rezistenci patogenní flóry. Protizánětlivé léky oslabují imunitu, negativně ovlivňují gastrointestinální trakt i srdeční činnost. Antiseptika mohou dráždit pokožku, ovlivnit plodnost a reprodukční funkce lidského těla a mohou negativně působit na hormonální systém. Antidepresiva mohou narušit funkci gastrointestinálního traktu, způsobit poruchy spánku a sexuální dysfunkci.

Psychoaktivní látky způsobují poškození buněčných membrán, narušení redoxních reakcí, snížení rychlosti syntézy bílkovin, změny ve výměně neurotransmiterů i narušení mechanismů regulace tělesných funkcí. Beta-blokátory mohou narušit činnost srdce, dýchacího systému, činnost gastrointestinálního traktu, normální činnost centrálního nervového systému a mohou vyvolávat alergické reakce. [Saunders W., 2001; Lechat P. 1998].

Aromatizátory a konzervanty mohou způsobovat ospalost, bolest hlavy, celkovou slabost a mohou být příčinou onemocnění ledvin a jater. Některé látky dokonce mohou vyvolat vznik maligních nádorů.

PPCP lze rozdělit do tří následujících skupin. Mutageny jsou látky, které ovlivňují genetický materiál organismů, způsobují mutace a mohou vést k nepředvídatelným změnám v genofondu. Mutace jsou trvalé změny genetického materiálu, které se dědí a předávají se dalším generacím. Karcinogeny jsou určité faktory, jež zvyšují pravděpodobnost vzniku maligních nádorů u člověka. Rychlost vývoje patologického procesu závisí na zdravotním stavu jedinců a délce působení účinné látky. Karcinogenní látky mohou vznikat v lidském těle nebo do něj pronikat z vnějšího prostředí. Teratogeny jsou faktory, které narušují vývoj embrya, vedou ke vzniku vrozených vad, spontánnímu potratu nebo ke zpoždění fyzického a duševního vývoje u dětí.

V posledních letech spotřeba PPCP roste a v některých případech se blíží až ke hranici jejich nadměrnému užívání.

3.5.2 Stanovení pěti nejnebezpečnějších látek ze skupiny léčiv a přípravků osobní péče pro vodní biocenózu

Medicína byla pro lidi vždy velmi důležitým oborem, ale její význam bude v budoucnu jen narůstat. Již dnes zaznamenáváme prodlužování délky života, což znamená vyšší péči o lidské zdraví. Moderní medicína a farmaceutický průmysl jsou odvětví, která se dnes velmi rychle rozvíjí. Potřeby pacientů jsou stále náročnější. Medicína již dnes umožňuje velmi podrobnou a přesnou diagnostiku zdravotního stavu pacienta, schopnost předvídat genetická onemocnění budoucích generací a je dokonce schopna vyvinout individualizované terapeutické prostředky. Proto je vývoj a používání léků, potravinářských přídatných látek, kosmetiky a výrobků osobní hygieny – všeho, co zlepšuje životní úroveň – významnou potřebou současného lidstva.

Více než polovina zjištěných PPCP v povrchových vodách připadá na antibiotika [Yang et al., 2017]. Nezávisle na tom, kde byla měření provedena, byla antibiotika nalezena všude. [Yang Yi a kol., 2017].

Z výše uvedeného důvodu jsou antibiotika nejnebezpečnějšími látkami pro vodní biocenózu. Jejich zdrojem ve vodním prostředí je moč a výkaly lidí i zvířat, kterým byly aplikovány v rámci terapie. Mohou být vylučovány z těla nezměněné i ve formě metabolitů. Používání antimikrobiálních látek v posledních letech narůstá, což vede ke zvýšení zátěže životního prostředí. Některá antibiotika se aplikují rybám na rybích farmách přímo do vody jako součást krmných směsí.

Pokud se antibiotika dostanou do vodního prostředí, mohou způsobit závažné změny ve složení a fungování mikroorganismů. To je zvláště charakteristické pro jejich schopnost ovlivnit určité procesy metabolismu v mikroorganismech nebo působit na jejich enzymy, což může vést k úhynu určitých skupin mikroorganismů, a to může způsobit ztrátu biodiverzity a změny ve fungování ekosystémů. Tento efekt může mít negativní dopad především na fytoplankton, který je hlavním zdrojem potravy pro mnoho vodních organismů. Informace je uvedena v Příloze 12.

Dále mohou mikroorganismy pod vlivem antibiotik mutovat, což přispívá ke vzniku rezistentních kmenů mikroorganismů. V důsledku genetických mutací může dojít ke změně metabolických procesů v mikroorganismech tak, že chemické reakce blokované antibiotiky již nejsou klíčové pro životaschopnost organismu. Toto může vést až ke vzniku

patogenních kmenů mikroorganismů, které jsou odolné vůči antibiotikům. Přestože je bakteriální rezistence dědičnou vlastností, nemůže zaručit přežití při tak vysokých koncentracích antibiotik, jaké se nacházejí v odpadních vodách nemocnic nebo ve vodním prostředí. [Ohlsen, K. a kol., 2003].

Byly identifikovány půdní bakterie, které jsou schopné růst na antibiotikách jako jediném zdroji uhlíku. Tyto bakterie byly pozoruhodně fylogeneticky rozmanité. [Dantas, G. a kol., 2008].

Je důležité zabránit selekci rezistentních kmenů, proto by mělo uvážlivé používání antibiotik a dezinfekčních prostředků výrazně snížit riziko vzniku rezistentních kmenů mikroorganismů [Klaus Kümmerer 2009].

Jak bylo uvedeno výše, antibiotika mohou ovlivnit interakci mezi různými organismy v biocenóze, což může mít další důsledky pro stabilitu a fungování ekosystémů. Takové změny mohou mít širokou škálu ekologických důsledků a mohou potenciálně ovlivnit lidské zdraví i další organismy, které jsou na těchto ekosystémech závislé.

Koncentrace antibiotik ve vodě a v sedimentu z velké části závisí na vlastnostech konkrétní látky a v menší míře na fyzikálně-chemických parametrech vody. Například sulfonamidy se nachází ve vodním sloupci, zatímco tetracykliny se hromadí v sedimentu. Antibiotika jsou především absorbována vodními mikroorganismy, které jsou producenty. Mezi ně patří bakterie, sinice, archea, řasy, jež se nachází ve vodním sloupci i v sedimentu.

Hormonální léky mohou být extrémně nebezpečné. Hormony jsou biologicky aktivní látky, které ve velmi nízkých koncentracích mohou mít silný regulační účinek na metabolismus organismů. Široké používání hormonálních antikoncepčních prostředků vede k hromadění těchto látek ve vodním prostředí a nepříznivě ovlivňuje vodní faunu. Například steroidní estrogeny, jež pochází především z lidských výměšků, hrají důležitou roli a způsobují rozsáhlé endokrinní poruchy ve volně žijících populacích plotice (Rutilus rutilus) v řekách, které jsou znečištěny odpadními vodami. Výzkumy ukazují zjevné endokrinní poruchy plotic v důsledku předpokládaného vystavení steroidním estrogenům z lidské produkce [Susan Jobling, 2006].

Mnoho studií ukazuje, že steroidní estrogeny hrají důležitou roli v intersexualitě u volně žijících sladkovodních ryb a prokazují, že závažnost těchto narušujících účinků lze předvídat [Susan Jobling, 2006].

Hormony štítné žlázy jsou také součástí regulátorových molekul, které řídí složité biologické procesy, nezbytné pro růst a reprodukci v proměnlivých podmínkách prostředí tím, že spouští specifické vývojové procesy jako odpověď na vnější signály.

Thyreoidální hormony plní různé role u různých druhů: způsobují metamorfózu u obojživelníků nebo kostnatých ryb, regulují metabolické procesy u savců a působí jako efektory sezónnosti. Hormony štítné žlázy se podílí na regulaci metabolických procesů jednoho organismu i na chemické interakci mezi organismy různých systematických skupin. Ve vodním prostředí se šíří v rámci potravních řetězců a mohou ovlivňovat procesy vývoje a životní strategii organismů, včetně ryb. Thyreoidální status ovlivňuje vývoj a stav morfologických znaků hydrobiontů [Jann Zwahlen, 2024].

Narkotické látky rostlinného či syntetického původu (opiáty, antidepresiva, stimulanty, halucinogeny a další), které jsou aktivně používány v lékařských zařízeních, jsou schopny vyvolat změny duševního stavu u člověka i zvířat a při systematickém užívání způsobují závislost. Ovlivňují nervová centra mozku, mohou měnit náladu a způsobovat například nadměrnou ospalost. Mají sedativní nebo stimulační účinek a v některých případech způsobují i poruchy vědomí.

Vstupem do vodního prostředí mohou omamné látky způsobit změny v reflexní činnosti mikroorganismů a potlačovat jejich pohyblivost. Paracetamol inhibuje genovou expresi a může inhibovat vnímání signálů z okolního prostředí. Analgetika tak mohou mít na mikroorganismy podobný účinek jako antibiotika [Noura M. Seleem and col., 2021].

Povrchově aktivní látky (PAL) jsou chemické látky, které snižují povrchové napětí kapalin a usnadňují rozlévání, včetně snižování povrchového napětí na rozhraní dvou kapalin. Tyto látky usnadňují odstraňování mastných nečistot, a proto jsou aktivně využívány v čisticích prostředcích, pracích práškách, prostředcích osobní hygieny a v kosmetice.

Podle toho, jaký surovinový zdroj je při výrobě použit, se tyto látky dělí na přírodní (syntetizované z kukuřice, kokosového oleje a dalších rostlinných surovin); nerostné (zdroje jsou ropa a zemní plyn); syntetické (vytvořeny v laboratorních podmínkách) [Zdroj: https://www.systopt.com.ua/article-shho-take-par].

Existuje skupina povrchově aktivních látek biologického původu, které vznikají v živých organismech a účastní se různých funkcí buňky a celého organismu. Tyto endogenní biologické PAL zahrnují plicní surfaktanty, lipidy, fosfolipidy, mastné kyseliny a jejich soli, další biologicky aktivní látky, např. steroidní hormony, cerebrozidy, kardiolipiny atd. [Jean-Louis Salager, 2002].

Podle způsobu účinků se rozlišují dvě velké skupiny PAL: iontové (dále klasifikovány jako aniontové, kationtové a amfoterní) a neiontové (nevytváří ionty). Do skupiny iontových PAL nejčastěji patří sulfáty a fosfáty. Například sodný laurylsulfát (SLS) je vedlejším produktem rafinace ropy, který se používá k odmašťování motorů u průmyslového čištění. Amonný laurylsulfát (ALS) je sodná sůl laurylsulfokyseliny. Tyto nebezpečné a korozivní chemikálie agresivně působí na kůži, vnitřní orgány, způsobují ztrátu vlasů, poruchy zraku a oslabení imunity. Pokud se sulfáty dostanou do vodního prostředí, projevují toxický účinek na organismy a ovlivňují pH vody [P. Somasundaran and Lei Zhan 2001].

Hlavními antropogenními zdroji povrchově aktivních látek vstupujících do povrchových vod jsou nečištěné nebo částečně vyčištěné odpadní vody, splachy ze zemědělských půd a průmyslové odpady. Fosforečnany, jež vstupují do přírodních vodních nádrží spolu s odpadními vodami, jsou aktivně spotřebovávány bakteriemi, řasami a vodními rostlinami, což lze označit jako eutrofizaci a všechny z toho vyplývající negativní důsledky. Řasy stoupají k hladině nádrže a vytváří hustou vrstvu o tloušťce 10–15 cm. Postupem času tato hmota začne odumírat a rozkládat se za vzniku toxických látek. Rychle klesá obsah kyslíku ve vodě, aktivují se anaerobní procesy. Nedostatek kyslíku brzdí procesy samočištění a mineralizace organických látek a tento stav způsobuje hromadný úhyn ryb.

Přítomnost síranů a fosfátů ve složení povrchově aktivních látek (PAL) zvyšuje jejich toxické vlastnosti, proto je třeba pečlivě zvažovat obsah těchto látek při výběru čisticích prostředků.

Většina z nás spojuje čistotu a dezinfekci s bezpečností. Neutralizace bakterií však není vždy zárukou bezpečnosti pro zdraví. Antiseptika a dezinfekční prostředky jsou široce používány v nemocnicích a dalších zdravotnických zařízeních pro různé topické aplikace a ošetření tvrdých povrchů. Tyto přípravky obsahují širokou škálu aktivních chemikálií (biocidů), z nichž mnohé se používají již stovky let, včetně alkoholů, fenolů, jódu a chlóru. Většina těchto aktivních látek vykazuje antimikrobiální aktivitu širokého spektra. „Biocid“ je obecný termín, který popisuje chemickou látku (obvykle širokospektrálního účinku), která inaktivuje mikroorganismy, potlačuje jejich růst nebo cílový organismus zabíjí (například sporocidní, virucidní a baktericidní) [E. V. Loginová, P. S. Lopukh, 2012.; Gerald Mcdonnell, A. Denver Russell 1999].

V současné době zůstává chlorace nejběžnějším způsobem dezinfekce vody na odběrných stanicích. Mezi chloridovými sloučeninami je nejčastěji používán kapalný

chlor, s ohledem na jeho určité hygienické a technické výhody. Dále je možné použití chloridu vápenatého či sodného, chloraminů a podobných látek. Pro použití v praxi hospodářského a pitného zásobování vodou jsou povoleny pouze chloridové sloučeniny, které prošly hygienickou zkouškou a získaly pozitivní posudek státní hygienicko-epidemiologické expertízy. Sloučeniny chloru se však zjevně dostávají do vodního prostředí a mají škodlivý vliv na vodní mikroorganismy. Informace je uvedena v Příloze 13.

Jedním z nejsilnějších karcinogenů obsažených v antiseptikách je formaldehyd. Národní ústav pro zdraví ve Spojených státech amerických dlouhodobě zařadil formaldehyd mezi nejnebezpečnější látky. Jeho vypařování a následné vdechnutí může způsobit otoky dýchacích cest, hypertenzi i podráždění kůže. Formaldehyd je toxický pro vodní organismy a má teratogenní účinky – narušuje embryonální vývoj s následným vznikem vad a anomálií.

Dle výše uvedeného jsou mezi PPCP pro vodní biocenózu nejnebezpečnější antibiotika, hormony, omamné látky, povrchově aktivní látky a antiseptika. Všechny ovlivňují biodiverzitu flóry a fauny, mění přirozenou rovnováhu vodních biocenóz, přenáší se potravními řetězci, způsobují mutace a jsou příčinou mnoha patologií.

3.6 Možné metody snížení dopadu PPCP na vodní ekosystémy

3.6.1 Regulace vyhazování odpadů z farmaceutických podniků (co, kde, v jakém množství) podle právních předpisů

V současné době jsou v České republice a dalších zemích Evropské unie vypracovány a implementovány zákony a předpisy, které určují přípustné úrovně koncentrací látek, jež jsou znečišťujícími látkami a tvoří emise z farmaceutických, chemických, potravinářských a jiných podniků vyrábějících PPCP. Tyto normy jsou stanoveny v souladu s celoevropskými normami a vychází z principů ochrany životního prostředí a lidského zdraví.

Tento regulační přístup umožňuje kontrolu kvality a množství emisí z těchto podniků, jejichž dodržování je přísně regulováno zákonem. Zákony a předpisy tak hrají klíčovou roli při zajišťování souladu s normami environmentální bezpečnosti a pomáhají minimalizovat negativní dopad průmyslu na životní prostředí.

Hlavním zákonem, který reguluje systém likvidace odpadů farmaceutických podniků, je zákon č. 541/2020 Sb., zákon o odpadech. Cílem tohoto zákona je zajistit

vysokou úroveň ochrany životního prostředí a lidského zdraví a udržitelné využívání přírodních zdrojů prostřednictvím prevence vzniku odpadů a jejich řízení v souladu s hierarchií nakládání s odpady s ohledem na současnou sociální dostupnost a ekonomickou přijatelnost [Zákon o odpadech, 2020].

Byla vypracována doporučení pro nakládání s odpady vznikajícími ve zdravotnických a podobných institucích. Právnická nebo fyzická osoba (podnikatel), která je zdrojem zdravotnických odpadů, je povinna zpracovat pro zdravotnické zařízení, ve kterém zdravotnický odpad vzniká, pokyny pro nakládání s těmito odpady (§ 89 odst. 1 zákona o odpadech). Tato pravidla se stávají součástí provozního řádu provozovny (§ 2, § 15, zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých příslušných zákonů, ve znění pozdějších předpisů).

V souladu s § 7 zákona č. 541/2020 Sb., o odpadech, je odpad nebezpečný, pokud:

a) má alespoň jednu z nebezpečných vlastností uvedených v příloze přímo použitelných předpisů Evropské unie o nebezpečných vlastnostech odpadů (Nařízení Komise (EU) č. 1357/2014 ze dne 18. prosince 2014, kterým se nahrazuje příloha III směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpadech a o zrušení některých směrnic. Nařízení Rady (EU) 2017/997 ze dne 8. června 2017, kterým se mění příloha III směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES, pokud jde o nebezpečnou vlastnost HP 14 „ekotoxický“.),

b) je zařazen jako druh odpadu zařazený do kategorie nebezpečný odpad v Katalogu odpadů (vyhláška č. 8/2021 Sb., o katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů),

c) smíchaný nebo kontaminovaný jakýmkoliv odpadem uvedeným v písmenu b).

Nebezpečná vlastnost je odpadu přiřazena na základě kritérií a limitních hodnot stanovených přímo použitelnými předpisy Evropské unie o nebezpečných vlastnostech odpadů, v případě nebezpečných vlastností na základě dodatečných limitních hodnot a kritérií stanovených nařízením Ministerstva zdravotnictví.

3.6.2 Kontrola kvality filtrů a čistíren farmaceutických podniků

Velmi důležitým bodem v průmyslové výrobě v jakékoli společnosti je volba technologií pro čištění odpadních vod. Před komplexní recyklací použité kapaliny do vodních toků musí odpadní voda splňovat kvalitativní normy. Proces čištění vody zahrnuje několik fází, jako je předčištění, primární čištění, sekundární čištění a konečné

čištění. V každé fázi se používají různé technologie jako filtrace, reverzní osmóza, dezinfekce ultrafialovým zářením a chemické ošetření, aby se zajistila shoda vody s požadovanými standardy (kapitola 3.6.1).

Farmaceutické odpadní vody jsou svým složením velmi komplexní. Určit, jaké látky a v jakém množství se v nich vyskytují, je nesmírně obtížný úkol. Toto je navíc zhoršováno neustále se měnící poptávkou po farmaceutických produktech a nárůstem jejich rozmanitosti. Membránové bioreaktory jsou jedním z účinných zařízení pro biologické čištění odpadních vod těchto podniků [Kolpakop M., 2012].

Například kvantitativní kontrola membránových filtrů je poměrně složitá a zahrnuje použití referenčních kultur mikroorganismů, přípravu a výpočet infekční dávky, provedení reprezentativního počtu kultur, výpočet a vyhodnocení výsledků studie.

Účinnost čistíren odpadních vod při odstraňování antibiotik závisí na řadě faktorů, včetně specifických účinných látek. V některých případech jsou moderní čistírny účinné až do 100 % (oxytetracyklin, tetracyklin), ovšem ne vždy. Například s trimetoprimem je pozorován minimální účinek. Úkol čištění odpadních vod farmaceutických podniků je poměrně složitý a vyžaduje komplexní přístup, náročné požadavky na kvalitu filtrů a modernizaci stávajících čistírenských zařízení.

3.6.3 Recyklace odpadů pomocí mikroorganismů

Od vzniku civilizované společnosti byla ochrana životního prostředí vždy problémem. Vlivem průmyslové, zemědělské a domácí činnosti člověka neustále docházelo ke změnám fyzikálních, chemických a biologických vlastností prostředí, přičemž mnohé z těchto změn byly velmi nepříznivé až nebezpečné. Nebezpečný odpad v pevné, kapalné nebo plynné formě představuje vážnou hrozbu pro lidské zdraví i životní prostředí [Pankaj Chowdhary a kol., 2018].

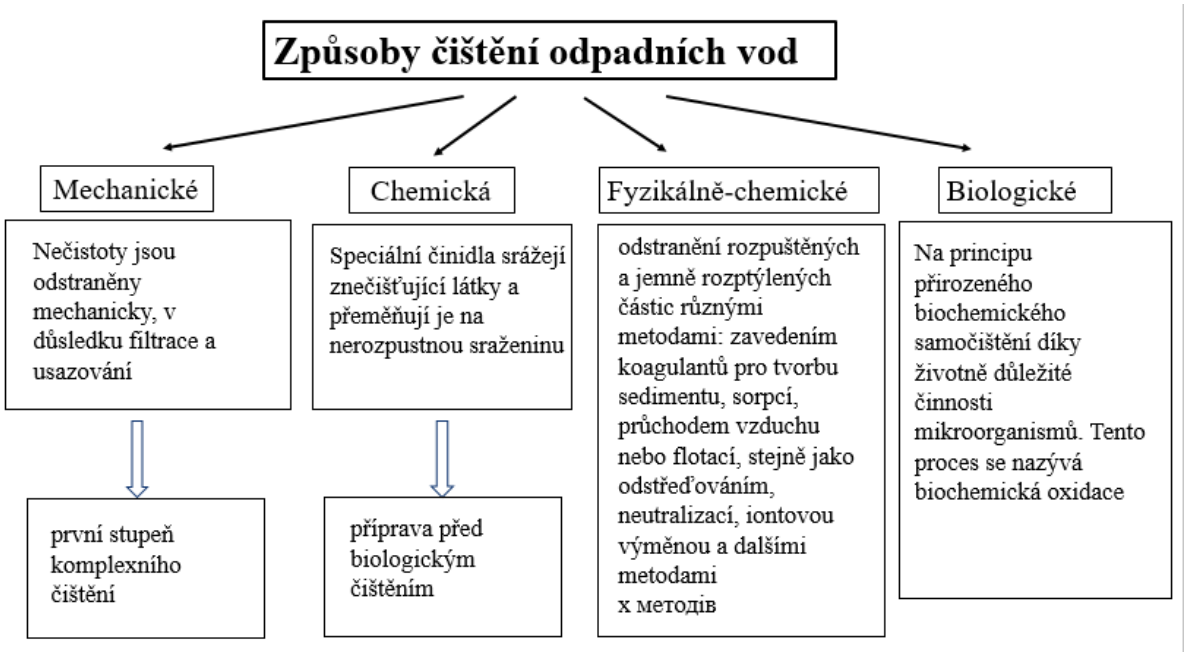
Zvířecí a lidské odpadní produkty se zpravidla vždy používaly ke zvýšení úrodnosti půdy. Toto není problém, pokud je jich málo. V případě vzniku průmyslových komplexů hospodářských zvířat může být plocha okolních pozemků pro likvidaci živočišných odpadů nedostatečná. V důsledku toho mohou být kontaminovány podzemní vody, okolní nádrže i studny.

Totéž platí pro odpadní vody z velkých měst, které se skládají převážně z odpadních produktů lidí, z podniků a domácích kuchyní. Odpadní vody z průmyslových podniků musí být také čištěny před jejich opětovným použitím nebo vypouštěním do povrchových vod.

Různé skupiny mikroorganismů, zejména bakterie a houby, mohou rozkládat různé přírodní produkty a dokonce i syntetické sloučeniny. Také mikroorganismy jsou schopny přežít v nejextrémnějších podmínkách a vytvořit pro sebe příznivé podmínky.

V dnešní době je vodní prostředí jedním z nejvíce znečištěných ekosystémů. Čištění vody je tedy důležité opatření, které lidstvo musí podnikat k ochraně životního prostředí a odstranění následků své činnosti. Čistírny vod se dle měřítka a umístění dělí na městské, které přijímají odpadní vody z velkých měst či obcí i průmyslové odpady po lokálním předčištění; dále lokální v průmyslových podnicích, v malých vesnicích a čistírny domovních odpadních vod – kompaktní individuální systémy pro soukromé domácnosti.

Princip činnosti čistíren odpadních vod závisí na způsobu čištění. Existují mechanické, chemické, fyzikálně-chemické a biologické metody čištění vody (viz obrázek 3.2.), ale nejlepší výsledky dosahují kombinace více metod.



Obrázek 3.2. Metody čištění odpadních vod

Bioremediace je proces čištění znečištěných půd a vody za použití mikroorganismů. Jedná se o přirozený, ekologicky bezpečný a ekonomicky efektivní způsob odstraňování znečišťujících látek ze životního prostředí. Proces bioremediace probíhá prostřednictvím přidání mikroorganismů do půdy, které používají znečišťující látky jako zdroj své potravy, což vede ke snížení nebo přeměně znečišťujících sloučenin

za použití biologických látek. V důsledku činnosti mikroorganismů se znečišťující látky přeměňují na bezpečné sloučeniny, jako je oxid uhličitý a voda.

Bioremediace nebezpečných znečišťujících látek přítomných v odpadních vodách pomocí mikroorganismů je obecně nákladově efektivní a likviduje nebezpečné odpady takovým způsobem, že může chránit životní prostředí a lidské zdraví [Aanand S. a kol., 2017].

V posledních letech probíhá další výzkum zaměřený na vývoj specializovaných mikroorganismů nebo geneticky modifikovaných mikroorganismů pro optimalizaci procesu bioremediace [Hassan, B.A. a kol., 2003].

Efektivita a úspěšnost metody mikrobiální bioremediace významně závisí na hydrogeologických podmínkách, kde mikroorganismy, znečišťující látky a další časové faktory mohou významně měnit. Během procesu bioremediace mikroorganismy přizpůsobené k degradaci znečišťujících látek využívají tyto odpady jako zdroj potravy a energie [Tang, C.Y. a kol., 2007].

Při bioremediačním procesu je aktivita mikroorganismů posílena přísunem určitých živin zvenčí, např. uhlíku a dusíku a akceptory elektronů (kyslík), substráty jako fenol, metan a toluen nebo jsou přidávány mikroorganismy s potřebnými katalytickými schopnostmi [Ma X. a kol., 2007], [Baldwin, B.R. a kol., 2008].

Nejčastěji používanými mikroorganismy pro proces bioremediace jsou Arthrobacter, Acromobacter, Alcaligens, Cinetobacter, Corneybacterium, Flavobacterium, Micrococcus, Mycobacterium, Nocardia, Pseudomonas, Rhodococcus, Sphingomonas a druhy Vibrio [Gupta, V.K. a kol., 2001], [Kim, S.U. a kol. 2007; Jayashree R. a kol., 2012].

Nejúčinnějšími mikroby, které se podílí na čištění odpadních vod, jsou Lactobacillus plantarum, L. casei a Streptococcus lacti (mléčnokyselé bakterie) a Rhodobacter spaeroide, Rhodopseudomonas palustrus a další (fotosyntetické bakterie) [Sujata Mani, a kol., 2020].

3.6.4 Zvyšování informovanosti veřejnosti o správných metodách likvidace PPCPs

Odpad způsobuje obrovské škody na životním prostředí. Pokud není tříděn a správně likvidován, znečišťuje vodu a půdu, což může být nebezpečné pro životy rostlin, zvířat i lidí, protože poškozuje ekosystémy. Veškerý odpad lze rozdělit na bezpečný a nebezpečný. Mezi bezpečné patří organické odpady – potravinové zbytky, karton, papír.

Tyto odpady se rychle rozkládají a neznečišťují vodu ani půdu. Navíc se z použitého papíru například vyrábí nový produkt – toaletní papír, lepenka a podobně.

Mezi nebezpečný odpad patří baterie a akumulátory, léky, barvy, polyetylen, rtuťové výbojky a teploměry. Nebezpečný odpad je toxický a pokud se dostane na skládku spolu s běžným odpadem, kontaminuje půdu i vodu.

Třídění odpadu je důležité pro obnovu cenných zdrojů a ochranu životního prostředí. Pokud třídíme odpady do patřičných kategorií, materiály lze znovu použít, což omezuje nebo snižuje množství odpadu. Toto třídění přispívá k ochraně přírodních zdrojů a minimalizuje škodlivé dopady na životní prostředí (například skládkování či spalování). Po sběru musí být odpad zpracován a zlikvidován v souladu s požadavky na bezpečnost a udržitelnost životního prostředí. To může zahrnovat různé metody jako spalování nebo recyklace. PPCP jsou nebezpečný odpad a při nesprávné likvidaci se spolu s vodou dostávají do odpadních vod, což poškozuje ekosystémy.

Léky, hnojiva, saponáty, prací prášky, šampony a další prostředky osobní hygieny využívají fosfáty – soli kyselin fosforečných. Po vyprání prádla s práškem obsahujícím fosfáty se voda s pěnou dostane do odpadních vod a později do vod podzemních. Umělé fosfáty v detergentech působí jako hnojivo a stimulují nepřirozený růst řas. Nakonec je jich tolik, že produkce metanu, čpavku a sirovodíku, který je škodlivý pro ekosystém, vede k zpomalení cirkulace vody v nádržích a smrti všeho živého. Kyselina fosforečná se po vyprání z oblečení zcela nevymyje a dostává se na pokožku. Kvůli vlivu domácích chemikálií se lidská pokožka stává sušší a přestává odolávat dráždivým látkám.

Nevyužité léky, které se dostaly na skládky, se vlivem Slunce, vlhkosti a teploty rozkládají. Aktivní látky v nich obsažené vzájemně interagují, uvolňují toxické látky, které kontaminují půdu, vzduch a vodu kyselinami, solemi i zásadami. Mikročástice antibiotik se usazují v půdě, rozpouštějí se v podzemních vodách, pronikají do zemědělských produktů a do těla člověka. Aniž by si toho člověk byl vědom, kdokoli z nás může dostávat mikrodávky antibiotik. V budoucnu tento antibiotikum nevykáže léčebný účinek kvůli rezistenci.

Z hlediska výše uvedených skutečností je důležité informovat lidi o správné likvidaci nevyužitých léků a nespotřebovaných prostředků osobní hygieny (PPCP) v souladu s platnou legislativou. Zákon o odpadech definuje léčiva jako „nebezpečný odpad“ a podle toho by se s nimi mělo nakládat. Jediným správným způsobem, jak se nepoužitých léků zbavit, je předat je do lékárny, sběrného dvora či do sběru nebezpečného odpadu, kde bude bezplatně zajištěna jejich odborná likvidace.

3. Výsledky

Mezi látkami, které jsou nejvíce nebezpečné pro vodní biocenózu, patří antibiotika, hormony, narkotika, povrchově aktivní látky a antiseptika. Všechny tyto látky ovlivňují biodiverzitu flóry a fauny, narušují přirozenou rovnováhu vodních biocenóz, přenášejí se prostřednictvím potravních řetězců, způsobují mutace a jsou příčinou mnoha patologií.

Studované látky lze rozdělit do tří skupin podle jejich ekotoxicity. Mutageny jsou látky, které ovlivňují dědičný materiál organismů, způsobují mutace a vedou k nepředvídatelným změnám v genofondu. Karcinogenní sloučeniny jsou sloučeniny odlišné chemické povahy, které zvyšují pravděpodobnost vzniku zhoubných nádorů. Teratogeny mohou způsobit vrozené vady nově narozených dětí.

Byly zobrazeny způsoby a stupeň bioakumulace PPCP v jednotlivých složkách vodního prostředí. Bakterie, řasy a vyšší rostliny jsou primárními cílovými organismy pro výzkumné látky. Jako producenti je hromadí a předávají je konzumentům prostřednictvím potravních řetězců i se zvyšováním koncentrace a znatelným negativním dopadem na fungování orgánových systémů vodní fauny.

Je zdůrazněn negativní vliv PPCP na vodní mikroorganismy. Antibiotika způsobují mutace a rezistenci bakterií vůči nim. Hormony ovlivňují metabolické procesy mikroorganismů. Narkotika narušují přenos nervových impulzů a mění chování organizmů.. Sulfáty a fosfáty způsobují nadměrný růst vodních mikroorganismů (především sinic) a přispívají k vysoké eutrofizaci vody. Antiseptika ničí nebo potlačují růst mikroorganismů.

Ukazuje se negativní vliv PPCP na kvalitu pitné vody. V podmínkách jejího nedostatečného čištění a nedodržování norem kvality pitné vody se PPCP dostává do lidského organismu a již v nízkých koncentracích způsobuje poškození zdraví.

4. Diskuse

Ze závěrů uvedených v předchozí kapitole vyplývá, že ke vstupu těchto látek do přírodního vodního prostředí přispívá lidská činnost související s výrobou léčiv, potravinářstvím, zemědělským průmyslem a domácím využitím PAL. Bylo zjištěno, že mezi PPCP si zaslouží zvláštní pozornost antibiotika, hormony, omamné látky, povrchově aktivní látky a antiseptika, protože tyto látky jsou člověkem využívány v největší míře, nachází se ve vodním prostředí ve vyšších koncentracích a významně negativně ovlivňují přirozené biocenózy.

Negativní vliv chemických látek na vodní flóru a faunu je popsán v pracích Anekwe J. (2017), Boxall A. (2012), Hernando M. (2006), Kümmerer K. (2008), Wang J. (2016), Włodarczyk-Makuła M. (2024) i mnoha dalších. Toto téma zůstává stále aktuální, protože technologie výroby farmaceutických přípravků a čistících prostředků se mění s časem a odpovídajícím způsobem by měl být upraven i přístup k čištění odpadních vod.

Ve práci je diskutován negativní vliv různých chemických látek a zvláště jsou vyzdviženy mutagenní, karcinogenní a teratogenní účinky zkoumaných látek. Tyto toxické vlastnosti látek škodlivých pro vodní biocenózy jsou rovněž popsány v pracích autorů Białk-Bielińska A. (2022), Daughton C. (1999), Downs C. (2016), Dantas, G. (2008), Jobling, S. (2003), McDonnell G. (1999), Ohlsen, K. (2003), Zwahlen J. (2024) a dalších. Existuje mnoho různých klasifikací a tyto látky mohou mít různorodý vliv na zasažené organismy v závislosti na mnoha faktorech, například koncentrace toxických látek ve vodním prostředí, doba jejich přítomnosti, rychlost rozkladu, roční období, teplota a další faktory ovlivňující míru ekotoxicity PPCP.

Práce sleduje způsoby a stupeň bioakumulace PPCP v jednotlivých složkách vodního prostředí. Je třeba poznamenat, že tyto látky mají zvyšující se koncentraci při pohybu nahoru po potravním řetězci a mohou významně ovlivnit fungování ekosystémů vodní fauny i flóry a člověka jako konzumenta nejvyššího stupně. Toto je v souladu s výzkumy a zjištěními autorů Jobling S. (2006), Mani S. (2020), Ohlsen, K. (2003), Ortiz de García S. (2014), Pankaj Chowdhary (2018), Shinn H. (2019) a dalšími. Tato problematika je stále v popředí zájmu vědců a zároveň vyžaduje další výzkum.

V práci je podrobně analyzován negativní dopad PPCP na vodní mikroorganismy a vliv antibiotik (triclosan, amoxicyklin a další), hormonů (estrogeny, androgeny, hormony štítné žlázy), omamných látek a analgetik (opiáty, tlumivé látky, ibuprofen, paracetamol), surfaktantů a jejich složek (sírany a fosforečnany) a antiseptik (chlór, formaldehyd) na vodní mikroflóru. Jsou uvedeny příklady toxických účinků těchto látek

na vodní mikroorganismy. Tyto údaje vychází z prací autorů Dantas, G. (2008), Jobling S. (2006), Niemuth N. (2015), Ohlsen K. (2003), Somasundaran P. (2001), Yang Y. (2017), Zwahlen J (2024) i dalších.

V práci je uveden negativní vliv různých chemických látek na kvalitu pitné vody. Při nedostatečné úrovni čištění odpadních vod a porušení standardů na kvalitu pitné vody mohou chemické látky proniknout do lidského těla a i v nízkých koncentracích způsobovat poškození zdraví exponovaných jedinců. Důležitost čistících zařízení a potřeba jejich modernizace v souladu s moderními společenskými požadavky je v práci zdůrazněna. Toto téma je také předmětem zkoumání v pracích autorů Tang, C. (2007), Swatantra P (2021), Wang J. (2016) a dalších. V dnešním světě technologií zůstává úloha čistících zařízení odpadních vod jednou z nejdůležitějších a otázky zachování a udržení přírodní rovnováhy vodních biocenóz jsou stále aktuální a snad i důležitější než dříve v minulosti.

5. Závěr a přínos práce

V rámci práce byly stanoveny způsoby vstupu PPCP do vodního prostředí a byl zdůrazněn negativní vliv PPCP na biodiverzitu vodní flóry i fauny, který se projevuje v posunu přirozené rovnováhy vodních biocenóz, přenosu toxických látek potravními řetězci, výskytem mutací a mnoha patologií u vodních organismů. Bylo zjištěno, že největší hrozbu mezi PPCP představují antibiotika, hormony, omamné látky, povrchově aktivní látky a antiseptika, protože tyto látky jsou lidmi hojně využívány, a nejvíce se vyskytují ve vodním prostředí ve zvýšených koncentracích a významně negativně ovlivňují přirozené biocenózy. Je uveden možný negativní dopad PPCP na kvalitu pitné vody a zdůrazněna potřeba modernizace úpraven pitné vody tak, aby byly schopny odstraňovat také farmaka, hormony a ideálně i další negativně působící látky.

Při vypracování této práce jsem zpracovala 56 pramenů odborné literatury. Zdůrazňuji význam problému znečištění vod PPCP, jejich vliv na vodní prostředí a také negativní vliv těchto látek na lidské zdraví. Kromě toho poukazuji na nutnost modernizace a zlepšení čistíren odpadních vod, aby bylo možné efektivněji odstraňovat PPCP z odpadních vod. Snažím se popularizovat problém znečištění vod PPCP a vybízím k přijímání opatření zaměřených na ochranu vodních ekosystémů.

6. Přehled literatury a použitých zdrojů

1. Aanand S. a kol., 2017: Review on seafood processing plant wastewater bioremediation – A potential tool for waste management 4. P.1- 4.
2. Alistair B. a kol., Pharmaceuticals and Personal Care Products in the Environment: What Are the Big Questions? Environmental Health Perspectives - 2012, volume 120, № 9.
3. Anekwe J., Abou-Elwafa Abdallah M. 2017: Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment. Emerging Contaminants. Vol. 3. P.1-16.
4. Baldwin, B. a kol., 2008: Multilevel samplers as microcosms to assess microbial response to bio stimulation. National Ground Water Association. Vol. 46. P.295-304.
5. Białk-Bielińska A. a kol., (2022). Mixture toxicity of six pharmaceuticals towards *Aliivibrio fischeri, Daphnia magna,* and *Lemna minor*. Environ Sci Pollut Res Int. 29(18): 26977–26991. Published online 2021 Dec 14.
6. Birk S. a kol., 2012: Three hundred ways to assess Europe's surface waters: An almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework Directive. Ecological Indicators 18:31-41.
7. Boxall A. a kol., 2012: Pharmaceuticals and Personal Care Products in the Environment: What Are the Big Questions? Environmental Health Perspectives. Vol. 120, No. 9. P.1221-9.
8. Braunwald E., Bonow R., 2001: Heart Discase: A textbook of cardiovascular medicine / Ed. by E. Braunwarld, 6-th ed. – New York– London:, Vol. 67, Issue 2.
9. Classification of drug actions, 13th Mar 2024, Jee main, Chemistry dostupné z <https://www.vedantu.com/jee-main/chemistry-classification-of-drugs>.
10. Dantas, G. a kol., 2008: Bacteria subsisting on antibiotics. Science 320. P.100–103.
11. Daughton C., Ternes T. 1999: Pharmaceuticals and Personal Care Products in the Environment: Agents of Subtle Change? Environmental Health Perspectives. Vol. 107. P.907-38.
12. Downs C.A. a kol., 2016: Toxicopathological Effects of the Sunscreen UV Filter, Oxybenzone (Benzophenone-3), on Coral Planulae and Cultured Primary Cells and Its Environmental Contamination in Hawaii and the U.S. Virgin Islands. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 70(2): 265–88.

13. EU project no PILLS in waters, final report 2015., dostupné z <https://web.archive.org/web/20200413185929/http:/www.no-pills.eu/conference/BS_NoPills_Final%20Report_long_EN.pdf>.
14. Gupta, V. a kol., 2001:Biosorption of chromium (VI) from aqueous solutions by green algae Spirigyra species. Water Res. 35 (17), P.4079-4085.
15. Hassan, B. a kol., 2003: Engineering Deinococcus geothermalis for bioremediation of high temperature radioactive waste environments. Appl. Environ. Microbiol. 69. P. 4575-4582.
16. Hejna M. a kol., 2022: Pharmaceuticals in the Aquatic Environment: A Review on Eco-Toxicology and the Remediation Potential of Algae,. Int J Environ Res Public Health.19(13): 7717.
17. Hernando M. D., a kol April 2006: Environmental risk assessment of pharmaceutical residues in wastewater effluents, surface waters and sediments. Talanta. 69 (2): 334–42.
18. Imming P. a kol., 2004: A classification of drug substances according to their mechanism of action. Pharmazie 59: 579–589.
19. Jayashree R. a kol., 2012: Biodegradation capability of bacterial species isolated from oil contaminated soil. J. Acad. Indust. Res. 1 (3), P.127-135.
20. Jobling S., 2006: Predicted Exposures to Steroid Estrogens in U.K. Rivers Correlate with Widespread Sexual Disruption in Wild Fish Populations. Environmental Health Perspectives, Vol. 114, supplement 1.
21. Jobling S. a kol., 2003: Endocrine disruption in wild freshwater fish. Pure Appl. Chem., Vol. 75, Nos. 11–12, P. 2219–2234.
22. Kidd A. a kol., 2007: Collapse of a fish population after exposure to a synthetic estrogen. Proceedings of the National Academy of Sciences. 104(21), P.8897-8901.
23. Kim, S.U. a kol., 2007: Characterization of heavy metal tolerance and biosorption capacity of bacterium strains CPB4 (Bacillus Sp.). Water Sci. Technol. 55 (1), P.105-111.
24. Kolpakop M. 2012:Treatment of wastewater from pharmaceutical plants in a bioreactor with submersible ceramic membrane modules, P.179.
25. Kümmerer K. 2009: Antibiotics in the aquatic environment. Chemosphere 75, P.435–441.

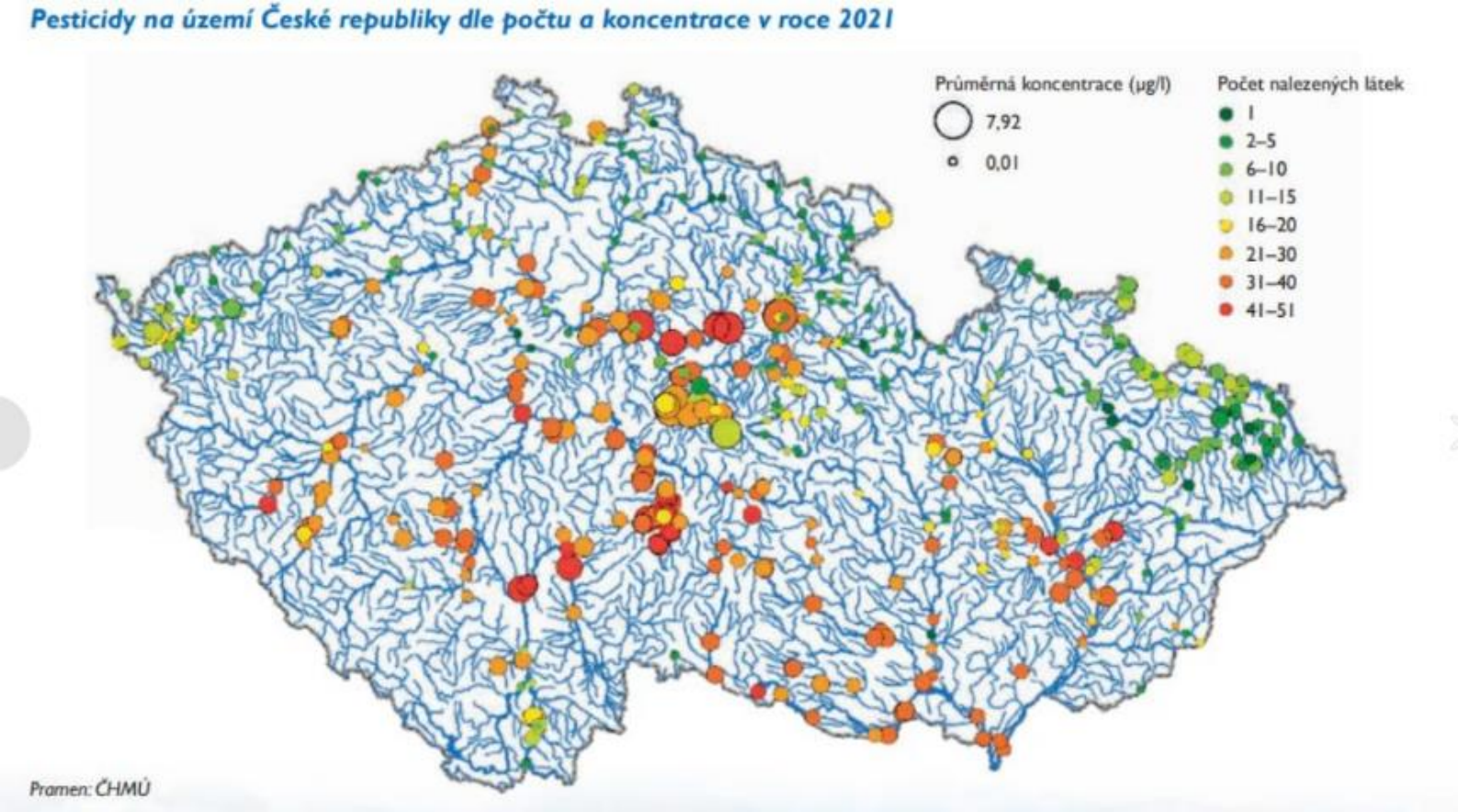
26. Kümmerer K. (Ed), 2008: Pharmaceuticals in the Environment. Sources, Fate, Effects and Risks. P.530.
27. Lechat P. 1998: Clinical effects of beta-adrenergic blockade in chronic heart failure: a meta-analysis of double-blind, placebo-controlled, randomized trials Circulation Vol. 98. P. 1184
28. Lyko S. a kol., 2012: EU project report summary «Pharmaceutical Input and Elimination from Local Sources».
29. Ma X. a kol., 2007: The impact of H 2 addition on dechlorinating microbial communities. Bioremediation Journal, 11(2):45–55.
30. Mani S. a kol., 2020: Microbes mediated approaches for environmental waste management. Microorganisms for Sustainable Environment and Health. P. 17- 36.
31. McDonnell G., Russell A. 1999: Antiseptics and Disinfectants: Activity, Action, and Resistance.Clinical Microbiology Reviews. P.147–179.
32. Ministerstvo životního prostředí, 2023. dostupné z <https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/E4044163A66CAA76C1258655002DE3C9/%24file/OL_541_2020.pdf>.
33. Mona A. Abdel-Fatah, Integrated Management of Industrial Wastewater in the Food Sector. - Chemical Engineering and Pilot Plant Department, Engineering and Renewable Energy Research Institute, National Research Centre (NRC), Egypt, 2023. dostupné z https://doi.org/10.3390/su152316193
34. Niemuth N., Klaper R. September 2015: Emerging wastewater contaminant metformin causes intersex and reduced fecundity in fish. Chemosphere 135: 38 – 45.
35. Ohlsen, K. a kol., 2003: Impact of antibiotics on conjugational resistance in gene transfer in Staphylococcus aureus in sewage. Environ Microbiol. 5(8):711-6.
36. Ortiz de García S. a kol., 2014: Ecotoxicity and environmental risk assessment of pharmaceuticals and personal care products in aquatic environments and wastewater treatment plants. Ecotoxicology 23(8):1517-33.
37. Pankaj Chowdhary a kol., 2018: Environmental pollution and health hazards from distillery wastewater and treatment approaches to combat the environmental threats: A review Vol. 194, P. 229-246.
38. Salager J., 2002: Surfactants Types and Uses. FIRP Booklet #300A, P.49.

39. Seleem N. a col., 2021: Could the analgesic drugs, paracetamol and indomethacin, function as quorum sensing inhibitors? Microbial Pathogenesis. Vol. 158.
40. Shinn H. 2019: The effects of ultraviolet filters and sunscreen on corals and aquatic ecosystems. NOAA Central Library. P.189.
41. Somasundaran P., Zhang L. 2001: Surfactants and interfacial phenomena in cosmetics and detergency. NSF Industrial Industry. University Center for Advanced Studies in Novel Surfactants, Columbia University, Vol.116, No.7.
42. Swatantra P. 2021: Pollution Control Technologies Current Status and Future Prospects. P.290.
43. Tang, C. a kol., 2007: Effect of flux (transmembrane pressure) and membranes properties on fouling and rejection of reverse osmosis and nanofiltration membranes treating perfluoro octane sulfonate containing wastewater. J. Environ. Sci. Technol. 41
44. Wang J.,– Wang S., 2016: Removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) from wastewater: A review. Journal of Environmental Management 182:620–640.
45. Wang J., Wang S. 2016: Removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) from wastewater: A review. Journal of Environmental Management. 182: 620–640.
46. Włodarczyk-Makuła M.. 2024: Selected organic micropollutants in the aquatic environment. Desalination and Water Treatment. Vol. 317.
47. Yadav I. a kol., 2015: Current status of persistent organic pesticides residues in air, water, and soil, and their possible effect on neighboring countries: A comprehensive review of India. Sci. Total Environ. 511:123–137.
48. Yang Y. a kol., 2017: Occurrences and removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in drinking water and water/sewage treatment plants: A review. Science of the Total Environment [online]. P. 303-320.
49. Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech.
50. Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých příslušných zákonů, ve znění pozdějších předpisů.
51. Zwahlen J. a kol., 2024: The ecological function of thyroid hormones. Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences 379(1898).
52. Васюкова Г., Ярошева О. 2009: Екологія. Підручник. К.: Кондор, 524 с., с. 314.

53. Горенкова Г.А., 2009: К вопросу о применении синтетических моющих средств // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. Т. 26. № 1. С. 63-64.
54. Кизима Р. 2010: Екологія: навчальний посібник. Харків: «Бурун Книга», 304 с., с. 186.
55. Логинова Е., Лопух П. 2011: Гидроэкология (курс лекций) – Минск: БГУ, 231 с.
56. Малимон С. 2009: Основи екології. Підручник. – Вінниця: Нова Книга, 240 с., с. 94.
57. Писаренко В. Та інші 2007: Агроекологія: навчальний посібник. Полтава: РВВ ПДАА,. 227 с.

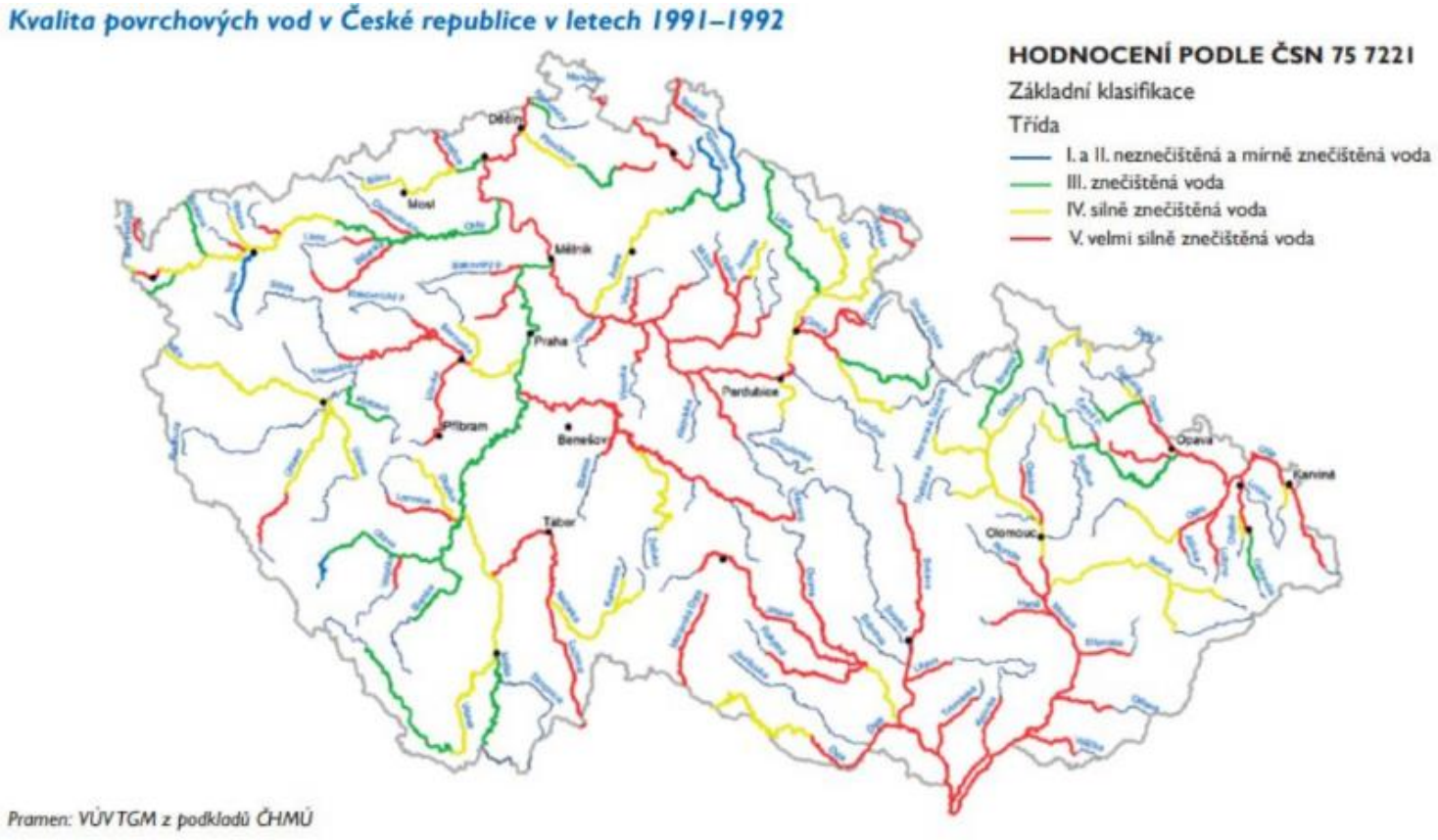
7. Přílohy

Příloha 1



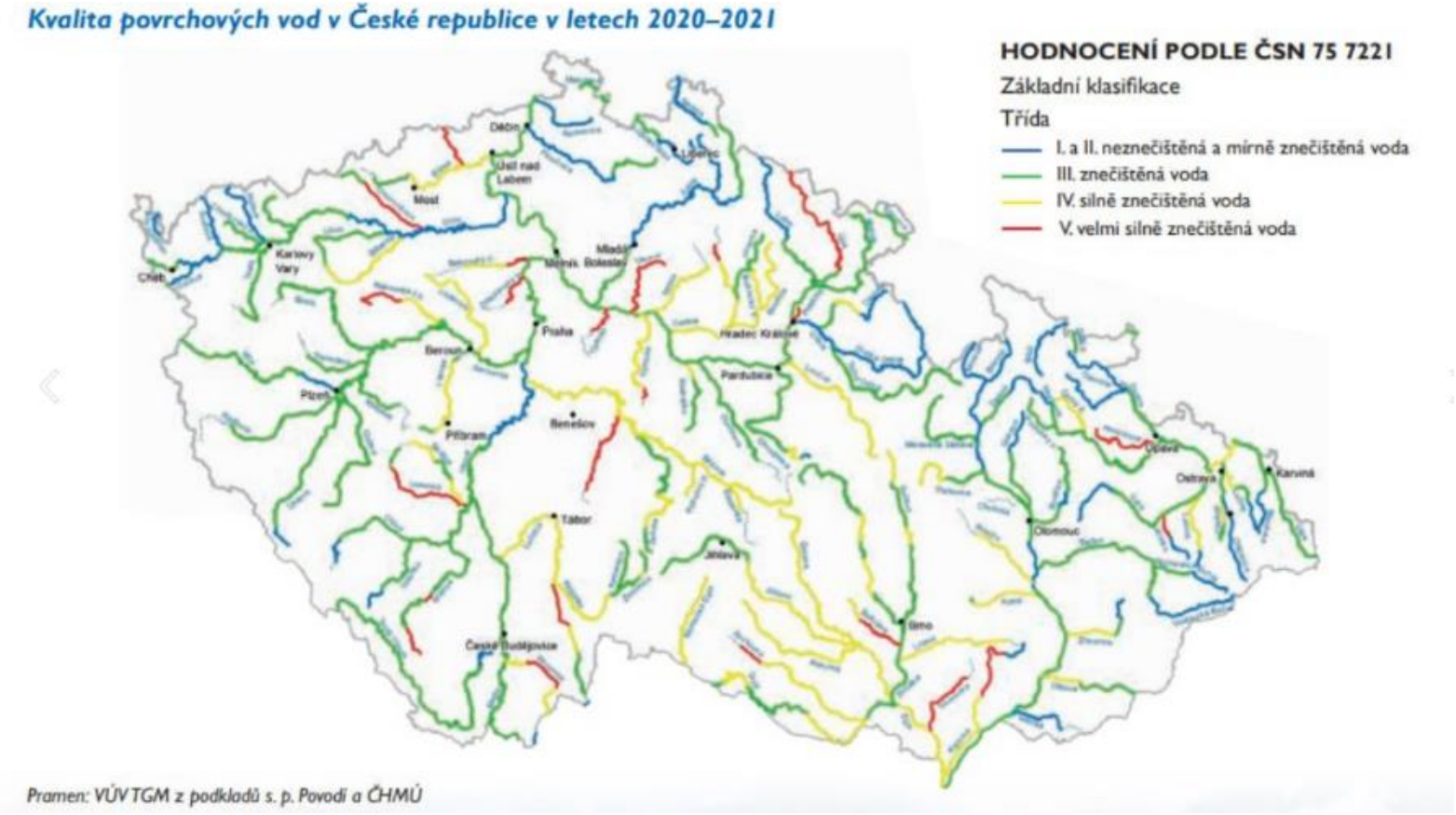
Ministerstvo zemědělství. Ministerstvo životního prostředí. Pesticidy na území České republiky dle počtu a koncentrace v roce 2021. ZPRÁVA O STAVU VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY V ROCE 2021. https://eagri.cz/public/portal/-q264913---un6NBhjx/zprava-o-stavu-vodniho-hospodarstvi?_linka=a247049

Příloha 2



Ministerstvo zemědělství. Ministerstvo životního prostředí. Kvalita povrchových vod v České republice v letech 1991–1992. ZPRÁVA O STAVU VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY V ROCE 2021. https://eagri.cz/public/portal/-q264913---un6NBhjx/zprava-o-stavu-vodniho-hospodarstvi?_linka=a247049

Příloha 3

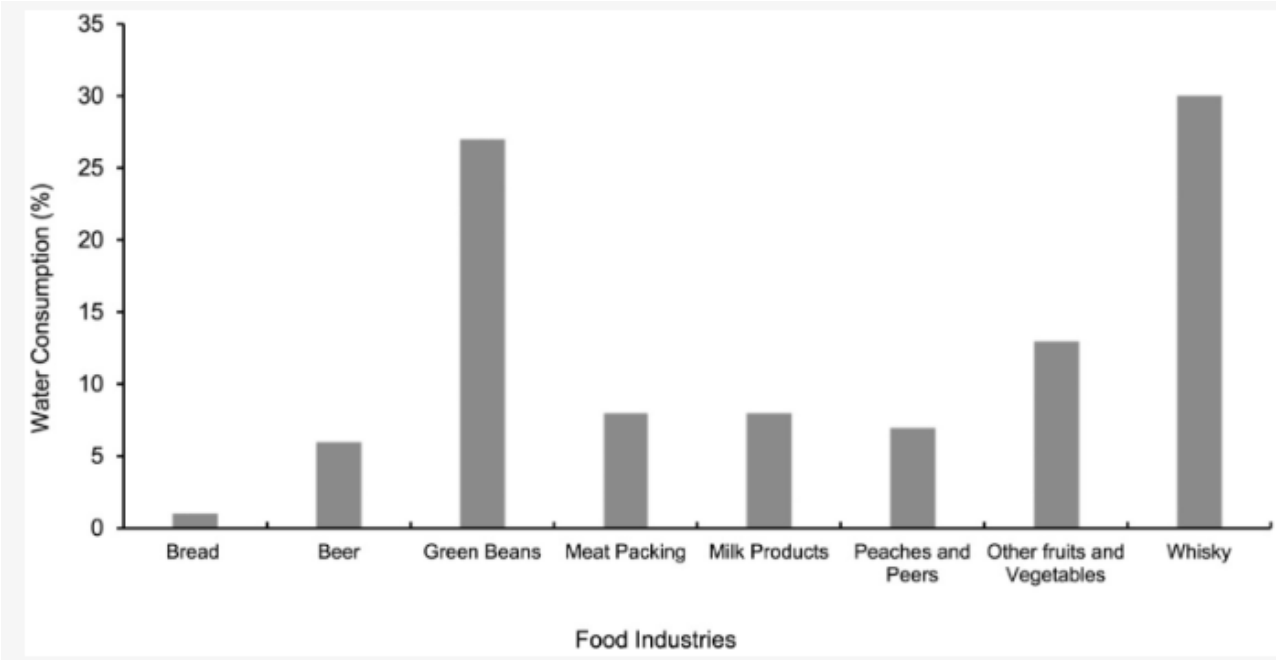


Ministerstvo zemědělství. Ministerstvo životního prostředí. Kvalita povrchových vod v České republice v letech 1991–1992. ZPRÁVA O STAVU VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY V ROCE 2021.

https://eagri.cz/public/portal/-q264913---un6NBhjx/zprava-o-stavu-vodniho-hospodarstvi?_linka=a247049

Příloha 4

The normal percentage of water consumed in different food industry sectors



[Mona A. Abdel-Fatah, Integrated Management of Industrial Wastewater in the Food Sector. - Chemical Engineering and Pilot Plant Department, Engineering and Renewable Energy Research Institute, National Research Centre (NRC), Egypt, 2023]

Příloha 5

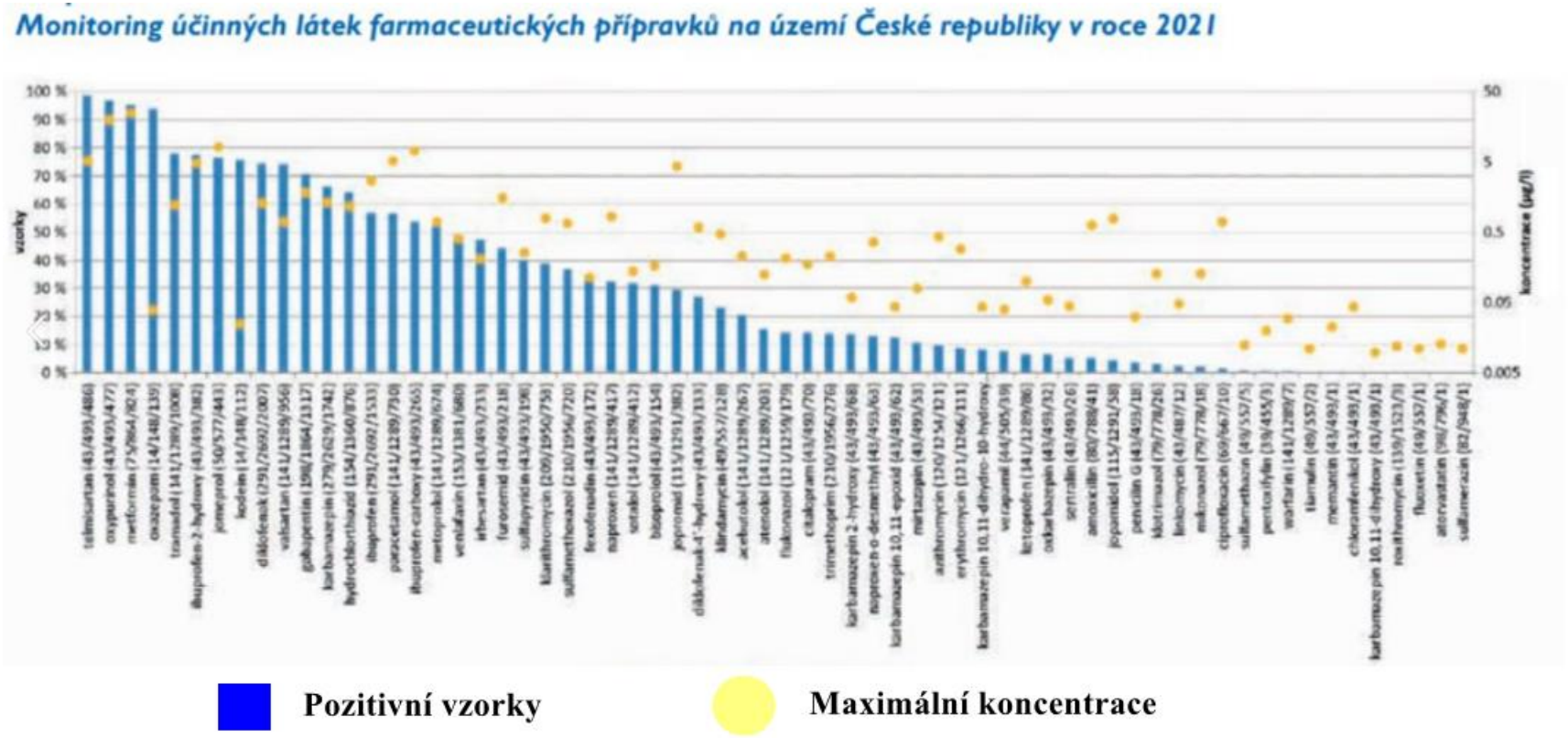
Estimated volume of wastewater produced for various food products

Product	Wastewater (m^3/ton)	COD (kg/m^3)
Dairy	6.5	1.5–5.2
Fish	13	2.5
Meat and poultry	13	2–7
Sugar refining	11	1–6
Starch	11	1.5–42
Fruits, vegetables, and juices	21	2–10
Vinegar	28.5	0.7–3

Amin, A.; Al Bazedi, G.; Abdel-Fatah, M.A. Experimental study and mathematical model of coagulation/sedimentation units for the treatment of food processing wastewater. *Ain Shams Eng. J.* **2021**, *12*, 195–203.

Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD) are the major parameters used as routine surrogate tests for measuring the load of organic carbon into the environment. In this context, an evaluation of possible replacement of BOD and COD for Dissolved Organic Carbon (DOC) measurements are presented for different wastewaters.

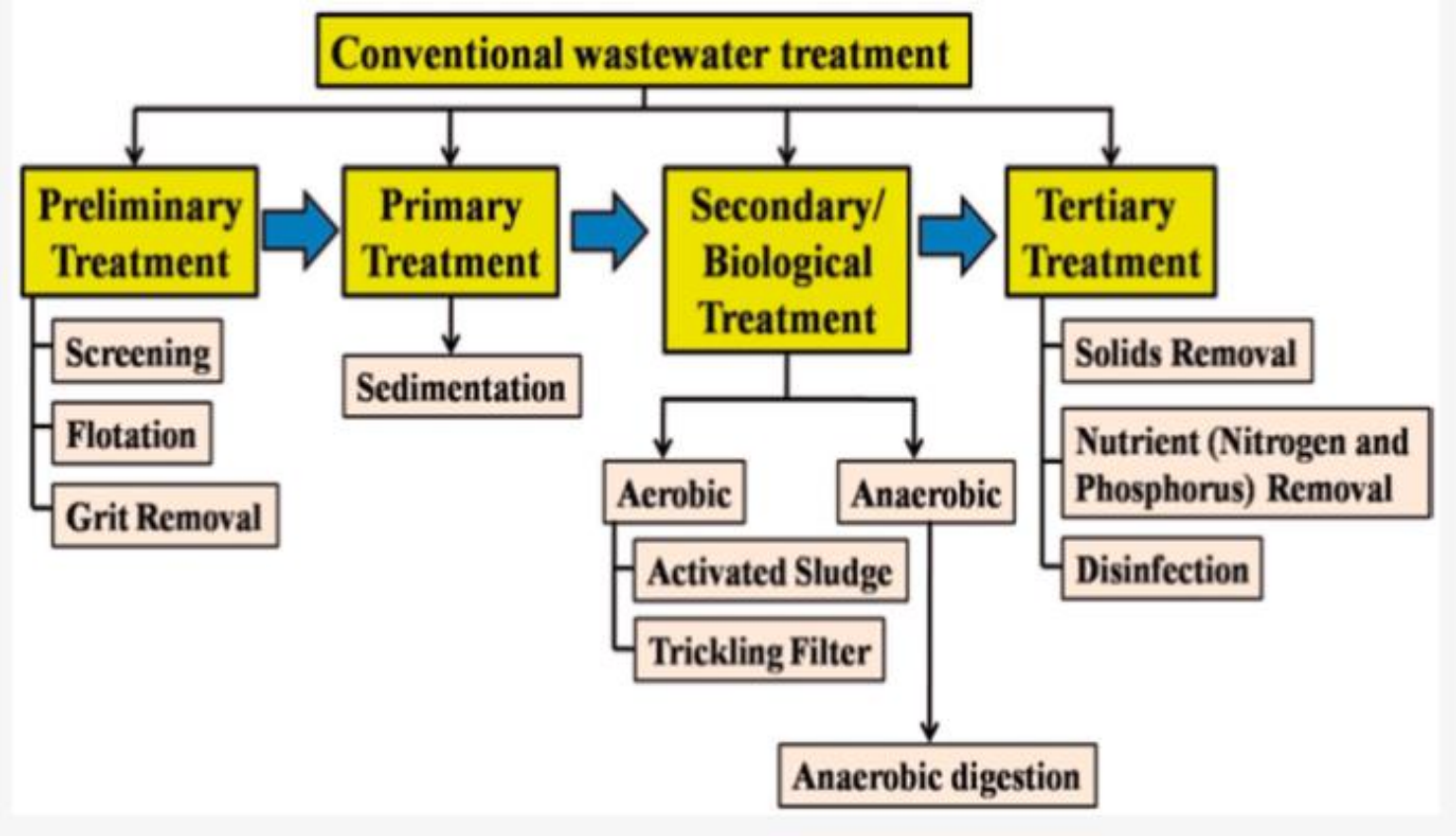
Příloha 6



[Ministerstvo zemědělství. Ministerstvo životního prostředí. Monitoring účinných látek farmaceutických přípravků na území České republiky v roce 2021. ZPRÁVA O STAVU VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY V ROCE 2021. . https://eagri.cz/public/portal/-q264913---un6NBhjx/zprava-o-stavu-vodniho-hospodarstvi?_linka=a247049]

Příloha 7

Treatment of industrial wastewater



[Singh, R.L.; Singh, R.P. Introduction. In *Advances in Biological Treatment of Industrial Waste Water and their Recycling for a Sustainable Future. Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future*; Singh, R., Singh, R., Eds.; Springer: Singapore, 2019]

Příloha 8

PARAMETERS AND PARAMETRIC VALUES

PART A

Microbiological parameters

Parameter	Parametric value (number/100 ml)
Escherichia coli (E. coli)	0
Enterococci	0

The following applies to water offered for sale in bottles or containers:

Parameter	Parametric value
Escherichia coli (E. coli)	0/250 ml
Enterococci	0/250 ml
Pseudomonas aeruginosa	0/250 ml
Colony count 22 °C	100/ml
Colony count 37 °C	20/ml

[Ministerstvo životního prostředí, 2023. dostupné z https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/E4044163A66CAA76C1258655002DE3C9/%24file/OL_541_2020.pdf]

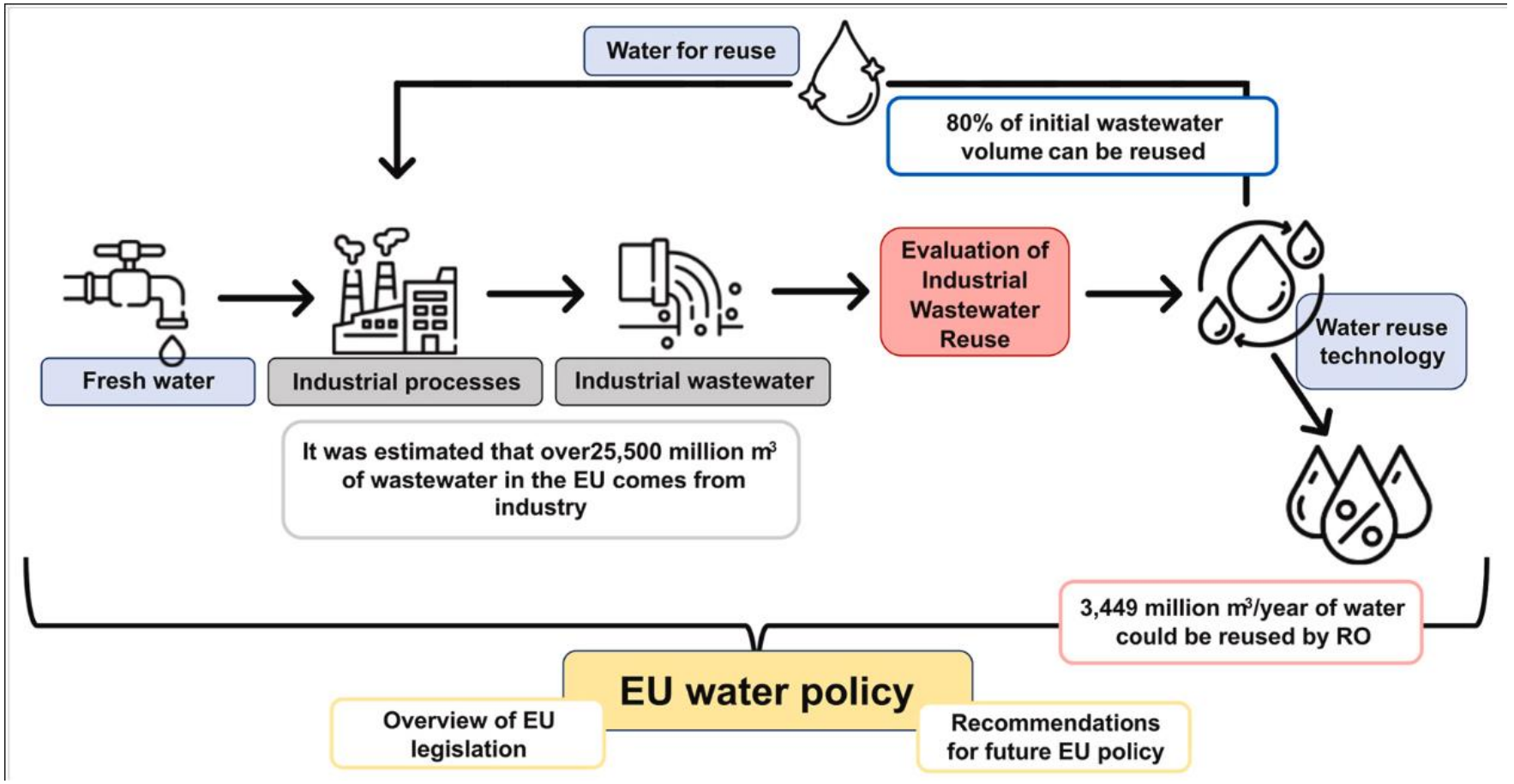
Příloha 9

Chemical parameters

Parameter	Parametric value	Unit	Notes
Acrylamide	0,10	µg/l	Note 1
Antimony	5,0	µg/l	
Arsenic	10	µg/l	
Benzene	1,0	µg/l	
Benzo(a)pyrene	0,010	µg/l	
Boron	1,0	mg/l	
Bromate	10	µg/l	Note 2
Cadmium	5,0	µg/l	
Chromium	50	µg/l	
Copper	2,0	mg/l	Note 3
Cyanide	50	µg/l	
1,2-dichloroethane	3,0	µg/l	
Epichlorohydrin	0,10	µg/l	Note 1
Fluoride	1,5	mg/l	
Lead	10	µg/l	Notes 3 and 4
Mercury	1,0	µg/l	
Nickel	20	µg/l	Note 3
Nitrate	50	mg/l	Note 5
Nitrite	0,50	mg/l	Note 5
Pesticides	0,10	µg/l	Notes 6 and 7
Pesticides — Total	0,50	µg/l	Notes 6 and 8
Polycyclic aromatic hydrocarbons	0,10	µg/l	Sum of concentrations of specified compounds; Note 9
Selenium	10	µg/l	

[Ministerstvo životního prostředí, 2023. dostupné z https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/E4044163A66CAA76C1258655002DE3C9/%24file/OL_541_2020.pdf]

Příloha. 10

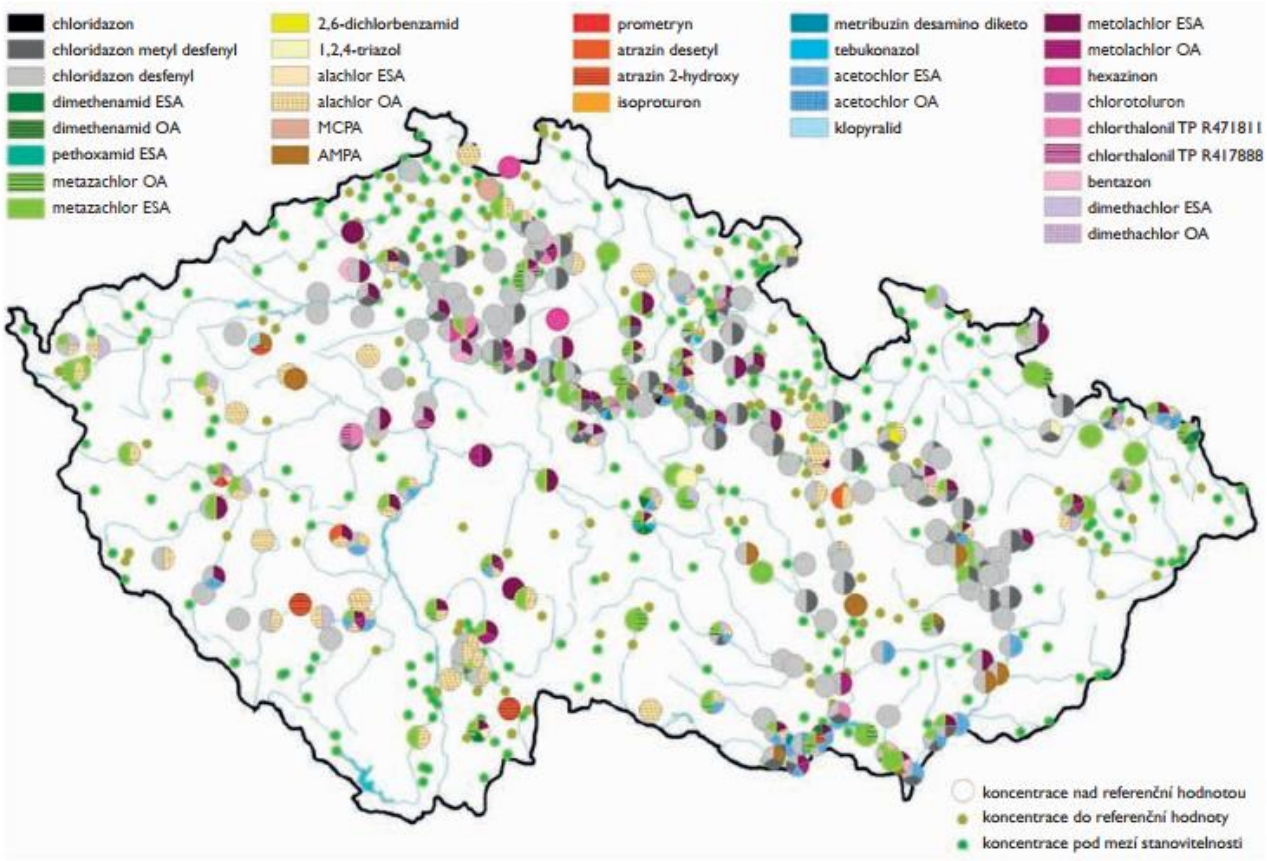


[Procházková M. Industrial wastewater in the context of European Union water reuse legislation and goals. - Journal of Cleaner Production Volume 426, 10 November 2023]

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652623031955

Příloha. 11

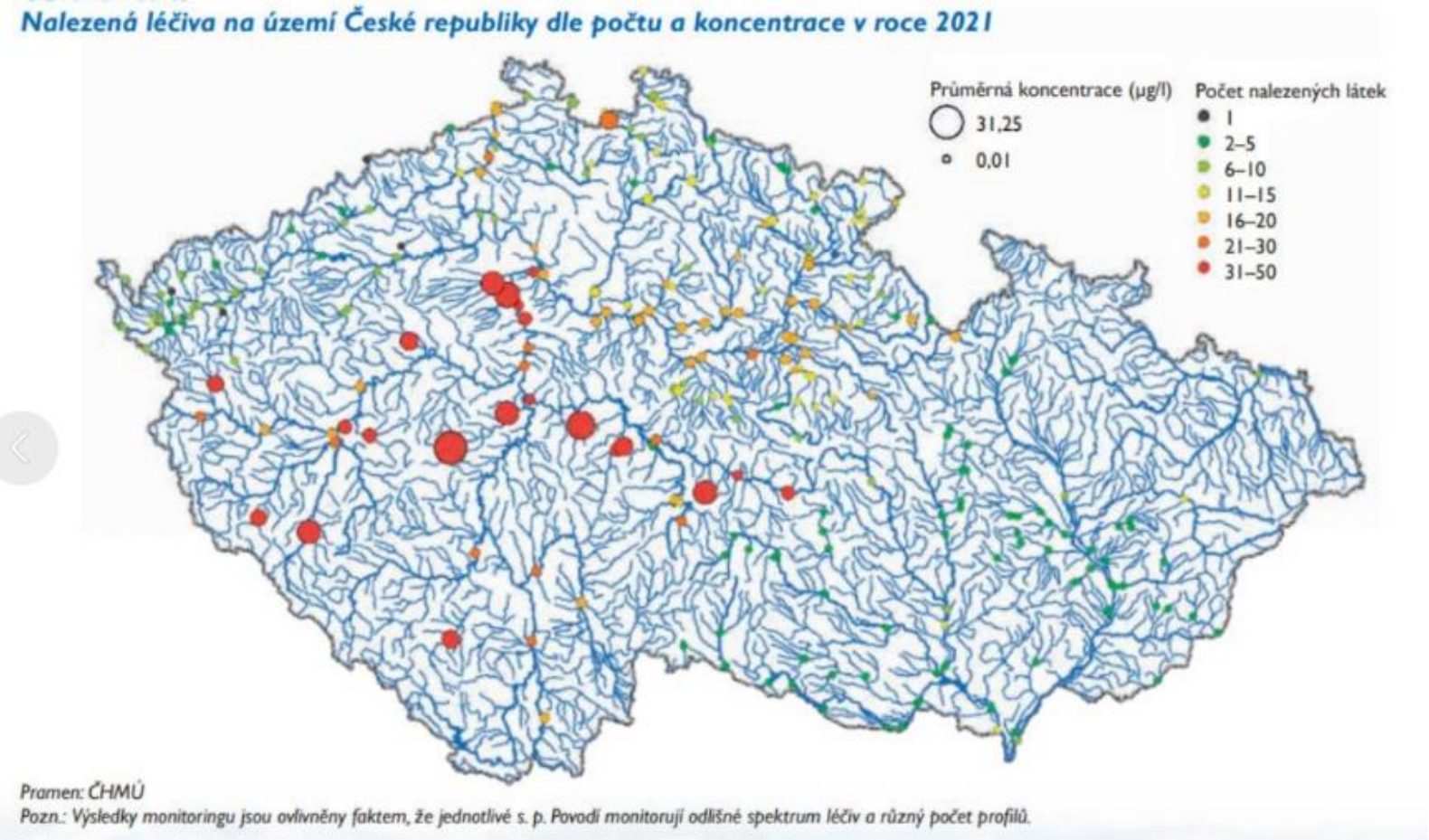
Koncentrace pesticidů v podzemních vodách (látky s překročením na dvou a více místech) v roce 2021



Pramen: ČHMÚ
Pozn.: Překročení limitních hodnot vyhlášky č. 5/2011 Sb. v aktuálním znění a směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/118/ES.

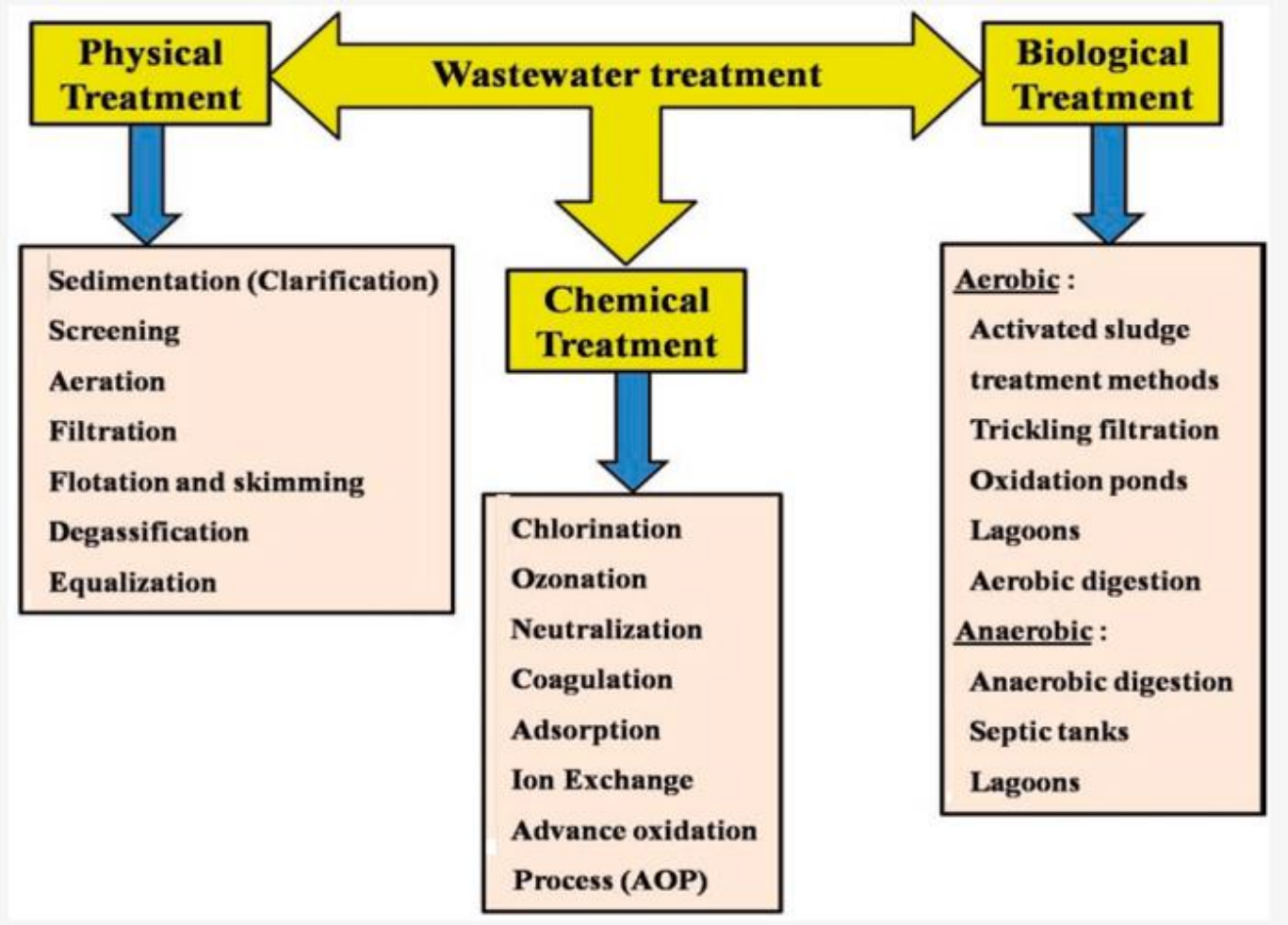
[Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2021. Odbor státní správy ve vodním hospodářství a správy povodí Ministerstvo zemědělství ISBN 978-80-7434-668-2., s. 49.]

Příloha 12



Ministerstvo zemědělství. Ministerstvo životního prostředí. Nalezená léčiva na území České republiky dle počtu a koncentrace v roce 2021. ZPRÁVA O STAVU VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY V ROCE 2021. https://eagri.cz/public/portal/-q264913---un6NBhjx/zprava-o-stavu-vodniho-hospodarstvi?_linka=a247049

Příloha. 13



Singh, R.L.; Singh, R.P. Introduction. In *Advances in Biological Treatment of Industrial Waste Water and their Recycling for a Sustainable Future. Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future*; Singh, R., Singh, R., Eds.; Springer: Singapore, 2019