

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta Životního prostředí

**Katedra vodního hospodářství a enviromentálního
modelování**



**Vliv mikrobiálního znečištění na kvalitu povrchových vod
v České republice**

Bakalářská práce

Barbora Srcháčková

Ing. Martin Heřmanovský, Ph.D.

2024

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Barbora Srcháčková

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

Vliv mikrobiální kontaminace na kvalitu povrchových vod v České republice

Název anglicky

The influence of microbial contamination on surface water quality in the Czech Republic

Cíle práce

Cílem práce je na základě dostupné literatury provést rešerši problematiky spojené s mikrobiální kontaminací a jejím vlivem na kvalitu povrchových vod v České republice.

Metodika

Rešeršně zaměřená práce

1) Literární rešerše na zadané téma: Vliv mikrobiální kontaminace na kvalitu vod v České republice.

2) Kritická diskuze prezentovaných poznatků.

Doporučený rozsah práce

30 – 50 stran

Klíčová slova

Povrchové vody, fekální znečištění, mikrobiologické ukazatele, E. Coli, kolidformní bakterie

Doporučené zdroje informací

- AMBROŽOVÁ, Jana; VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE. *Mikrobiologie v technologii vod*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2004. ISBN 80-7080-534-.
- KLABAN, Vladimír. *Ekologie mikroorganismů : ilustrovaný lexikon biologie, ekologie a patogenity mikroorganismů*. Praha: Galén, 2011. ISBN 978-80-7262-770-7.
- LELLÁK, Jan; KUBÍČEK, František. *Hydrobiologie*. Praha: Univerzita Karlova, 1992. ISBN 80-7066-530-0.
- NĚMEC, Jan; HLADNÝ, Josef; BLAŽEK, Vladimír; ČESKO. MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. *Voda v České republice*. Praha: Pro Ministerstvo zemědělství vydal Consult, 2006. ISBN 80-903482-1-1.
- PITTER, Pavel. *Hydrochemie : celost. vysokošk. učebnice pro stud. vys. škol chemickotechnologických oborů*. Praha: ŠNTL, 1990. ISBN 80-03-00525-6.
- POLÁŠKOVÁ, Anna; UNIVERZITA KARLOVA. *Úvod do ekologie a ochrany životního prostředí*. Praha: Karolinum, 2011. ISBN 978-80-246-1927-9.
- ŠÁLEK, Jan; TLAPÁK, Václav; ČESKÁ KOMORA AUTORIZOVANÝCH INŽENÝRŮ A TECHNIKŮ ČINNÝCH VE VÝSTAVBĚ. *Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2006. ISBN 80-86769-74-7.
- VTEI. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ ; VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T.G. MASARYKA. Praha: ISSN 0322-8916.

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Martin Heřmanovský, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 28. 2. 2024

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 3. 2024

prof. RNDr. Michael Komárek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 21. 03. 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Vliv mikrobiálního znečištění na kvalitu povrchových vod v České republice vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila, a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

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

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

V Praze dne datum odevzdání _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Heřmanovskému, Ph.D. za jeho přístup, přátelské jednání, trpělivost, cenné rady a především bych chtěla poděkovat za jeho pomoc při psaní a sestavování celé práce. Na závěr bych chtěla poděkovat rodině za podporu a umožnění vysokoškolského vzdělání. Velké díky patří i mému kamarádovi, který stál při psaní práce při mně a podporoval mě každým dnem.

Vliv mikrobiálního znečištění na kvalitu povrchových vod v České republice

Souhrn

Mikrobiální znečištění povrchových vod představuje významnou hrozbu a riziko pro životní prostředí i lidské zdraví. Tento druh znečištění je způsoben přítomností nejrůznějších mikroorganismů, jako jsou bakterie, viry, houbové patogeny a paraziti, jenž se ať přirozeně nebo vtroušeně v různých množstvích vyskytují ve vodních zdrojích.

Cílem práce je rešerše současných poznatků o mikrobiálním znečištění povrchových vod, jeho zdrojích, dopadech na vodní ekosystémy a lidské zdraví. Informace budou opřeny o výzkumy, které se za poslední roky konaly na území České republiky, a bude jejich prostřednictvím poukázáno na stav mikrobiálního znečištění v České republice.

Za hlavní původce kontaminace povrchových vod na našem území se považuje nekontrolovaný odtok odpadních vod. Často se jedná o nedůsledné hospodaření se zemědělskými hnojivy, živočišnými exkrementy a neúčinné odpadové hospodářství. Tyto faktory vedou k nárůstu koncentrace mikroorganismů v povrchových vodách, což má negativní dopad na životní prostředí a zdraví obyvatel.

Mikrobiální znečištění povrchových vod může vyvolat řadu zdravotních problémů nejen u volně žijících živočichů, ale i lidí, kdy jedním z hlavních zdravotních rizik, je gastrointestinální infekce a další choroby spojené s vystavením se kontaminované vodě.

Prevence před mikrobiální kontaminací povrchových vod zahrnuje implementaci účinných čistících technologií, monitorování kvality vody, regulaci průmyslových a zemědělských aktivit a vzdělávání veřejnosti o významu zachování čistého vodního prostředí. Udržení a zlepšení stavu kvality povrchových vod je klíčové pro ochranu přírody, zvýšení a udržení biodiverzity prostředí, zajištění zdrojů pitné vody pro obyvatelstvo a udržitelný rozvoj životního prostředí.

Klíčová slova: povrchové vody, fekální znečištění, mikrobiologické ukazatele, *E. Coli*, koliformní bakterie

The influence of microbial pollution on surface water quality in the Czech Republic

Summary

Microbial pollution of surface waters poses a significant threat and risk to the environment and human health. This type of pollution is caused by the presence of a variety of micro-organisms such as bacteria, viruses, fungal pathogens and parasites, which occur naturally or in various amounts in water sources.

The aim of this bachelor thesis is to focus on an overview of current knowledge about microbial pollution of surface waters, its sources, impacts on aquatic ecosystems and impacts on human health. The information will be based on research conducted in the Czech Republic over the past years and will be used to highlight the state of microbial pollution in the Czech Republic.

The main source of surface water contamination in our territory is considered to be uncontrolled wastewater run-off, often inconsistently controlled management of agricultural fertilizers, animal excrement and inefficient waste management. These factors lead to an increase in the concentration of micro-organisms in surface water, which has a negative impact on the environment and the health of the population.

Microbial contamination of surface water can trigger a number of health problems not only in wildlife but also in humans, where one of the main health risks is gastrointestinal infection and other diseases associated with exposure to contaminated water.

Prevention of microbial contamination of surface water includes the implementation of effective cleaning technologies, water quality monitoring, regulation of industrial and agricultural activities and education of the public about the importance of maintaining a clean aquatic environment. Maintaining and improving the quality of surface water is crucial for nature conservation, increasing and maintaining the biodiversity of the environment, ensuring drinking water resources for the population and sustainable development of the environment.

Keywords: surface waters, fecal pollution, microbiological indicators, *E. coli*, Coliform bacteria

Obsah

1	Úvod	11
2	Cíl práce	12
3	Literární rešerše.....	13
3.1	Voda na zemi	13
3.1.1	Fyzikálně chemické vlastnosti vody.....	13
3.1.2	Funkce vody	14
3.1.3	Rozdělení vod na zemi.....	15
3.1.3.1	Podpovrchové vody.....	15
3.1.3.2	Atmosférická voda	16
3.1.3.3	Povrchové vody	17
3.2	Povrchové vody v České republice	18
3.2.1	Stojaté (lentické) vody.....	19
3.2.2	Tekoucí (lotické) vody	20
3.3	Hodnocení jakosti povrchových vod.....	20
3.3.1	Norma ČSN 75 7221	21
3.3.2	Klasifikace jakosti povrchových vod	21
3.3.2.1	Kyslíkový režim.....	22
3.3.2.2	Obecné, fyzikální a chemické ukazatele	22
3.3.2.3	Těžké kovy	23
3.3.2.4	Biologické a mikrobiologické ukazatele	23
3.3.2.5	Radioaktivita.....	23
3.4	Znečištění povrchových vod.....	23
3.4.1	Zdroje znečištění povrchových vod	24
3.4.2	Druhy znečištění povrchových vod.....	25
3.5	Mikrobiální znečištění.....	26
3.5.1	Charakteristika mikrobiálního znečištění.....	27
3.5.2	Zdroje mikrobiálního znečištění povrchových vod.....	27
3.5.3	Mikroorganismy v povrchových vodách	28
3.5.3.1	Dopady mikroorganismů na kvalitu povrchových vod	29
3.5.3.2	Zdravotní rizika.....	29
3.5.3.3	Odstranění mikroorganismů z povrchových vod.....	30
3.5.4	Indikátory mikrobiálního znečištění	34
3.5.4.1	Koliformní bakterie.....	35
3.5.4.2	Termotolerantní koliformní bakterie.....	36

3.5.4.3	Bakterie rodu <i>Escherichia</i> (<i>E. coli</i>).....	37
3.5.4.4	Intestinální enterokoky	38
3.6	Vliv mikrobiálního znečištění na kvalitu povrchových vod v České republice 39	
4	Diskuze	44
5	Závěr	45
6	Seznam použité literatury.....	47
7	Seznam použitých zkratk a symbolů	53
8	Seznam tabulek, obrázků a grafů.....	55

1 Úvod

Voda představuje životně důležitý zdroj, který je nezbytný pro zachování biodiverzity, lidského zdraví a hospodářského rozvoje, je tedy společně se vzduchem základním předpokladem pro život na Zemi. Dále představuje jednu z nejjednodušších sloučenin ve Vesmíru a její molekula je tvořena dvěma atomy vodíku a jedním atomem kyslíku. V přírodě je možné se s ní setkat ve třech různých skupenstvích – v pevném – v podobě ledu, kapalném – v podobě vody a plynném – v podobě vodní páry (Němec a kol., 2006). Při normální teplotě a tlaku se voda jeví jako bezbarvá, průzračná kapalina bez zápachu, zatímco pod různým úhlem lomu světla se může jevit jako barevná (Lellák a Kubiček, 1992).

Voda, jakožto zdroj života, je získávána z přírodních rezerv a může být odebírána z povrchových i podzemních zdrojů. Za povrchové zdroje vody jsou považovány řeky, jezera, přehrady, potoky a bažiny.

Stav povrchových vod v České republice podléhá vlivu široké škály faktorů, včetně geografických, environmentálních, ekonomických a lidských aktivit. V posledních desetiletích se problematika vodního hospodářství v ČR stala středem pozornosti kvůli rostoucímu znečištění, nedostatečné ochraně vodních zdrojů a dopadům klimatických změn. Mezi nebezpečné znečištění vod patří zejména mikrobiálního (fekálního) typu. To je způsobené zejména bakteriemi z lidských a zvířecích exkrementů.

Mikrobiální znečištění povrchových vod je závažným problémem, neboť má významné dopady na kvalitu vod, lidské zdraví, životní prostředí a hospodářství. Nejzávažnější dopady jsou na lidské zdraví, kdy kontakt s mikrobiálně kontaminovanou vodou může vést k onemocněním, jako jsou střevní infekce, průjemy, hepatitida a další zdravotní problémy. Kontaminovaná voda mikroorganismy dále nemůže být použita pro různé účely, jako je pití, vaření, koupání nebo rekreace. Tento fakt může mít negativní dopady na ekonomiku a kvalitu života obyvatelstva. Dopad je zde i na vodní ekosystémy, dochází k narušení přirozené rovnováhy v ekosystémech, tedy negativnímu dopadu na biodiverzitu a ekologickou stabilitu (Baudišová a Kožíšek, 2021).

2 Cíl práce

Hlavním cílem této bakalářské práce je provést rešerši problematiky spojené s mikrobiální kontaminací povrchových vod na území České republiky. Dílčí cíle jsou zaměřené na analýzu vlivu mikrobiálních znečištění na kvalitu povrchových vod a jejich následků pro ekosystémy v různých přírodních podmínkách České republiky.

V rámci rešerše je definována řada klíčových pojmů souvisejících s mikrobiálním znečištěním, jeho indikátory a parametry ovlivňující kvalitu povrchových vod. Zvláštní pozornost je věnována problematice dezinfekce vody s cílem zajistit soulad s hygienickými standardy a stanovenými limity, s důrazem na minimalizaci potenciálních zdravotních rizik.

Následně se práce zabývá klasifikací a stanovením jakosti povrchových vod, přičemž jsou popsány ukazatele jakosti vody v souladu s normou ČSN 75 7221, které poskytují standardizovaný rámec pro hodnocení kvality vody.

V závěrečné části bakalářské práce je kladen důraz na problematiku zaměřenou na indikátory mikrobiálního znečištění, mezi které patří bakterie rodu *Escherichia* (*Escherichia coli*), termotolerantní koliformní bakterie, intestinální enterokoky a koliformní bakterie.

3 Literární rešerše

3.1 Voda na zemi

Voda na Zemi představuje souhrn všech vodních toků a ploch a je nazývána vodním obalem Země. Odborně je nazvána hydrosférou, což vzniklo z původního řeckého slova hydór = voda a sfaira = koule. Do hydrosféry se řadí nejen vody povrchové, ale i podzemní. Mezi povrchové se počítají oceány a moře, dále plochy menší jako jsou vodní nádrže přirozeného či umělého původu a poté i řeky a potoky na pevninách. Voda je dále obsažena v plynném skupenství v Zemské atmosféře (Klaban, 2011).

Dostatek a kvalita vody se řeší po celém světě a její zásoby jsou pravidelně doplňovány atmosférickými srážkami (Haoyuan a kol., 2024). Na Zemi má obrovský význam a je již po mnoho tisíc let jednou z nejdůležitějších složek přírodního prostředí. Důležitá je nejen v životě, ale i v činnosti člověka a její hodnota se neustále zvyšuje (Ruda, 2014).

V přírodním prostředí má voda několik forem a probíhají tak jednotlivé látkové přeměny. Těmi se rozumí změna forem vody na jiné a interakce s jinými látkami. Jedná se o kondenzaci, srážení, vypařování a kapilární nebo chemické reakce, které mohou ovlivnit její vlastnosti a interakce s okolím. Díky vodě je umožněna nepřetržitá přeměna a pohyb hmot a její největší množství je dodáváno oceánem (Ruda, 2014).

Ve sladkých (kontinentálních) vodách žije přibližně 40000 druhů vodních organismů a to destruenti (bakterie, houby a viry), producenti (kvetoucí rostliny, řasy a konzumenti) a konzumenti. Polovina konzumentů jsou mnohobuněční živočichové (láčkovci, obojživelníci a ryby) a zbytek prvoci (nálevníci, bezbarví bičíkovci a kořenonožci) (Sládeček a Sládečková, 1996).

3.1.1 Fyzikálně chemické vlastnosti vody

Voda je vědci označována za jednu z nejjednodušších dvouprvkových sloučenin. Její sumární vzorec je H_2O a molekula obsahuje jeden atom kyslíku a dva atomy vodíku. Běžně se vyskytuje ve třech skupenstvích, pevném, kapalném a plynném (Němec a kol., 2016). Díky svému dipólovému charakteru a vzniku vodíkových vazeb může tvořit adiční sloučeniny a to nejčastěji hydráty iontů. Její maximální hustota je při teplotě $3,98\text{ }^{\circ}\text{C}$, a čím blíže je voda k bodu tuhnutí, tím více je zvětšen její objem (Pitter, 1990).

Dále se voda zúčastňuje jedné ze základních reakcí a to hydrolyzy. Ta neprobíhá pouze v organickém prostředí a vznikají při ní i jílové minerály a půdy. Hydrolyzu je možné popsat obecnou reakcí: $AB + HOH = AH + BOH$, kdy je AB původní sloučenina a HOH znamená vodu. V této reakci se sloučenina AB rozkládá za přítomnosti vody (HOH) na nové látky AH a BOH. Dále je voda důležitý účastník fotosyntézy (Němec a kol., 2006).

Voda je skvělým rozpouštědlem, protože dokáže rozpouštět různé organické a minerální látky, tudíž je nezbytná pro živé organismy. Dokáže vyrovnat rozdíly teplot a je regulátorem režimu tepla buněk (Kovář, 2008). Mezi její hlavní vlastnosti se řadí polarita, tepelná kapacita, povrchové napětí, viskozita a výjimečná hustota (Pitter, 1990).

Její molekuly jsou charakterizovány svou polaritou, která vyplývá z asymetrického rozložení nábojů. Díky tomu může voda efektivně rozpouštět jiné látky, zejména polárního charakteru (Pitter, 2009). Zásadní vlastností je její vysoká tepelná kapacita, která ovlivňuje její schopnost absorbovat a akumulovat teplo (Pitter, 1990).

Vysoké povrchové napětí vody se projevuje vytvářením povrchové vrstvy s vysokým napětím na rozhraní s jinými látkami. Tato vlastnost má důležitý vliv na různé fyzikálně-chemické procesy, jako jsou kapilární akce, udržení rovnováhy mezi kapalinou a plynnou fází a také schopnost vody vytvářet kapičky (Pitter, 2009).

3.1.2 Funkce vody

Voda je základní podmínkou pro existenci všech živých organismů na Zemi. V našich životech hraje nesmírně důležitou roli a zabezpečuje několik lidských potřeb. Především je nezbytným zdrojem pitné vody pro lidskou populaci. Dále je využívána např. v průmyslové výrobě potravin a zemědělství, kde slouží jako zdroj zavlažování a složka průmyslových procesů (chlazení, čištění a výroba) (Ruda, 2014). Je také zdrojem rekreace, odpočinku, volnočasových aktivit a rybolovu. Vodní plochy se využívají i pro lodní dopravu, která je nezbytná pro zásobování mnoha kontinentů (Polášková a kol., 2011).

Voda je významným faktorem formujícím povrch Země prostřednictvím procesu eroze. Její schopnost transportovat a mechanicky ovlivňovat horniny a půdu má významné dopady na formování krajinných útvarů. Její proudění může erodovat krajinné formace a vést tak k vytvoření kaňonů. Dále je schopna transportovat materiály uvolněné erozí. V řekách jsou

unášeny sedimenty, které se následně odkládají v jiných oblastech a tento proces vede nejen k vytvoření úrodných niv, ale také k přemísťování půdy a kamení (Polášková a kol., 2011).

Další její funkcí je, že dokáže chemicky ovlivňovat přírodní ekosystémy. Rozpuštěné látky v dešťové vodě dokážou rozložit nejen horniny, ale i půdu, to vede k vytvoření jeskyní a krasových útvarů. Poté ovlivňuje podzemní geologické procesy, průnik vody do půdy může vést k vytvoření podzemních jeskyň a podzemních řek (Kovář, 2008).

Vodní ekosystémy jsou domovem mnoha živočišných druhů a rostlin. Díky vodě je zachována biodiverzita a ekologická rovnováha, ta je klíčová pro stabilitu ekosystémů a udržení životního prostředí (Klaban, 2011).

3.1.3 Rozdělení vod na zemi

Pevninské vodstvo se člení podle jeho výskytu a použití. Rozdělení podle výskytu je následující; jedná se o vody povrchové, podzemní a atmosférické (srážkové) (Pitter, 1990). Povrchová voda se dále dělí kontinentální a mořskou, přičemž voda kontinentální se dělí na vodu tekoucí a stojatou (Sýkora a kol., 2016). Podzemní voda je rozdělena na vody průlinové a puklinové a krasové (Hrádek a Kuřík, 2002; Lellák a Kubiček, 1992).

Podle použití lze vodu rozdělit na pitnou, užitkovou, provozní a odpadní, ta se dělí na splaškovou a průmyslovou a z jejich směsi vznikají městské odpadní vody. Dále je známo rozdělení podle specifického použití, tedy podle konkrétních vlastností a složení, zde jsou vody rozděleny podle účelu, a to na vodu pro rybaření, kotelní vody, pro rekreaci či vody chladicí, kategorií je zde však mnohem více (Pitter, 1990).

Za vody tekoucí jsou považovány horské potoky, veletoky, řeky a pramenné stružky. Vody tekoucí představují především biotopy lotického charakteru, zatímco vody stojaté lenického. Sem se řadí nádrže přírodního či umělého charakteru, saliny (vody s větším obsahem soli), jezera a vrchoviště (Lellák a Kubiček, 1992).

3.1.3.1 Podpovrchové vody

Podzemní voda je definována jako voda infiltrující do půdy a pronikající pod zemský povrch, kde interaguje s horninami v podloží. Sem spadá i voda proudící drenážními systémy a také voda uchycená v podzemních zdrojích (studny a vrty) (Pitter, 2009).

Jejich zásoby jsou doplňovány následujícími procesy: infiltrací, tou se rozumí přirozené pronikání povrchových a atmosférických vod do podzemí a kondenzací vodních par z magmatu. Infiltrace je hlavním mechanismem doplňování zásob podzemních vod. Jejich množství a kvalita jsou ovlivňovány především půdním prostředím, které sehrává v přírodě významnou roli v koloběhu vody (Pitter, 1990).

Geologický profil mají rozdělen na dvě pásma; pásmo nasycení a pásmo provzdušnění. V pásmu nasycení se nachází pouze póry zcela zaplněné vodou, zatímco v druhém je větší část geologického profilu zaplněna vzduchem. Pásmo provzdušnění lze najít mezi pásmem nasycení a zemským povrchem (Sýkora a kol., 2016).

Podzemní vody lze podle jejich chemického složení rozdělit na vody prosté a minerální. Voda prostá neobsahuje příměsi ani rozpuštěné látky a považuje se za čistou vodu (destilovaná voda). Voda minerální naopak obsahuje různé minerály (minerální prameny, léčivé prameny), těmi jsou, obsahují-li léčivé účinky a jsou vhodné k pití nebo k léčebným účelům (Pitter, 2009).

3.1.3.2 Atmosférická voda

Jde o termín označující veškerou vodu v atmosféře. Jejich vznik je důsledkem procesu kondenzace vodních par ve vzduchu nebo na jiných površích. Tyto srážky se dělí podle jejich formy na kapalné (mrholení, déšť a rosa) a tuhé (námraza, sníh a kroupy) (Sýkora a kol., 2016) a zásadně ovlivňují i podnebí a počasí (Kovář, 2008).

Tento typ srážek má zásadní význam. Je klíčovým faktorem pro vznik, udržení a rozmanitost sladkovodních a podzemních vod, ty pro svou existenci a vznik vyžadují koloběh vody v biosféře, který by nemohl probíhat bez přítomnosti atmosférické složky. Ta je zásadním distribučním mechanismem vody po celém povrchu Země (Lellák a Kubíček, 1992).

Průměrné roční srážky v ČR jsou celkem 685 mm, tedy, že na 1 m² je přinášeno 685 litrů vody za rok (Němec a kol., 2006). Dvě třetiny vody ze srážek se pomocí evapotranspirace vrací zpět do ovzduší a třetina odtéká do oceánů (Lellák a Kubíček, 1992). V atmosféře se voda zdrží 8,9 dne a její obsah se během roku obnoví 41,8krát (Hutchinson, 1957).

3.1.3.3 Povrchové vody

Povrchové vody na Zemi zahrnují veškerá na povrchu Země otevřená vodní tělesa, která jsou viditelná. Jsou zásadní pro udržení života a klíčovým aspektem vodního cyklu. Ten přináší vodu do atmosféry i zem. Jejich ochrana je důležitá pro zachování ekosystému (Němec a kol., 2006). Jejich zásobárnou jsou především srážky (déšť a sníh) a na povrchu zabírají pouze 1 % sladké vody.

Jejich funkcí je proudění po povrchu Země a vytváření toků směrem k nižším oblastem, kam je voda odváděna do vyšších vodních útvarů (řeky a jezera). Dále je to podpora biodiverzity, poskytují útočiště pro mnoho rostlin a živočichů. Kromě toho jsou hlavním zdrojem pitné vody. Jejich ochrana a údržba je tedy základ (Pitter, 2009).

Povrchové vody zadržují celkem 248,25 tis. km³ vody a jejich největší zásobárnou jsou sladkovodní jezera. Ta zadržují celkem 130 tis. km³ a jezera slaná 105 tis. km³ vody. V uměle vytvořených vodních nádržích je zadržováno celkem 6 tis. km³, stejně jako v mokřadech. Nejméně vody je zadrženo v korytech řek a to 1,25 tis. km³ (Němec a kol., 2006).

Tento typ vod se dělí na kontinentální a mořské. Kontinentálními se rozumí sladké vody na pevninách (řeky, jezera, prameny). Jsou obvykle sladké nebo málo slané a jsou vhodné pro zemědělské účely a lidské aktivity. Voda mořská je voda s vysokým obsahem soli (chloridu sodného) vyskytující se v oceánech a mořích. Vzhledem k obsahu soli není vhodná pro konzumaci lidí ani zemědělství. Poskytuje však domov mořským organismům (bezobratlých, vodních rostlinám, rybám a obojživelníkům) (Sýkora a kol., 2016).

3.1.3.3.1 Stojaté (lentické) vody

Stojaté vody (jezera, vodní nádrže, rašeliniště a rybníky) zadržují celkem 247000 km³ vody a jsou brány za klenot přírody, který od tekoucích vod liší dobou průtoku a hloubkou (Pitter, 1990). Do stojatých vod se řadí i mokřady, které jsou považovány za spíše pasivní součást oběhu vody. Na základě stavu vody v rašeliništích lze bezpečně indikovat nasycenost okolního prostředí. Mokřady jsou podrobeny pečlivé právní ochraně (Němec a kol., 2006).

Jezera se dělí na sladkovodní a slaná a bývají bedlivě chráněna. Z hlediska užitekosti mají pro člověka ta sladkovodní větší význam. Slouží jako zdroj pitné vody a další lidské aktivity. Slaná jezera se vyskytují nejvíce v aridních oblastech v místech, kde výpar převažuje nad srážkami. Slaná jezera obsahují vysokou koncentraci minerálů a solí. Nejen, že připívají

k rozmanitosti a jedinečnosti naší krajiny, ale jsou také největší zásobárnou kapalné povrchové vody na souši. (Němec a kol., 2006).

Voda v nádrži je náchylná k vyšší míře znečištění než voda přitékající do ní a to v případě, že zůstaly organické a anorganické látky. Chemické, fyzikální a biologické vlastnosti vody se mění při přítoku do nádrže. V případě nedostatečného vyčištění dna před výstavbou nádrže, kdy zůstanou rostlinný porost a pařezy nedotčeny, hrozí riziko znečištění vody (Pitter, 1990).

3.1.3.3.2 Tekoucí (lotické) vody

Za základní biokoridor v naší Zemi jsou považovány tekoucí vody. Jsou důležité pro život a především to jsou vodní tělesa, která mají kontinuální pohyb a tok a jsou důležitou součástí hydrologického cyklu. Dále přispívají k transportu vody a živin v krajině (Lellák a Kubíček, 1992).

3.2 Povrchové vody v České republice

Česká republika se nachází ve střední Evropě a má rozmanitou geografii, která neovlivňuje distribuci povrchových vod pouze v ČR, ale celé střední Evropě. Hlavními hydrografickými prvky jsou řeky Vltava, Labe, Morava a Ohře, spolu s množstvím menších toků, jezer a rybníků (Němec a kol., 2006).

Přes území prochází hlavní evropské rozvodí, které ho rozděluje na 3 úmoří – Severního, Černého a Baltského moře. Celkem 65 % povodí je součástí úmoří Severního moře a je napájeno zejména řekou Labe. Ta představuje jeho hlavní vodní tok (nature.cz).

Úmoří Černého moře se z větší části rozkládá na Moravě, ale menší části lze nalézt v Čechách (Šumavě), odkud stéká voda z jihozápadních svahů do Dunaje a v Beskydech, odtamtud vodu odvádí slovenská řeka Váh. Části Vizovické vrchoviny a Bílých Karpat odvádějí vodu do Váhu prostřednictvím řeky Vlára. Nejdůležitější řekou tohoto úmoří na území ČR je Morava, která má hlavní přítoky Desnou, Třebovku, Hanou, Bečvu a Dyji (nature.cz).

Úmoří Baltského moře pokrývá převážně Slezsko. Z území ČR do něj odtéká voda řekou Odrou a jejími přítoky Opavou, Ostravicí, Olší a Nisou (nevlévá se do řeky Odry na území ČR) (nature.cz).

Vodní toky na území České republiky jsou rozděleny na významné vodní toky (16326 km) a drobné vodní toky (91700 km). Celková délka vodních toků je zde 108000 km. Správu významných vodních toků a poloviny drobných zajišťují státní podniky Povodí Vltavy, Ohře, Labe, Odry a Moravy. Dalším významným správcem drobných vodních toků je státní podnik Lesy České republiky (eagri.cz).

Státní podnik povodí Labe má ve své správě celkem 3586,2 km vodních toků, povodí Vltavy 5505,4 km, Ohře 2334,1 km, Odry 1111,9 km a Povodí Moravy spravuje celkem 3755,1 km. Státní podniky jednotlivých povodí tedy spravují všechny významné vodní toky v České republice (16 292,7 km). Správci spadající do působnosti Ministerstva zemědělství, mají podíl 93,4 %, zatímco 6,6 % ze správy toků zajišťují ostatní subjekty, včetně Ministerstva obrany, správ Národních parků a dalších fyzické a právnické osoby (eagri.cz).

Stav a kvalita povrchových vod jsou stejně tak jako v ostatních zemích světa ovlivněny lidskou činností, včetně znečištění z průmyslu, zemědělství, komunálních odpadů a dalších zdrojů. Hlavními problémy jsou znečištění vody hnojivy, těžkými kovy a dalšími látkami, které ohrožují biodiverzitu a zdraví lidí (Mičaník a kol., 2011).

Z hlediska radioaktivního znečištění povrchových vod v České republice hrál významnou roli výbuch jaderné elektrárny 26. dubna 1986 na severu Ukrajiny v Černobylu, kdy se do ovzduší dostalo značné množství radioaktivních látek. Od této doby se v ČR vyskytuje na mnoha místech a v různém množství Cesium 137, který má poločas rozpadu okolo 30 let a velmi dobře se šíří v prostředí, především vodě. Kontaminovány byly nejenom vodní zdroje, ale také významné horské oblasti, jakož jsou například Krušné hory, Šumava a podobně (Mičaník a kol., 2017; VÚV TGM, v.v.i.).

Pro ochranu a udržitelné využívání povrchových vod v České republice jsou nezbytná opatření v oblasti regulace, monitoringu, legislativy a vzdělávání. Byla přijata řada opatření a programů na ochranu vodních zdrojů, včetně implementace směrnice Evropské unie o vodě a dalších norem a předpisů (Baudišová a Kožíšek, 2021).

3.2.1 Stojaté (lentické) vody

V České republice se nachází několik desítek vodních nádrží ať už přirozeného či umělého původu. Za největší rozlohou je považováno Lipno, ležící na řece Vltavě, nádrž je velká celkem 4870 ha a zadržuje 309,5 mil. m³ vody. Dalšími jsou nádrže Orlick,

Švihov, Novomlýnská, Nechranice a vodní nádrž Slapy. Co se týče objemu, nejvíce vody je zadržováno nádrží Orlik na řece Vltavě a to 716,5 mil. m³, poté vodní nádrží Švihov na Želivce, tedy 309 mil. m³ vody, nádrž Nechranice na Ohři zadržuje objem 287,56 mil. m³ a nádrž Slapy na řece Vltavě celkem 269,3 mil. m³. Za nejhlubší nádrž je považována vodní nádrž Dalešice na řece Jihlavě o hloubce 85,5 m (eagri.cz).

Největším rybníkem je Rožmberk s plochou 489 ha, objem zadržované vody je zde 5,86 mil. m³ a délka hráze 2430 m. Nejobjemnějším je Staňkovský rybník, objem rybníka je 6,6 mil. m³ a nejstarším je Žárský rybník (eagri.cz).

Největším jezerem je Černé jezero na Šumavě s rozlohou 18,4 ha a hloubce 39,8 m, nejhlubším jezírko v Hranické propasti a nejvýše položeným Laka, nacházející se na Šumavě v nadmořské výšce 1096 m n. m. (eagri.cz).

3.2.2 Tekoucí (lotické) vody

Tekoucí vody v České republice hrají důležitou roli v ekosystémech, zásobování vodou, energetice a zemědělství. Jsou důležité pro turismus a rekreační aktivity, protože nabízejí možnosti kanoistiky, rybaření, plavby a jiných vodních sportů (Polášková a kol., 2011).

Nejmohutnější řekou je řeka Labe s celkovou délkou toku 370 km, řeka má největší povodí o rozloze 49933 km² a největší spád o rozdílu 1269 m. Nejdelsí řekou je Vltava, ta je dlouhá 433 km. Řeky Labe i Vltava jsou nejdůležitějšími toky v Čechách. Na jižní Moravě jsou to řeky Morava s délkou toku 272 km a Dyje s délkou 306 km. Na severu Moravy a Slezska jsou nejdelsí řeky Odra, ta dosahuje 135 km a řeka Opava s 131 km (eagri.cz).

Kromě velkých řek existuje mnoho menších potoků a toků, ty obvykle pramení v horských oblastech a poskytují vodu pro zemědělské účely, rekreaci a pití. Nejznámějšími jsou říčky Lužnice a Úpa, Jizera, Jihlava, Úhlava (Němec a kol., 2006).

3.3 Hodnocení jakosti povrchových vod

Hodnocení jakosti povrchových vod je prováděno podle normy ČSN 75 7221, ta je doplněna dvěma nařízeními vlády, a to č. 229/2007 Sb. a č. 61/2003 Sb. (Mičaník a kol., 2017). Povrchovým vodám, které mohou ovlivnit lidské zdraví, se věnuje kontrolní péče a zvláště se soustavně hlídají zdroje pro pitnou vodu, závlahové vody, bazény

s cirkulací a také vody, které jsou používány ke koupání ve volné přírodě (Polášková a kol., 2011).

Mičaník a kol. (2011), uvádí, že na základě skupinových ukazatelů, uvedených v kapitole 3.2.2., se povrchové vody dělí do 5 tříd:

- I. Třída – velmi čistá voda – tento typ čistoty vody se hodí pro všechna užití, nejen pro vodárenský, ale také potravinářský průmysl, kde je požadována jakost pitné vody nebo taková kvalita vody, která je vhodná pro chov lososovitých ryb
- II. Třída – čistá voda – voda zde je taktéž vhodná pro mnoho účelů, ať už k vodárenským, pro vodní sporty, chov ryb či pro zásobování průmyslu vodou
- III. Třída – znečištěná voda – voda má malou krajinnotvornou hodnotu a pro vodárenské účely je vhodná jen za předpokladu, že k dispozici není zdroj vody lepší jakosti a že prošla rozsáhlou technologií úpravy
- IV. Třída – silně znečištěná voda – voda se užívá pouze pro omezené, nikoliv pro vodárenský účel
- V. Třída – velmi silně znečištěná voda – tahle voda není vhodná pro žádné účely

3.3.1 Norma ČSN 75 7221

Již od 60. let 20. století je v České republice pravidelně sledována kvalita vod. Roku 1965 byla vydána první norma, a to norma ČSN 83 0602. Ta se zabývala problematikou znečištění vody a obsahovala 25 ukazatelů, na základě, kterých se zjišťovala jejich kvalita. V průběhu let byla revidována a doplňována o další indikátory znečištění vod. Poslední revize proběhla v roce 2017, kdy vyšla v platnost Norma ČSN 75 7221 (Mičaník a kol., 2011).

Ta nejnovější je již doplněna o další indikátory a celkem jich obsahuje 65. Ty jsou rozděleny do 5 skupin, a to na mikrobiologické a biologické ukazatele, radiologické ukazatele, obecné, fyzikální a chemické ukazatele, organické látky a kovy a metaloidy (Mičaník a kol., 2017).

3.3.2 Klasifikace jakosti povrchových vod

Všechna jednotlivá využití vody mají své požadavky, které stanoví míru znečištění vody a také způsob její kontroly. K hodnocení jakosti se využívají ukazatele skupinové kvality vody,

kterými jsou: kyslíkový režim, obecné, fyzikální a chemické ukazatele, těžké kovy, biologické a mikrobiologické ukazatele a radioaktivita (Polášková a kol., 2011).

3.3.2.1 Kyslíkový režim

Základním ukazatelem kvality vody je rozpuštěný kyslík. Skupinový ukazatel kyslíkový režim se dělí na biochemickou spotřebu kyslíku (BSK) a chemickou spotřebu kyslíku (CHSK). BSK ukazuje množství organických látek, které byly za určitých definovaných podmínek odbourány biochemickými procesy. Jestliže byla naměřena vysoká hodnota BSK, jde o rychle zmenšující se obsah kyslíku ve vodě a hrozí následný negativní dopad na biodiverzitu. Hodnoty ukazatele BSK bývají nižší, než je u hodnot CHSK. Jestliže při chemické spotřebě kyslíku dojde k oxidaci s dichromanem či manganistanem, odpovídají její hodnoty množství látek odbouraných právě chemickou oxidací (Polášková a kol., 2011).

3.3.2.2 Obecné, fyzikální a chemické ukazatele

Za zvláštní chemické a fyzikální ukazatele je považována teplota, pH vody, rozpuštěné a nerozpuštěné látky, vodivost, obsah amoniakálního a dusičnanového dusíku, celkový obsah uhlíku – TOC a veškerý fosfor. Doplňujícími chemickými ukazateli jsou hodnoty obsahu vápenatých iontů, chloridových iontů, tenzidu aniontového, hořčíku, síranu, nepolárních extrahovaných „ropných“ látek (NEL) a organicky vázaného chloru (AOX) (Polášková a kol., 2011).

Amoniakální dusík v reakci s kyslíkem v prostředí vody oxiduje na dusitany a dále na dusičnany. Právě dusitany se ve zvýšené míře vyskytují nejen ve vodách s intenzivním chovem ryb, ale i v odpadních vodách z konkrétních druhů strojírenských procesů, nejčastěji se jedná např. o obrábění kovů. Celkový dusík zahrnuje i organickou frakci, která má významný podíl a nelze ji zanedbat. Zařazení celkového dusíku do normy je důsledkem jeho povinného monitorování jako ukazatele kontroly kvality odpadních vod, jak je stanoveno nařízením vlády č. 401/2015 Sb., zejména pro čistírny odpadních vod s kapacitou nad 10 000 ekvivalentních obyvatel (Mičaník a kol., 2011).

3.3.2.3 Těžké kovy

Za těžký kov je ve vodách považována rtuť, kadmium, arsen, olovo, chrom a nikl. Ve vodách jsou výše uvedené prvky sledovány v pevné i rozpuštěné formě a jejich mezní hodnoty se stanovují jako průměr mezi celkovým a rozpuštěným obsahem kovu. Od roku 2011 došlo ke zpřísnění hodnot mědi, niklu a chromu (Mičaník a kol., 2011).

3.3.2.4 Biologické a mikrobiologické ukazatele

V biologických a mikrobiologických ukazatelích jsou obsaženy hodnoty saprobního indexu a koliformních nebo fekálně koliformních bakterií, tedy indikátorů mikrobiálního znečištění (Polášková a kol., 2011). Hodnoty podle saprobního indexu se liší tím, že ve vodách žijí nejrůznější organismy, které se ne vždy podílejí na rozkladných procesech. Dalším biologickým ukazatelem je obsah chlorofylu (Mičaník a kol., 2011).

3.3.2.5 Radioaktivita

Radioaktivní skupinový ukazatel nám udává celkový povolený objem aktivity záření α a β (Polášková a kol., 2011). Při klasifikaci kvality vod jsou tedy hlavní ukazatele celková objemová aktivita α , celková objemová aktivita β a celková objemová aktivita β po korekci na ^{40}K , ^{226}Ra a ^3H . Za radioaktivní látku byl označen uran, který se řadí i do ukazatele těžkých kovů. Pokud jde o α aktivitu, na nepoškozených profilech, tedy půdě, která nebyla narušena či ovlivněna lidskou činností, jako je těžba nebo průmyslová činnost, v první třídě kvality by celková objemová aktivita měla být menší než 100 mBq/l. Pokud je aktivita vyšší, naznačuje to přítomnost antropogenních vlivů. U β aktivity je hodnota při antropogenním znečištění stejná, avšak liší se od hodnoty celkové objemové aktivity v neovlivněných oblastech, která je nižší než 300 mBq/l (Mičaník a kol., 2011).

3.4 Znečištění povrchových vod

Pojem kontaminace pochází z latinského *Contaminare*, tedy poskvřnit. Kontaminace neboli znečištění, často působí i nemalou ekonomickou ztrátu (Klaban, 2011). Znečištění je provázáno různými druhy stresorů, zahrnujícími fyzikální, chemické a biologické faktory (Tarazona, 2024). Množství škodlivých látek, které nesmí být ve vodě překročeno, je určeno

nejvyšší přípustnou neboli mezní, koncentrací (NPK). NPK je rozdělena podle jejího působení na NPK: organoleptickou, toxickou a nepřímo škodlivou (Pitter, 1990).

Rozlišují se tři druhy škodlivosti, a to z hlediska organoleptického, toxikologického a škodlivost působící v jiném směru. Organoleptické vlastnosti vody jsou ovlivněny již nízkou koncentrací organických látek ve vodě, na rozdíl od toxicity, která je ovlivněna až vyšší koncentrací. Za organické látky tohoto typu jsou považovány nejen pesticidy určitého typu, ale dále i chlor fenoly, ropné látky a chlorované uhlovodíky (Pitter, 1990).

Co se týče organického znečištění vody, jsou největší škody na kvalitě vody způsobeny fenoly, ropnými látkami, tenzidy, ligninsulfonany a chlorovanými organickými látkami. Ukazatelé anorganického znečištění vod jsou kyanidy a také některé kovy, zde záleží na jejich jednotlivé toxicitě (Pitter, 1990).

Existuje znečištění typu biologického, chemického a fyzikálního původu (Maurya a kol., 2020). Právě kontaminace mikrobiální se netýká pouze vod, ale dále i potravinářských výrobků, kam se mikroby dostanou, rozmnoží se a výrobek následně znehodnotí. Zde se používá především označení infekce, stejně jako během přítomnosti choroboplodných mikroorganismů v živém organismu člověka či zvířete (Klaban, 2011). Dále je známo několik faktorů, které přispívají k znečištění vody a mezi ně patří nejen estetické závady, ale také o nánosy, chemické a bakteriální znečištění vody nebo dále poškození biologického stavu a fyzikálních vlastností vody (Pitter, 1990).

Znečištění dále ovlivňuje biologickou rovnováhu v recipientech, tedy prostředí, která jsou vystavena znečištění vodního prostředí, a především schopnost samočištění jednotlivých vodních toků (Pitter, 1990). Kontaminace znečišťujícími látkami tedy snižuje celkovou užítkovost i vlastností vody (Maurya a kol., 2020).

Podle údajů Světové zdravotnické organizace (WHO) dochází každoročně k přibližně 600 milionům případů průjmů a úplavic. Přibližně 46000 kojenců umírá kvůli znečištěné vodě a nedostatečné hygieně. Mikrobiálně kontaminovaná voda tak představuje extrémní riziko pro pití, koupání a další aktivity (Sudip a kol., 2021).

3.4.1 Zdroje znečištění povrchových vod

Zdroje znečištění se dělí podle rozměru do dvou kategorií, kterými jsou plošné a bodové (Polášková a kol., 2011). Kromě bodového a plošného se znečištění dělí na difuzní.

To je v případě rozptýlenějších zdrojů znečištění (Pitter, 2009). Co se týče rozdělení zdrojů znečištění podle časového hlediska, dělí se na krátkodobé a dlouhodobé, které jsou méně intenzivní než krátkodobé. I při malé intenzitě dokáží zdroje znečištění způsobit nemalé ekologické škody (Polášková a kol., 2011).

Pokud je možné identifikovat množství a jakost znečištění, které se do vodních toků dostává z konkrétních a lokalizovaných zdrojů, jako jsou kanalizace a průmyslové odpadní vody, označujeme tyto zdroje jako bodové. Jde o lokální znečištění vodního útvaru (Pitter, 2009). Do bodových zdrojů znečištění řadíme i havárie, tedy úniky z průmyslových zařízení či úniky toxických látek (Polášková a kol., 2011).

Co se týče plošného znečištění, nejvýznamnější zdroje znečištění pocházejí právě ze zemědělství. Zde se jedná především o splachy z obdělávaných půd a do vodního útvaru tak uniká nemalé znečištění (Pitter, 2009). Dále se za plošný zdroj označuje i znečištění ovzduší (Polášková, 2009).

Jestliže bude při výzkumných pracích či monitoringu vody prokázána existence zdravotních rizik, musí se zdroj znečištění klasifikovat. Pro nalezení vhodného přístupu k očištění znečištěného vodního toku, který slouží k zásobování obyvatelstva jsou znečišťující zdroje rozděleny do dvou kategorií: lokální a rozptýlené, nebo také kontaminační mraky (Novák a kol., 2016).

3.4.2 Druhy znečištění povrchových vod

Znečišťující látky, které ovlivňují kvalitu povrchových vod lze rozdělit do tří skupin, kterými jsou: látky, které působí přímo toxicky nebo způsobují organoleptické závady; látky ovlivňující kyslíkovou bilanci toku; inertní látky, za ty jsou považovány anorganické nerozpuštěné a rozpuštěné netoxické látky (Pitter, 1990).

Lokální zdroje znečištění povrchových vod svým znečištěním ovlivňují pouze jasně vymezená území, odkud se znečištění šíří pouze omezeným způsobem. Zde záleží na velikosti území, míře znečištění a podmínkách pro jeho šíření. Příkladem jsou sklady pesticidních látek, které nejsou řádně zabezpečeny vůči srážkám. Lokální zdroje mají svá nápravná opatření sanovatelná přímo v místě znečištění a jedná se o norné stěny či aplikaci sorbentu. Cílem těchto opatření je snížení rizika znečištění pesticidními látkami (Novák a kol., 2016).

Sanační zásahy jsou buď formou aktivního procesu, a to sanačního čerpání či odtěžby nebo formou procesu pasivního, tím se rozumí procesy enkapsulace a atenuace. Enkapsulace je proces, při kterém je kontaminovaný materiál nebo látka uzavřena či obklopena jiným materiálem, aby se zabránilo jejímu šíření a kontaktu s okolním prostředím. Tím se snižuje riziko šíření kontaminace a minimalizuje se možný vliv na životní prostředí a lidské zdraví. Atenuací je myšlen proces, který je uskutečňován přirozenou či umělou formou a často slouží k redukci rizik spojených se znečištěním. Tím je například rozklad škodlivých látek nebo jejich přeměna na méně toxické formy. Je to proces, kterým se snižuje koncentrace nebo intenzita znečištění v životním prostředí. Ve většině případů jsou procesy nápravy spíše destruktivního charakteru (Novák a kol., 2016).

Plošné zdroje znečištění kontaminují území většího rozsahu a ovlivňují větší území. Významný zdroj plošného znečištění je zemědělství, nejvíce jakost vod ovlivňuje eroze a vymývání živin. Plošné zdroje znečištění bývají identifikovány za pomoci primární analýzy území, kam spadá syntéza vstupních podkladů z oborů hydropedologie, DMT a hydrogeologie. Zjišťují se směry odtoku jak povrchových, tak i podzemních vod a také se dohledávají zpětné informace o aplikovaných látkách, které by mohly znečištění stupňovat (Novák a kol., 2016).

3.5 Mikrobiální znečištění

Voda se v České republice pravidelně monitoruje již od roku 1965, kdy vyšla v platnost norma ČSN 75 221. Ta obsahovala 25 mikrobiologických ukazatelů na hodnocení kvality vod. Mikrobiální kontaminace je ovlivněna několika faktory, včetně velikosti a charakteru místa, ale především vzdáleností od zdrojů znečištění (Baudišová, 2017). Ke zvýšenému znečištění tohoto typu přispívají dlouhodobě a přívalové srážky. Zde se jedná o znečištěnou vodu, která se z kapacitních důvodů, nedostane do ČOV (Zvěřinová, Mlejnková a kol., 2023).

Stav mikrobiálního znečištění je potřeba pravidelně kontrolovat a to především i kvůli dopadům na lidské zdraví, které může kontaminovaná voda mít. V roce 2016 se na základě projektu TA ČR (na zjištění kvality a hodnocení povrchových vod), kterého se zúčastnilo celkem 66 vodoprávních úřadů, zjistilo, že 83 % jich je pravidelně oslovováno veřejností s dotazem právě na znečištění vod. Celkem 33 % se zajímalo především o mikrobiální znečištění (Baudišová a Mlejnková, 2017).

Jak uvádí Sládeček a Sládečková, (1996), větší množství druhů vodních mikroorganismů je možno nalézt v čistších vodách, kde je jejich zastoupení nižší než ve vodách znečištěných, kde se naopak nachází méně druhů organismů, ale v mnohem větším množství.

Mikrobiologické znečištění vod se dříve zjišťovalo na základě mikroskopického pozorování jednotlivých objektů, později byla tato metoda nahrazena jinými, a to fyzikálně chemickými, fyziologickými a biochemickými metodami. Nyní jsou mikroskopické metody prováděny zcela výjimečně a nejčastěji prováděné metody jsou kultivační, kde je potřeba dodržovat pravidla pracovního postupu, stanoveného normami ČSN, EN a ISO (Ambrožová, 2004).

3.5.1 Charakteristika mikrobiálního znečištění

Mikrobiální neboli fekální znečištění, je jedno z nejčastějších a také nejzávažnějších druhů znečištění vod, které ohrožují její kvalitu a celkový stav vodních ekosystémů (Šašek, 1999).

Mikrobiální znečištění se hodnotí prostřednictvím sledování indikátorů, které signalizují přítomnost fekální kontaminace a potenciální riziko výskytu patogenů způsobujících střevní onemocnění ve vodním prostředí. Mezi hlavní indikátory mikrobiálního znečištění patří koliformní bakterie, termotolerantní koliformní bakterie, intestinální enterokoky a bakterie rodu *Escherichia* (*E. coli*) (Baudišová a Mlejnková 2017).

3.5.2 Zdroje mikrobiálního znečištění povrchových vod

Odpadní vody představují hlavní zdroj fekálního znečištění povrchových vod. K tomu přispívají také rozvodněné kanalizace, nedostatečně utěsněné kanalizační potrubí a septiky, které prosakují. Dále mohou znečištění výrazně zvýšit poruchy a praskliny v kanalizačních systémech a nelegální vypouštění odpadních vod do povrchových toků, ale také silné srážky (Baudišová a Mlejnková, 2017).

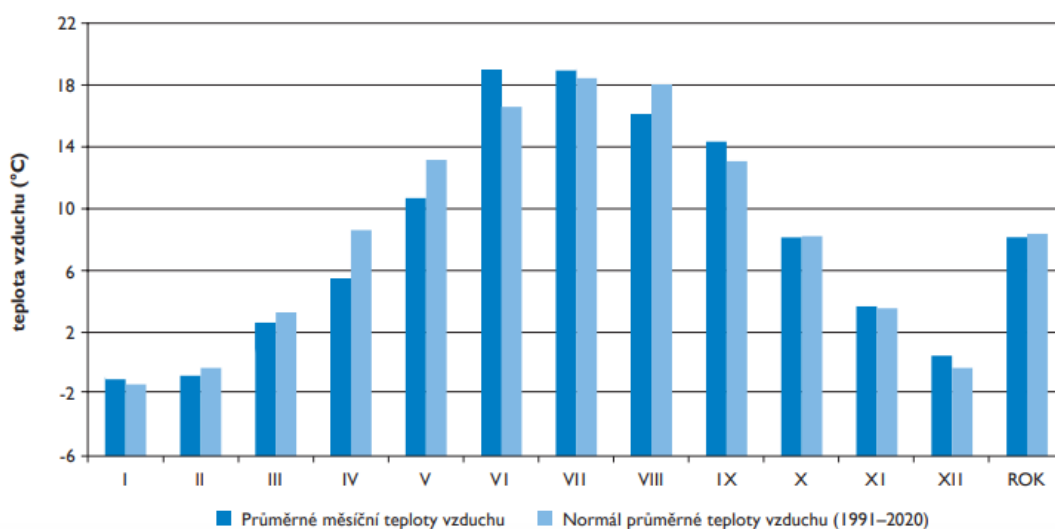
Dalším významným zdrojem mikrobiálního znečištění je používání hnojiv v zemědělství. To může vést ke kontaminaci povrchových vod mikrobiálními znečišťujícími látkami z půdy. Zdrojem znečištění jsou také exkrementy hospodářských zvířat, divoké zvěře a domácích mazlíčků. Ty mohou obsahovat mikroorganismy, které se poté dostávají do vodních toků a jezer (Novák a kol., 2016).

3.5.3 Mikroorganismy v povrchových vodách

Mikrobiální kontaminací je vniknutí cizích mikroorganismů a jejich následné přemnožení se a znehodnocení celého obsahu kultivačního vzorku (Klaban, 2011).

Mikroby, též zkrácený název pro mikroorganismus, jsou veškeré organismy, které jsme schopni rozeznat za pomoci mikroskopu. Opakem je makroorganismus, tedy organismus, který je viditelný pouhým okem. Mikroorganismy tvoří velkou heterogenní skupinu organismů, jak prokaryotních (bakterie a sinice), tak eukaryotních (řasy, houby a prvoky). Též sem spadají nebuněčné mikroby, nejčastěji bakteriofágy, společně s mikrobiálními, rostlinnými a živočišnými viry. Mikroorganismy ve vodách jsou nesmírně důležité vzhledem k jejich mnoha funkcím: detoxikační a sanitární. Právě díky vodním mikroorganismům jsou ve vodních ekosystémech udržovány trofické řetězce a vodní nádrže tak neztrácejí svůj bioenergetický potenciál ani pravidelný koloběh látek (Klaban, 2011).

Patogenní mikroorganismy jsou schopné se snadno adaptovat na své prostředí a vykazují vysokou schopnost reprodukce, což umožňuje jejich rychlé množení za příhodných světelných, teplotních a dalších podmínek prostředí. S aktuální změnou klimatických podmínek, především rychlého nárůstu průměrných měsíčních teplot, viz obrázek č. 1, se mění rychlost, doba a množství patogenních mikroorganismů a bakterií ve vodách (Chen a kol., 2023).



Obrázek 1 - Průměrné měsíční teploty vzduchu za rok 2021 ve srovnání s normálem 1991 až 2020 (zdroj: eagri.cz)

3.5.3.1 Dopady mikroorganismů na kvalitu povrchových vod

Mikroorganismy mají potenciál významně ovlivnit kvalitu povrchových vod a představují různá rizika pro lidské zdraví a životní prostředí (Baudišová a Mlejnková, 2017).

Nejvýznamnějším dopadem mikrobiálního znečištění vodních toků jsou zdravotní rizika pro lidské zdraví, ty způsobují přítomné patogenní mikroorganismy (bakterie, viry a paraziti). Ty jsou rizikem pro lidi, kteří vodní tok používají jako zdroj pitné vody nebo s vodou přicházejí do styku (Polášková a kol., 2011).

Vysoké počty patogenních mikroorganismů ve vodách mají negativní dopad na životní prostředí celkově, ale především na vodní ekosystémy. Akumulace bakterií může způsobit hypoxii ve vodních tocích a jezerech, tedy nedostatek kyslíku, což má za následek ohrožení života vodních organismů. Mikroorganismy mohou svým počtem konkurovat jiným vodním organismům a způsobit tak jejich úbytek či úplnou ztrátu. To může způsobit negativní dopady na stabilitu vodních ekosystémů (Klaban, 2011).

Dalším dopadem mikroorganismů může být dopad ekonomického charakteru, kdy náklady na vyléčení nemocí způsobených patogenními organismy, mohou být ekonomicky nákladné. Pokles užitku kontaminovaných vod by mohl vést ke snížení produktivity nejen v zemědělství, ale i v průmyslu kvůli nedostatku čisté vody. Navíc znečištění vodních toků může mít za následek pokles turistického ruchu (Klaban, 2011).

3.5.3.2 Zdravotní rizika

Vodní patogeny se šíří prostřednictvím znečištěné vody a při jejím požití může vzniknout infekce, která se dělí na symptomatickou (je možné vidět projevy; nejruznější nemoci) a asymptomatickou (bez zjevných projevů). Většina vodních bakterií způsobuje asymptomatické nemoci, které v častějších případech vedou až k široké epidemii (Maurya a kol., 2020). Kontaminace vody je rozsáhlý celosvětový problém, který ročně způsobuje úmrtí až 1,8 milionu lidí, a to především dětí mladších pěti let (Polášková a kol., 2011).

Se zdravotními komplikacemi se lze setkat nejen během koupání se v kontaminované vodě, ale také během vodních sportů či rekreace poblíž kontaminované vody (Baudišová a Mlejnková, 2017)

Čeď *Enterobacteriaceae* působí patogenně pouze vůči jedincům s oslabeným imunitním systémem a způsobuje jim průjmová onemocnění, pro zdravé hostitele bývá neškodná. Jsou to právě druhy bakterií z téhle čeďi, které jsou zodpovědné až za 50 % všech podchycených infekcí z vod (Ambrožová, 2004).

Bakterie rodu *Escherichia* (*E. coli*) způsobuje, kromě střevních potíží, onemocnění ústrojí močového, nejčastěji zánět močových cest. Pro hostitele je ale užitečná, díky jejím činnostem jsou ve střevech syntetizovány důležité vitamíny a je díky přítomnosti *E. coli* mnohdy zajištěna rovnováha střevních mikroorganismů (Klaban, 2011). Ve větším množství může způsobit krvavý průjem (hemoragickou kolitidu) a selhání ledvin, tedy hemolyticko-uremický syndrom, obě tyto nemoci jsou vysoce nakažlivé a protilátky proti nim jsou nízké (Maurya a kol., 2020).

Jak uvádí Ambrožová (2004), v roce 1855 bylo za pomoci britských lékařů Georgeho Budda a Johna Snowa zjištěno spojení mezi nemocemi, konkrétněji cholerou a tyfem, a vodou kontaminovanou fekáliemi. Právě díky tonuto zjištění se začaly mikrobiologické analýzy provádět preventivně.

Onemocnění, která vznikají kvůli kontaminované vodě, se dělí do několika kategorií nejen podle symptomů, četnosti onemocnění, ale také podle projevů a bakterií, které nákazu způsobují. Zdravotními komplikacemi jsou protozoální, bakteriální, virové, parazitární a houbové infekce a infekce s vektory ve vodním prostředí, přičemž je třeba dbát bezpečnosti během návštěv exotických zemí. Parazitárními nemocemi, kam se řadí svalové bolesti, horečky a vyrážky, onemocnělo v roce 2011 více než 1,5 milionu lidí (Polášková a kol., 2011).

3.5.3.3 Odstranění mikroorganismů z povrchových vod

Úprava vody se definuje jako soubor technologických operací, které přeměňují vlastnosti vody tak, aby odpovídaly požadavkům spotřebitelů. Dezinfekce vody je tedy proces, který zahrnuje odstranění, inaktivaci nebo zabíjení mikroorganismů, jako jsou bakterie, viry a paraziti, aby se zlepšila její bezpečnost a pitná kvalita. Existuje několik metod odstranění mikroorganismů z vod, a to filtrace, dezinfekce a sedimentace. Pro dosažení účinného odstranění mikroorganismů, aby byla zajištěna bezpečnost vody pro spotřebitele, je vhodné tyto metody kombinovat. Nejčastěji používanými dezinfekčními prostředky vody jsou ozónování, ultrafialové záření a chlorování (Biela a Beránek, 2004).

3.5.3.3.1 Chlorační postupy

Nejčastější dezinfekce povrchových vod je za pomoci chloru. Ten je možné přidávat ve skupenství kapalném, plynném a tuhém. Chlor má velice silné oxidační účinky a dá se použít poměrně jednoduše, i přes malé množství je velmi účinný a při reakci s mikroorganismy, bakteriemi a viry, reaguje poměrně rychle a likviduje je (Biela a Beránek, 2004).

Při desinfekci chlorem však nedochází pouze k žádoucím, ale také nežádoucím reakcím. Mezi žádoucí můžeme zařadit inaktivaci neboli usmrcení, patogenních organismů, celkovou změnu forem nežádoucích látek ve vodním ekosystému a také omezení až vyhubení pomnožování bakterií v distribuční síti. Mezi nežádoucí je třeba zmínit, že chlor může zanechat vodě nejen zápach, ale i chuťovou pachů a také může potlačit pouze indikátorové, nikoliv patogenní organismy, následně tedy může dojít k falešně negativnímu obrazu vody, kdy voda není zcela vyčištěna (Kožíšek, 2010).

Chlor a jeho sloučeniny reagují ve vodách hydrolyzou, což má za následek vznik kyseliny chlorné. Tato kyselina je nestálá a uvolňuje kyslík, který poškozují protoplazmu bakteriálních buněk a způsobuje jejich destrukci. Při chlorování se využívají především chloraminy, chlornany a oxid chloričitý, ten dokáže zneškodnit nejen pachy po rybině, ale i řasách. Nejúčinnější z chlornanů bývá chlornan vápenatý, sodný a hořečnatý (Biela a Beránek, 2004). Chloramin se do vod přidává v případě, že tato delší dobu stojí ve vodovodní síti, tím je zaručeno (chlor se uvolňuje postupně), že voda bude po celou dobu chráněná proti kontaminaci (Kožíšek, 2010).

Pro zjištění použitelného množství chloru je třeba brát v potaz především teplotu vody, hodnotu pH, obsah organických látek a také stupeň biologického oživení. Při chloraci je důležité zachování správného tlaku ve vodě a také správné dávkování chloru, ke kterému dochází v chlorovně, obraz o čistotě vody je ukazován tzn. chlorovým číslem, to pro znečištěné povrchové vody činí 1 až 3 mg.l⁻¹ (Biela a Beránek, 2004). Přesné závěry po dávkování chloru je možné předpovědět pouze s laboratorním ověřením (Kožíšek, 2010). Dávkování probíhá pomocí chlorátorů, následně je chlorace buď přímá, či nepřímá (Biela a Beránek, 2004).

Během přímé chlorace je expandovaný chlor vyčištěn, změřen a poté rozptýlen do vody ve tvaru drobných bublinek, zatímco během nepřímé chlorace je po zmenšení tlaku chloru a odměřeného množství připraven 2 až 5% roztok, který je následně zaveden do vody. Jestliže se ve vodě po chloraci nachází větší množství chloru, je přebytek možné odstranit pomocí dechlorace, a to buď chemicky – redukčně působícími látkami, kterými jsou oxid

siřičitý, aktivní uhlí či siřičitan sodný či mechanickým provzdušnáním vody (Biela a Beránek, 2004). Je důležité, aby voda po chloraci byla z mikrobiálního posouzení zcela nezávadná (Kožíšek, 2010).

3.5.3.3.2 Ozonace

Ozon je nejúčinnějším oxidačním a dezinfekčním prostředkem používaným při dezinfekci vody. Má modravou barvu; v kapalném stavu je tmavě modrý. Jeho rozpustnost ve vodě klesá s rostoucí teplotou. V rámci vody se rychle rozkládá na atomární kyslík, který následně reaguje a slučuje se do molekulárního kyslíku, nebo reaguje s přítomnými organickými nebo anorganickými látkami. Ozon je stabilní pouze při vysokých tlacích, což komplikuje manipulaci s ním. Obvykle se vyrábí až na místě spotřeby (Biela a Beránek, 2004).

Žádný virus, bakterie, plísňe ani houby nejsou schopny odolat ozonu. Ozon má dezodorizační účinek, což znamená, že snižuje nežádoucí zápachy v prostředí, jako jsou cigaretový kouř, pachy zvířat, pot, zápachy z nátěrů, lepidel a podobně. Ozon tedy trvale odstraňuje příčiny zápachu (Krupicová, 2018).

Ozon má baktericidní účinek ve vodě v koncentracích 0,1 až 0,2 mg.l⁻¹ při době kontaktu 1 až 2 minuty. Jeho virucidní účinek je dosažen při koncentraci 0,4 mg.l⁻¹ při době kontaktu 4 minuty. V praxi se často používá doba kontaktu v rozmezí od 4 do 12 minut, která je přizpůsobena kinetice oxidace látek přítomných ve vodě (Biela a Beránek, 2004).

K výrobě 1 kg ozonu je potřeba až 100 m³ suchého vzduchu a asi 5 m³ chladicí vody. Ozon se vyrábí prostřednictvím průchodu vzduchu nebo kyslíku mezi dvěma elektrodami pod vysokým napětím. Ozonizátory mohou být trubkové nebo deskové. Pro vmíšení ozonu do vody jsou nejčastěji používány následující metody – kontaktní nádrže s probubláváním ozonu přes sloupec vody zdola, ejektory s přísáváním ozonu, obzvláště vhodné pro menší kapacity a rotorové mísiče s vnitřním rotujícím vertikálním kuzelem, který přísává ozon (Biela a Beránek, 2004).

Tento typ dezinfekce vod má několik výhod i nevýhod. Mezi hlavní výhody patří vysoká baktericidní účinnost, zlepšení organoleptických vlastností, jako je pach a chuť a minimální tvorba vedlejších produktů dezinfekce. Nevýhody dezinfekce ozonem jsou následující: ozon se musí vyrábět až na místě v ozonizátorech, dezinfekce je nákladnější v provozu, a především

jsou ozonizované vody náchylnější k reaktivaci mikroorganismů. Ozon nevytváří vedlejší produkty dezinfekce, avšak pro zajištění ochrany vody ve vodovodní síti před rekontaminací je nezbytné vodu chlorovat (Krupicová, 2018).

3.5.3.3.3 Dezinfekce UV zářením

Ultrafialová (UV) dezinfekce se obvykle aplikuje po filtraci, aby se snížily koncentrace částic a zlepšila se účinnost dezinfekce (Mehrnaz a Nicolas, 2023). Záření je generováno pomocí vysokotlakých nebo nízkotlakých rtuťových výbojek. Vysokotlaké výbojky emitují účinnější UV záření než nízkotlaké, avšak vyžadují vyšší energetické nároky. V roce 1980 bylo zjištěno, že ultrafialové záření s vlnovou délkou přibližně 200 až 300 nm rychle ničí nejen bakterie, ale také jejich spory. Nejvíce účinné je záření s vlnovou délkou 254 nm (Biela a Beránek, 2004).

Desinfekce vody tohoto typu má několik výhod a těmi jsou eliminace potřeby sledování, nepotřebnost obsluhy a údržby dávkovacích zařízení a analytická kontrola. Další výhodou dezinfekce UV zářením je krátká doba ozáření trvající od několika desetin sekundy do několika minut. Voda si zachovává své chemické, chuťové a pachové vlastnosti a nejsou do ní zaváděny cizí nebo toxické látky. Je však nutné, aby voda byla velmi čistá, bez obsahu železa a manganu, jinak je zapotřebí důkladné úpravy (Biela a Beránek, 2004)

UV záření deaktivuje mikroorganismy tím, že poškozuje jejich nukleovou kyselinu, čímž brání jejich replikaci. Mikroorganismus, který nemůže být replikován, není schopen infikovat hostitele. Některé mikroorganismy jsou schopny opravit poškození svého genomu, avšak dávky UV záření jsou natolik vysoké, že způsobují poškození mikrobiálního genomu v takové míře, že reaktivační mechanismy jsou považovány za neúčinné (Krupicová, 2018).

Tato dezinfekce nezanechává reziduální účinek a existuje zde riziko rekontaminace. Nicméně UV záření může likvidovat i patogeny, které jsou odolné vůči chloru a ozonu (Biela a Beránek, 2004). Tenhle typ dezinfekce vody se obvykle aplikuje po filtraci, aby se snížily koncentrace částic mikroorganismů a zlepšila se účinnost dezinfekce (Peleato a kol., 2023).

3.5.4 Indikátory mikrobiálního znečištění

Indikátory mikrobiálního znečištění nemají na veřejné zdraví přímý vliv, ale jsou potřeba pro vyhodnocení jakosti vod a také pro odhalení nedostatků při úpravě vody a její následné distribuci (Baudišová a Kozíšek, 2021). Co se týče ochrany zdraví, jsou mikrobiologické ukazatele jedny z nejvýznamnějších posuzovacích hledisek jakosti vody (Zvěřinová, Mlejnková a kol., 2023).

Mikrobiologické ukazatele neboli ukazatele fekálního znečištění upravuje norma ČSN 75 7221 (Mičaník a kol., 2017). Jsou to právě indikátory znečištění, díky kterým se zjišťuje nezávadnost vody (Tortorello, 2003) a to, zda ve vodě nejsou obsaženy patogenní organismy, protože zdrojem nákazy bývají mnohdy znečištěné toky řek (Ambrožová, 2004).

Spojení mikrobiologické ukazatele, tedy indikátory fekálního znečištění, vznikly z lat. *Indicare* = oznámit. Za indikátory jsou považovány výskyty koliformních bakterií, koliformů, dříve označovaných jako *coli-aerogenes*, kam spadá i výskyt bakterie rodu *Escherichia* (*E. coli*), enterokoky a klostridia redukující sulfity (siřičitany) (Klaban, 2011).

Indikátory fekálního znečištění slouží ke zjištění, zda je voda znečištěná a případně i v jaké výši. Přítomnost indikátorů znečištění ve většině případů signalizuje výskyt patogenních, podmíněčně patogenních organismů v povrchových vodách. Jsou to koliformní bakterie, kam spadá i bakterie *E. coli*, dále termotolerantní koliformní bakterie a intestinální enterokoky neboli fekální streptokoky (Straškrabová a kol., 1996). Ukazatele však neurčí počet mikroorganismů jiného než střevního původu a nejsou tedy vhodné pro určení znečištění typu mikrobakteriálního, virologického, mycetického či protozoálního (Šašek, 1999).

Pro hodnocení fekálního znečištění povrchových vod je potřeba pečlivosti, dodržení předepsané metody hodnocení a dodržení doby, do které je možné vzorek zpracovat. V takovém případě, kdy nebude vybrána správná metoda pro zpracování vzorku, dodrženy podmínky pro jeho transport a řádné nakládání se vzorkem a správný postup při jeho ředění, nemusí být výsledky stanovení mikroorganismů přesné. I přes správný postup při nakládání se vzorkem je nutno počítat s 30% nejistotou při stanovení mikroorganismů, přičemž se nejistota zohledňuje i do konečného hodnocení výsledků. Nedoporučuje se tedy provádět stanovení mikrobiálního hodnocení povrchových vod, pokud jsou výrazné

změny průtoků, a to např. přívalové deště nebo silné deště po období sucha (Baudišová a Mlejnková, 2017).

3.5.4.1 Koliformní bakterie

Koliformní bakterie spadají do čeledi *Enterobacteriaceae*, dříve známé jako *Coli-aerogenes*. Do koliformních bakterií řadíme především *Escherichia coli*, dále pár druhů z rodu *Klebsiella* a rody *Citrobacter* a *Enterobacter aerogenes*. Tato skupina bakterií se vztahuje především ke znečištění fekálnímu, jejich naměřené hodnoty se pravidelně zkoumají ve státních veterinárních a laboratorních ústavech, a to jak v potravinářském průmyslu, tak především ve vodách podpovrchových, povrchových a vodě pitné (Klaban, 2011).

Koliformní bakterie mají jedinečnou schopnost, dokáží vyrůst za přítomnosti žlučových solí. Jsou to gramnegativní tyčinky netvořící spory a vykazují pozitivitu při stanovení β -galaktooxidázovou aktivitu a negativitu při cytochromoxidázovém testu. Koliformní bakterie dále dokáží fermentovat laktózu, a to za produkce kyseliny a plynu (Straškrábová a kol., 1996).

Schopností koliformních bakterií je fermentace laktózy s produkcí kyselin, plynu a aldehydu během uplynulého dne až dvou, a to při teplotách 35 °C či 37 °C (Ambrožová, 2004).

Na základě několika výzkumů a výsledků analýz, se od začátku 20. století, kdy byly koliformní bakterie významně používaným indikátorem fekálního znečištění, zjistilo, že nemají zdroj pouze ve střevní mikroflóře člověka a teplokrevných živočichů, ale nacházejí se i v půdě a zbytcích rostlin. Pár jedinců z rodů *Citrobacter* a *Enterobacter* se dokonce ve vodě dokážou i pomnožit. Na základě výsledků vědeckých výzkumů a analýz se koliformní bakterie za ideální indikátor fekálního znečištění přestaly považovat (Baudišová a Mlejnková, 2017).

Na základě jejich původu se koliformní bakterie rozdělují na dvě ekologicky a fyziologicky rozdělení skupiny, kterými jsou termofilní koliformní bakterie, ty jsou převážně fekálního původu a způsobují vyšší zdravotní rizika, a poté na psychotropní koliformní bakterie, ty mají původ z prostředí a jsou nefekálního původu, ty se rozlišují na půdní, vodní a původce zdravotních nákaz (Šašek, 2005).

Koliformní bakterie se stanovují podle metod předepsané ve směrnících ČSN EN ISO 9308-1 a ČSN EN ISO 9308-2, směrnice jsou stejné jako při stanovení bakterie

Escherichia coli a stejně jako u ní, i koliformní bakterie mají mezní hodnotu 0 KTJ/100 ml, tedy pro stáčenou vodu do lahví 0 KTJ/250 ml (Baudišová a Kožíšek, 2021).

3.5.4.2 Termotolerantní koliformní bakterie

V České republice jsou známy spíše pod názvem fekální koliformní bakterie. Jsou podskupinou bakterií koliformních. Patří sem rody termotolerantních bakterií, například rody *Escherichia*, *Klebsiella*, *Citrobacter* a *Enterobacter*. I vzhledem k vysoké teplotě kultivace, která dosahuje až 44 stupňů Celsia, si termotolerantní bakterie dokážou ponechat své biochemické a růstové vlastnosti. Oproti koliformním bakteriím je tento poddruh více spjat s fekálním znečištěním i přesto to, že na rozdíl od bakterií *Escherichia coli* neexistuje pro termotolerantní bakterie žádná mezinárodní norma (Baudišová a Mlejnková, 2017). Co se týče významu k lidskému zdraví a zdravotním rizikům, mají termotolerantní bakterie vyšší význam, než bakterie koliformní (Šašek, 2005).

Podle standartních metod v Americe byla vytvořena norma ČSN 75 7835, metoda je natolik citlivá, že postačuje na kultivaci a stanovení počtu termotolerantních bakterií v povrchových vodách (Baudišová a Mlejnková, 2017).

Definice termotolerantních koliformních bakterií se od klasických koliformních bakterií liší pouze ve výši inkubační, tedy růstové teploty. Co se týče jejich inkubace, pro tenhle druh bakterií, je potřeba teplota ve výši 43 °C, při takové teplotě je tento druh bakterií schopen rozmnožování a především růstu. Termotolerantní koliformní bakterie se dříve nazývaly fekální koliformní bakterie a ty byly indikátory čerstvého znečištění živočišnými exkrementy. Na základě dalších výzkumů se dokázal výskyt těchto bakterií i ve vodách, kde nebylo dokázáno fekální znečištění, nýbrž znečištění organickými látkami a druh bakterií byl přejmenován na termotolerantní. Při úpravě pitné vody, konkrétně účinnosti její desinfekce, je stanovení počtu tohoto druhu bakterií doporučováno (Klaban, 2011).

Jak uvádí Ambrožová a kol. (2004), je tento druh bakterií schopen fermentovat laktózu, potřebuje u toho teplotu v rozmezí 44 °C až 45 °C a současně tvoří kyseliny, aldehyd a plyn.

3.5.4.3 Bakterie rodu *Escherichia* (*E. coli*)

Bakterie je nejzkoumanějším a nejvýraznějším druhem z rodu *Escherichia*, který spadá pod čeleď *Enterobacteriaceae* (Klaban, 2011). Bakterie je běžnou součástí střevní mikroflóry člověka (Giufre a kol., 2021). Má tyčinkovitý tvar a v několika případech i patogenní (enteropatogenní) strukturu, její buněčná stěna je tvořena především lipopolysacharidy a svrchu překrytou druhou membránou. Pokud při měření dochází k překročení hygienických limitů pro tuto bakterii, naznačuje to přítomnost fekálního znečištění (Klaban, 2011).

Tento druh bakterie pochází z lidských a zvířecích výkalů, přičemž tvoří 90 až 100 % z celkového počtu mikroorganismů v nich obsažených. Dále je *Escherichia coli* zastoupena 59 % nejen ve znečištěných vodách a ve splašcích (Ambrožová, 2004). Přítomnost *E. coli* ve vodě je vždy zdraví ohrožující (Šašek, 2005).

E. coli považována za nejlepší indikátor fekálního znečištění (Ambrožová, 2004). *Escherichia coli* mají z čeledi koliformních bakterií k mikrobiálnímu znečištění nejužší vztah a jsou považovány za vrchol třístupňového stanovení mikroorganismů ve vodě (Šašek, 1999).

Na rozdíl od několika rodů koliformních bakterií se ve vodě nedokáže pomnožit a vzhledem k přírodním podmínkám přežívá pouze po omezený čas. *E. coli* je specificky detekovatelná na základě aktivity enzymu β -D-glukuronidázy (Giufre a kol., 2021) a podrobná detekce je popsána v normách ČSN, EN a ISO. Další metoda pro stanovení *E. coli*, ČSN 75 7835, je méně citlivá, výsledky se mohou lišit až o 30 %. Naopak metoda ČSN EN ISO 9308-1 je důkladnější, ale obsahuje větší nárůst doprovodné mikroflóry. Je to právě metoda Colilert Quantitray of firmy IDEXX, která by měla být tou nejlepší metodou, jak stanovit *E. coli* v povrchových vodách, tu řeší norma ČSN EN ISO 9308-2 (Baudišová a Mlejnková, 2017).

Tento druh bakterií se vyskytuje v recyklovaných a srážkových vodách, přičemž v menších procentech, tedy 2,6 % je možné *E. coli* nalézt v dešťové vodě a ve vyšším zastoupení do 31 % se vyskytují v surových šedých vodách. V roce 2022 byla pro jejich stanovení nejlepší metoda podle ČSN EN ISO 9308-2 a to vzhledem k jejich vyššímu obsahu doprovodné mikroflóry při výskytu v šedých vodách (Kožišek a kol., 2022). V následujících letech by měla být další metoda pro jejich stanovení, a to s celkem 4hodinovým resuscitačním krokem na TBX médiu (Baudišová a kol., 2022).

Nejvyšší mezní hodnota *E. coli* ve vodě je 0 KTJ ve 100 ml, co se týče vody stáčené do lahve, zde je limit 0 KTJ/250 ml. Jejím stanovení ve vodách se věnují předepsané metody nacházející se ve směrnících ČSN EN ISO 9308-1 a ČSN EN ISO 9308-2 (Baudišová a Kožíšek, 2021).

3.5.4.4 Intestinální enterokoky

Intestinální enterokoky, známé pod názvem fekální streptokoky jsou považovány za doprovodný indikátor při zjišťování mikrobiální kontaminace vodních ekosystémů (Šašek, 1999). Enterokoky jsou grampozitivní koky nacházející se v trávicím traktu a často tvoří diplokoky (Ambrožová, 2004).

Jejich poddruh *Enterococcus casseliflavus* jako jediný z čeledi enterokoků nepochází pouze ze střevního traktu, ale také z hnilých zbytků rostlin. Při stanovení jejich hladiny v povrchových vodách se používá specifická a citlivá metoda, která je popsána v normě ČSN EN ISO 7899-2, je zde kladen důraz na konkrétní konfirmační testy, které při stanovení hladiny enterokoků použít. Pokud je v povrchových vodách naměřen vyšší počet intestinálních enterokoků, je možné použít stanovení katalázy, která by byla dalším konfirmačním testem pro stanovení jejich hodnoty (Baudišová a Mlejnková, 2017).

Enterokoky jsou oproti koliformním bakteriím k vnějším vlivům mnohem citlivější a jako indikátor fekálního znečištění jsou tedy lepším příkladem. Vzhledem k jejich odolnosti vůči několika druhům dezinfekčních prostředků může být při testování indikována např. nedostatečně provedená chlorace. Výskyt enterokoků také může způsobit výskyt virů (Straškrabová a kol., 1996).

Jak uvádí Bobková a Baudišová (2021), enterokoky se používají jako indikátory pro zjištění mikrobiální kvality především u koupacích vod a metody jejich stanovení upravuje vyhláška MZ ČR č. 238/2011 Sb. Tenhle druh bakterií je obvykle uspořádaný do menších řetízků, je grampozitivní a chemoorganotrofový a taxonomicky je zařazen mezi *Enterococcaceae*. Celkem obsahuje 43 druhů a jeho nejtypičtějšími zástupci jsou *E. faecalis*, *E. faecium*, *E. durans* a *E. hirae*. Lze je najít v trávicích traktech několika bezobratlých živočichů, jako např. koryšů či šneků, ale také člověka a teplokrevných živočichů. Do vodního ekosystému se tenhle druh bakterií dostane několika způsoby, mohou se ve vodě vyskytovat volně, nebo jsou jejich zdrojem exkrementy bezobratlých a obratlovců, případně odpadní vody, dále z půd nebo mohou být spojeny s rostlinnou vegetací

(*E. mundtii*, *E. casseliflavus*) nebo zooplanktonem. Při zjišťování znečištění enterokoků je tedy vhodné zjistit jejich původ.

Nejvyšší mezní hodnota Intestinálních enterokoků ve vodě je, stejně jako u bakterie *E. coli*, stanovená na 0 KTJ ve 100 ml, což se týče vody stáčené do lahve, zde je limit 0 KTJ/250 ml. Jejím stanovení ve vodách se věnují předepsané metody nacházející se ve směrnici ČSN EN ISO 7899-2 (Baudišová a Kožíšek, 2021).

3.6 Vliv mikrobiálního znečištění na kvalitu povrchových vod v České republice

V České republice mohou být vody zasaženy různými mikroorganismy, jak uvádí Český hydrometeorologický ústav, podle něj je situace znatelně horší u povrchových vod oproti vodám podzemním. Protože je nemožné sledovat všechny potenciálně škodlivé mikroorganismy, jsou stanoveny indikátorové bakterie, kterými jsou koliformní bakterie, termotolerantní koliformní bakterie, intestinální enterokoky a bakterie *Escherichia coli*. Tyto indikátory signalizují přítomnost fekálního znečištění (chmi.cz; Baudišová a Mlejnková, 2017).

Kvalitu povrchových vod v ČR v souvislosti s odpadovým vodním hospodařením popisují data v následujícím obrázku č. 2, kde je znázorněn počet profilů spadajících do tříd kvality vody dle normy ČSN 75 7221 dle ukazatele fekálních koliformních bakterií. V udávaných hodnotách jsou uvedeny pouze profily, u kterých bylo k dispozici minimálně 24 odběrů. Díky tomu byla odpovídajícím způsobem vypočtena charakteristická hodnota (C90) (Baudišová a Mlejnková, 2017).

Třída kvality	Mezní hodnota – KTJ/100 ml	2006–2007		2007–2008		2011–2012	
I	< 2 000	45	17 %	65	21 %	177	55,5 %
II	< 10 000	154	60 %	158	51,2 %	81	25,4 %
III	< 20 000	31	12 %	51	16,5 %	30	9,4 %
IV	< 40 000	17	7 %	19	6,1 %	10	3,1 %
V	≥ 40 000	11	4 %	16	5,2 %	21	6,6 %
Celkem		258		309		319	

Obrázek 2 - Počet profilů mezních tříd dle ČSN 75 7221 – fekální koliformní bakterie (Baudišová a Mlejnková, 2017)

Z obrázku č. 2 vyplývá, že počet profilů odpovídajících mezní hodnotě v I. třídě kvality byl mezi lety 2006 až 2007 celkem 45 (17 %) a v období 2011 – 2012 se jejich počet zvýšil na 177 (55,5 %). V I. Třídě jakosti byl tedy značný úbytek fekálních koliformních bakterií, což se nedá říct o II. Třídě. Zde bylo vyhovujících profilů mezi lety 2006 až 2008 v průměru 156 (55 %), zatímco v období let 2011 až 2012 jejich počet klesl na 81 (25,4 %). III. třída kvality měla také úbytek odpovídajících profilů, zatímco v letech 2006 až 2008 vzrostl počet profilů na 54 (16,5 %), tak v rozmezí let 2011 – 2012 mezním hodnotám vyhovovalo pouze 30 (9,4 %). Nejvíce vyhovujících profilů vod ve IV. Třídě kvality bylo v letech 2007 až 2008 (19, 6,1 %) a nejméně v období 2011 až 2012, kde počet klesl na 10 (3,1 %). V. třída kvality zaznamenala nárůst odpovídajících profilů stejně jako I. třída. Z původních 11 (4 %) odpovídajících profilů jich nakonec vyhovovalo 21 (6,6 %) a to v období 2011 – 2012. Data na obrázku č. 2 dokazují, že úbytek odpovídajících profilů zaznamenaly II., III. a IV. Třída kvality vod, zatímco v I. a V. třídě odpovídá mezním hodnotám čím dál více povrchových vod. Dále je vidět, že se kvalita povrchových vod jen zlepšuje (Baudišová a Mlejnková, 2017).

Jak popisuje Baudišová (2017) ve své studii, v období let 2013 až 2014 byly koliformní bakterie testovány metodou stanovení podle ČSN 75 7837 (Endo agar), kdy výsledky ukázaly, že 53,2 % odebraných vzorků bylo pozitivních a 46,8 % negativních. U celkem 4 % výsledků byly zaznamenány hodnoty v rozmezí 1 až 10 KTJ/100 ml, což je pro pitné účely taktéž nepřijatelné, pokud nestanoví jinak orgán České inspekce životního prostředí

V následujících obdobích, tj. mezi lety 2015 až 2016, byly koliformní bakterie testovány metodou stanovení podle ČSN EN ISO 9308-1 a pouze 29,8 % výsledků vyhovovalo povoleným hodnotám, zatímco 70,2 % nevyhovovalo a 12,8 % výsledků dosahovalo hodnot v rozmezí 1 až 10 KTJ/100 ml). Pozitivních výsledků při stanovení koliformních bakterií tedy postupně přibývá každým rokem, jak též popisuje (Baudišová 2017).

Zvěřinová, Mlejnková a kol., (2023) se ve své studii detailně zaměřovaly na vliv odpadních vod na mikrobiální kontaminaci řeky Vltavy a jejich přítoků (viz obrázek č.3). Práce byla zaměřena na monitorování aktuálního stavu vody v řece Vltavě, které proběhlo od dubna 2022 do března 2023, a to v úsecích od Trojské lávky až po lávky v Řeži. Celkem byly použity vzorky z 11 míst (popis míst viz obr. č. 4), konkrétně z profilů: 1. Vltava – Trojská lávka; 2. Vltava – Podbaba; 3. Vltava – Sedlec; 4. Vltava – Roztoky; 5. Vltava – Klecany; 6. Vltava – Řež; 7. Dražanský potok; 8. Přemyšlenský potok;

9. Klecanský potok; 10. Podmořáňský potok a za 11. Únětický potok. Odběry byly vždy provedeny poblíž ČOV nebo v maximální vzdálenosti do 5 km od ní.



Obrázek 3 - Zákres rozmístění míst odběrů vzorků z řeky Vltavy a jejích přítoků (Zvěřinová, Mlejnková a kol., 2023)

Profil číslo	Název odběrového profilu	Popis odběrových profilů
1	Vltava- Trojská lávka	kontrolní profil nad ÚČOV Praha; odběr prováděn z Trojské lávky
2	Vltava - Podbaba	odběr pod oběma výpustěmi ÚČOV Praha z levého břehu na konci Císařského ostrova; voda pod výpustěmi není dostatečně promíchána
3	Vltava - Sedlec	odběr na levém břehu Vltavy v Sedlci poblíž malé pláže využívané k rekreaci cca 2 km pod ÚČOV
4	Vltava - Roztoky	odběr poblíž ústí ČOV Roztoky do Vltavy cca 5 km pod ÚČOV; není dostatečně reprezentativní z důvodu nepravdělného vypouštění OV
5	Vltava - Klecany	odběr ze středu vodního toku cca 6 km pod ÚČOV; prováděn z přívozu
6	Vltava - Řež	odběr ze středu vodního toku cca 10 km pod ÚČOV; prováděn z látky pro pěší
7	Drahanský potok	pravostranný přítok Vltavy, zaústění ČOV Praha - Čimice, odběr prováděn cca 1 km od ústí do Vltavy
8	Přemýšlenský potok	pravostranný přítok Vltavy; zaústění ČOV Zdíby; odběr prováděn před ústím do Vltavy
9	Klecanský potok	pravostranný přítok Vltavy; zaústění ČOV Klecany; odběr prováděn před ústím do Vltavy
10	Podmořáňský potok	levostranný přítok Vltavy; zaústění ČOV Velké Přílepy; odběr prováděn před ústím do Vltavy
11	Únětický potok	levostranný přítok Vltavy, zaústění ČOV Horoměřice a Tuchoměřice; odběr prováděn ze silničního mostu cca 150 m před ústím do Vltavy

Obrázek 4 - Detailní popis odběrových území (Zvěřinová, Mlejnková a kol., 2023)

Na těchto lokalitách byly následně hlídány počty indikátorů mikrobiálního znečištění: koliformních bakterií, termotolerantních koliformních bakterií, bakterie *Escherichia Coli* a intestinálních enterokoků.

Výsledky této studie (viz. obrázek č. 5 níže) jsou detailně znázorněny níže v tabulce.

Odběrový profil	Termotolerantní (fekální) koliformní bakterie		Intestinální enterokoky		<i>Escherichia coli</i>	
	P90/průměr [KTJ/100 ml]	min./max. [KTJ/100 ml]	P90/průměr [KTJ/100 ml]	min./max. [KTJ/100 ml]	P90/průměr [KTJ/100 ml]	min./max. [KTJ/100 ml]
Vltava – Trojská lávka	2 870/1252	60/5 400	1 300/567	48/4 800	1 940/992	50/5 400
Vltava – Podbaba	27 800 /17 167	800/79 000	9 610 /5 258	80/2 800	19 800 /10 758	200/36 000
Vltava – Sedlec	8 800 /4 145	600/20 000	1 800/1 045	130/5 200	4 800 /2 655	400/13 000
Vltava – Klecany	3 790/2 575	130/11 000	1 640/691	90/2 100	2 490/1 668	110/6 000
Vltava – Řež	7 820 /2 837	200/12 000	1 990/763	90/2 400	4 540 /2 006	110/9 000
Drahanský potok	12 000 /19 245	500/180 000	3 700 /4 363	190/34 000	12 000 /19 245	500/180 000
Únětický potok	9 410 /5 981	110/32 000	6 020 /2 177	200/7 400	8 440 /4 501	990/22 000
Přemyšlenský potok	2 090/1 146	70/5 800	1 990/1 478	20/9 600	1 730/907	70/3 800
Klecanský potok	117 000 /59 492	600/520 000	76 200 /19 108	600/120 000	93 600 /42 808	500/360 000
Podmoráňský potok	37 900 /23 625	2 000/39 000	20 800 /12 033	800/52 000	27 700 /16 142	1 700/30 000

Poznámka: tučně jsou vyznačeny hodnoty P90 přesahující NEK Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.

Obrázek 5 - Výsledky studie kontaminace (Zvěřinová, Mlejnková a kol., 2023)

Na obrázku s výsledky studie jsou tučně zvýrazněné hodnoty P90, které přesahující NEK nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Studie Zvěřinové, Mlejnkové a kol., (2023) ukázala, že nejnižší hodnoty kontaminace vybraných úseků řeky Vltavy a její přítoků, byly naměřeny v úseky Vltavy u Trojské lávky, voda v tamním profilu byla vyhodnocena jako mírně znečištěná neboli třída II. Jakosti. Vzhledem k ústí ČOV v odběrovém místě na Podbabě, byla kvalita Vltavy v tom úseku vyhodnocena jako velmi silně znečištěná, tedy spadající do V. třídy jakosti vody. Co se týče odběrových míst v Sedleci, Roztokách, Klecanech a Řeži, zde byly naměřené hodnoty klasifikovány jako odpovídající jakosti III. Třídě (znečištěná voda). Co se týče přítoků Vltavy, nejlepší kvalita vody byla naměřena v Přemyšlenském potoku, kde se nachází velice dobře fungující ČOV spadající do obce Zdiby-Přemyšlení a nejhorší v Klecanském potoce. Hodnoty ukázaly, že mikrobiální jakost vody nebyla zvýšená ani po zaústění silně znečištěných přítoků, kterými byly právě přítoky Vltavy. Ve studii se očekávalo velmi silné znečištění všech odběrových profilů a to vzhledem k průtoku hlavním městem Prahou, vyústěním menších ČOV a ÚČOV v Praze na Císařském ostrově. Studie měla dále dokázat, zda je tok Vltavy vhodný pro užívání pro zavlažování či rekreaci. Výsledky dokázaly, že je do Vltavy přinášeno vysoké znečištění a také její schopnost znečištění eliminovat. Nicméně, kvalita vody pro rekreaci pod ústím čistírny odpadních vod je velmi

nízká. Po několika kilometrech se však kvalita vody začne zlepšovat díky zředění, sedimentaci a přirozeným procesům čištění. I když studie nezkoumala vliv klimatických jevů, bylo zjištěno, že extrémní stavy jako sucho s nízkými průtoky a silné deště negativně ovlivňují kvalitu vody. Nízké průtoky omezují možnost naředění znečištění, zatímco přívalové deště zhoršují kvalitu vody kvůli splachům povrchového znečištění a odlehčovačům deště, které vyprazdňují vodu přímo do toků.

4 Diskuze

Jak bylo zmíněno v rešeršní práci, mikrobiální znečištění povrchových vod je celorepublikově rozšířené a představuje závažný problém nejen pro lidské zdraví, ale především i vodní ekosystémy, čemuž se tato práce věnovala.

Jedním z hlavních zdrojů mikrobiálního znečištění povrchových vod jsou odpadní vody z čistíren odpadních vod (ČOV), které i přes procesy čištění mohou do povrchových vod vypouštět nečistoty. To lze zlepšit několika způsoby, například regulací odpadních vod a zlepšením kvality ČOV. Čím kvalitněji budou odpadní vody čištěny a regulovány, tím lepší kvalitu budou mít povrchové vody, jelikož mikrobiální znečištění nedosáhne takového rozsahu, jako s nekvalitními ČOV. Zdrojům znečištění mikrobiálního původu se věnuje především Baudišová (2017) a Novák a kol. (2016).

Výsledky studiemi provedené Zvěřinovou, Mlejnkovou a kol. (2023) a Baudišovou a Mlejnkovou (2017) poukazují na otázku vedenou ke změně mechanismu vedoucí ke snížení vlivu kontaminací vzniklých z odpadních vod vypouštěných čistírnami odpadních vod (ČOV).

Novák a kol. (2016) a Klír a Kozlovská (2012) dokládají ve výsledcích svých studií, že dalšími důležitými zdroji mikrobiálního znečištění jsou splachy ze zemědělství a exkrementy hospodářských zvířat. Zde by pomohlo dodržovat správné postupy při aplikaci hnojiv, aplikace správné dávky, ve správný čas a na správném místě, tím by se měl minimalizovat odtok dávek hnojiv do vodních toků. Dále je vhodné vytvoření vegetačních pásů neboli vysázení stromů, keřů či travního porostu, kolem vodních toků, to by mělo zabránit pravděpodobnosti eroze. Co se týče zvířecích exkrementů, zde Klír a Kozlovská (2012) vidí řešení ve správném umístění pitných a krmných míst pro hospodářská zvířata, a to dál od vodních ploch, tím by se měl minimalizovat jejich odtok do vodních toků.

5 Závěr

Vliv mikrobiální nebo fekální kontaminace na kvalitu povrchových vod je závažným celosvětovým problémem s důsledky pro veřejné zdraví a životní prostředí, který vyžaduje okamžitou pozornost a opatření pro ochranu veřejného zdraví a životního prostředí. Za jeho vznikem stojí hned několik faktorů, těmi nejhlavnějšími jsou do povrchových toků nelegálně vypouštěné odpadní vody, poruchy a praskliny v kanalizačních systémech a jejich přetékání, nefunkční septiky, silné a časté srážky, povodně, zemědělská činnost a živočišné exkrementy, které jsou společně s hnojivy odplavovány do vodních toků.

Mikrobiální znečištění má extrémní dopad na vodní ekosystém i jeho organismy tím, že způsobuje hypoxii (nedostatek kyslíku), mění pH vody, chemické složení a rozkládá organické látky ve vodě. Tohle všechno má negativní dopad nejen na její kvalitu, ale také pro vodní organismy (především měkkýše a ryby) a dochází tak k vyššímu úhynu. Co se týče dopadů na lidské zdraví, v malém množství mohou koliformní bakterie způsobit průjemová onemocnění a onemocnění močového ústrojí, ale ve větším množství může jít až o selhání ledvin.

Mikrobiální znečištění se hodnotí prostřednictvím indikátorů, ty signalizují přítomnost a velikost znečištění a také potenciální výskyt patogenů způsobujících střevní onemocnění ve vodním prostředí. Indikátory jsou koliformní bakterie, termotolerantní koliformní bakterie, bakterie rodu *Escherichia* (*E. coli*) a intestinální enterokoky. Jejich povolená hodnota ve vodním ekosystému je (OKTJ/100ml), tedy negativní nález. Jejich hodnoty jsou ve vodách pravidelně monitorovány nejrůznějšími hydrologickými organizacemi.

Závěrem je třeba zdůraznit, že vzhledem k rozsáhlým následkům mikrobiálního znečištění by bylo vhodné posílit monitorování kvality vod a implementaci opatření na prevenci kontaminace. To může zahrnovat lepší regulaci průmyslových a zemědělských aktivit, zlepšení hygienické infrastruktury a vyšší informovanost veřejnosti včetně vzdělávacích kampaní o správném zacházení s vodními zdroji. Dále je i vzhledem k dopadům na lidské zdraví důležité investovat do modernějších a kvalitnějších technologií ČOV. V takovém případě by nedocházelo k hypoxii, změně pH ani změně chemického složení vod. Úhyn vodních mikroorganismů by se zmenšil, kvalita vody by byla výrazně lepší a nedocházelo by tolik ke zdravotním rizikům. Zároveň je třeba zajistit včasné varování před znečištěním, to pomůže včasné identifikaci problémových oblastí a přijetí vhodných opatření pro ochranu vodního ekosystému.

Hrozbou a rizikem pro vznik mikrobiální kontaminace povrchových vod následkem nefunkčnosti nebo poškozením čistíren odpadních vod ČOV, spatřují Baudišová a Mlejnková (2017) například v ekologických katastrof, jako tomu bylo například v roce 2002 při povodních, které výrazně zasáhli celou Českou republiku, nejvíce povodí Vltavy, dolní tok Labe, Ohře, Moravy a Dyje.

6 Seznam použité literatury

AOPK ČR. Fragmentace říční sítě. Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky [online]. [2024-03-10]. Dostupné z WWW: <<https://vodnitoky.ochranaprirody.cz/>>

AMBROŽOVÁ, J. Mikrobiologie v technologii vod. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2004, 244 s. ISBN 80-7080-534-X

BAUDIŠOVÁ, D. Metody mikrobiologického rozboru vody (příručka pro hydroanalytické laboratoře) [online]. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., 2017 [cit. 2024-03-17]. Dostupné z WWW: <https://aslab.cz/files/pdf/edicni_cinnost/publikace/baudisova_metody_mikrobiol_rozboru_v_ody.pdf>, ISSN 1211-3751

BAUDIŠOVÁ, D.; BOBKOVÁ, Š.; JAKUBŮ, V.; JELIGOVÁ, H.; KOŽÍŠEK, F. Bakterie z čeledi Enterobacteriaceae v recyklovaných vodách, metody jejich stanovení a citlivost na vybraná antibiotika [online]. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 2022, roč. 64, č. 4, str. 4–9. [cit. 2024-02-24]. Dostupné z WWW: <<https://www.vtei.cz/2022/08/bakterie-z-celedi-enterobacteriaceae-v-recyklovanых-vodach-metody-jejich-stanoveni-a-citlivost-na-vybrana-antibiotika/>>, ISSN 0322-8916

BAUDIŠOVÁ, D.; KOŽÍŠEK, F. Nová směrnice EU o pitné vodě [online]. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 2021, roč. 63, č. 1. str. 15–17 [2024-03-17]. Dostupné z WWW: <<https://www.vtei.cz/2021/02/nova-smernice-eu-o-pitne-vode/>>, ISSN 0322-8916

BAUDIŠOVÁ, D.; MLEJNKOVÁ, H. Mikrobiální znečištění povrchových vod [online]. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 2017, roč. 59, č. 6, str. 12-16 [cit. 2024-02-24]. Dostupné z WWW: <<https://www.vtei.cz/2017/12/mikrobialni-znecisteni-povrchovych-vod/>>, ISSN 0322-8916

BIELA, R.; BERÁNEK, J. Úprava vody a balneotechnika. Učební texty vysokých škol. 1. vyd. Brno: CERM, 2004. 164 s. ISBN 80-214-2563-6

BOBKOVÁ, Š.; BAUDIŠOVÁ, D. Hledání vhodných molekulárních markerů pro rozlišení různých druhů enterokoků [online]. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 2021, roč. 63, č. 1. str. 19–23. [cit. 2024-03-17]. Dostupné z WWW:

<<https://www.vtei.cz/2021/02/hledani-vhodnych-molekularnich-markeru-pro-rozliseni-ruznych-druhu-enterokoku/>>, ISSN 0322-8916

ČHMÚ. Hydrologická bilance množství a jakosti vody ČR. Český hydrometeorologický ústav [online]. [2024-03-10]. Dostupné z WWW: <<https://www.chmi.cz/>>

EAGRI. Ministerstvo zemědělství České Republiky [online]. [2024-03-10]. Dostupné z WWW: <<https://eagri.cz/public/portal/>>

EAGRI, 2013. Fakta o vodě [online]. Ministerstvo zemědělství České republiky. [online]. [2024-03-10]. Dostupné z WWW: <https://eagri.cz/public/web/file/211903/Fakta_o_vode_final.pdf>, ISBN 978-80-7434-048-2

FEJGL, M.; HÝŽA, M.; HŮLKA, J. Systém pro kontinuální monitorování radioaktivní kontaminace povrchových vod. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 2019, roč. 61, č. 6. 32–39 s. ISSN 0322-8916

FUKSA, J. K. Mikrobiální aktivita ve vodách různého typu a stupně znečištění; Stanovení pomocí radioisotopových metod: [Autoreferát kand. dis.]. Praha: [s.n.], 1982. 13 s.

GIUFRÈ, M.; MAZZOLINI, E.; CERQUETTI M.; BRUSAFERRO, S.; ACCOGLI, M.; AGNOLETTI, F.; AGODI, A.; ALBORALI, G. L.; ARGHITTU, M.; AUXILIA, F.; BARCHITTA, M.; BOSCO, N.; CAMPORESE, A.; CARFORA, V.; COLLINI, L.; D'AGARO, P.; DE ROSA, R.; FORMENTI, N.; FRANCO, A.; KONCAN, R.; LANZAFAME, P.; MAZZARIOL, A.; MOSCHIONI, CH.; PANE, S.; PUTIGNANI, L.; THOMA, C. Extended-spectrum β -lactamase-producing *Escherichia coli* from extraintestinal infections in humans and from food-producing animals in Italy: a 'One Health' study [online]. International Journal of Antimicrobial Agents. 2021, Volume 58, issue. 5, no. 106433 [cit. 2024-03-17]. Dostupné z WWW: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34525400/>>

HAOYUAN, F.; JOEP F. S.; MAARTEN S. K.; MENGJIE Y.; HAN S.; YAOYI L.; YONGPENG L.; XUEBI, Z.; KAI Y.; YUE CH. Water pollution scenarios and response options for China [online]. Science of The Total Environment. 2024, Volume 914, no. 169807 [cit. 2024-03-17]. Dostupné z WWW: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723084395>>, ISSN 0048-9697

HRÁDEK, F.; KUŘÍK, P. Hydrologie. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2002, 280 s. ISBN 80-213-0950-4.

HUTCHINSON G. E. Concluding remarks. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology [online]. 1957, vol. 22. [2024-03-17]. Dostupné z WWW: <<https://symposium.cshlp.org/content/22/415.extract>>

HYDROEKOLOGICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM VÚV TGM VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. MASARYKA, v. v. i. [online]. [2024-03-10]. Dostupné z WWW: <<https://heis.vuv.cz/>>

CHEN, Y.; QI, CH.; YU, Y.; CAO, X.; ZHENG, X.; CHENG, R. Evolution and health risk of indicator microorganisms in landscape water replenished by reclaimed water [online]. Journal of Environmental Sciences. 2023 [cit. 2024-03-17]. Dostupné z WWW: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S100107422300298X>>, ISSN 1001-0742

KLABAN, V. Ekologie mikroorganismů: ilustrovaný lexikon biologie, ekologie a patogenity mikroorganismů. Praha: Galén, 2011. 550 s. ISBN 978-80-7262-770-7

KLÍR, J.; KOZLOVSKÁ, L. Správná zemědělská praxe pro ochranu vod před znečištěním. Certifikovaná metodika pro praxi [online]. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2012 [cit. 2024-02-24]. Dostupné z WWW: <<https://eagri.cz/public/portal/-q330055---0myz5Fdi/spravna-zemedelska-praxe-pro-ochranu-vod?linka=a260619>>, ISBN 978-80-7427-124-3

KOVÁŘ, L. Tajemství vody. 1 vyd. Jinočany: H & H, 2008. 189 s. ISBN 978-80-7319-079-8

KOŽÍŠEK, F. Proč voda s chlorem, proč voda bez chloru? Sborník konference Pitná voda [online]. České Budějovice: W&ET Team, 2010, str. 35 – 40 Dostupné z WWW: <https://szu.cz/wp-content/uploads/2023/03/Kozisek_PV2010.pdf>, ISBN 978-80-254-6854-8

KRUPICOVÁ, S. Dezinfekce pitné vody – aspekty navrhování a provozování [online]. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, fakulta Stavební. Ing. Tomáš Kučera, Ph. D. Brno, 2018. [cit. 2024-02-24]. Dostupné z WWW: <https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=179338.pdf>

LELLÁK, J.; KUBÍČEK, F. Hydrobiologie. 1. vyd. Praha: Karolinum, 1992. 257 s. ISBN 80-7066-530-0

MAURYA, A.; SINGH, M. K.; KUMAR, S. Water Pathogens. Chapter 7 - Biofiltration technique for removal of waterborne pathogens [online]. National Library of Medicine. 2020, pages 123-141, no. 123–141 [cit. 2024-03-17]. Dostupné z WWW: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128187838000074>>, ISBN 9780128187838

MEHRNAZ S. M.; NICOLAS M. P. Factors affecting particle-microorganism association and UV disinfection. Effect of source water, organics, and particle characteristics [online]. Journal of Water Process Engineering. 2023, Volume 56, no. 104335 [cit. 2024-03-17]. Dostupné z: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714423008553>> , ISSN 2214-7144

MIČANÍK, T.; HANSLÍK, E.; NĚMEJCOVÁ, D.; BAUDIŠOVÁ, D. Klasifikace kvality povrchových vod [online]. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 2017, roč. 59, č. 6, str 4–11 [cit. 2024-02-24]. Dostupné z WWW: <<https://www.vtei.cz/2017/12/klasifikace-kvality-povrchovych-vod/>>, ISSN 0322-8916

MŽP. Povrchové vody. Ministerstvo životního prostředí [online]. [2024-03-10]. Dostupné z WWW: <<https://www.mzp.cz/>>

NĚMEC, J.; HLADNÝ, J.; BLAŽEK, V. Voda v České republice. Praha: Pro Ministerstvo zemědělství vydal Consult, 2006. 256 s. ISBN 80-903482-1-1

NĚMEC, J.; KOPP, J.; BARTOŠ, M. Vodstvo a podnebí v České republice v souvislosti se změnou klimatu. Praha: Pro Ministerstvo zemědělství ČR vydal Consult, 2009. 255 s. ISBN 978-80-903482-7-1

NOVÁK, P. Sanace zdrojů hromadného zásobování pitnou vodou ovlivněných pesticidy - metodický postup řešení: certifikovaná metodika. 1. vyd. Praha: VÚMOP, v.v.i., 2016. 86 s. ISBN 978-80-87361-61-0

ODUM, E. P. Základy ekologie. Translated by Radoslav Obrtel. Vyd. 1. Praha: Academia, 1977. 733 s.

PITTER, P. Hydrochemie: celost. vysokošk. učebnice pro stud. vys. škol chemickotechnologických oborů. 2., přeprac. a rozš. vyd. Praha: SNTL, 1990. 565 s. ISBN 80-03-00525-6

PITTER, P. Hydrochemie. 4. aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2009. 568 s. ISBN 978-80-7080-701-9

POLÁŠKOVÁ, A. Úvod do ekologie a ochrany životního prostředí. Praha: Karolinum, 2011. ISBN 978-80-246-1927-9

RUDA, A. Klimatologie a hydrogeografie pro učitele [online]. Brno: Masarykova univerzita, 2014. [cit. 2024-03-17]. Dostupné z WWW: <https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/07-voda.html>, ISSN 1802-128X

SLÁDEČEK, V.; SLÁDEČKOVÁ, A. Atlas vodních organismů se zřetelem na vodárenství, povrchové vody a čistírny odpadních vod. Praha: Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, 1996. ISBN 80-02-01080-9

STRAŠKRÁBOVÁ, V. Mikrobiální ekologie vody. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996. ISBN 80-85368-88-9

SÝKORA, V.; KUJALOVÁ, H.; PITTER, P. Hydrochemie pro studenty bakalářského studia. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. 219 s. ISBN 978-80-7080-949-5

ŠAŠEK, J. Význam základních mikrobiologických indikátorů. In Kožíšek, F. (Ed.). Balená voda – zdravotní a hygienická hlediska. IV. ročník. Praha: ČVTVHS a Státní Zdravotní Ústav, 1999. 51 – 60 s. ISBN 80-02-01269-0

ŠAŠEK, J. Minimalizace zdrojů mikrobiální kontaminace při výrobě balené vody. In Kožíšek, F. (Ed.). Balená voda – zdravotní a hygienická hlediska. VII. ročník. Praha: ČVTVHS a Státní Zdravotní Ústav, 2005. 73 – 86 s. ISBN 80-02-01763-3

ŠÁLEK, J.; TLAPÁK, V. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, technická fakulta. Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2006. ISBN 80-86769-74-7

SUDIP, S.; RITTICK, M.; DEBASI, M.; DIVYA, J.; DEVVRET, V.; SAMANWITA, Das. Microbial pollution of water with special reference to coliform bacteria and their nexus with environment [online]. Energy Nexus, Volume 1, 2021, no. 100008 [cit. 2024-03-17]. Dostupné z WWW: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772427121000085>>, ISSN 2772-4271,

TARAZONA, J. V. Pollution, water [online]. Encyclopedia of Toxicology (Fourth Edition), Academic Press. 2024, pages 809-815 [cit. 2024-03-17]. Dostupné z WWW: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128243152001883>>, ISBN 9780323854344

TORTORELLO, ML. Indicator organisms for safety and quality-uses and methods for detection: minireview [online]. 2003, no. 1208-1217 [cit. 2024-03-17]. Dostupné z WWW: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14979704/>>

WORLD HEALTH ORGANIZATION [online]. [2024-03-10]. Dostupné z WWW: <<https://www.who.int/about>>

ZVĚŘINOVÁ MLEJNKOVÁ, H.; ŠMÍDA, A.; VALÁŠEK, V. Vliv odpadních vod na mikrobiální kontaminaci Vltavy pod Prahou [online]. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 2023, roč. 65, č. 4. str. 4–12 [2024-03-17]. Dostupné z WWW: <<https://www.vtei.cz/2023/08/vliv-odpadnich-vod-na-mikrobiani-kontaminaci-vltavy-pod-prahou/>>, ISSN 0322-8916

7 Seznam použitých zkratek a symbolů

km = kilometr

mm = milimetr

m = metr

m² = metr čtvereční

m³ = metr krychlový

km³ = kilometr krychlový

mil = milion

m n. m. = metrů nad mořem

nm = nanometr

ml = mililitr

mg = miligram

ha = hektar

mBq/l = milibekrelů na litr

v.v.i = veřejná výzkumná instituce

č. = číslo

Sb. = sbírky

ČR = Česká republika

ČSN = Česká norma

EN = Evropská norma

ISO = mezinárodní organizace pro normalizaci

E Coli = bakterie *Escherichia*

BSK = biochemická spotřeba kyslíku

NEL = nepolární extrahované látky

AOX = organicky vázaný chlor

TOC = celkový obsah organického uhlíku

NPK = dusík (N), fosfor (P) a draslík (K)

TA ČR = technologická agentura České republiky

DMT = digitální mapování terénu

H₂O = chemický vzorec pro vodu

HOH = molekulární vzorec pro vodu

KTJ = kolonie tvořící jednotky

ČOV = čistírna odpadních vod

ÚČOV = ústřední čistírna odpadních vod

CFU = jednotka tvořící kolonie

^{226}Ra = radium

^3H = tritium

pH = potenciální vodíkový index

α = alfa

β = beta

% = procento

$^{\circ}\text{C}$ = stupně celsia

8 Seznam tabulek, obrázků a grafů

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Průměrné měsíční teploty vzduchu za rok 2021 ve srovnání s normálem 1991 až 2020 (zdroj: eagri.cz)	28
Obrázek 2 - Počet profilů mezních tříd dle ČSN 75 7221 – fekální koliformní bakterie (Baudišová a Mlejnková, 2017)	39
Obrázek 3 - Zákres rozmístění míst odběrů vzorků z řeky Vltavy a jejích přítoků (Zvěřinová, Mlejnková a kol., 2023).....	41
Obrázek 4 - Detailní popis odběrových území (Zvěřinová, Mlejnková a kol., 2023)	41
Obrázek 5 - Výsledky studie kontaminace (Zvěřinová, Mlejnková a kol., 2023)	42