ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE

Vývoj kvality povrchových vod v České republice

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Bakalantka: Denisa Radostová

2022

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Denisa Radostová

Environmentální vědy
Aplikovaná ekologie

Název práce

Vývoj kvality povrchových vod v České republice

Název anglicky

Development of surface water quality in the Czech Republic

Cíle práce

Hlavním cílem práce je zhodnotit vývoj kvality povrchových vod v České Republice, především z hlediska ČSN 75 7221. Dalším cílem práce je charakterizovat hlavní typy znečištění povrchových vod a způsoby čištění odpadních vod.

Metodika

Práce vychází ze sběru a vyhodnocování dat, která jsou každoročně publikována Ministerstvem životního prostředí, Ministerstvem zemědělství, Hydrometeorologickým ústavem a Výzkumným ústavem vodohospodářským T. G. Masaryka.

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran + přílohy

Klíčová slova

vývoj, voda, kvalita, znečištění, Česká Republika

Doporučené zdroje informací

ČSN 757221. Kvalita vod. Klasifikace kvality povrchových vod.
Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech.
Pitter, P., 2015. Hydrochemie. 4. vydání. VŠCHT Praha.

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FZP

Vedoucí práce

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 1. 3. 2022

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 21. 03. 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že tato bakalářská práce byla vypracována samostatně, pod vedením prof. Ing. Jana Vymazala, CSc., a že v ní byly uvedeny všechny literární prameny a publikace, ze kterých bylo čerpáno.

Prohlašuji, že tištěná verze je shodná s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze dne 28. 3. 2022

.....

Denisa Radostová

Poděkování

Nejprve bych ráda poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Janu Vymazalovi, CSc., za trpělivost, rady a čas strávený při konzultacích. Také bych chtěla poděkovat své rodině, svému příteli a přátelům za projevenou podporu, trpělivost a motivování v průběhu celého studia.

Abstrakt

Ve vodě vznikl život a bez ní by byly všechny živé organismy na Zemi ztraceny. Tvoří 70 % povrchu Země a v dnešním antropogenně změněném prostředí je potřeba ji chránit. Práce je zaměřena na znečištění a vývoj kvality povrchových vod v České republice. Popisuje složení vody a druhy znečištění povrchových vod. V práci je zmíněn proces čištění odpadních vod i čistírny odpadních vod. Tato práce obsahuje grafy znázorňující základní ukazatele kvality povrchových vod v průběhu 10 let. Grafy jsou tvořeny z dat poskytnutých Ministerstvem životního prostředí. V práci je kladen důraz na důsledky znečištění vod a na to, jaký mají dopad na vodu, lidi i vodní ekosystémy.

Klíčová slova: vývoj, voda, kvalita, znečištění, Česká republika

Abstract

Life arose in water, and without it all living organisms on Earth would be lost. It makes up 70% of the Earth's surface and needs to be protected in today's anthropogenically altered environment. This work is focused on pollution and the development of surface water quality in the Czech Republic. It describes the composition of water and types of surface water pollution. The work mentions the process of wastewater treatment and wastewater treatment plants. It also contains graphs showing the basic indicators of surface water quality over 10 years. The graphs are created from data provided by the Ministry of the Environment. Emphasis is placed on the consequences of water pollution and on their impact on water, people and aquatic ecosystems.

Keywords: development, water, quality, pollution, Czech Republic

Obsah

1. Úvod 8

2. Cíle práce 9

3. Voda a její znečištění 10

3.1 Zdroje znečištění povrchových vod 10

3.1.1 Bodové zdroje znečištění 10

3.1.2 Plošné a difúzní zdroje znečištění 11

3.2 Hodnocení kvality povrchových vod 11

3.3 Limity pro vypouštění odpadních vod 13

4. Chemismus povrchových vod 14

4.1 Rozpuštěné a nerozpuštěné látky 14

4.2 $CHSK_{Cr}$ 16

4.3 BSK_5 16

4.4 Dusík 17

4.5 Fosfor 18

4.6 Kovy a polokovy ve vodě 19

5. Čištění odpadních vod 21

5.1 Čistírny odpadních vod 22

6. Metodika 24

7. Výsledné zhodnocení a diskuse 25

8. Závěr a přínos práce 32

9. Přehled literatury a použitých zdrojů 34

10. Přílohy 38

1. Úvod

Přes 70 % povrchu Země tvoří voda. Život na této planetě začal právě ve vodě. Bez vody by většina živých organismů nebyla schopna přežít, rozmnožovat se či dokonce prosperovat. Voda je zkrátka nedílnou součástí života na Zemi. Má spoustu funkcí. Pro některé je voda domovem. Pro jiné plní voda funkci dopravní tepny. Další její funkcí je regulování klimatu. Je důležitým zdrojem pitné vody a energie, který je potřeba po celém světě (Bruyninckx, 2018).

Bohužel bylo v posledních dvou stoletích do přírody uvolněno velké množství druhů znečišťujících látek, které různými způsoby nakonec skončily právě ve vodě. V neposlední řadě se z vody také stalo nové naleziště nerostů, což má za následek další znečišťování. Pokud radikálně nezměníme naše chování k vodě a okolní krajině, nebudeme moci dále využívat výhod/ kladů, které nám pitná voda a prosperující oceány s řekami přináší (Bruyninckx, 2018).

Proto bych se ve své práci chtěla věnovat tématu znečištěné vody a jejímu vývoji v České republice. Zvláštní důraz bych přitom ráda kladla na důsledky znečištěných vod na okolní prostředí, především z ekologického hlediska.

2. Cíle práce

Hlavním cílem bakalářské práce je zhodnocení vývoje kvality povrchových vod v České republice, především z hlediska ČSN 75 7221. Dále bych ráda v práci charakterizovala hlavní typy znečištění povrchových vod a způsoby čištění odpadních vod.

.

3. Voda a její znečištění

Voda je jedna z nejjednodušších chemických sloučenin, jelikož obsahuje pouze dva atomy vodíku a jeden atom kyslíku. Zároveň je však voda jednou z nejvíce nepředvídatelných a velice složitě se chovajících sloučenin. Jedinečnou ji dělá už jen to, že se s ní může spousta živých bytostí setkat ve všech třech skupenstvích, jako led, kapalinu a páru (Blažek a kol, 2006).

Voda se vyskytuje všude kolem nás. Je ve vzduchu, který dýcháme, v půdě a rostlinách, které pěstujeme, a je alespoň v malém množství v každém živém organismu. Bez vody by neexistoval život. Proto je znečištění vod vážným problémem, který ovlivňuje nejen naši a budoucí generace, ale také celou naši planetu (Hájková, 2019).

3.1 Zdroje znečištění povrchových vod

Povrchovými vodami se označují vody, jež se na zemském povrchu vyskytují z přirozených příčin. Povrchové vody slouží k mnoha účelům. Využívají se jako pitná a užitková voda, jsou důležitým zdrojem vody potřebným k chovu ryb a může se v nich plavat, plout na lodích či se jinak rekreovat. Jelikož povrchové vody slouží také k odvodu splaškových a průmyslových odpadních vod, dostává se tak do nich velké množství znečištění. Kvůli tomu je narušena jejich schopnost samočištění, což nakonec může vést až k negativnímu ovlivnění vodních ekosystémů (například k úhynu ryb). Znečištění v povrchových vodách znehodnocuje kvalitu vody a omezuje tak množství nejen pitné vody, ale i vody využitelné k již výše zmíněným výhodám povrchových vod (Pitter, 2015).

Všechny zdroje a příčiny znečištění povrchových vod je možné dělit na zdroje bodové, plošné a difúzní (Povodí Odry, 2016).

3.1.1 Bodové zdroje znečištění

Bodové zdroje znečištění výrazně ovlivňují jakost vody vypouštěním odpadních vod do vod povrchových, nejčastěji řek a potoků. Jedná se o tzv. soustředěné vypouštění vod, převážně z průmyslových závodů a čistíren odpadních vod (ČOV). Do zdrojů znečištění jsou též zahrnuty zdroje, jenž mají na vodním toku jednoznačně lokalizované místo pro vypouštění znečištění. Tyto

zdroje mají jasně definované množství znečištění, které může být vypouštěno (např. malé aglomerace a jiné průmyslové zdroje) (Jáglová a kol, 2009; Povodí Odry, 2016).

Vypouštění odpadních vod lze podle vzniku rozdělit na průmyslové, ze zemědělství, komunální a ostatní. Mezi průmyslová vypouštění odpadních vod patří například potravinářství a mezi ostatní vypouštění se řadí energetika, rybníkářství, báňský průmysl a jiná. Znečištění povrchových vod, které jsou zapříčiněné haváriemi, se označují jako havarijní znečištění (Povodí Odry, 2016; Jáglová a kol, 2009).

3.1.2 Plošné a difúzní zdroje znečištění

Zdroje znečištění, které mají vyjma bodových zdrojů znečištění výrazný vliv na kvalitu povrchových vod, jsou plošné a difúzní zdroje znečištění. Mezi tyto zdroje znečištění se řadí především znečištění pocházející z hospodaření v oblasti zemědělství (Bouraouni a Grizzetti, 2014). Dále mezi ně patří atmosférické depozice a septiky. Významnými prvky ovlivňující znečištění jsou také doprava a brownfields. Důležité je zmínit i erozní splachy z terénů a odtoky z oblastí podléhajících urbanizaci (Jáglová a kol, 2009; Povodí Odry, 2016).

Závažnost plošných zdrojů znečištění se zvyšuje, především kvůli neustálému a postupnému snižovaní znečištění z bodových zdrojů. Toto je dané zejména pesticidy, dusíkem a fosforem ze zemědělství a v neposlední řadě acidifikací k jíž dochází atmosférickou depozicí. Závisí to však na tom, v jaké oblasti České republiky je znečištění sledováno. Údaje se liší podle toho, jaká je v oblasti hustota osídlení, jak moc intenzivní a jaký typ zemědělství je pro danou oblast typický. Dále údaje ovlivňuje úroveň atmosférické depozice (Jáglová a kol, 2009; Povodí Odry, 2016).

3.2 Hodnocení kvality povrchových vod

Hodnocení kvality povrchových vod je stanoveno v technické normě ČSN 75 7221 s názvem Kvalita vod – Klasifikace kvality povrchových vod. Tato norma platí především pro jednotné určování třídy kvality tekoucích povrchových vod – klasifikaci, která slouží k porovnání jejich kvality na různých místech a v různém čase, a pro orientační posouzení kvality vody (norma ČSN 75 7221).

Od 60. let 20. století je kvalita vody pravidelně monitorována. První norma ČSN 83 0602 týkající se této problematiky byla vydána v červnu roku 1965 pod názvem Posuzování jakosti povrchové vody a způsob její klasifikace. Tenkrát

zahrnovala celkem pouze 25 ukazatelů, jako jsou ukazatele kyslíkového režimu, ukazatele základního chemického složení, zvláštní ukazatele a ukazatele mikrobiálního znečištění (norma ČSN 75 7221; Mičaník a kol, 2017; Řezníček, 2021b).

V průběhu let byla norma pro klasifikaci kvality povrchových vod pravidelně revidována. S přibývajícím počtem nových znečišťujících látek, které měly negativní vliv na životní prostředí, byly do normy doplněny další ukazatele kvality vody. Aktuální norma již obsahuje celkem 65 ukazatelů (základní ukazatele v příloze č. 1) a jejich počet neustále stoupá (norma ČSN 75 7221; Mičaník a kol, 2017).

Aktuální norma ČSN 75 7221 z prosince roku 2017 vznikla za podpory projektu Technologické agentury České republiky „Kvalita a hodnocení povrchových vod“ a je revizí původní normy ČSN 75 7221 z října 1998 vypracované kolektivem Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka Praha pod původním názvem Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod (norma ČSN 75 7221; Řezníček, 2021a).

Tekoucí povrchové vody se podle kvality vody zařazují do pěti tříd kvality (ČSN 75 7221):

I. neznečištěná voda – kvalita povrchové vody antropologicky téměř nezměněná a hodnoty ukazatelů kvality vody nepřekračují hodnoty vodních ekologických systémů nenarušených lidmi. Tato třída kvality se na mapě v monitorovaných tocích značí světle modrou barvou.
II. mírně znečištěná voda – kvalita povrchové vody antropologicky změněná tak, že hodnoty ukazatelů kvality vody dosahují hodnot, které představují existenci na živiny bohatého, symetrického, a především dlouhodobě udržitelného ekologického systému. Tato třída kvality se na mapě v monitorovaných tocích značí tmavě modrou barvou.
III. znečištěná voda – kvalita povrchové vody antropologicky změněná tak, že hodnoty ukazatelů kvality vody dosahují hodnot, u kterých již nemusí nastat existence na živiny bohatého, symetrického, a především dlouhodobě udržitelného ekologického systému. Tato třída kvality se na mapě v monitorovaných tocích značí zelenou barvou.

IV. silně znečištěná voda – kvalita povrchové vody antropologicky významně změněná tak, že hodnoty ukazatelů kvality vody dosahují hodnot, které neumožní vytvořit podmínky pro existenci původního ekologického systému nenarušeného lidmi. Tato třída kvality se na mapě v monitorovaných tocích značí žlutou barvou.

V. velmi silně znečištěná voda – kvalita povrchové vody antropologicky radikálně změněná tak, že hodnoty ukazatelů kvality vody dosahují hodnot, u kterých již nemůže nastat existence ekologického systému nenarušeného lidmi. Tato třída kvality se na mapě v monitorovaných tocích značí červenou barvou.

Klasifikace kvality vody probíhá na základě hodnocení údajů vybraných ukazatelů kvality vody. Tyto údaje jsou měřeny v průběhu jednoho delšího období, které by nemělo být delší než 5 let. Charakteristická hodnota ukazatele vody se označuje jako C_{90} a představuje hodnotu s pravděpodobností nepřekročení 90 %. U ukazatele rozpuštěného kyslíku je to hodnota s pravděpodobností překročení 90 % (norma ČSN 75 7221).

3.3 Limity pro vypouštění odpadních vod

Limity pro vypouštění odpadních vod byly stanoveny nařízením vlády č. 401/2015 Sb., které bylo schváleno 14. prosince 2015 a nabylo účinnosti 1. ledna 2016. Nařízení vlády pojednává o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.).

Nařízení vlády splňuje legislativu danou Evropskou unií. Obsahem nařízení jsou ukazatele znečištění povrchových vod ke koupání a pro vodní život. Dále jsou v něm stanoveny ukazatele povrchových vod a jejich přípustné znečištění. Nařízení stanovuje normy pro znečišťující látky, vyměřuje emisní limity a jsou v něm zmíněny i důlní vody. V nařízení jsou též uvedeny podmínky a specifikace povolení pro vypouštění odpadních vod do povrchových vod a normy pro znečišťující látky. Nařízení vlády označuje citlivými oblastmi všechny formy povrchových vod vyskytujících se v České republice (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.).

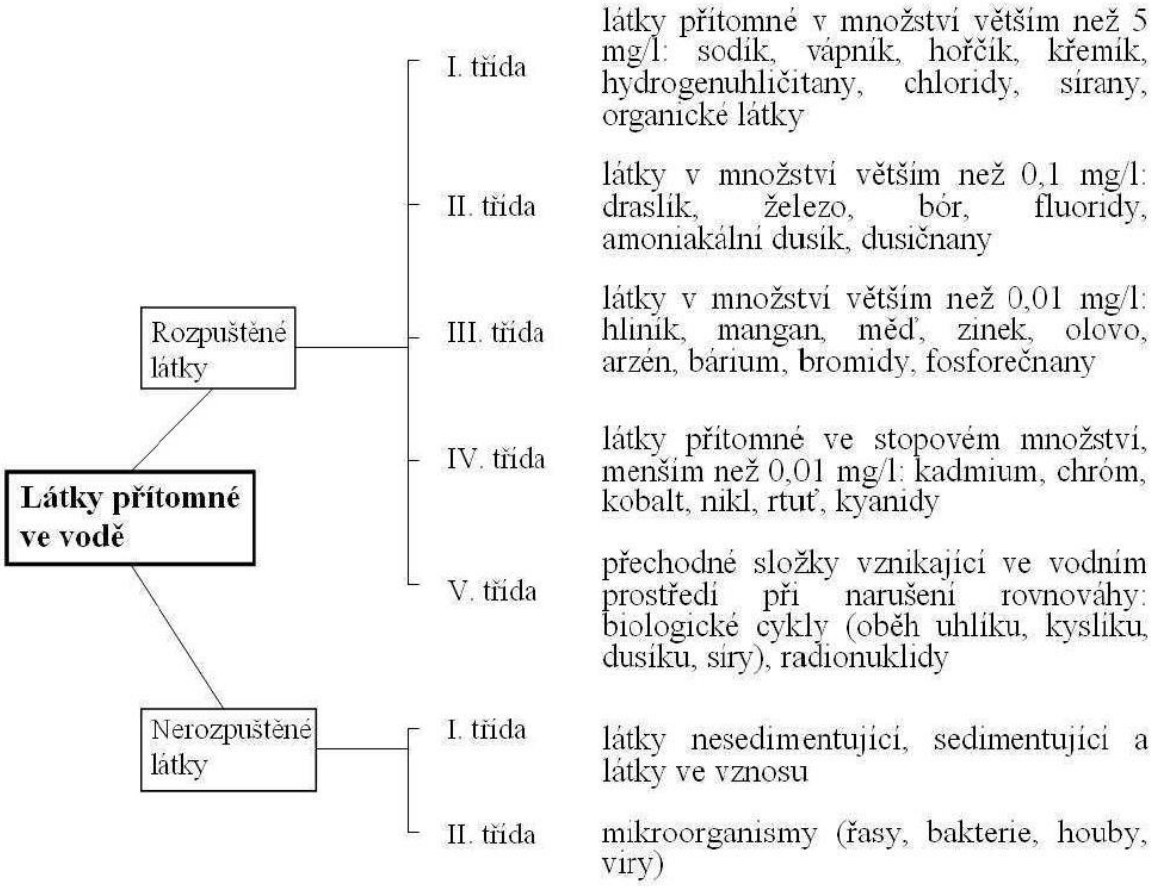
4. Chemismus povrchových vod

Voda pokrývá 75 % Země. Z tohoto množství je 97 % tvořeno slanou vodou (moře a oceány) a zbylá 3 % tvoří sladké vody. 79 % sladkých vod tvoří ledovce, 20 % je v podzemních vodách a pouhé 1 % představuje povrchová voda. Voda má mnoho neobvyklých vlastností, které jsou důležité pro život (Mariolakos, 2007). Většina látek, které mají podobně vázané atomy jako voda, má tendenci začít mrznout až při -30 °C. Bod mrazu vody je už při 0 °C. Při 100 °C, což je bod varu vody, dochází k odpařování vody a jejímu štěpení se na vodík (H) a kyslík (O2). Všechny kapalné látky mají obvykle menší hustotu, když se zahřejí až do bodu varu, a větší hustotu, když se ochladí až do bodu mrazu. Sladká voda má však největší hustotu při 3,98 °C, což se velmi hodí například v zimě, kdy voda mrzne. Díky tomuto funguje vrstva ledu jako izolátor, a to i při teplotách dosahujících -30 °C. Proto bude mít voda pod vrstvou ledu vždy o pár stupňů vyšší teplotu a chránit tak vodní život (Blažek a kol, 2006; Pitter, 2015; Opl a kol, 2001).

Další důležitou vlastností vody je schopnost tvořit vodíkové můstky, které jsou významné pro její chemické a fyzikální vlastnosti. Voda je vynikajícím rozpouštědlem a rozpouští se v ní velké množství organických i anorganických látek. Proto v přírodních i odpadních vodách nalezneme celou řadu rozpuštěných látek, které se běžně z chemického pohledu považují za nerozpustné. Z hydrochemického pohledu se však ve vodě alespoň částečně rozpouští téměř všechny látky, včetně elementárních kovů (Blažek a kol, 2006; Pitter, 2015; Opl a kol, 2001).

4.1 Rozpuštěné a nerozpuštěné látky

Po chemické stránce jsou látky vyskytující se ve vodě děleny na organické a anorganické. Po stránce fyzické se tyto látky mohou dělit na iontově rozpuštěné, jinak známé jako elektrolyty, iontově nerozpuštěné neboli neelektrolyty, nebo také na nerozpuštěné. Ty se dále dělí na sedimentující, jež se cca po 2 hodinách usadí na dně, nesedimentující, jež se vznášejí a vytváří tak ve vodě permanentní zákal, a vzplývavé. V dnešní době se jako látky rozpuštěné považují látky, které jsou menší než 0,45 μm. Látky vyskytující se ve vodě je možno rozdělovat i podle množství, ve kterém jsou látky zastoupeny. Toto rozdělení je zobrazeno na obrázku č.1 (Fribertová, 2010, podle Tölgyessy a Piatrik, 1994; Ústav energetiky – ČVUT, 2020).



Obrázek č. 1 Rozdělení látek obsažených ve vodě (Fribertová, 2010, podle Tölgyessy a Piatrik, 1994)

Nerozpuštěné látky se řadí buď mezi pevné látky nebo kapalné látky, jako jsou například povlaky na hladině vody či emulze. Pokud mají menší hmotnost než voda, budou tyto látky stoupat vzhůru k hladině vody, kde (při větší akumulaci) mohou bránit vstupu kyslíku do vody. Pokud mají větší hmotnost než voda, budou se tyto látky usazovat na dně (Ústav energetiky – ČVUT, 2020).

Rozpuštěné látky mají vliv na pach a kyselost vody. Tyto látky také mají za následek zvýšení působnosti koroze, k níž dochází ve vodě, a odebírání kyslíku v průběhu biochemického rozkladu. Mezi rozpuštěné látky mohou patřit organické látky, pro organismy nebezpečné soli těžkých kovů, jež se hromadí v tělech organismů a působí v nich toxicky. Dále se mezi ně zahrnují látky, jež by v odpadních vodách neměly vůbec být, a proto je potřeba se těchto látek zbavit ještě před vypuštěním do kanalizace. Jedná se o herbicidy, pesticidy, různá hnojiva či dokonce jedy a žíraviny (Ústav energetiky – ČVUT, 2020).

4.2 $CHSK_{Cr}$

Chemická spotřeba kyslíku (CHSK) patří mezi nejvýznamnější ukazatele znečištění vody. Tento ukazatel poskytuje údaje týkající se koncentrací všech organických látek obsažených ve vodě oxidovatelných za podmínek stanovení. K oxidaci organických látek se jako oxidační činidlo využívá především dichroman draselný (dolní index Cr). Úplně poprvé tuto metodu navrhli Adeney a Dawson v roce 1926. V roce 1866 navrhl Kubel jako činidlo manganistan draselný (dolní index Mn), které se však pro své nevýhody při analýze odpadních vod vůbec nepoužívá. Používá se jen výjimečně, a to především při stanovení hodnot ve vodách podzemních a pitných. (Pitter, 2015; Ústav energetiky – ČVUT, 2020).

Stanovení chemické spotřeby kyslíku dichromanem draselným je založeno na oxidaci organických látek dichromanem draselným ve velmi koncentrovaném roztoku kyseliny sírové, kdy je jako katalyzátor používán síran stříbrný. Stanovení probíhá po dobu 2 hodin při teplotě o 150 °C. CHSK je ukazatelem, který je podstatný pro stanovení množství znečištění organického původu vyskytujícího se ve vodách. Metoda stanovení CHSK je detailně vysvětlena v normě ČSN ISO 6060 s názvem Jakost vod – Stanovení chemické spotřeby kyslíku z prosince roku 2008. Nahradila tak normu TNV 75 7520 s názvem Jakost vod – Stanovení chemické spotřeby kyslíku dichromanem CHSK z března roku 2002 (Pitter, 2015; Ústav energetiky – ČVUT, 2020; norma ČSN ISO 6060; Hrazdil, 2021).

4.3 BSK_5

Biochemická spotřeba kyslíku (BSK) patří stejně jako chemická spotřeba kyslíku mezi významné ukazatele znečištění vod. Udává hmotnostní koncentraci rozpuštěného kyslíku, který byl spotřebován pomocí biochemické oxidace přítomných organických látek za n dní. Obvykle je toto množství kyslíku sledováno za 5 dní (dolní index 5). Je tedy používán pro určení biologicky rozložitelných organických látek, jež se během 5 dní biologicky rozkládají za tmy při 20 °C v aerobním prostředí. (Pitter, 2015; Ústav energetiky – ČVUT, 2020).

Biochemická spotřeba kyslíku je jedním z nejvýznamnějších ukazatelů, který je důležitý při určování schopnosti odpadních vod biologicky se čistit a také při hodnocení samočistící funkce povrchových vod. Důležitá je též hodnota poměru BSK_5: CHSK, díky níž jsme schopni odhadnout množství biologicky rozložitelných

látek obsažených ve vodě. Platí zde přímá úměra, čím vyšší bude hodnota tohoto poměru, tím vyšší bude obsah biologicky rozložitelných látek ve vodě. BSK se nepoužívá pro stanovení analýzy pitné či užitkové vody (Pitter, 2015).

4.4 Dusík

Dusík (N) je plyn, který se skládá ze dvou atomů. Je obsažen ve vzduchu, kde tvoří 78% zemské atmosféry. Dále se vyskytuje ve všech živých organismech. Patří mezi nejvýznamnější makrobiogenní prvky a je obecně považován za primární limitující živinu pro akumulaci biomasy fytoplanktonu (Pitter, 2015; Hůnová, 2017; Cílek, 2007; Rabalais, 2002).

Pro stanovení kvality povrchových vod se monitoruje skupinový ukazatel, celkový dusík. Vypočte se sečtením koncentrací všech forem dusíku v organických i anorganických sloučeninách, jež se ve vodě vyskytují. Jedním z nejdůležitějších zdrojů dusíku je specifická produkce dusíku 1 obyvatele za 1 den, která se nejčastěji udává jako 12 g celkového dusíku. Dusík proniká do vodního prostředí především také ze zemědělství, kde je přílišné užití dusíkatých hnojiv, jako jsou statková hnojiva. Dále se do vody dostává z průmyslových odpadních vod, například z potravinářství. Koncentraci dusíku ve vodním prostředí také značně ovlivňuje atmosférická depozice amoniaku a oxidu dusíku obsažených ve vzduchu (Pitter, 2015; Cílek, 2007).

Celkový dusík se dále dělí na anorganicky vázaný dusík a organicky vázaný dusík. Anorganicky vázaný dusík se nejčastěji vyskytuje ve formě amoniakálního, dusitanového a dusičnanového dusíku. Dále se vyskytuje ve formě dusitanů a dusičnanů, jejichž součet se označuje jako celkový oxidovaný dusík. Ve vodě najdeme organicky vázaný dusík ve formě bílkovin a jejich produktů, močoviny a také jako dusíkaté látky, které ve vodě vznikají pomocí rozkladu biomasy mikroorganismů. Pokud je dusíku ve vodě nadbytek, dochází k acidifikaci a eutrofizaci, což může vést až ke značnému snížení v biodiverzitě ekosystému (Pitter, 2015; Cílek, 2007; Gruber a Galloway, 2008).

Amoniakální dusík se ve vodě nachází ve formě kationtu NH_4^+ a v molekulární neiontové formě jako NH_3. Za přístupu kyslíku je ve vodách velmi nestálý a snadno nitrifikuje. Nitrifikace je biochemický proces, při kterém probíhá oxidace amoniakálního dusíku a jehož konečným produktem jsou dusitany a dusičnany (Ward, 2008). Amoniakální dusík přítomný ve vodě značně přispívá ke zvýšení koroze mědi

a jejích slitin. Volná molekula NH_3 je při vyšších hodnotách pH pro ryby vysoce toxická a negativně působí i na zooplankton (Pitter, 2015).

Dusičnany se ve vodě nachází ve formě aniontu NO_3^-. Za přístupu kyslíku jsou ve vodách stabilní, ale pokud jsou v podmínkách, kde není přístup ke kyslíku, tak velice snadno denitrifikují. Denitrifikace je biochemický proces, při kterém probíhá redukce dusičnanů na molekulový dusík (Skiba, 2008). Dusičnany přítomné ve vodě jsou škodlivé spíše nepřímo. Pokud se dostanou do trávícího traktu, mohou kvůli činnosti bakterií podlehnout redukci na dusitany, jež jsou oproti dusičnanům významně toxičtější. Dusitany se sice dají velice rychle vyloučit z organismu pomocí moči, ale zároveň mají za následek přeměnu hemoglobinu na methemoglobin, který není schopný přemisťovat kyslík. Toto je problém především u kojenců ve věku do 3 měsíců. Z tohoto důvodu je potřeba v tomto období dávat pozor, aby se při přípravě umělé výživy pro kojence užívala nekontaminovaná voda, nejlépe pro to určená kojenecká voda (Pitter, 2015).

4.5 Fosfor

Fosfor (P) stejně jako dusík patří mezi významné biogenní prvky. Je součástí každé buňky v našich tělech. V nukleových kyselinách, které jsou nositeli genetické informace, se vyskytuje ve formě kyseliny fosforečné. Ve vodním prostředí je obsažen jen v organických a anorganických sloučeninách. Fosfor je ve své elementární formě velice vznětlivý a také velmi jedovatý. Ke vzplanutí není potřeba žádné velké tření, a proto je často používán k produkci zápalek (Pitter, 2015; Malečková, 2017; Šyc a Václavková, 2018).

Pro stanovení kvality povrchových vod se sleduje skupinový ukazatel, celkový fosfor. Stejně jako u celkového dusíku je k jeho výpočtu potřeba sečíst koncentraci všech fosforů obsažených v organických i anorganických sloučeninách, jež jsou ve vodním prostředí přítomny. Do vodního prostředí se fosfor přirozeně dostává vyluhováním a rozpouštěním určitých druhů půd, minerálů a také hornin. Anorganický fosfor do vody proniká v malém množství z fosforečných hnojiv a také z živočišných odpadů, ze kterých se do vody dostává i organický fosfor. Významným příkladem těchto odpadů jsou splaškové vody. Člověk je schopný za 1 den vyprodukovat cca 1,5 g fosforu. Do splaškových vod se však dostávají i některé přípravky, jež jsou užívány v domácnostech, což může mít za následek zvýšení specifické produkce

fosforu až na 2-3 g fosforu na 1 obyvatele za 1 den. Dalším příkladem živočišných odpadů jsou velké chovy hospodářských zvířat. Důležité je také zmínit, že se fosfor do vody uvolňuje při rozkladu biomasy mikroorganismů a také z atmosférických depozic (Pitter, 2015; Znachor, 2016).

Pokud jsou sloučeniny fosforu obsažené ve vodním prostředí v příliš velkém množství, mají za následek nadměrný růst zelených vodních organismů, například řas a sinic. Toto se děje především v létě, kdy je fotosyntetická asimilace nejaktivnější. Dochází tak k přílišné eutrofizaci vod, což nakonec může vést až ke ztrátě ekologické funkce celého vodního ekosystému (Pitter, 2015; Znachor, 2016; Le Moal a kol., 2019).

V roce 2018 se ve velkém množství objevil invazivní druh sinice *Cylindrospermopsis raciborskii*, která pro svůj vývoj potřebuje velké množství právě fosforu a také dusíku (Burford a kol., 2016). Tato sinice je však toxická a může nejen podráždit kůži a způsobit tak alergickou reakci, ale může také poškodit játra a ledviny. Sinice obsahuje saxitoxin, který je schopný udržet se v mase ryb i po delší dobu. Nadměrné množství fosforu ve vodách tak může i nepřímo způsobit řadu zdravotních problémů skrze sinici *Cylindrospermopsis*, která se již objevila na více místech v České republice (Komárek a Lukavský, 2020).

4.6 Kovy a polokovy ve vodě

Ve vodním prostředí lze nalézt většinu kovů a polokovů z periodické tabulky prvků, jež se v přírodě přirozeně nachází. Především je důležité zmínit zinek, kadmium, rtuť, olovo a arsen, protože jsou velice toxické a významně ovlivňují okolní prostředí. Omezují vývoj a růst organismů, snižují aktivitu enzymů a negativně tak působí na schopnost samočištění přírodních vod a na veškeré biologické pochody probíhající v čistírnách odpadních vod. Akutní otravu většinou nezpůsobí, jelikož jsou ve vodách obsaženy v nízkých koncentracích. Mohou však způsobit závažná chronická onemocnění, pokud je organismus vystaven jejich vlivu dlouhodobě a nebezpečné toxiny se tak v těle akumulovaly (Pitter, 2015).

Zinek se do vody dostává především při rozkladu sulfidických rud a pomocí atmosférického spadu, přičemž v atmosféře se vyskytuje kvůli spalování fosilních paliv a zpracování železných rud. Zinek je pro všechny organismy (lidi, rostliny, suchozemská i vodní zvířata) esenciálním prvkem, jehož deficit by jim mohl

způsobit spoustu zdravotních problémů. Ve vyšších koncentracích je však tento prvek velice nebezpečný až smrtelný. Největší hrozbu představuje hlavně pro lososovité ryby a pak také pro ryby kaprovité. Stejně působí i měď (Pitter, 2015).

Kadmium se do vody dostává pomocí atmosférické depozice, z čistírenských kalů, průmyslových odpadních vod a při zpracování sulfidických rud. Je to prvek, který se řadí mezi velmi nebezpečné jedy. V organismech se hromadí a velice dlouho zůstává v jejich tělech, proto je jeho detoxikace značně pomalá a je u něj zvýšené riziko chronické otravy. Kadmium také zvyšuje toxické účinky jiných kovů, například zrovna zinku. Dále také patří mezi prvky, které mohou potenciálně způsobovat rakovinu. Podobně jako zinek je velmi toxický i pro vodní organismy, především pro lososovité ryby (Pitter, 2015).

Rtuť a olovo jsou oba prvky s velkou akumulační schopností. Rtuť se do těla dostává především zažívacím traktem a hromadí se hlavně v játrech, ledvinách a mozku. Hromadí se i v tělech ryb. Může způsobit vážné poruchy nervového systému, jako jsou mentální poruchy, ale může způsobit i úplné ochrnutí (Yang a kol., 2020). Olovo se akumuluje především v kostech. Na organismus působí neurotoxicky a potencionálně může působit i karcinogenně. Oba prvky jsou velice toxické i pro vodní organismy (Pitter, 2015).

Arsen se přirozeně vyskytuje především ve formě sulfidů, najdeme ho v sulfidických rudách, některých horninách a půdách, ze kterých pomocí zvětrávání proniká do povrchových a podzemních vod. Antropogenně se dostává do vody kvůli spalování fosilních paliv a z některých odvětví průmyslu (Lievremont a kol., 2009). Arsen je silného kumulativního charakteru a je známý, pro své hromadění ve vlasech. Na rozdíl od rtuti se v rybách příliš nekumuluje a nejsou nám známé žádné případy otravy při jejich konzumaci. Je to jed, který způsobuje nervové a srdeční poruchy a jeho značné karcinogenní účinky jsou prokázané (Pitter, 2015).

5. Čištění odpadních vod

Čištění odpadních vod začíná mechanickým čištěním, obvykle se využívá procesů usazování a zahušťování suspenzí. Nejprve dochází k hrubému předčištění pomocí lapáků štěrku a česlí, jež slouží k odebrání velkých předmětů ve vodě. Bez této části procesu by mohlo dojít k porouchání strojních zařízení. Dále přichází na řadu lapáky písku, které mají za úkol odstranit suspendované a těžké anorganické látky. Patří mezi ně například kousky skla či písek. Někdy se za lapáky písku umisťují ještě lapáky tuků. Další část mechanického čištění probíhá v usazovacích a zahušťovacích nádržích, kde dochází k odstraňování pevných částic pomocí gravitace (Dohányos a kol, 2011).

Další fází čištění odpadních vod je biologické čištění, které funguje na principu odstraňování a rozkladu organických látek na biologické vločky, k čemuž dochází díky mikroorganismům. Odstraňované organické látky musí být biologicky rozložitelné a mohou být mikroorganismy využitelné jako substrát potřebný k rozkladu. K biologickému čištění dochází dvěma způsoby. První z nich je aerobní čištění, při kterém jsou organické látky oxidovány pomocí mikroorganismů v kyslíkatém prostředí. Druhým způsobem je anaerobní čištění, při kterém jsou organické látky oxidovány v bezkyslíkatém prostředí. Při aerobním čištění dochází k zásadně větší produkci biomasy na jednotku spotřebovaného substrátu a je při něm vyprodukováno asi desetkrát více energetického zisku než při čištění anaerobním. Z ekonomického hlediska je však anaerobní čistění výhodnější, jelikož se jedná o technologicky méně náročné procesy, co se týče energetiky. Na druhé straně je však anaerobní čištění méně účinné než aerobní čištění (Dohányos a kol, 2011; Chan a kol., 2009; Frintová, 2007, podle Dolejš, 1996).

K odstraňování organických látek dochází v aktivaci. To je aerobní proces, při kterém se ze směsné kultury mikroorganismů (aktivovaného kalu) tvoří shluky mikroorganismů označované jako vločky, na nichž dochází ke srážení a vstřebávání organických látek ve vodě. Při tomto procesu je potřeba vodu pořádně provzdušňovat jednak kvůli dostatku kyslíku a jednak se tím udržuje aktivovaný kal ve vznosu. Část kalu se z dosazovací nádrže recirkuluje, část kalu (přebytečný kal) je odváděna do vyhnívacích nádrží (Dohányos a kol, 2011; Frintová, 2007, podle Dolejš, 1996).

Mezi další biologické způsoby čištění patří stabilizační nádrže, ve kterých dochází k aerobním i anaerobním pochodům současně. Jsou to mělké nádrže, které mohou být akumulační i průtočné. Pokud se v nádrži v některé části roku chovají ryby, označuje se nádrž jako stabilizační rybník. Nádrže, ve kterých se uchovává kal, se nazývají kalové laguny. Biologické čištění odpadních vod může také probíhat na biofilmových reaktorech. Typickým znakem je pěstování biomasy na povrchu nosičů. Tato vrstva biomasy tvoří biofilm. Biofilmové reaktory se dělí podle druhu nosiče a podle přístupu vody či vzduchu na několik skupin. Jednou z nich jsou tzv. biofiltry, kde nosičem biomasy je pórezní materiál, který je zkrápěn vodou a jehož průduchy proniká vzduch. Další skupina má nosič ve tvaru kotouče (biodisk) z části ponořeného ve vodě, který se pomalu otáčí a dostává tak biofilm střídavě do kontaktu s vodou a se vzduchem (Dohányos a kol, 1991; Dohányos a kol, 2011).

Dále se do biologického čištění řadí půdní (zemní) filtry, které zachycují a odstraňují znečištění. Zemní filtry mohou být bez vegetace, s travními porosty, různými zemědělskými plodinami nebo mohou zahrnovat i výsadbu vhodných dřevin. Slouží k přírodnímu čištění či dočištění znečištěných vod od malých producentů (jednotlivé domy či hotely, malé osady) a dešťových vod z okapů a střech, než budou dále využity. Používají se i jako ochrana před znečištění či narušením ekosystémů v chráněných a cenných oblastech (mokřady, rašeliniště). V souvislosti s půdními filtry je nutno zmínit vegetační kořenové čistírny, které využívají půdních filtrů s mokřadní vegetací. Zaměřují se hlavně na zlepšení kvality vody a pokud byla přitékající odpadní voda kvalitně mechanicky vyčištěna, je výsledek jejich čištění shodný s umělými způsoby čištění vod (Šálek a Tlapák, 2006).

5.1 Čistírny odpadních vod

Podle nařízení vlády č. 401/2015 Sb., přílohy č. 1 se čistírny odpadních vod dělí do několika velikostních kategorií dle celkového počtu připojených ekvivalentních obyvatel (EO = 60 g BSK5 za den). Kategorie ČOV i s jejich příslušnými emisními standardy jsou vidět v tabulce č. 1. V tabulce platí, že malé p značí přípustnou hodnotu a malé m maximální (nepřekročitelnou) koncentraci daného parametru.

Tabulka č. 1 Kategorie ČOV s emisními standardy v mg/l (nařízení vlády č. 401/2015 Sb.)

Kategorie ČOV (EO)	$CHSK_{Cr}$		BSK_5		NL		$N\text{-}NH_4^+$		$N_{celk.}$		$P_{celk.}$	
	p	m	p	m	p	m	průměr	m	průměr	m	průměr	m
< 500	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-	-	-
500 - 2 000	125	180	30	60	40	70	20	40	-	-	-	-
2 001 - 10 000	120	170	25	50	30	60	15	30	-	-	3	8
10 001 - 100 000	90	130	20	40	25	50	-	-	15	30	2	6
> 100 000	75	125	15	30	20	40	-	-	10	20	1	3

Mezi velké čistírny se řadí například městské čistírny. Ty většinou vytváří kombinace různých čistících procesů, jako jsou mechanické, biochemické a chemické procesy. Malé čistírny jsou v České republice označovány čistírny, které mají celkový počet připojených EO do 500 (do 500 EO). Řadí se mezi ně například i domovní čistírny odpadních vod. Dříve byly používány žumpy, které shromažďovaly splašky před jejich vývozem a chránily tím tak životní prostředí a jejich okolí před kontaminací (Lupták a Šmarda, 2016; Dohányos a kol, 2011).

6. Metodika

Postup metodiky byl daný zadáním bakalářské práce. Informace pro její zpracování byly převážně čerpány z odborných článků, které byly dostupné online, a odborných knih, dostupných v knihovnách či k zakoupení. K vyhledávání odborných článků posloužily webové stránky Web of Science nebo také Digitální knihovna Akademie věd ČR. Některé články byly v anglickém jazyce a k jejich přeložení byl použit česko-anglický slovník. Odborné texty byly vybírány v souladu s cílem práce.

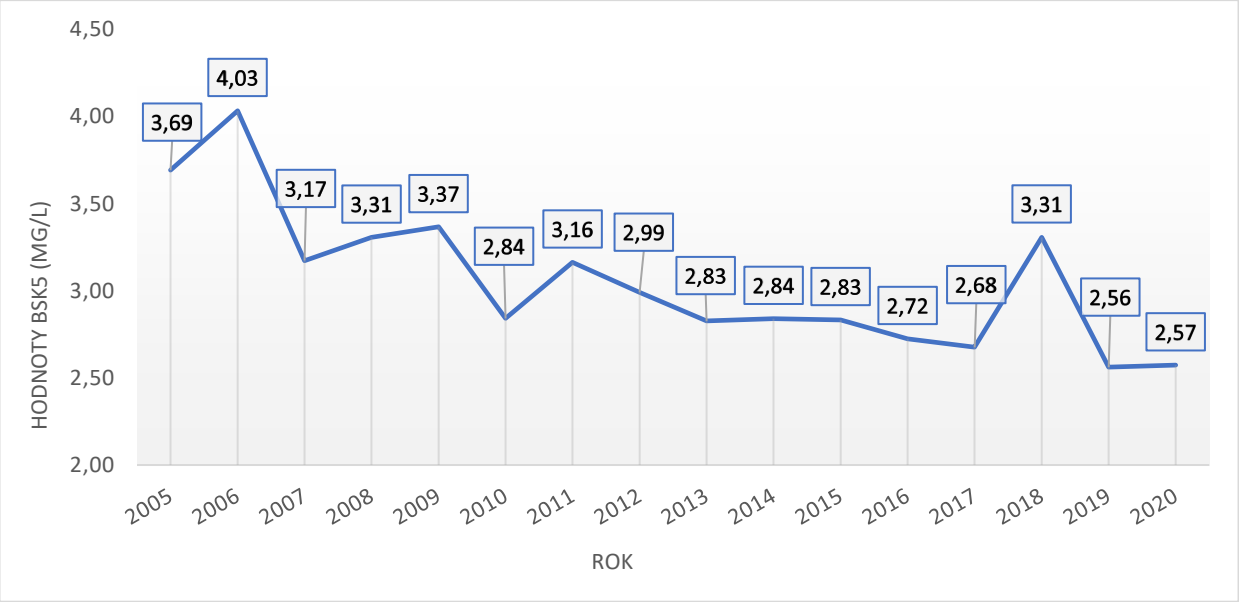
Dále jsou v práci citovány články, které se tématu dotýkaly pouze okrajově, ale nacházely se v nich cenné informace, které se hodily do celkového schéma práce. V práci byly použity i články, ze kterých byly vybrány jen informace, které obsahovaly zajímavosti či obecný poznatek k tématu práce.

V bakalářské práci byl také důležitý sběr a zpracovávání dat, která jsou každoročně zveřejňována v ročenkách Ministerstva životního prostředí. Tato data byla vyhodnocována pomocí základních ukazatelů z normy ČSN 75 7221 uvedených v příloze č. 1.

Zpracovávaná data byla měřena z 15 vybraných profilů toků nacházejících se na území České republiky. Jedná se o toky Bečva (profil Troubky), Berounka (profil Lahovice), Bílina (profil Ústí nad Labem), Dyje (profil Pohansko), Jihlava (profil Ivaň), Labe (profily Valy, Obříství a Děčín), Morava (profil Lanžhot), Odra (profil Bohumín), Ohře (profil Terezín), Otava (profil Topělec), Sázava (profil Pikovice), Svratka (profil Vranovice) a Vltava (profil Zelčín).

7. Výsledné zhodnocení a diskuse

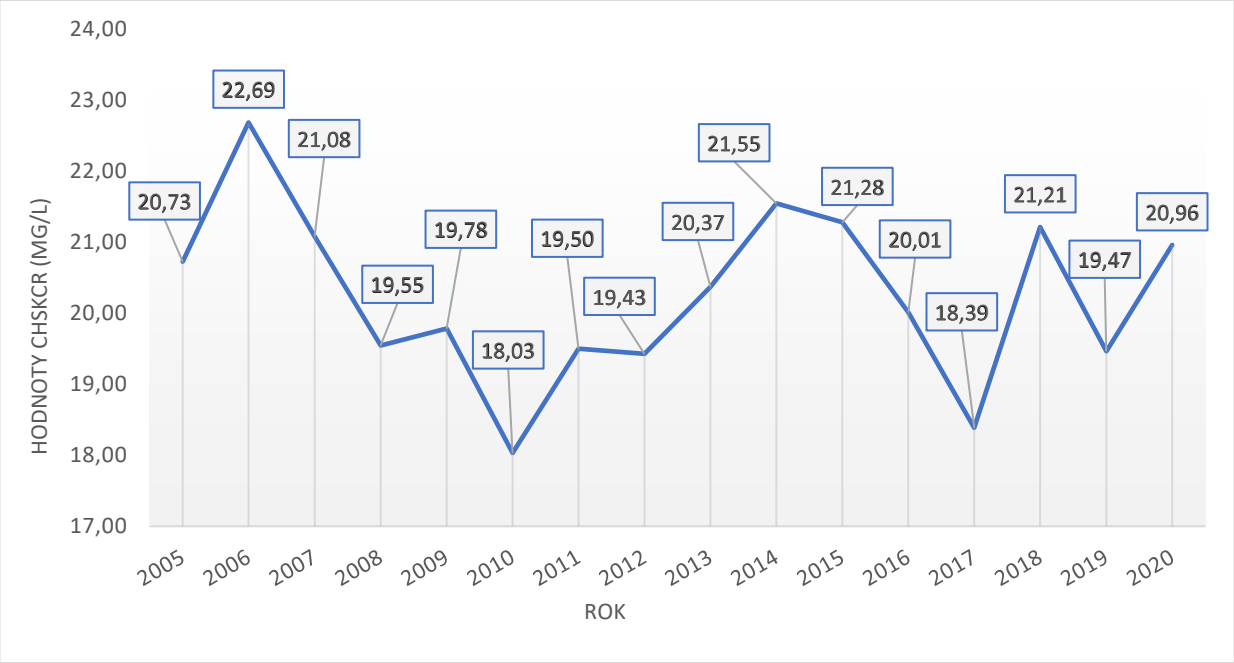
V grafech jsou znázorněné aritmetické průměry hodnot základních ukazatelů kvality povrchových vod v letech 2005–2020. Tyto průměry byly vypočteny z aritmetických průměrů hodnot ukazatelů kvality povrchových vod 15 vybraných profilů toků České republiky. Níže uvedené grafy byly vytvořeny pomocí údajů obsažených v každoročně zveřejňovaných ročenkách Ministerstva životního prostředí.



Obrázek č. 2 Aritmetické průměry hodnot BSK_5 z 15 měřených profilů toků na území ČR v letech 2005–2015 (mg/l) (MŽP, 2006–2020)

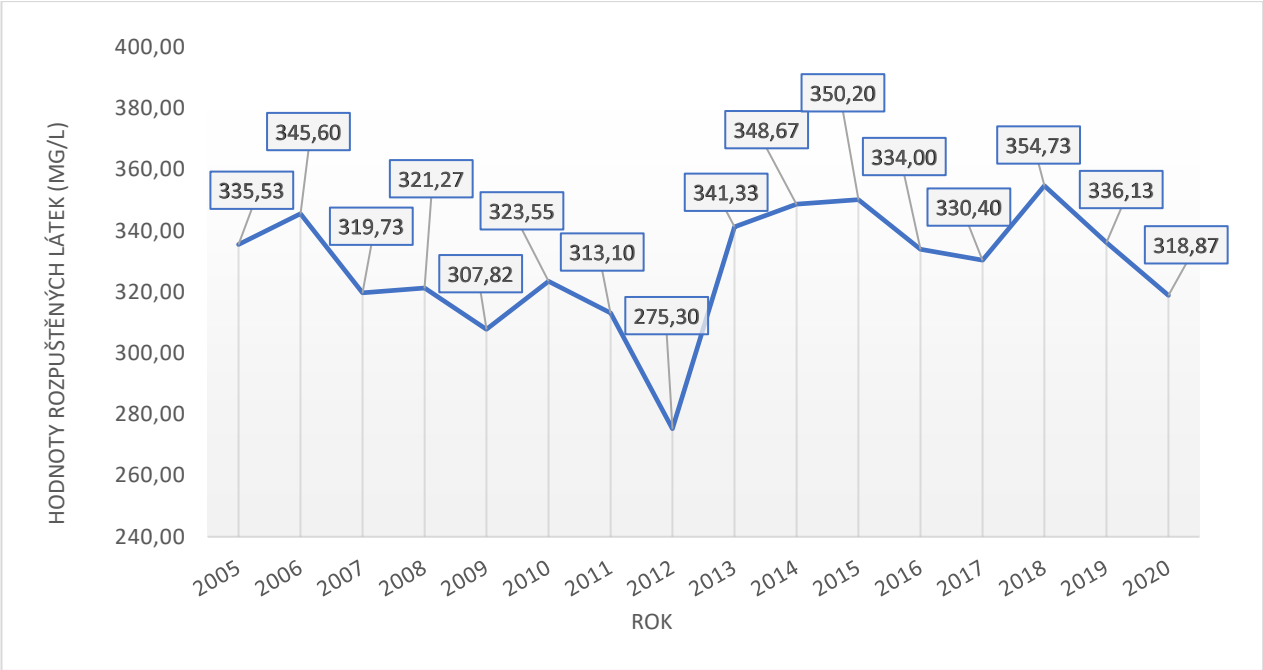
Na obrázku č. 2 je zobrazen graf, ze kterého je patrné, že se hodnoty BSK_5 postupně snižují. V rocích 2006 a 2018 došlo k navýšení hodnot BSK_5, vliv na to mají například havárie a množství vypouštěného znečištění do povrchových vod v těchto rocích. V roce 2006 byl celkový počet havárií 205, z čehož 92 bylo způsobeno člověkem. Množství vypouštěného znečištění v podobě BSK_5 do vod povrchových se rovnalo 8 832 t/rok, z toho nejvíce a zároveň téměř ve stejném množství bylo vypouštěno znečištění do Vltavy a Labe. V roce 2018 bylo vypouštěné znečištění do vod povrchových rovno 5 074 t/rok, nejvíce jej šlo do Vltavy. Celkový počet havárií se rovnal 220, z čehož 62 měl na svědomí lidský faktor. Celkové snižování hodnot BSK_5 by mohlo být způsobeno zvyšujícím se počtem čistíren, včetně těch domácích, ale také postupným snižováním vypouštěného znečištění. Dle normy ČSN 75 221 spadala průměrná hodnota kvalita vody podle BSK_5 do II. třídy kvality vody, jelikož její hodnota byla menší než 4 mg/l a zároveň byla větší než 2 mg/l. Až na rok

2006, kdy hodnota překročila 4 mg/l, přičemž nepřesáhla hodnotu 8 mg/l. Kvalita vody se v tomto roce zařadila do III. třídy kvality vody (MŽP, 2006–2020).



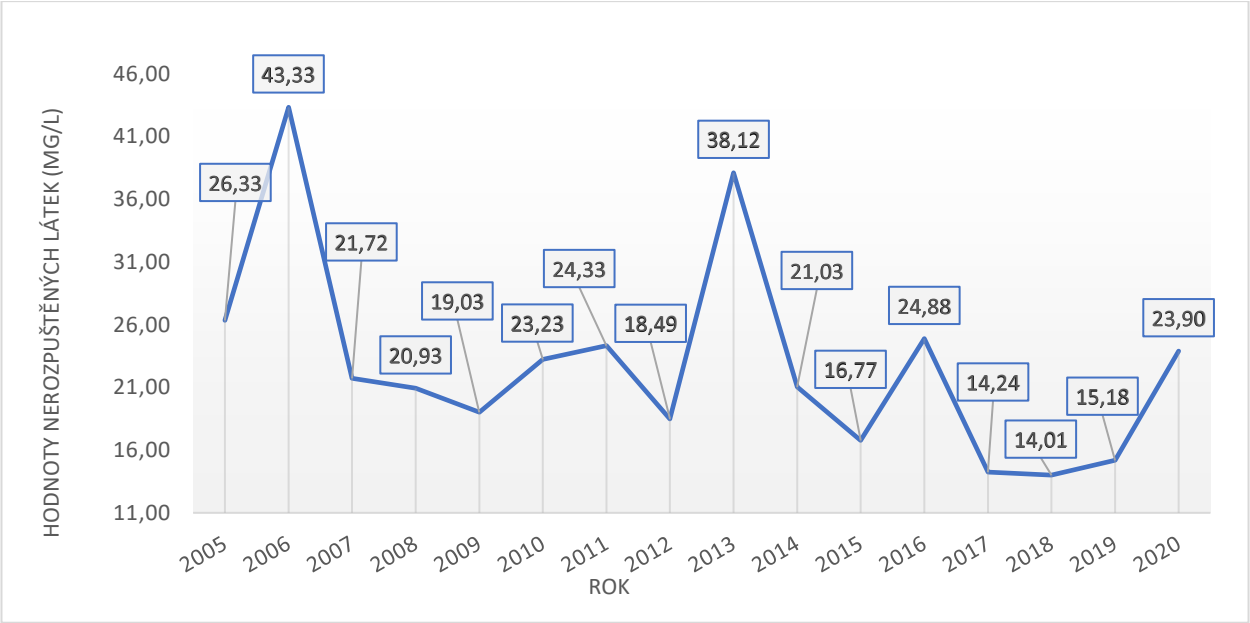
Obrázek č. 3 Aritmetické průměry hodnot $CHSK_{Cr}$ z 15 měřených profilů toků na území ČR v letech 2005–2015 (mg/l) (MŽP, 2006–2020)

Na obrázku č. 3 je zobrazen graf, ze kterého je patrné, že se hodnoty $CHSK_{Cr}$ hodně mění. Do roku 2010 se snižují, poté se hodnoty $CHSK_{Cr}$ postupně zvyšují, aby od roku 2014 začaly zase klesat. Příčinou by mohlo být množství vypouštěného znečistění do povrchových vod, počet obyvatel v okolí měřených toků nebo také jakost srážkových vod. K největšímu navýšení hodnot $CHSK_{Cr}$ došlo opět v rocích 2006 a 2018. To by mohlo být způsobeno například počtem havárií nebo také množstvím vypouštěného znečištění v podobě $CHSK_{Cr}$ z bodových zdrojů do vod povrchových. V roce 2006 bylo vypouštěné znečištění rovno 53 689 t/rok, nejvíce jej přišlo do Labe. V roce 2018 vypouštěné znečištění činilo 35 741 t/rok a nejvíce jej bylo vypouštěno opět do Labe. Dle normy ČSN 75 221 spadala průměrná hodnota kvalita vody vzhledem k $CHSK_{Cr}$ do II. třídy kvality vody, jelikož její hodnota byla vždy menší než 25 mg/l a zároveň byla větší než 15 mg/l (MŽP, 2006–2020).



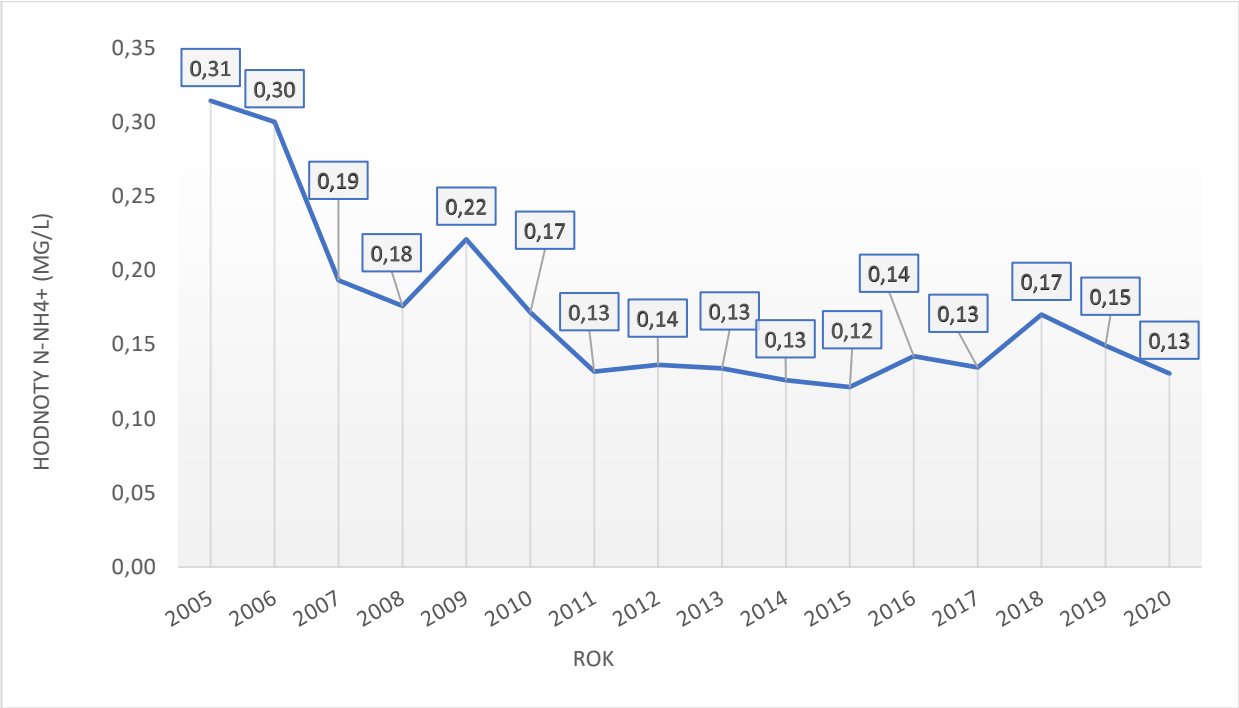
Obrázek č. 4 Aritmetické průměry hodnot rozpuštěných látek z 15 měřených profilů toků na území ČR v letech 2005–2015 (mg/l) (MŽP, 2006–2020)

Na obrázku č. 4 je zobrazen graf, ze kterého je patrné, že se hodnoty rozpuštěných látek do roku 2012 postupně snižují. Z roku 2012 na rok 2013 došlo k výraznému navýšení v hodnotách rozpuštěných látek. Tyto hodnoty mohlo ovlivnit množství vypouštěného znečištění do vod povrchových či počet havárií. V roce 2012 byl celkový počet havárií 196, z čehož 100 bylo způsobeno člověkem. Množství vypouštěného znečištění v podobě rozpuštěných anorganických solí se rovnalo 786 446 t/rok, z toho nejvíce znečištění bylo vypuštěno do Odry. V roce 2013 bylo vypouštěné znečištění do vod povrchových rovno 879 602 t/rok. Celkový počet havárií se rovnal 183. Vypouštěné znečištění odpadních vod bylo v roce 2012 sice vyšší než v roce 2013, ale obsahovalo méně rozpuštěných látek. Snižování hodnot rozpuštěných látek by mohlo být způsobeno postupným snižováním vypouštěného znečištění. Dle normy ČSN 75 221 spadala průměrná hodnota kvalita vody podle obsahu rozpuštěných látek do II. třídy kvality vody, jelikož její hodnota byla menší než 500 mg/l a zároveň byla větší než 300 mg/l. Výjimkou byl rok 2012, kdy hodnota klesla pod 300 mg/l a kvalita vody se tak zařadila do I. třídy kvality vody (MŽP, 2006–2020).



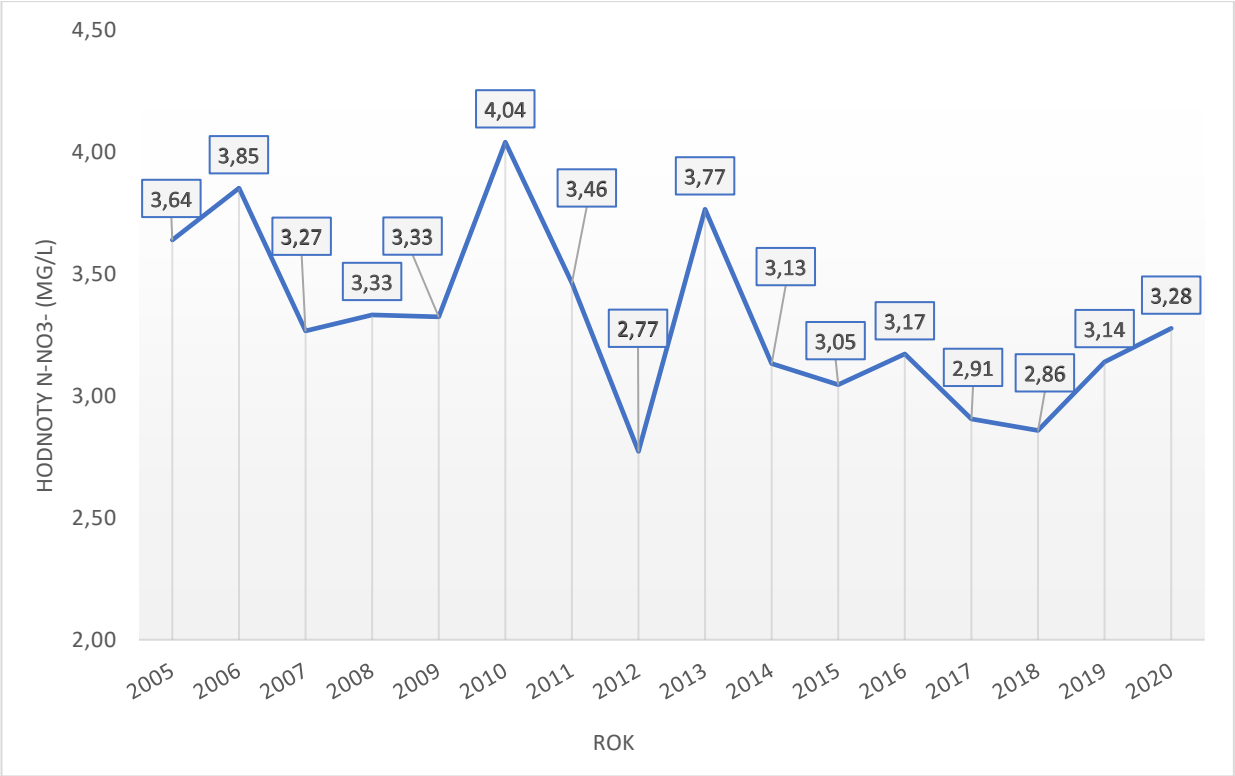
Obrázek č. 5 Aritmetické průměry hodnot nerozpuštěných látek z 15 měřených profilů toků na území ČR v letech 2005–2015 (mg/l) (MŽP, 2006–2020)

Na obrázku č. 5 je zobrazen graf, ze kterého je patrné, že se hodnoty nerozpuštěných látek udržují až na pár výkyvů zhruba ve stejné rovině. K největším výkyvům došlo v roce 2006 a 2013, kdy hodnoty nerozpuštěných látek rapidně vzrostly. Tyto hodnoty mohly být ovlivněny množstvím vypouštěného znečištění v podobě nerozpuštěných látek do vod povrchových, počtem havárií, počtem obyvatel. V rocích 2017 a 2018 došlo k poklesu hodnot nerozpuštěných látek. Snižování hodnot nerozpuštěných látek by mohlo být způsobeno postupným snižováním vypouštěného znečištění. V roce 2006, kdy hodnoty nerozpuštěných látek měly nejvyšší hodnotu, bylo množství vypouštěného znečištění rovno 18 498 t/rok (nejvíce do Moravy), kdežto v roce 2018, kdy byly hodnoty nerozpuštěných látek nejnižší, činilo toto množství 8 765 t/rok (nejvíce do Labe). Dle normy ČSN 75 221 se řadila průměrná hodnota kvalita vody podle obsahu nerozpuštěných látek do II. třídy kvality vod, jelikož její hodnota byla menší než 25 mg/l a zároveň byla větší než 15 mg/l. Výjimkou byly roky 2005, 2006 a 2013, kdy hodnota vzrostla nad 25 mg/l, přičemž nepřesáhla hodnoty 50 mg/l. Kvalita vody se tak v těchto třech rocích podle obsahu nerozpuštěných látek zařadila do III. třídy kvality vody. Další, avšak vítanou výjimkou byly již výše jmenované roky 2017 a 2018. Jelikož jejich hodnoty nerozpuštěných látek klesly pod 15 mg/l, byly tyto roky zařazeny do I. třídy kvality vody (MŽP, 2006–2020).



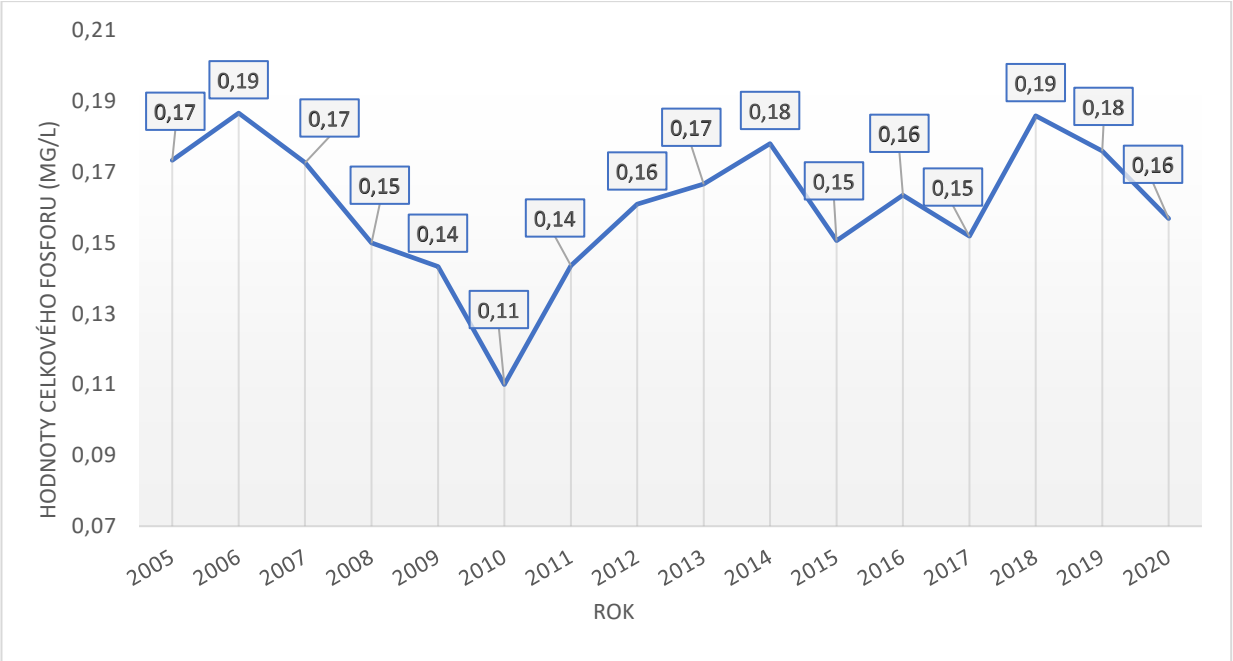
Obrázek č. 6 Aritmetické průměry hodnot N-NH_4^+ z 15 měřených profilů toků na území ČR v letech 2005–2015 (mg/l) (MŽP, 2006–2020)

Na obrázku č. 6 je zobrazen graf, ze kterého je patrné, že se hodnoty amoniakálního dusíku (N-NH_4^+) až do roku 2011 postupně snižují, dále už se jen udržují zhruba ve stejné rovině. V roce 2009 došlo k navýšení hodnot N-NH_4^+. Tyto hodnoty mohlo ovlivnit množství vypouštěného znečištění do vod povrchových či počet havárií. Snižování hodnot N-NH_4^+ by mohlo být způsobeno postupným snižováním vypouštěného znečištění a celkově snahou zlepšit kvalitu vody (více čistíren, přísnější kritéria pro kvalitu vody). V roce 2006, kdy hodnoty N-NH_4^+ měly nejvyšší hodnotu, bylo množství vypouštěného znečištění v podobě anorganického dusíku rovno 14 825 t/rok, kdežto v roce 2015, kdy byly hodnoty N-NH_4^+ nejnižší, činilo toto množství 9 888 t/rok. Celkový počet havárií se v roce 2006 rovnal 205 a v roce 2015 však byl 221. Dle normy ČSN 75 221 spadala průměrná hodnota kvalita vody podle obsahu rozpuštěných látek do I. třídy kvality vody, jelikož jejich hodnota nepřesahovala 0,2 mg/l. Pouze roky 2005, 2006 a 2009 měly hodnoty přesahující 0,2 mg/l a zároveň menší než 0,4 mg/l. Zařadily se tak do II. třídy kvality vody (MŽP, 2006–2020).



Obrázek č. 7 Aritmetické průměry hodnot N-NO_3^- z 15 měřených profilů toků na území ČR v letech 2005–2015 (mg/l) (MŽP, 2006–2020)

Na obrázku č. 7 je zobrazen graf, ze kterého je patrné, že mají hodnoty dusičnanového dusíku (N-NO_3^-) v průběhu sledovaného úseku období spoustu výkyvů. K největším výkyvům došlo v rocích 2010, 2012 a 2013. V roce 2010 byla hodnota dusíku nejvyšší, pak v roce 2012 klesla na nejnižší hodnotu, aby v roce 2013 zase rapidně stoupla. Velké snížení hodnot dusíku, ke kterému došlo v roce 2012, mohlo být způsobeno znečištěním vypouštěným do povrchových vod. Množství vypouštěného znečištění v podobě anorganického dusíku za rok 2010 činilo 13 816 t/rok a v roce 2012 bylo sníženo na 11 150 t/rok. V případě celkového počtu havárií to bylo opačně. Počet havárií se v roce 2012 oproti roku 2010 zvýšil o 57 havárií. Toto navýšení však hodnoty N-NO_3^- příliš nezvýšilo, ba naopak jeho hodnoty se snížily na nejnižší hodnotu N-NO_3^- ve sledovaném období. Dle normy ČSN 75 221 spadala průměrná hodnota kvalita vody podle obsahu N-NO_3^- do II. třídy kvality vody, jelikož její hodnota byla vždy menší než 5 mg/l a zároveň byla větší než 2,5 mg/l (MŽP, 2006–2020).



Obrázek č. 8 Aritmetické průměry hodnot celkového fosforu z 15 měřených profilů toků na území ČR v letech 2005–2015 (mg/l) (MŽP, 2006–2020)

Na obrázku č. 8 je zobrazen graf, ze kterého je patrné, že se hodnoty celkového fosforu postupně snižují až do roku 2010, odkud se zase postupně zvedají. Hodnoty celkového fosforu jsou v prvním a posledním sledovaném roce téměř totožné. V rocích 2006 a 2018 dosáhly hodnoty celkového fosforu nejvyšších hodnot ve sledovaném období. Nejnižší hodnoty celkový fosfor dosáhl v roce 2010. Tyto hodnoty mohly být ovlivněny množstvím vypouštěného znečištění v podobě celkového fosforu do vod povrchových či počtem havárií. Dalším faktorem, který ovlivňuje hodnoty celkového fosforu, může být například počet obyvatel či zdokonalující se techniky pro čištění odpadních vod. Dle normy ČSN 75 221 spadala průměrná hodnota kvalita vody podle obsahu rozpuštěných látek do III. třídy kvality vody, jelikož její hodnota byla menší než 0,3 mg/l a zároveň byla větší nebo rovna 0,15 mg/l. Výjimkou byly roky 2009 až 2011, kdy hodnoty klesly pod 0,15 mg/l a současně měly vyšší hodnotu než 0,05 mg/l. Kvalita vody se v těchto rocích zařadila do II. třídy kvality vody (MŽP, 2006–2020).

8. Závěr a přínos práce

Cílem této bakalářské práce bylo zhodnotit vývoj kvality povrchových vod v České republice. Dalším cílem bylo vysvětlit a popsat hlavní typy znečištění povrchových vod a způsoby čištění odpadních vod. Jedním z hlavních úkolů tedy bylo provést rozsáhlou literární rešerši týkající se těchto témat.

V práci se povedlo přiblížit vodu jako takovou, čím je výjimečná a proč je pro nás lidi tak důležitá. Bylo vysvětleno znečištění vody a jaké dopady znečištění na vodu a vodní ekosystémy má. Byly zde podrobně popsány bodové, plošné a difúzní zdroje znečištění, včetně jejich příkladů. Byl popsán proces hodnocení kvality povrchových vod pomocí normy ČSN 75 7221. Voda byla v práci rozebrána i po chemické stránce a byly popsány některé její složky, včetně jejich dopadů, pokud by byly obsažené ve vodě v přílišném množství. Část práce byla věnována popisu různých způsobů čištění odpadních vod a také čistíren odpadních vod.

Dále se povedlo na několika grafech ukázat hodnoty základních ukazatelů kvality povrchových vod v rámci sledovaného období (2005–2020). Hodnota BSK_5 se z roku 2005 na rok 2020 snížila z hodnoty 3,69 mg/l na hodnotu 2,57 mg/l. Obě hodnoty se podle normy ČSN 75 7221 řadí do II. třídy kvality vody. Hodnota $CHSK_{Cr}$ se z roku 2005 na rok 2020 téměř nezměnila a její hodnoty byly 20,73 mg/l a 20,96 mg/l. Obě hodnoty se podle normy ČSN 75 7221 řadí do II. třídy kvality vody. Hodnota rozpuštěných látek v porovnání roků 2005 a 2020 snížila z hodnoty 335,53 mg/l na hodnotu 318,87 mg/l, přičemž jsou obě hodnoty podle normy ČSN 75 7221 řazeny do II. třídy kvality vody. Hodnota nerozpuštěných látek se v porovnání těchto dvou roků opět snížila z hodnoty 26,33 mg/l na hodnotu 23,90 mg/l. Podle ČSN 75 7221 se hodnota v roce 2005 řadí do III. třídy kvality vody, kdežto hodnota v roce 2020 je řazena do II. třídy kvality vody. Hodnota $N\text{-}NH_4^+$ se z roku 2005 na rok 2020 významně snížila z hodnoty 0,31 mg/l na hodnotu 0,13 a dle ČSN 75 7221 se tak zvýšila kvalita vody z II. třídy na I. třídu kvality vody. Hodnota $N\text{-}NO_3^-$ se při porovnání roků 2005 a 2020 mírně snížila z hodnoty 3,64 mg/l a na hodnotu 3,28 mg/l. Obě hodnoty dle normy ČSN 75 7221 patří do II. třídy kvality vody. Hodnota celkového fosforu se v porovnávaných rocích 2005 a 2020 bohužel téměř nezměnila, hodnoty se v těchto letech rovnaly 0,17 mg/l a 0,16 mg/l a podle ČSN 75 7221 se tak řadí do III. třídy kvality vody.

Dle těchto hodnot je vidět, že se kvalita povrchových vod postupně zlepšuje a velký podíl na tom má například snižující se vypouštěné znečištění do povrchových vod (více čistíren, vyspělejší technologie a přísnější kritéria na úpravu vody).

9. Přehled literatury a použitých zdrojů

BOURAOUNI F. a B. GRIZZETTI, 2014: *Modelling mitigation options to reduce diffuse nitrogen water pollution from agriculture*. Science of the Total Environment 468-469: 1267-1277.

BURFORD M. A., BEARDALL J., WILLIS A., ORR PT., MAGALHAES V. F., RANGEL L. M., AZAVEDO S. M. F. O. E., a B. A. NEILAN, 2016: *Understanding the winning strategies used by the bloom-forming cyanobacterium* Cylindrospermopsis reciborskii. Harmful Algae 54: 44-53.

CÍLEK V., 2007: *Nový problém: globální cyklus dusíku*. Vesmír 86: 362.

CÍLEK V., BLAŽEK V., EHRLICH P., FRANK D., GERGEL J., HLADNÝ J., HOFMEISTER T., JANSKÝ B., KAKOS V., KENDER J., KOPP J., KRÁL M., KRÁTKÁ M., KRÁTKÝ M., KVÍTEK T., LÍDLOVÁ D., LANGHAMMER J., MANÍČEK J., MATOUŠEK V., MATOUŠKOVÁ M., NESMĚRÁK I., NĚMEC J., NIETSCHEOVÁ J., PLESNÍK J., POKORNÝ D., PUNČOCHÁŘ P., ŘÁDEK T., SATRAPA L., ŠÁMALOVÁ Z., ŠŤASTNÝ B., VRABEC M., VYLITA T. a O. ZEMAN, 2006: *Voda v České republice*. Consult, Praha. ISBN 80-903482-1-1.

ČSN 75 7221. Kvalita vod – Klasifikace kvality povrchových vod. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017, 20 s. Třídící znak 75 7221.

ČSN ISO 6060. Jakost vod – Stanovení chemické spotřeby kyslíku. Praha: Český normalizační institut, 2008, 12 s. Třídící znak 75 7522.

DOHÁNYOS M., CHUDOBA J. a J. WANNER, 1991: *Biologické čištění odpadních vod*. SNTL, Praha. ISBN 80-03-00611-2.

DOHÁNYOS M., KOLLER J. a N. STRNADOVÁ, 2011: *Čištění odpadních vod*. Dotisk 2.vydání. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha. ISBN 978-80-7080-316-5.

DOLEJŠ P., 1996: *Příručka pro čištění a úpravu vody*. KEMIFLOC, Přerov: 133 s.

FRIBERTOVÁ M., 2010: *Posouzení základních ukazatelů odpadní vody firmy Dermacol*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Brno. 64 s. (diplomová práce). „nepublikováno“.

FRINTOVÁ K., 2007: *Čištění odpadních vod*. Masarykova univerzita v Brně, Pedagogická fakulta, Brno. 75 s. (diplomová práce). „nepublikováno“.

GRUBER N. a J. N. GALLOWAY, 2008: *An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle*. Nature 451(7176): 293-296.

HŮNOVÁ I., *„Potížista“ dusík*. Vesmír 96: 28.

CHAN Y. J., CHONG M. F., LAW C. L. a D. G. HASSELL, 2009: *A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater*. Chemical Engineering Journal 155: 1-18.

JÁGLOVÁ V., KLIMENT V., REIDINGER J., NISTLER J. a A. KULT, 2009: *Voda České republiky v kostce*. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha. ISBN 978-80-7212-491-6.

KOMÁREK J. a J. LUKAVSKÝ, 2020: *Noví nebezpeční vodní vetřelci*. Vesmír 99: 170.

LE MOAL M., GASCUEL-ODOUX C., MÉNESGUEN A., SOCHON Y., ÉTRILLARD, C., LEVAIN A., MOATAR F., PANNARD A., SOUCHU P., LEFEBRE A. A G. PINAY, 2019: *Eutrophication: A new wine o ran old bottle*? Science of the Total Environment 651: 1-11.

LIEVREMONT D., BERTIN P. N. a LETT, M.-C., 2009: *Arsenic in contaminated waters: Biogeochemical cycle, microbial metabolism and biotreatment processes*. Biochimie 91: 1229-1237.

LUPTÁK L. a L. ŠMARDA, 2016: *Učební text pro obor Instalatér, 2. ročník*. Střední škola polytechnická, Brno. ISBN 978-80-88058-29-8.

MARIOLAKOS I., KRANIOTI A., MARKATSELIS E. a M. PAPAGEORGIOU, 2007: *Water, mythology and environmental education*. Desalination 213(1-3): 141-146.

MIČANÍK T., HANSLÍK E., NĚMEJCOVÁ D. a D. BAUDIŠOVÁ, 2017: *Klasifikace kvality povrchových vod*. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace 59(6): 4-11.

MŽP, 2006–2020: *Statistická ročenka životního prostředí České republiky*. Ministerstvo životního prostředí, Praha.

Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, v platném znění.

OPL M., PÁROVÁ Š., HAUSNER M., OČENÁŠEK J. a I. FALES, 2001: *Encyklopedie otázek a odpovědí*. 1. vydání. S&M, Praha. ISBN 80-723-7436-2.

PITTER P., 2015: *Hydrochemie*. 5. aktualizované a doplněné vydání. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha. ISBN 978-80-7080-928-0.

RABALAIS N. N., 2002: *Nitrogen in Aquatic Ecosystems*. AMBIO 31(2): 102-112.

SKIBA U., 2008: *Denitrification*. In: Jörgensen S. E. a B. D. Fath (eds.), Encyclopedia of Ecology, Elsevier, Amsterodam, Nizozemí: 866-871.

ŠÁLEK J. a V. TLAPÁK, 2006: *Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod.* ČKAIT, Praha. ISBN 80-86769-74-7.

ŠYC M. a Š. VÁCLAVKOVÁ, 2018: *Čistírenský kal jako sekundární zdroj fosforu*. Vesmír 97: 104.

TÖLGYESSY J. a M. PIATRIK, 1994: *Technológia vody, ovzdušia a tuhých odpadov*. 1. vydání. STU, Bratislava. ISBN 80-227-0619-1.

WARD B. B., 2008: *Nitrification*. In: Jörgensen S. E. a B. D. Fath (eds.), Encyclopedia of Ecology, Elsevier, Amsterodam, Nizozemí: 2511-2518.

YANG L., ZHANG Y., WANG F., LUO Z., GUO S. a U. STRÄHLE, 2020: *Toxicity of mercury: Molecular evidence*. Chemosphere 245: 125586.

ZNACHOR P., 2016: *Když přehrady rozkvetou*. Vesmír 95: 580.

Internetové zdroje

BRUYNINCKX H., 2018: *Úvodní slovo – Čistá voda znamená život, zdraví, potraviny, volný čas, energii…* [online] European Environment Agency, Copenhagen K [cit. 2022-01-07]. Dostupné z: https://www.eea.europa.eu/cs/signaly/signaly-2018/clanky/uvodni-slovo-2013-cista-voda.

HÁJKOVÁ E., 2019: *Voda, její znečištění a co můžeme dělat*. [online] Institut funkční medicíny a výživy, Praha [cit. 2021-10-16]. Dostupné z: https://ifmv.cz/voda-jeji-znecisteni-a-co-muzeme-delat/.

HRAZDIL J., 2021: *TNV 75 7520*. [online] Normy.biz, Brno – Husovice [cit. 2022-01-07]. Dostupné z: https://shop.normy.biz/detail/165053.

MALEČKOVÁ R., 2017: *Fosfor*. [online] Lékárna.cz: Jde přece o zdraví. Pears Health Cyber, Praha 8 – Libeň [cit. 2022-01-07]. Dostupné z: https://www.lekarna.cz/clanek/fosfor/.

POVODÍ ODRY. II, 2016: *Užívání vod a dopady lidské činnosti na stav vod*. [online] Plán dílčího povodí Horní Odry. Povodí Odry: státní podnik [cit. 2021-11-16]. Dostupné z: https://www.pod.cz/plan-Horni-Odry/kapitola-ii/kapitola-ii.html#a_ii_1_1_1_1.

ŘEZNÍČEK J., 2021a: *ČSN 75 7221*. [online] TECHNOR print, s.r.o., Hradec Králové [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/757221-csn-75-7221_4_53242.html.

ŘEZNÍČEK J., 2021b: *Náhled normy ČSN 83 0901*. [online] TECHNOR print, s.r.o., Hradec Králové [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/inc/nahled_normy.php?norma=830901-csn-83-0901&kat=31760.

ÚSTAV ENERGETIKY – ČVUT, 2020: *Čištění odpadních vod*. [online] Ústav energetiky – ČVUT. České vysoké učení technické v Praze, Praha [cit. 2022-01-07]. Dostupné z: http://energetika.cvut.cz/wp-content/uploads/ELO-pr10-1.pdf.

10. Přílohy

Příloha č. 1 Seznam mezních hodnot základních ukazatelů kvality povrchových vod (norma ČSN 75 7221)

Ukazatel	Zkratka, značka, číslo CAS	Jednotka	Třída				
			I	II	III	IV	V
Biochemická spotřeba kyslíku, pětidenní	BSK_5	mg/l	< 2	< 4	< 8	< 15	≥ 15
Chemická spotřeba kyslíku dichromanem	$CHSK_{Cr}$	mg/l	< 15	< 25	< 45	< 60	≥ 60
Rozpuštěné látky sušené	RL_{105}	mg/l	< 300	< 500	< 800	< 1200	≥ 1200
Nerozpuštěné látky sušené	NL_{105}	mg/l	< 15	< 25	< 50	< 100	≥ 100
Amoniakální dusík	$N\text{-}NH_4^+$	mg/l	< 0,2	< 0,4	< 0,8	< 1,6	≥ 1,6
Dusičnanový dusík	$N\text{-}NO_3^-$	mg/l	< 2,5	< 5	< 8	< 12	≥ 12
Celkový fosfor	$P_{celk.}$	mg/l	< 0,05	< 0,15	< 0,3	< 0,6	≥ 0,6