

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

**KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ
A ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ**



**Vliv pražské aglomerace na kvalitu vody v řece
Vltavě se zaměřením na hlavní bodový zdroj ÚČOV
Praha**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Martin Heřmanovský, Ph.D.
Bakalant: Irena Glogarová

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Irena Glogarová

Krajinářství
Územní technická a správní služba

Název práce

Vliv pražské aglomerace na kvalitu vody v řece Vltavě se zaměřením na hlavní bodový zdroj ÚČOV Praha

Název anglicky

Influence of the Prague agglomeration on water quality in the Vltava River with a focus on the main point source of WWTP Praha

Cíle práce

Cílem práce je vyhodnocení vlivu pražské aglomerace na změnu jakosti vody v řece Vltavě na základě porovnání vybraných ukazatelů kvality vody v podélném profilu toku. K hodnocení a bilančním výpočtům budou použita data o jakosti vody a průtocích z databáze státního podniku Povodí Vltavy.

Metodika

- 1) Zpracování literární rešerše zaměřené na problematiku jakosti povrchových vod
- 2) Geografický a hydrologický popis hodnocené části toku řeky Vltavy.
- 3) Popis hlavních bodových zdrojů znečištění Vltavy na vymezeném úseku toku s důrazem na vliv ÚČOV Praha.
- 4) Vyhodnocení jakosti vody na profilech: Vltava Vrané, Berounka Lahovice, Vltava Podolí, Vltava Troja, Vltava Libčice, Vltava Zelčín ve vybraných ukazatelích: indikátory organického zatížení (BSK(5), CHSK(Cr), TOC), formy dusíku, formy fosforu, mikrobiologické (termotolerantní koliformní bakterie) a biologické (koncentrace chlorofylu a).
- 5) Na vybraných profilech vyhodnocení koncentrace reziduí léčiv.
- 6) Výpočet roční bilance BSK(5), CHSK(Cr), celkového dusíku, celkového fosforu.

Doporučený rozsah práce

30 – 50

Klíčová slova

povrchové vody, odpadní vody, monitoring, fosfor, látková bilance.

Doporučené zdroje informací

HORÁKOVÁ, M. *Analytika vody*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2000. ISBN 80-7080-391-6.
KRAJÁK, V. – LANGHANS, J. – KOTLÍK, B. – BERNÁTH, P. *Vzorkování II : životní prostředí*. Český Těšín: 2 Theta, 2016. ISBN 978-80-86380-81-0.
PITTER, P. – VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE. *Hydrochemie*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.
STRNADOVÁ, N. – DOHÁNYOS, M. – KOLLER, J. *Čištění odpadních vod*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1998. ISBN 80-7080-316-9.

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Martin Heřmanovský, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2020

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 4. 3. 2020

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 21. 03. 2020

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: *Vliv pražské aglomerace na kvalitu vody v řece Vltavě se zaměřením na hlavní bodový zdroj ÚČOV Praha* 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 30. 6. 2020

.....

Irena Glogarová

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych touto cestou poděkovala především vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Martinovi Heřmanovskému, Ph.D. za poskytování věcných rad a konzultací během celé přípravy práce. Velké díky také patří RNDr. Karlovi Forejtovi a RNDr. Markovi Liškovi, Ph.D. za odborné rady, cenné informace a vždy vstřícný přístup. Dále bych chtěla poděkovat státnímu podniku Povodí Vltavy za poskytnutí veškerých potřebných dat a materiálů. V neposlední řadě děkuji svým nejbližším za podporu a trpělivost během přípravy závěrečné práce i po čas celého studia.

Vliv pražské aglomerace na kvalitu vody v řece Vltavě se zaměřením na hlavní bodový zdroj ÚČOV Praha

Abstrakt

Předložená práce se zabývá změnami jakosti vody na části podélného profilu řeky Vltavy během průtoku Prahou a vlivem pražské aglomerace na jakost vody v řece.

K hodnocení a bilančním výpočtům byla použita agregovaná data (průměrné roční hodnoty) o jakosti vody a průtocích, která byla poskytnuta státním podnikem Povodí Vltavy. Jedná se zejména o parametry postihující zatížení vody snadno rozložitelnými organickými látkami: BSK₅, CHSK_{Cr}, TOC, koncentrace živin tj. celkový dusík a jeho formy, celkový fosfor, množství termotolerantních koliformních bakterií a koncentrace chlorofylu-a. Součástí práce bylo i seznámení se způsobem likvidace odpadních vod v hlavním městě Praze a technologií Ústřední čistírny odpadních vod. Dále byly popsány nálezy některých novodobých kontaminantů, humánních farmak a jejich reziduí.

Výsledkem práce je zhodnocení vlivu hlavního města Prahy na jakost vody ve Vltavě, za období let 2015 - 2019 u vybraných ukazatelů nad a pod Prahou. Ze sledovaných parametrů byl prokázán vliv hlavního města na kvalitu vody zejména v ukazatelích BSK₅, amoniakální dusík, celkový fosfor a množství termotolerantních koliformních bakterií. Součástí práce je i stručné zhodnocení výskytu farmak a jejich rozkladných produktů detekovaných v roce 2019 na uzávěrovém profilu Vltavy v Zelčíně.

Klíčová slova: povrchové vody, odpadní vody, monitoring, fosfor, látková bilance

Influence of the Prague agglomeration on water quality in the Vltava river with a focus on the main point source of WWTP Praha

Abstract

The presented work deals with changes in water quality on part of the longitudinal profile of the Vltava River during the flow-through Prague and the influence of the Prague agglomeration on the water quality in the river.

Aggregated data (average annual values) on water quality and flows, which were provided by the state enterprise Vltava River Basin, were used for evaluation and balance calculations. These are main parameters affecting a load of water by easily degradable organic substances: BSK₅, CHSK_{Cr}, TOC, nutrient concentration, ie total nitrogen and its forms, total phosphorus, the amount of thermotolerant coliform bacteria and chlorophyll concentration. Part of this bachelor thesis is also section, which is focusing on understanding the water treatment of the Central Wastewater Treatment Plant in Prague. Furthermore, the thesis also describes findings of some modern contaminants, human drugs and their residues.

The result of the work is an evaluation of the influence of the capital city of Prague on the water quality in the Vltava, for the period 2015 - 2019 for selected indicators above and below Prague. From the monitored parameters, the influence of the capital on water quality was proved, especially in the indicators of BSK₅, ammoniacal nitrogen, total phosphorus and the amount of thermotolerant coliform bacteria. Part of the work is also a brief evaluation of the occurrence of drugs and their degradation products detected in 2019 on the closure profile of the Vltava in Zelčín.

Key words: surface water, waste water, monitoring, phosphorus, mass balance

Obsah

1. ÚVOD	1
2. CÍLE PRÁCE	3
3. LITERÁRNÍ REŠERŠE	4
3.1 Povrchové vody	4
3.1.1 Členění povrchových vod	4
3.1.2 Jakost povrchových vod.....	5
3.2 Způsoby zjišťování jakosti vod	6
3.3 Znečištění povrchových vod.....	8
3.3.1 Původ znečištění	9
3.3.2 Zdroje znečištění.....	10
3.3.3 Odstraňování znečišťujících látek z vody.....	11
3.3.4 Čištění odpadních vod - čistírny odpadních vod	11
3.4 Hlavní skupiny látek způsobující znečištění povrchových vod	13
3.4.1 Organické znečištění.....	13
3.4.2 Živiny.....	15
3.4.3 Mikrobiologické a biologické ukazatele.....	17
3.4.4 Kovy.....	18
3.4.5 Specifické organické látky.....	19
4. METODIKA	22
4.1 Charakteristika studovaného území a popis důležitých vlivů.....	22
4.2 Zdroje dat, výběr profilů, výběr hodnocených ukazatelů.....	23
4.3 Vliv hlavního města Prahy na jakost vody Vltavě.....	26
4.4 Ústřední čistírna odpadních vod v Praze	28
5. VÝSLEDKY	33
5.1 Hodnocení jednotlivých ukazatelů jakosti vody.....	33
5.1.1 Ukazatele kyslíkového režimu.....	33
5.1.2 Živiny.....	37
5.2 Průtoky	43
5.3 Výpočet látkové bilance vybraných ukazatelů jakosti vody	44

5.4 Výskyt reziduí farmaceutických látek na profilu Vltava Zelčín	45
6. DISKUSE	48
7. ZÁVĚR.....	53
8. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ	54
8.1 Seznam literatury	54
8.2 Seznam internetových zdrojů	58
8.3 Seznam obrázků	58
8.4 Seznam tabulek.....	59
8.5 Zdroje použitých dat.....	59

Seznam použitých zkratk

BSK ₅	biochemická spotřeba kyslíku
ČHMÚ.....	Český hydrometeorologický ústav
ČOV.....	čistírna odpadních vod
ČR.....	Česká republika
EDTA.....	ethylen diamin tetraoctová kyselina
EO.....	ekvivalentní obyvatel
CHSK _{Cr}	chemická spotřeba kyslíku dichromanem
CHSK _{Mn}	chemická spotřeba kyslíku manganistanem
MŽP.....	Ministerstvo životního prostředí
N-NH ₄	amoniakální dusík
N-NO ₃	dusičnanový dusík
NVL.....	Nová vodní linka
PAU.....	polycyklické aromatické uhlovodíky
PCB.....	polychlorované bifenyly
P _{celk.}	celkový fosfor
P-PO ₄	fosforečnanový fosfor
RÚ.....	rehabilitační ústav
SVL.....	stávající vodní linka
TOC.....	celkový organický uhlík
TRT.....	teoretická doba zdržení
ÚČOV.....	Ústřední čistírna odpadních vod
VD.....	vodní dílo
VÚV T.G.M.....	Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka

1 ÚVOD

Voda má hlavní roli nejen v historii lidstva, ale podmiňuje život na celé planetě. Nejpalčivějším problémem dnešní doby je vztah lidstva k vodě a obecně k životnímu prostředí. Voda je základem prostředí, ve kterém žijeme (Cílek a kol., 2017). Množství vody na Zemi a zvyšující se počet obyvatel vede k zamyšlení, jak šetrně nakládat s tímto důležitým zdrojem (Sojka, 2004).

V celém světě začíná být zřejmé, že v brzké době bude problém zajistit dostatek kvalitní pitné vody pro stále se rozrůstající lidskou populaci. V souvislosti s přicházející klimatickou změnou se bude dále rozšiřovat počet oblastí s nedostatkem vody. Ve střední Evropě žijeme v podmínkách relativního „vodního blahobytu“ a to díky stále ještě příznivému podnebí s relativním dostatkem srážek.

Česká republika je historicky, pokud jde o vodu, považována za soběstačnou, přestože kromě atmosférických srážek nemáme žádný jiný zdroj vody. Dešťové srážky byly v novodobé historii České republiky přibližně do roku 2014 v čase i prostoru poměrně vyrovnané a pravidelné, a až na výjimky většinou nedocházelo k výraznějším výkyvům. Posledních několik suchých roků (mírné zimy bez sněhu, menší množství atmosférických srážek) však ukazují, že k lokálním problémům se suchem může dojít i v České republice. Je zřejmé, že bude nutné přehodnotit stávající přístupy s hospodařením s vodou. Zatímco předchozí století bylo ve znamení rozšiřování produkčních ploch (vysušování, meliorace), v následujícím období před námi stojí problém opačný, tj. jak vodu v krajině zachytit a udržet. V části Evropy, kde se nachází i Česká republika tak roste znepokojení z toho, že v budoucnosti nemusí stávající způsoby hospodaření s půdou obstát (Siegel, 2017).

Obecně lze říci, že změny kvality vody v našich řekách kopírují celkový hospodářský vývoj České republiky. Významným negativním faktorem bylo narůstající znečištění povrchových i podzemních vod způsobené rychlou industrializací a také intenzifikací zemědělství, které nastalo po 2. světové válce prakticky s nulovým ohledem na životní prostředí (Hydroprojekt, 1994).

Teprve masivní výstavba čistíren odpadních vod a útlum „starých“ průmyslových výrob koncem minulého století znamenaly výraznější pokles znečištění povrchových vod. Druhá polovina předchozího století byla v celém světě ve znamení odstraňování

tzv. komunálního znečištění, jednalo se zejména o likvidaci znečištění organického původu. Následné vypouštění živin pocházejících z čistírenských procesů však způsobovalo masivní projevy eutrofizace. Proto se do čistíren odpadních vod začaly přidávat technologie pro odstraňování živin, tzv. terciární čištění. Nynější období, kdy je organické znečištění prakticky vyřešeno, je však poznamenáno používáním různých novodobých chemických látek a přípravků (pesticidy, léčiva, domácí a průmyslová chemie, projektivní látky a další), používané prakticky ve všech oborech lidské činnosti. Protože přecházejí dále do životního prostředí a velká řada z nich působí nepříznivě zejména na necílové organismy a potažmo i na zdraví lidí, je v současné době velký zájem na tom jejich používání omezit, popřípadě z vody odstranit (Hydroprojekt, 1994).

2 CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem práce bylo zjistit, jak hlavní město Praha a okolí ovlivňuje jakost vody v řece Vltavě. Na určené části toku, ohraničeném stabilními vzorkovacími místy monitoringu státního podniku Povodí Vltavy v úseku: Vltava Vrané - Vltava Zelčín, bylo cílem na 6 odběrových místech se pokusit nalézt změny základních chemických a mikrobiologických ukazatelů určujících jakost vody. S tím souvisí i identifikace a popis zdrojů znečištění, tj. popsat hlavní možné zdroje znečištění s hlavním důrazem na vliv Ústřední čistírny odpadních vod Praha a její technologii čištění odpadních vod.

Dalším cílem práce bylo rámcové seznámení a zhodnocení s vybranou skupinou organických látek (farmaka a jejich rozkladné produkty) nacházející se ve vltavské vodě.

K hodnocení byl použit soubor dat vybraných jakostních parametrů za období let 2015 - 2019 poskytnutý státním podnikem Povodí Vltavy.

3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1 Povrchové vody

Povrchová voda je voda na zemském povrchu ve formě různých vodních útvarů (Kotlík a kol., 2016).

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) v platném znění definuje povrchové vody v § 2 následovně: *"Povrchovými vodami jsou vody přirozeně se vyskytující na zemském povrchu; tento charakter neztrácejí, protékají-li přechodně zakrytými úseky, přirozenými dutinami pod zemským povrchem nebo v nadzemních vedeních."*

Povrchové vody, ve srovnání s vodami podzemními, mají obvykle vyšší proměnlivou teplotu, podstatně vyšší koncentrace organických látek různého původu, vyšší koncentraci kyslíku (s výjimkou velmi znečištěných vod), nízkou koncentraci oxidu uhličitého, nízkou koncentraci hydrolyzujících kovů, zejména železa a manganu, a menší mineralizaci. Rozdílné je i zastoupení mikroorganismů, které je u povrchových vod výrazně větší (Dohányos a kol., 2011).

Povrchové vody představují z hlediska množství hlavní část vodních zdrojů v ČR (Bindzar, 2009). Pod pojmem vodní zdroje je možno si představit veškeré povrchové vody nebo podzemní vody, které jsou nebo mohou být využívány pro uspokojení potřeb člověka (Pitter, 2015). Podíl povrchové vody určené pro zásobování obyvatelstva, průmyslu a zemědělství se neustále zvyšuje. Předpokládá se, že povrchová voda bude zdrojem až pro 80 % veškeré vyrobené pitné vody (Strnadová a Janda, 1999).

3.1.1 Členění povrchových vod

Podle Langhane (2016) můžeme povrchové vody rozdělit na kontinentální a mořské. Povrchové vody kontinentální se vyskytují jak v tekoucí, tak i stojaté podobě. Tekoucí vody jsou vodní toky, jako např. řeky, potoky a kanály. Mezi stojaté vody patří vodní nádrže a rybníky, přirozenými stojatými vodami jsou jezera. K mořským vodám náleží moře, oceány a slaná jezera.

Jako samostatná skupina se vedou vody brakické (poloslané), jež vznikají mísením sladké vody s mořskou vodou (Doušová a Bůzek, 2016).

3.1.2 Jakost povrchových vod

Jakost nebo kvalita vod je souhrnný pojem pro hodnocení látek vyskytujících se ve vodách. Jakost vody může vyjadřovat mnoho parametrů fyzikálního, chemického či biologického stavu (Kvítek a kol., 2018). Jakost povrchových vod je dána přírodními vlivy (geologické poměry, nadmořská výška, charakter srážek, charakter povrchu plochy povodí, velikost a vodnatost povodí, charakter toku a hydromorfologie toku (rychlost proudu, struktura dna atd.), dále pak typem a množstvím znečištění (Nábělková a kol., 2010).

Při sledování jakosti vody ve stojatých vodách jsou za nejvýznamnější považovány ukazatele charakterizující stratifikaci, acidifikaci a eutrofizaci. Vodní nádrže obecně přispívají ke zlepšení jakosti vody v tocích svojí schopností samočištění díky dlouhým dobám zdržení (tzv. teoretická doba zdržení TRT). Z hlediska vlivu nutrientů na jakost vod byl v legislativě ČR zaveden pojem citlivých a zranitelných oblastí. U povrchových vod má značný význam z hlediska jakosti vody i složení dnových sedimentů, které mohou zadržovat nutrienty (zejména fosfor), ale i některé z toxických látek. Tyto se pak mohou za určitých podmínek zpětně uvolňovat do vodního prostředí (Pitter, 2015).

Povrchové tekoucí vody je možno prostřednictvím ukazatelů nebo jejich skupin klasifikovat a zařítovat do tzv. stupňů čistoty. Hodnocení přípustného znečištění vod se dle Pittera (2015) posuzuje jednak podle *emisních limitů* (což jsou maximálně přípustné koncentrace vybraných látek v odpadní vodě vypouštěné do recipientu), jednak podle *imisních limitů* (což jsou koncentrace ve vodním prostředí, které by při vypouštění odpadní vody do toku neměly být překročeny).

Pokud se týká klasifikace povrchových vod podle míry znečištění, dlouhodobě se v ČR používal klasifikační systém podle normy ČSN 75 7221, *Klasifikace jakosti povrchových vod*. Dle této normy se povrchové tekoucí vody dělí do pěti tříd (ČSN 75 7221):

1. **I. třída** - neznečištěná voda (světle modrá);
2. **II. třída** - mírně znečištěná voda (tmavě modrá);

3. *III. třída - znečištěná voda (zelená);*
4. *IV. třída - silně znečištěná voda (žlutá);*
5. *V. třída - velmi silně znečištěná voda (červená)*

Tento systém má v ČR dlouhou tradici a poskytuje přehledný obraz o výskytu znečištění povrchových vod v ČR. Je-li nutné vyjádřit základní informaci o jakosti vody souhrnně, je možné použít základní klasifikaci založenou na vybraných ukazatelích jakosti vod. Výsledná třída se určí podle nejnepříznivěji vyhodnoceného ukazatele. Vybranými chemickými ukazateli jakosti vod jsou zejména: biochemická spotřeba kyslíku, chemická spotřeba kyslíku dichromanem, amoniakální dusík, dusičnanový dusík, celkový fosfor (Pitter, 2015).

Zvýšená ochrana a zlepšení kvality a kvantity vod jsou hlavním cílem směrnice 2000/60/ES (Water Framework Directive). Představuje zatím, nejvýznamnější a nejucelenější právní úpravu pro oblast vody na evropské úrovni. Hlavním cílem je zabránit jakémukoli zhoršení stavu vod a vodních útvarů, chránit, popřípadě zlepšit stav vodních ekosystémů a přilehlých mokřadů. Zaměřuje se na podporu udržitelného užívání vod a přispívá ke zmírnění následků záplav a suchých období. U rizikových vodních útvarů požaduje dosažení dobrého ekologického stavu. Nástrojem je provádění monitoringu jakosti vod, s cílem zjistit stávající stav a navrhnout případná nápravná opatření k jeho zlepšení (MŽP, 2016).

Problematikou hodnocení jakosti vody se zabývá nařízení vlády č. 401/2015 Sb., které stanovuje ukazatele a hodnoty přípustného znečištění povrchových vod, podmínky a náležitosti povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a vyhláší citlivé oblasti (Pitter, 2015).

3.2 Způsoby zjišťování jakosti vod

Sledování a hodnocení kvality povrchových vod poskytuje informace o stavu a změnách této složky životního prostředí, o antropogenním vlivu na povrchové vody a o vhodnosti vody pro určité využití. Zjišťování jakosti vody, souborně nazývané jako monitoring jakosti vody, spočívá v pravidelném sledování vybraných ukazatelů jakosti vody na určených profilech vodní sítě s frekvencí zpravidla 12 krát ročně. Získané údaje se soustřeďují a zpracovávají v Českém hydrometeorologickém ústavu v Praze (Forejt 2020, in verb.).

Základní jednotkou pro nastavení monitoringu jakosti vody je od roku 2006 vodní útvar. Vodní útvar je vymezené a významné soustředění povrchových nebo podzemních vod v určitém prostředí; člení se na útvary povrchových vod (tekoucí a stojaté) a útvary podzemních vod. Toto rozdělení vzniklo pro účely plánování s cílem dosažení dobrého stavu vod (Pitter, 2015).

Ve vodních útvarech se hodnotí stav vod na základě tzv. relevance, tj. podle vlivů, které jsou pro daný vodní útvar charakteristické a významné. Na základě znalostí, popřípadě provedeného průzkumu se nastaví schéma monitoringu, provedou analýzy a následně vyhodnocuje chemický a ekologický stav. Například rizikovým vodním útvarem je vodní útvar, u něhož bylo, na základě vyhodnocení analýzy všeobecných a vodo hospodářských charakteristik a zhodnocení dopadů lidské činnosti, vyhodnoceno riziko nesplnění cílů ochrany vod jako složky životního prostředí na konci období platnosti plánu povodí. V povodí řeky Vltavy je sledováno celkem 325 vodních útvarů tekoucích vod a 27 útvarů stojatých vod (Plán oblasti povodí Vltavy, 2018).

Organizaci a způsob provádění a hodnocení jakosti vody upravuje od roku 2011 Vyhláška č. 98/2011 Sb. o způsobu hodnocení stavu útvarů povrchových vod, způsobu hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých útvarů povrchových vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu povrchových vod (zkráceně vyhláška o monitoringu).

Hlavním úkolem výše uvedené vyhlášky je vymezit:

- a) způsob hodnocení stavu útvarů povrchových vod,
- b) způsob hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých útvarů povrchových vod,
- c) náležitosti programů pro zjišťování a hodnocení stavu povrchových vod.

Vyhláška o monitoringu definuje:

- a) tzv. chemický stav - stav určený na základě hodnocení výskytu tzv. prioritních látek),
- b) tzv. ekologický stav (ekologický potenciál) - stav silně ovlivněného nebo umělého útvaru povrchových vod stanovený na základě systému klasifikace uvedeného v přílohách Vyhlášky č. 96/2011Sb, zejména na základě výsledků biologických složek, živin (fosforu a dusíku) a specifických znečišťujících látek.

Vyhláška o monitoringu zavedla nový způsob hodnocení stavu vod - vodního útvaru

Hodnocení ekologického stavu útvarů povrchových vod:

- (1) U útvarů povrchových vod, které nebyly vymezeny jako silně ovlivněné nebo umělé, se hodnocení ekologického stavu provede v souladu s přílohami vyhlášky.
- (2) Výchozím podkladem pro hodnocení ekologického stavu útvarů povrchových vod jsou typově specifické referenční podmínky pro jednotlivé typy útvarů povrchových vod.
- (3) Výsledky hodnocení se vyjádří klasifikací ekologického stavu jako „velmi dobrý“, „dobrý“, „střední“ (Vyhláška č. 98/2011 Sb.).

Monitoringem povrchových vod a hodnocením výsledků se v minulosti zabývala ČSN 75 7220 Kontrola jakosti povrchových vod a ČSN 75 7221 Klasifikace jakosti povrchových vod (Pitter, 2015).

Nezbytným předpokladem získání hodnověrných výsledků při sledování jakosti vody je dodržení správných postupů při odběru vzorků. Vzorkování obsahuje řadu kroků, které jsou důležité pro úspěšnost celého postupu sledování a hodnocení kvality vody. Požadavky na vzorkování se liší podle charakteru povrchové vody (potok nebo jezero, pitná voda). Kromě odběrů vzorků vody je součástí monitoringu povrchových vod také odběr biologických a pevných materiálů z vodního prostředí, bentosu, planktonu, ryb, plavenin, sedimentů (Kotlík a kol., 2016). Postup při odběru vzorků je dán příslušnými standardizovanými metodikami a interními materiály jednotlivých laboratoří.

Odebrané vzorky určené ke sledování jakosti vody a vodního prostředí se zpracovávají ve vodohospodářských laboratořích. Laboratoře jsou vybaveny odpovídajícím technickým i personálním vybavením, mají zavedený systém správné laboratorní praxe a podléhají doзору akreditačního orgánu (Český institut pro akreditaci).

3.3 Znečištění povrchových vod

Znečištění vody můžeme definovat jako takovou změnu fyzikálních, chemických a biologických vlastností vody, která omezuje nebo i znemožňuje její použití k danému účelu (Pitter, 2015).

Znečištěná voda je vhodným prostředím pro růst mikroorganismů a šíření řady nemocí, které mohou přerůst v epidemie, ohrožující velké množství obyvatel. Přestože se v Evropě díky čištění odpadních vod a hygienickému zabezpečení pitných vod epidemie spojené s konzumací závadné vody vyhýbají, neplatí to celosvětově (Komínková a kol., 2014).

Z pohledu eutrofizace a následného využití povrchové vody je největším problémem znečištění povrchových vod fosforem, pocházejícím z odpadních vod (Millier a Hooda, 2011).

3.3.1 Původ znečištění

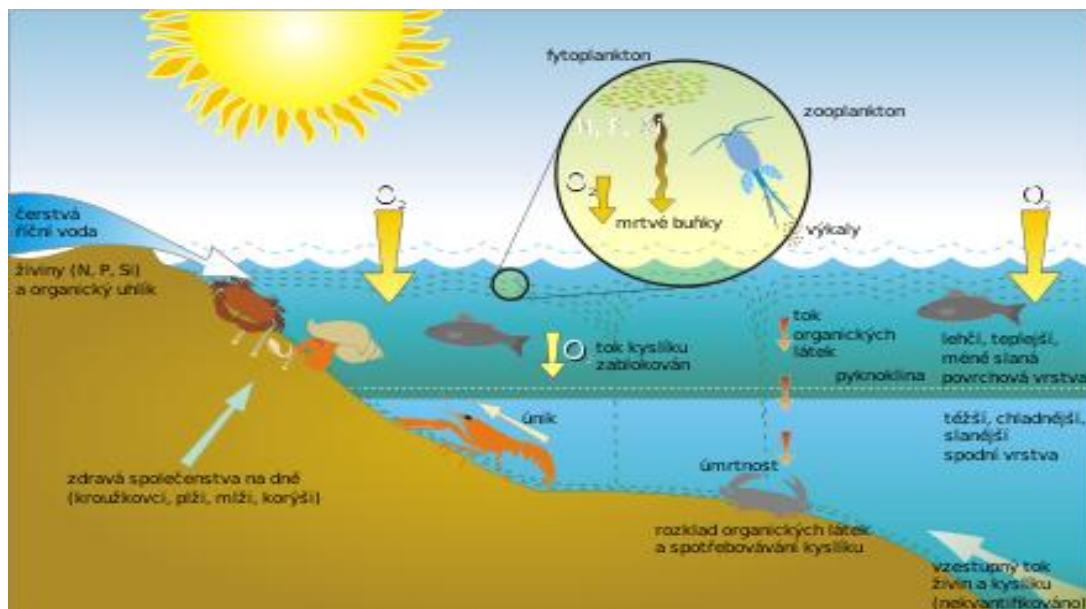
Podle Iticescu a kol. (2013) nejvíce vodu znečišťuje člověk svojí činností. Jeho činností se do vody dostává nejen organický odpad ze splašků, ale i látky v přírodě těžko rozložitelné. Jsou to např. odpady z průmyslu (kovy, organické látky), dále léky, nebo jejich metabolity (látky vzniklé jejich rozpadem), které se dostávají do odpadních vod, živiny (dusík a fosfor) nebo pesticidy, které se používají v zemědělství ke hnojení a k ošetřování plodin (Pitter, 2015).

Velký problém v evropských i českých vodách způsobuje tzv. eutrofizace. Jak znázorňuje **Obr. 1** a jak popisuje Jarvie a kol. (2005) jde o procesy, při nichž dochází v letních měsících, při nadbytku hlavních živin (nutrientů, především sloučenin fosforu a dusíku), působením slunečního svitu a vyšší teploty vody, k přemnožení sinic a řas (fytoplanktonu). Tento jev se projevuje především ve stojatých vodách tvorbou vegetačního zbarvení nebo až vodního květu. Mírou celkového množství biomasy fytoplanktonu je ukazatel chlorofyl. S přicházejícím podzimem pak dochází k odumírání těchto fotosyntetizujících organismů. Při jejich rozkladu se spotřebovává kyslík rozpuštěný ve vodě (ten potřebují k životu ryby a další vodní organismy) a často dochází i k jeho úplnému vyčerpání (Jeníček a Foltýn, 2010).

V sladkých vodách je rozvoj řas limitován především množstvím přítomného fosforu, dusík je naopak limitujícím prvkem pro organismy především v oceánech a mořích (Correll, 1998).

Fosfor a jeho formy patří spolu s formami dusíku k základním ukazatelům trofie vodních nádrží. Trofie neboli úživnost znamená určitý hydrochemický režim, se kterým souvisí biologie vodních ekosystémů. Čím větší je trofie, tím větší je

pravděpodobnost, že dojde k rozvoji eutrofizace. Jedná se o negativní jev, který způsobuje zhoršení jakosti vody (Hartman a kol., 2005).



Obr. 1: Schéma eutrofizace (URL 1)

3.3.2 Zdroje znečištění

Zdroje znečišťování povrchových vod jsou trojího druhu: *bodové znečištění*, *plošné znečištění* a *difúzní znečištění*.

Bodové znečištění je do vodního prostředí přiváděno soustředěně a je možné zjišťovat jeho kvalitu i kvantitu. Bodové zdroje znečištění se nacházejí zpravidla na jednom konkrétním místě a jsou jimi především čistírny odpadních vod (Carey and Migliaccio, 2009), průmyslové čistírny odpadních vod, čistírny odpadních vod z velkochovů hospodářských zvířat, odpadní vody z městských částí a objektů, přímé vstupy průmyslové, městské a dešťové kanalizace (Komínková a kol., 2014).

Plošné znečištění má svůj původ hlavně v zemědělské činnosti. Hlavním zdrojem tohoto znečištění vod je dusík ze splachů z okolní půdy, především zemědělsky obdělávané, může však pocházet i z atmosférických depozic. Obdobným způsobem se chovají i další látky, např. pesticidy (Carpneter, 1998).

Difúzní znečištění je rozptýlené znečištění pocházející z drobných bodových zdrojů, jakými jsou např. neodkanalizovaná lidská sídla, výluhy ze skládek, průsaky ze skládek fekálního odpadu z velkochovu živočišné výroby, znečištění z dopravy apod.

Toto znečištění je sice vypouštěno z konkrétního místa, není ale známa jeho velikost ani možnost regulace vypouštění (Pitter, 2015).

Samostatným typem znečištění je havarijní znečištění, které je zpravidla zapříčiněno chybou lidského faktoru. Při těchto epizodách dochází k závažnému zhoršení nebo ohrožení jakosti povrchové nebo podzemní vody. Hlavní riziko tohoto znečištění spočívá v tom, že může vzniknout kdekoli a kdykoli. Zvláště nebezpečné je pak přímé znečištění zdrojů pitné vody (Tuháček a Jelínková, 2015).

3.3.3 Odstraňování znečišťujících látek z vody

Čištění odpadních vod spočívá v odstraňování znečišťujících látek z vody. Jedná se o fyzikální, chemické a biologické procesy, jejichž cílem je odstranění škodlivých látek. Po vyčištění lze vodu vypustit zpět do přírody. Odpadní voda vzniká v obydlených, institucích, nemocnicích a v komerčních a průmyslových zařízeních. Lze ji čistit v blízkosti míst, kde byla vytvořena, nebo shromažďovat a přepravovat sítí potrubí a čerpacích stanic do veřejných čistíren odpadních vod. Odpadní voda z průmyslových zdrojů často vyžaduje specializované čisticí procesy, které se obvykle provádí přímo na místě (neutralizace, odstraňování těžkých kovů, čištění pomocí aktivního uhlí apod.) (Sojka, 2004).

U rybníků, které jsou zatíženy neustálým přísunem živin zevnitř (např. dokrmováním při chovu ryb a kachen), je jednou z možností zlepšení jakosti vody odstranění sedimentu bohatého na živiny a snížení intenzity chovu (Pitter, 2015).

3.3.4 Čištění odpadních vod - čistírny odpadních vod

Čištění odpadních vod a jejich návrat zpět do toků často vypovídá o tom, jak je daná společnost kulturně, technicky a ekonomicky vyspělá. Rozvoj průmyslu a stále se zvyšující nároky na spotřebu pitné vody byly v minulosti důvodem zvyšující se spotřeby vody a to jak z povrchových tak i podzemních zdrojů. S tím úzce souvisela potřeba plánovat využití a ochranu stávajících zdrojů. Zde také začíná potřeba „použité vody“ před vypuštěním do toku čistit. Mimořádnou ochranu zasluhují zdroje podzemních vod (Sojka, 2004).

Obecně lze říci, že neexistuje univerzální proces, kterým by bylo možné odstranit z vody všechny formy znečištění. Proces čištění odpadních vod je obvykle souhrnem několika jednotkových operací (procesů), které tvoří za sebou jdoucí procesy,

nazývané *technologickou linkou čištění*. Volba a zařazení jednotlivých procesů do technologické linky záleží na charakteru znečištění a na splnění následujících požadavků: maximální účinnost procesu, ekonomická přijatelnost procesu, co nejmenší energetická náročnost procesu a minimalizace vnášení dalších znečišťujících látek do odpadních vod během procesu čištění. Čistírny odpadních vod se rozdělují podle množství zpracovávaných odpadních vod, kategorizace čistíren odpadních vod se provádí podle počtu ekvivalentních obyvatel (NV č. 401/2015 Sb). Ekvivalentní obyvatel (EO) je zpravidla definovaný produkcí znečištění 60 g BSK₅ za den. Počet ekvivalentních obyvatel se pro účel zařazení čistírny odpadních vod do velikostní kategorie vypočítává z maximálního průměrného týdenního zatížení na přítoku do čistírny odpadních vod během roku s výjimkou neobvyklých situací, přívalových dešťů a povodní. Pro určení velikosti aglomerace se použije stejný postup pro všechny odpadní vody odváděné kanalizací pro veřejnou potřebu. Pro účely stanovení limitů se používá vyšší z obou hodnot (NV č. 401/2015 Sb.).

V současné době je vzhledem k prokazatelné účinnosti i únosným pořizovacím nákladům budováno nejvíce mechanicko-biologických čistíren odpadních vod (Pytl, 2012). Dle Justa a kol. (1999) se čistírna tohoto typu samočištění sestává: z hrubého předčištění, kdy je odpadní voda zbavena hrubých nerozpuštěných nečistot. To zajišťují česle, poté následuje lapák šterku, lapák písku, v odůvodněných případech může být součástí hrubého předčištění i lapač tuků. Poté přijde na řadu samotné mechanické odsazení, při kterém jsou v usazovacích nádržích odstraněny jemnější kalové částice. Odpadními produkty mechanického stupně čištění jsou šterk, shrabky, písek a primární kal. Dále následuje biologické čištění, které probíhá v aktivačních nádržích a zajišťuje odstranění převážně rozpuštěného znečištění, kdy za pomoci směsi bakterií, hub a prvoků v aerobním prostředí dochází k rozkladu znečišťujících látek (jsou napodobeny přirozené procesy stupni čištění). Po klasickém vyčištění vstupuje voda do dalšího stupně čištění, který je souborně označován jako terciární stupeň. Jak uvádí Komínková a kol. (2014) terciární stupeň čištění využívá fyzikálně-chemických procesů, které jsou voleny s ohledem na potřebu zbytkového čištění. Mezi postupy používané pro terciární čištění patří především odstraňování živin (fosforu a dusíku), membránová filtrace, písková filtrace, kolony s aktivním uhlím, případně dočišťovací rybníky atd.

Jednotlivé kategorie ČOV jsou dle NV č. 401/2015 Sb. následující:

- ČOV pro < 500 EO
- ČOV pro 500 - 2 000 EO
- ČOV pro 2001 - 10 000 EO
- ČOV pro 10 000 - 100 000 EO
- ČOV pro > 100 000 EO

3.4 Hlavní skupiny látek způsobující znečištění povrchových vod

3.4.1 Organické znečištění

Výskyt cizorodých organických látek ve vodním prostředí představuje široký a závažný problém, který není omezen pouze na oblast vodního hospodářství, ale týká se dalších oblastí lidského života, zejména zemědělství, průmyslu, zdravotnictví, farmacie a v širším slova smyslu socio-ekonomických vazeb. Organické látky se dostávají do nádrží především z přítoků a splachem z okolní půdy a prostřednictvím vyčištěných či nečištěných odpadních vod. Vznikají rovněž přirozenou metabolickou činností, odumíráním a rozkladem organických zbytků rostlin, fytoplanktonu a zooplanktonu. Organické znečištění stojatých vod se může pohybovat v širokém rozmezí, neboť závisí na tom, zda se jedná o horská jezera, nebo o nádrže s různým stupněm eutrofizace (Pitter, 2015).

Synteticky vyrobené organické látky jsou v současné době vzhledem k jejich masovému použití součástí „vodního cyklu“. Je třeba si uvědomit, že voda v civilizovaných krajinách není většinou originální surovinou, ale je „recyklovanou látkou“. Překotný vývoj a aplikace organických látek ve všech oblastech lidské činnosti mají za následek trvale stoupající zátěž planety těmito látkami. Bez nastavení striktních pravidel regulace jejich výroby a široké škály jejich užívání budou následné náklady na odstranění škod způsobené aplikací těchto látek vyšší než ekonomický benefit z jejich používání (Liška a kol., 2014).

K enormnímu zatěžování toků organickým znečištěním a živinami, případně i látkami toxickými a obtížně odbouratelnými dochází především díky antropogenním vlivům. Řada řek je už ve středním toku silně eutrofizována, přičemž přirozené

samočisticí schopnosti toků mohou být natolik narušeny, že ani po dlouhé době nedojde k vyčištění toku na únosnou míru (Kotlík a kol., 2016).

Míra organického znečištění se dle Doušové a Bůzka (2016) měří pomocí ukazatelů rozpuštěný kyslík, biochemická spotřeba kyslíku (BSK_5), chemická spotřeba kyslíku manganistanem ($CHSK_{Mn}$) chemická spotřeba kyslíku dichromanem ($CHSK_{Cr}$) a celkový organický uhlík (TOC).

Rozpuštěný kyslík ve vodě - (stanovuje se v $mg.l^{-1}$ nebo % nasycení)

Atmosférický kyslík se dostává do vody jednak difuzí a jednak jako výsledek fotosyntetické asimilace. Jeho rozpustnost ve vodě je závislá na teplotě, při nižších teplotách je rozpustnost vyšší, při vyšších teplotách nižší. Rozpustnost je rovněž závislá i na tlaku vzduchu. Kyslíkové poměry se kromě koncentrace mohou rovněž vyjadřovat jako procento nasycení. Kyslík je nezbytný pro zajištění aerobních pochodů při samočištění povrchových vod a při biologickém čištění odpadních vod. Koncentrace rozpuštěného kyslíku je důležitým indikátorem čistoty povrchových vod a určujícím faktorem pro život řady vodních organismů. Tento ukazatel je součástí každého rozboru povrchových vod (Pitter 2015).

BSK_5 - biochemická spotřeba kyslíku - stanovuje se v $mg.l^{-1}$

Biochemická spotřeba kyslíku je metoda, která se používá jako ukazatel koncentrace biologicky snadno rozložitelných látek. Odráží převážně znečištění ze zdrojů bodového a difúzního charakteru. Stanovení je základní součástí běžného rozboru vod a je definováno jako hmotnostní koncentrace rozpuštěného kyslíku, který se spotřebuje za stanovených podmínek (v oxickém prostředí) pro biochemickou oxidaci. Jde o základní ukazatel jakosti vody, který se používá téměř 100 let. Index znamená délku inkubace ve dnech, standardně se používá inkubace pětidenní. Vyjadřuje se v $mg O_2.l^{-1}$ (Komínková a kol., 2014).

$CHSK_{Cr}$ - chemická spotřeba kyslíku dichromanem draselným - ukazatel zatížení toku rozložitelnými organickými látkami - stanovuje se v $mg.l^{-1}$

Při stanovení chemické spotřeby kyslíku se koncentrace organických látek ve vodě posuzuje podle množství oxidačního činidla, které se za stanovených podmínek spotřebuje na oxidaci (oxidovatelnost). Výsledek se přepočítává na tzv. kyslíkový ekvivalent. Jako oxidační činidlo se používá dichroman draselný, přičemž reakce

probíhá za varu v prostředí kyseliny sírové při 150 °C. $CHSK_{Cr}$ je stejně jako BSK_5 uzanční metoda, která je součástí každého rozboru vody. Zaměřuje se na chemické látky a používá se pro tekoucí povrchové vody. Pro stojaté vody se používá obdobná metoda, oxidačním činidlem je však slabší manganistan draselný, který se aplikuje při analýze vod s velmi nízkou koncentrací organických látek (Komínková a kol., 2014).

TOC - celkový organický uhlík - stanovuje se v mg/l

Celkové organické látky přítomné ve vodách lze také měřit nepřímo, stanovením organického uhlíku metodou založenou na oxidaci organických látek na oxid uhličitý. Ten se pak stanovuje obvykle analýzou v infračervené oblasti spektra. Spalování probíhá za vysoké teploty (cca 1 000 °C) a za přítomnosti katalyzátoru. Oproti stanovení $CHSK_{Cr}$ se při termickém způsobu stanoví veškeré organické látky (Horáková a kol., 2003).

3.4.2 Živiny

Dusík a fosfor patří mezi hlavní živiny, potřebné pro pěstování kulturních plodin, a tím i pro výživu člověka. Jedná se o nejdůležitější makrobiogenní prvky. Dusík se uplatňuje při všech procesech probíhajících v povrchových, podzemních i odpadních vodách a patří mezi prvky, které jsou nezbytné pro růst mikroorganismů. Formy dusíku pocházejí převážně ze zemědělské činnosti, zatímco fosfor pochází především z komunálních odpadních vod (Pitter, 2015).

Zvyšující se nároky lidstva na množství potravy vedou k přeměně dřívějších extenzivních forem hospodaření na intenzivní způsoby. To se však neobejde bez zvýšeného přísunu umělých hnojiv. Důležité je rovněž zjištění, že současně s těmito prvky stoupá paralelně i koncentrace prvků dalších, projevující se celkovým zvyšováním salinity půdy. Je to pochopitelné už z toho důvodu, že minerální hnojiva obsahují vedle dusíku a fosforu také další složky (Pitter, 2015).

Pro objasnění vlivu fosforu a dusíku na krajinu a zejména na vody je nutno pochopit koloběh těchto prvků. Koloběh fosforu (**Obr. 2**) a dusíku v přírodě je do značné míry podobný, neboť u obou hrají vedle abiotických procesů rozhodující úlohu procesy biotické, zejména jejich příjem a výdej vegetací, ale i živočichy. Nejde tedy o problém čistě chemický, ale zejména biologický (Pitter, 2015).

N-NH₄ - amoniakální dusík - stanovuje se v mg.l⁻¹

Amoniakální dusík se vyskytuje ve všech druzích vod. Jedná se o méně stabilní formu dusíku, která za přítomnosti kyslíku (oxidací) snadno přechází na vyšší formu - dusičnanový dusík (Horáková a kol., 2003).

N-NO₃ - dusičnanový dusík - stanovuje se v mg.l⁻¹

Dusičnanový dusík (dusičnany) je nejvyšší a poměrně stabilní oxidovaná forma dusíku. V tekoucích vodách tvoří největší podíl celkového dusíku, a to až 90 %. V povrchových vodách souvisí obsah dusičnanů se stupněm eutrofizace (Horáková a kol., 2003).

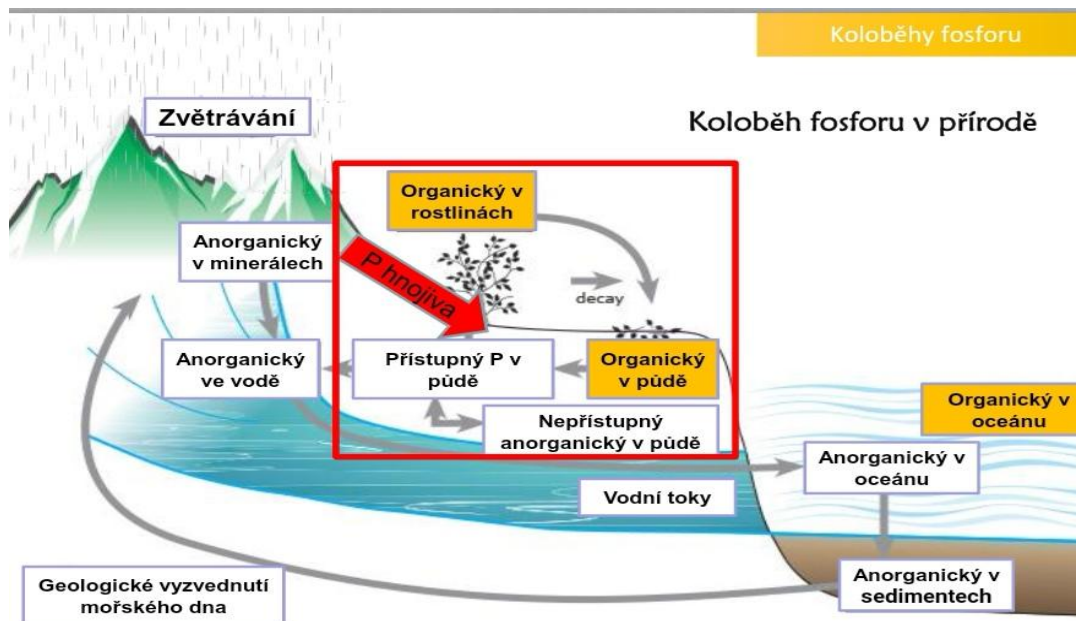
Dusík celkový (Celkový N) - veškerý dusík - stanovuje se v mg.l⁻¹

Ve vodách se stanovuje množství celkového dusíku, které se dělí na anorganicky a organicky vázaný dusík. Anorganicky vázaný dusík patří mezi významné sumární ukazatele znečištění povrchových a odpadních vod. Mezi hlavní formy anorganického dusíku patří amoniakální, dusitanový a dusičnanový dusík, přičemž dusitanové a dusičnanové formy dusíku se označují jako oxidovatelné formy dusíku. Anorganicky vázané formy dusíku v povrchových vodách představují většinu zjištěného celkového dusíku (Pitter, 2015).

Fosfor celkový (Celkový P) - veškerý fosfor (anorganický a organický) - stanovuje se v mg.l⁻¹

Sloučeniny fosforu mají významnou úlohu v koloběhu látek a klíčový význam pro eutrofizaci povrchových vod. Jak už bylo zmíněno, fosfor má řadu forem (anorganický, organický, rozpuštěný, nerozpuštěný, reaktivní, biologicky využitelný aj.). Historicky se v rámci rozboru vod stanovovaly fosforečnany, na konci minulého století se přešlo na stanovení celkového fosforu (Pitter, 2015).

Transport fosforu (celkového odnosu) tokem pozitivně koreluje (souvisí) s hydrologií, tedy průtokem a množstvím vody. Dlouhodobě se v delším časovém horizontu situace zlepšuje a vnosy fosforu z bodových zdrojů během let klesají. Je to způsobeno lepším čištěním odpadních vod – účinnější odstraňování fosforu (Haggard, 2010).



Obr. 2: Koloběh fosforu (URL 2)

3.4.3 Mikrobiologické a biologické ukazatele

Mikrobiální znečištění povrchových vod je založeno na sledování indikátorů, které ukazují na míru fekálního znečištění a možnost výskytu střevních patogenů ve vodním prostředí. Dle Ouattara a kol. (2014) je zvýšený výskyt fekálního znečištění registrován především během srážkových epizod (odlehčení z ČOV, vypláchnutí kanálů apod.).

Při mikrobiologické kontrole je důležité vybrat vhodné indikátorové mikroorganismy. Pro indikaci čerstvého znečištění se zjišťuje např. přítomnost termotolerantních koliformních bakterií (indikují fekální původ), z nichž nejznámější je *Escherichia coli*, nebo intestinální enterokoky. Stanovení je nutno provádět vhodnými (předepsanými) metodami a při hodnocení výsledků brát v úvahu specifika mikrobiologického rozboru vody a výkyvy počtů mikroorganismů v souvislosti se změnami průtoků (Veger a Baudišová, 1996).

Základní mikrobiologické a chemické ukazatele pro pitnou vodu stanovuje vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Tato vyhláška vychází ze směrnice 98/83/ES o jakosti vody určené k lidské spotřebě. Jednotlivé ukazatele včetně příslušných limitů jsou uvedeny v příloze 1 této vyhlášky (SOVAK, 2018).

Termotolerantní koliformní bakterie - stanovuje se jako KTJ/ml (počet kolonií v 1 ml)

Vyskytují se ve střevech člověka, teplo i studenokrevných živočichů. Stanovení tohoto typu bakterií se používá k hodnocení fekálního znečištění v povrchových vodách, indikují i starší znečištění (např. měsíc staré fekální znečištění). Výskyt termotolerantních koliformních bakterií indikuje nejen zhoršené hygienické hledisko, ale i možnou přítomnost dalších patogenních organismů (Komínková a kol., 2014).

Chlorofyl-a ve vodě - stanovuje se v ug/l (mikrogramy na 1 l)

Metoda stanovení množství fotosyntetického barviva chlorofylu-a v povrchových vodách se využívá jako míra výskytu a množství řas (biomasy fytoplanktonu). Stanovení chlorofylu-a je biochemická metoda založená na extrakci zeleného barviva do horkého rozpouštědla (ethanol), koncentrace je zjišťována spektrofotometricky. Výsledky se udávají v mikrogramech na 1 litr. Vzhledem k sezónnosti výskytu řas (výskyt se omezuje pouze na teplou část roku) jsou zajímavější spíše dosahovaná maxima než průměrné hodnoty (Pitter, 2015).

3.4.4 Kovy

Kovy (metaloidy) patří mezi hygienicky i vodohospodářsky významné ukazatele. V dřívější době se ve vodě stanovovaly především rozpuštěné železo, rozpuštěný mangan, vápník, hořčík, od počátku století se s novým přístrojovým vybavením škála stanovovaných kovů podstatně rozšířila. V současné době se v běžných laboratořích stanovuje cca 20 kovů, a to jak v celkové nebo rozpuštěné formě (Pitter, 2015).

Ve vodách se mohou vyskytovat ve formě jednoduchých kationtů a aniontů, komplexních aniontů nebo neutrálních molekul (komplexy s huminovými látkami, aminokyselinami a iontové asociáty s ionty uhličitany, hydrogenuhličitany, síranovými a fosforečnanovými). Toxicita je především závislá na formách výskytu příslušného kovu (Pitter, 2015).

Zdrojem těžkých kovů v povrchových vodách jsou především různá průmyslová odvětví (těžba rud, zpracování železa, barevná metalurgie, povrchová úprava kovů, sklářský průmysl, tiskárny, fotografický průmysl aj.). K menším zdrojům se řadí exhalace, eventuálně menší nespecifické zdroje, které mnohdy patří k nárazově nejvýznamnějším. Limitní koncentrace kovů v tekoucích povrchových vodách

vymezuje nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Významnou vlastností těžkých kovů je jejich akumulární schopnost v sedimentech a v biomase některých vodních organismů. Z toho důvodu jsou minimalizovány i mezní koncentrace kovů v tocích vodárenských a ostatních (Horáková a kol., 2003).

S přibývajícím znalostmi o výskytu a působení kovů se stále zpřísňují kritéria vymežující jejich obsahy v pitných, povrchových i odpadních vodách, ale také v kalech, půdě, dále pak v různých zemědělských produktech a potravinářských výrobcích (Pitter, 2015).

3.4.5 Specifické organické látky

Chemické látky, jež jsou někdy i v malém množství škodlivé a znečišťují životní prostředí, se nazývají specifické organické látky. Mezi nejdůležitější skupiny patří zejména kyanidy, monocyklické aromatické uhlovodíky, polycyklické aromatické uhlovodíky, pesticidy a produkty jejich rozkladu, léčiva a další (Loučka, 2014).

Znečišťování prostředí (převážně chlorovanými) organickými látkami zůstává v popředí zájmu vodohospodářů a hygieniků. Jak uvádí Yin a kol. (2017) jde o látky většinou značně toxické, z nichž některé mají karcinogenní a mutagenní účinky. Jde především o alifatické a aromatické polychlorované deriváty (PCB, trihalogenmethany, polychlorované dibenzodioxiny a dibenzofurany, chlorované pesticidy aj.).

Pesticidy jsou látky používané na ochranu plodin v zemědělství a lesnictví, proti plevelům (herbicidy), houbám (fungicidy) a živočišným škůdcům (insekticidy). Pesticidy našly uplatnění i ve vodním hospodářství, slouží např. k likvidaci některých vodních rostlin, k redukci zooplanktonu v případě ohrožení ryb kyslíkovým deficitem, k likvidaci dravých buchanek před vysazením váčkového plůdku kapra nebo k antiparazitárnímu ošetření kaprovitých ryb. Pesticidy, které se vyskytují v povrchových vodách, mohou být v rozpuštěné, nebo nerozpuštěné formě. Jejich výskyt bývá sezónní, jarní nebo podzimní aplikace (Pitter, 2015).

Další chemické látky vyskytující se ve vodách jsou uhlovodíky. Zhoršují organoleptické vlastnosti vody (projevují se především pachem), mohou tvořit povrchové filmy na hladině vod a působit toxicky. Mají významné adsorpční schopnosti, takže se hromadí v sedimentech. Hlavním zdrojem uhlovodíků jsou produkty získávané z ropy: benzín, petrolej, motorová nafta, topné a mazací oleje,

mazut a asfalt, označované jako ropné látky. Monocyklické aromatické uhlovodíky (monocyklické areny) se používají jako rozpouštědla (benzen, toluen, xyleny) a ve vodách se často nacházejí. Z hlediska karcinogenity je z nich nejzávadnější benzen (Pitter, 2015).

Samostatnou skupinu tvoří polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU). Tyto látky nevznikají z konkrétních chemických výrob. Z antropogenních zdrojů PAU největší měrou přispívají spalovací procesy, zvláště při nedokonalém spalování organické hmoty (spalování pevných a kapalných paliv, provoz motorových vozidel), některé průmyslové technologie (jako karbonizace uhlí, krakování ropy aj.). Voda a půda jsou přímo kontaminovány z průmyslových odpadních vod, především při haváriích (Pitter, 2015).

Další rozšířenou skupinou jsou komplexotvorné látky, které mohou do značné míry měnit chemické i biologické vlastnosti vody a ve vodách mohou být původu přírodního i antropogenního. Typickým příkladem komplexotvorných látek přírodního původu jsou huminové látky. Vznikají rozkladnými a syntetickými pochody z odumřelé rostlinné hmoty, v půdě tvoří humus, tmavě zbarvenou amorfni organickou složku půdy. Z komplexotvorných látek antropogenního původu přicházejí v úvahu především aktivací přísady v pracích a čisticích prostředcích, v monitoringu povrchových vod se stanovuje např. EDTA (ethylen diamin tetraoctová kyselina) (Pitter, 2015).

Od devadesátých let minulého století se věnuje stále více pozornosti léčivům, která se používají v humánní nebo ve veterinární medicíně (antibiotika, analgetika, hormony, cytostatika, kancerostatika, antipyretika, antirevmatika apod.). Pozornost je věnována látkám, které se používají ve velkém množství (léky proti cukrovce, rentgen kontrastní látky, přípravky proti vysokému krevnímu tlaku). V ČR se léčiva a jejich metabolity pravidelně sledují až od počátku tohoto století. S rozvojem analytické techniky kapalinové chromatografie se počet sledovaných látek neustále zvyšuje (Pitter, 2015).

Jako příklad lze uvést nejčastěji ve vodě se vyskytující skupiny léčiv s typickými zástupci:

rentgen kontrastní a diagnostické látky: *iopamidol, iopromid*

léky na vysoký krevní tlak: *atenolol, hydrochlorthiazid, furosemid*

léky snižující koncentraci cholesterolu: *benzafibrate, gemfibrozil*

léky protizánětlivé a protirevmatické: *paracetamol, diclofenac, ibuprofen*

léky na epilepsii: *karbamazepin*

léky na neuropatickou bolest: *gabapentin*

opioidy: *tramadol*

antibiotika: *erytromycin, chloramfenikol, penicilin G, sulfamerazin*

sulfonamidy (léčba infekčních onemocnění): *sulfamethazin, sulfamethoxazol,*

umělá sladidla: *sacharin*

Ve vzorcích povrchových vod kontaminovaných reziduí léčiv se nejčastěji nacházejí látky: metformin, karbamazepin, ibuprofen, diclofenac, hydrochlorthiazid a kofein (Palmer a kol., 2008). Léčiva používaná v humánní medicíně přecházejí do splaškových vod s močí a tuhými fekáliemi. Jejich chování na čistírnách odpadních vod závisí na jejich biologické rozložitelnosti a lipofilitě, ovlivňující jejich sorpční schopnost na čistírenském kalu, odkud pak mohou kontaminovat půdu. V zemědělství je zdrojem léčiv a látek podporujících produkci především moč dobytka a prasat, chlévská mrva a posléze hnůj z ní vyrobený na hnojišti u stáje nebo na polním hnojišti. Vysoké koncentrace léčiv jsou zejména ve splaškových vodách a v odtocích čistíren odpadních vod (Pitter, 2015).

Farmaka patří mezi látky, které zpravidla nejdou jednoduše odstranit z odpadních vod na ČOV a v původní formě či v podobě metabolitů často ve vodě zůstávají a odcházejí jako součást vyčištěné odpadní vody zpět do vodního prostředí. Výzkumy ukázaly, že vedle farmak ve vyčištěné odpadní vodě zůstávají také zbytky koření, drog a hormonů (Komínková a kol., 2014).

Biologická rozložitelnost léčiv za aerobních i anaerobních podmínek je klíčová, což platí i pro ostatních organické látky, aby nedošlo k jejich kumulaci v prostředí. Příkladem biologicky snadno rozložitelných léčiv jsou např. aspirin (acylpyrin), paracetamol, penicilin a do určité míry také ibuprofen (ibalgin). Naopak biologicky těžko rozložitelné jsou např. meprobamat, tetracyklin, erythromycin, chloramfenikol, karbamazepin aj. Jak uvádí Ternes a kol. (2004) biologická odstranitelnost velmi značně závisí na stáří aktivovaného kalu. Čím je kal starší, tím je také účinnost biologického čištění větší. V úvahu je nutné brát také adsorpci na aktivovaném kalu a eventuálně tvorbu málo rozpustných sloučenin s vápníkem a hořčíkem (např. u tetracyklinu).

4 METODIKA

4.1 Charakteristika studovaného území a popis důležitých vlivů

Vltava je páteřním a nejvodnatějším tokem na území České republiky, plocha povodí Vltavy je 28 090 km², což představuje cca 53 % rozlohy Čech a cca 36 % rozlohy celé České republiky (**Obr. 3**) (Hydroprojekt, 1994).

Na území České republiky je Vltava největším levostranným přítokem Labe, do kterého se vlévá u Mělníka v říčním km 836, v nadmořské výšce 156,2 m. Pramení na Šumavě pod Černou horou soutokem Teplé a Studené Vltavy jižně od Volar v nadmořské výšce 715,2 m. Největším přítokem je Sázava (226 km). V povodí se nachází 33 032 vodních ploch s celkovou rozlohou 43 564 ha. Největší z nich jsou vodní nádrže Lipno (4 504 ha) a Orlík (2 355 ha). Délka jejího toku je 377 km (Linhartová, Zbořil, 2006).

Vltava protéká ve svém horním toku směrem jihovýchodním. V říčním km 376,7, v místě zvaném „Mrtvý luh“ se Teplá Vltava spojuje s pravostranným přítokem Studená Vltava. Dále pak pokračuje soustavou vodních děl souhrnně nazývaných jako Vltavská kaskáda (Hydroprojekt, 1994).

Vltavská kaskáda je soustava nádrží na řece Vltavě. Tvoří ji 9 vybudovaných přehrad mezi lety 1930 a 1992. Jedná se o následující vodní díla: Lipno I, Lipno II, Hněvkovice, Kořensko, Orlík, Kamýk, Slapy, Štěchovice a Vrané. Vodní dílo Orlík zadržuje největší objem vody z českých nádrží, největší, co do plochy hladiny, je vodní dílo Lipno. Hlavní funkcí Vltavské kaskády je akumulace vody pro nadlepšování průtoků v suchém období, vyrovnávání povodňových průtoků, výroba elektrické energie, rekreační využití a osobní lodní doprava. Odtoky z nádrže na Vltavě jsou řízeny s ohledem na průtoky v Berounce tak, aby byl v Praze zabezpečen minimální průtok 40 m³.s⁻¹ (Mezinárodní komise pro ochranu Labe, 2005).



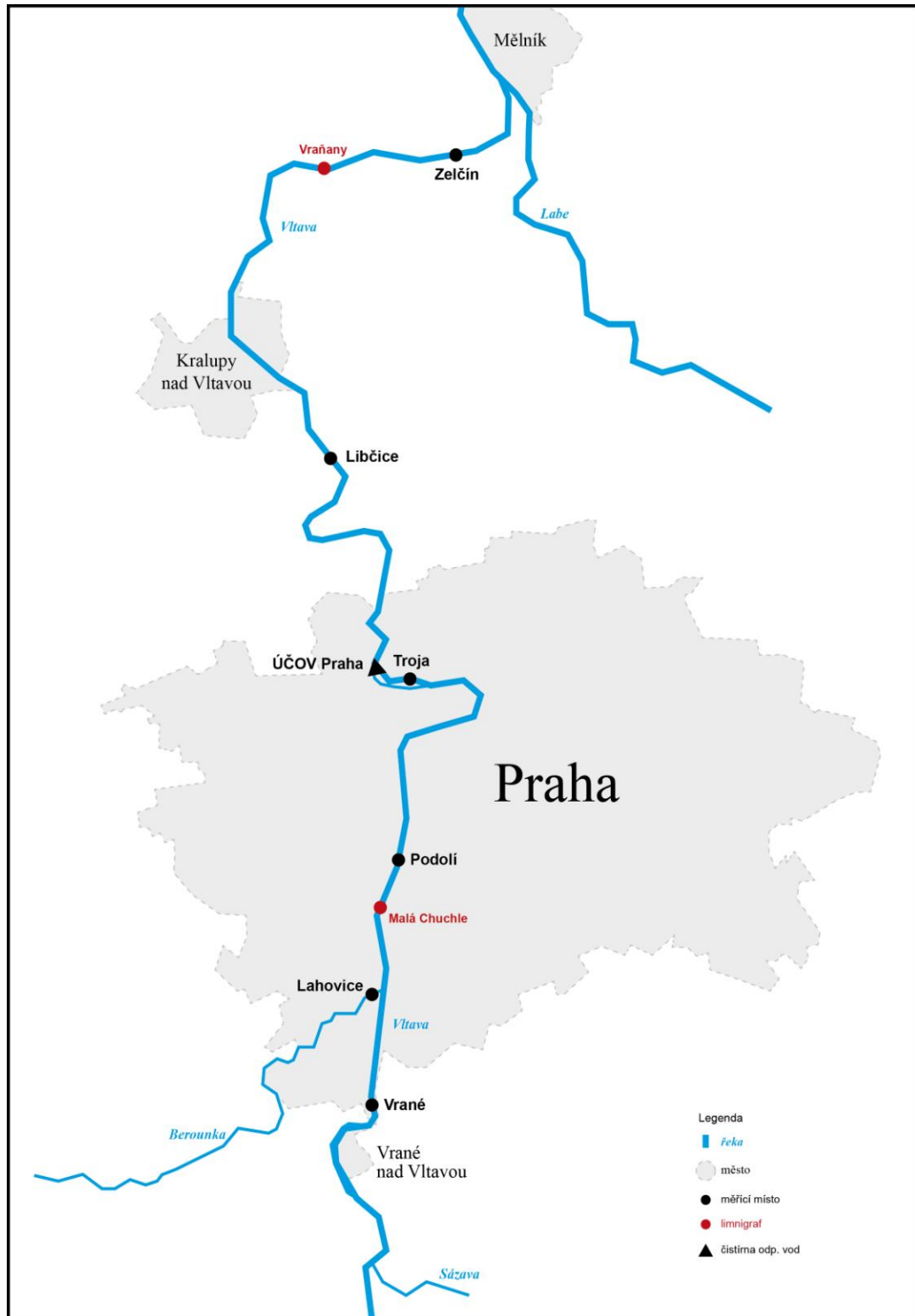
Obr. 3 Přehledná mapa povodí Vltavy (Zdroj: VÚV T.G.M., v.v.i.)

4.2 Zdroje dat, výběr profilů, výběr hodnocených ukazatelů

Pro účely hodnocení ovlivnění řeky Vltavy pražskou aglomerací byly vybrány následující profily kvality vody (**Obr. 4**):

- **Vltava Vrané**, ř. km 70,1 – odtok z Vltavské kaskády (poslední jezová zdrž), zahrnující přítok Sázavu.
- **Berounka Lahovice**, ř. km 0,6 – významný přítok Vltavy, ústící do Vltavy nad Prahou v prostoru dálničního mostu rychlostní komunikace D4.
- **Vltava Podolí**, ř. km 56,2 - na úrovni jímání pražské vodárny. Profil Podolí, zahrnuje již levostranný přítok Berounku.
- **Vltava Troja**, ř. km 44,7 - odběr vzorků se provádí v místě dřívější Trojské lávky – zahrnuje rozptýlené znečištění z Prahy, nezahrnuje však odtok z ÚČOV Praha, který se nachází pod ní.
- **Vltava Libčice** ř. km 28,2 – ve znečištění se uplatňuje vliv Prahy (ÚČOV Praha), ale zahrnuje i obce pod Prahou až do Libčic.

- **Vltava Zelčín**, ř. km 4,5 – uzávěrový jakostní profil před vtokem do Labe, zahrnuje znečištění pocházející z Kralup, Kladna, Veltrus, Vraňan a dalších menších sídel situovaných podél řeky.



Obr. 4: Výběr kontrolních profilů na řece Vltavě

Pro účely hodnocení byly vybrány následující ukazatele jakosti vody:

- **Kyslík rozpuštěný ve vodě (O₂)** - jako indikátor jakosti vody, vyjádřený jako % nasycení vody kyslíkem.
- **BSK₅** - biochemická spotřeba kyslíku, jako ukazatel zatížení toku snadno rozložitelnými organickými látkami v mg.l⁻¹.
- **CHSK_{Cr}** - chemická spotřeba kyslíku, jako ukazatel zatížení toku rozložitelnými organickými látkami v mg.l⁻¹.
- **TOC** – celkový organický uhlík v mg.l⁻¹.
- **N.NH₄** – amoniakální dusík v mg.l⁻¹.
- **N-NO₃** – dusičnanový dusík v mg.l⁻¹.
- **Celkový N** – veškerý dusík (anorganický + organický) v mg.l⁻¹.
- **Celkový P** – veškerý fosfor (anorganický + organický) v mg.l⁻¹.
- **Termotolerantní koliformní bakterie** – indikátor míry mikrobiologického oživení (udává se jako KTJ/ml, tj. počet kolonií na objem přefiltrované vody).
- **Chlorofyl-a** - jako míra oživení vody fytoplanktonem (biomasa fytoplanktonu).

Poskytnutá data zahrnují období let 2015 - 2019, pocházejí z pravidelného monitoringu jakosti vody prováděného vodohospodářskými laboratořemi státního podniku Povodí Vltavy. Doplnující historické údaje z dřívějšího sledování pocházejí z archivu vodohospodářských laboratoří. Vzorky pro sledování a hodnocení jakosti vody se rutinně odebírají v měsíčním intervalu (12 údajů za rok), státní podnik Povodí Vltavy shromažďuje data ve své podnikové databázi a následně předává do ČHMÚ Praha. Pro účely studentských prací poskytuje státní podnik pouze tzv. agregovaná data (roční průměry, minimum, maximum, počet údajů za období).

Data o průtocích byla poskytnuta ve formě průměrných měsíčních hodnot pro vodoměrné stanice Malá Chuchle a Vraňany. S výjimkou roku 2017 je možno celé

období charakterizovat jako období spíše s minimálními průtoky a oproti předchozím letům i menším množstvím srážek. V pražské aglomeraci byl v suchých letech zajišťován minimální průtok ve Vltavě ve výši $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ díky nadlepšování průtoku z Vltavské kaskády.

4.3 Vliv hlavního města Prahy na jakost vody ve Vltavě

Stanovit období, kdy Vltava byla ještě řekou neovlivněnou činností člověka či určit expertním odhadem přirozený stav jakosti vody v řece je velmi obtížné. Po všechna minulá století byla Vltava zasažena „civilizačními procesy.“ Již od 13. století byla vltavská voda znečišťována odpady z tehdejších řemeslných výroby barvířů, koželuhů, jirchářů, do Vltavy bylo sváženo veškeré smetí. Přesto však byly v Praze již začátkem 15. století stavěny vodárny (Hydroprojekt, 1994).

V současné době jsou odpadní vody z jednotlivých částí města odváděny na Ústřední čistírnu odpadních vod (dále ÚČOV), srážkové vody jsou akumulovány v dešťových usazovacích nádržích a teprve po odsazení jsou vypouštěny do recipientů. V případě většího znečištění mohou být i řízeně vypouštěny na ÚČOV. Odpadní vody z města odcházejí systémem kanalizačních přivaděčů na ÚČOV. Tam projdou čistícím procesem a vyčištěná voda se vrací zpět do Vltavy. ÚČOV tak byla historicky největším znečišťovatelem Vltavy v Praze. Zdroje ÚČOV Praha uvádí, že v Praze je odkanalizováno cca 96 % domácností. Po uvedení Nové vodní linky do provozu a po rekonstrukci stávající ÚČOV přestane být vliv vypouštění vyčištěných odpadních vod na jakost vody ve Vltavě zásadní. Do popředí zájmu se tak dostanou další zdroje znečištění. Kromě odtoku z ÚČOV a otoků z 20 pobočných čistíren odpadních vod jsou další možné zdroje znečištění následující:

- Znečištěné přítoky ústící do Vltavy
- Dešťové a havarijní odlehčení na ÚČOV a pobočných čistírnách odpadních vod
- Odtoky z dešťových oddělovacích komor jednotné kanalizace
- Odtoky z dešťové kanalizace, odtoky z dešťových usazovacích nádrží.

Na území hlavního města Prahy se do Vltavy vlévá 33 přítoků, z nichž největší je Berounka. Z významnějších toků následují pak Botič, Rokytky, Motolský potok,

Šárecký potok, Kunratický potok, Jinonický potok a Brusnice. Většina malých přítoků je zatrubněna a zaústěna přímo do Vltavy.

V případě větších dešťových srážek stávající kanalizační systém není schopen odvést veškerou vodu, proto fungují tzv. odlehčovací komory, jejichž úkolem je zamezit „zahlcení“ kanalizace v době velkých průtoků. Na území Prahy tak existuje cca 150 odlehčovacích komor. Přímo zaústěných do Vltavy je cca 50, ostatní jsou zaústěny do drobných pražských toků (Šťastný 2018).

Na jednotlivých přítocích v jejich horních částech jsou vybudovány čistírny odpadních vod, oddělovací komory kanalizace a dešťové usazovací nádrže. V Praze je provozováno v současné době více než 30 dešťových usazovacích nádrží a další desítky výpustí místních dešťových kanalizací, které jsou zaústěny přímo do Vltavy.

Po vyřešení problematiky čištění odpadních vod na ÚČOV Praha a jejích pobočných ČOV se v současné době jeví hlavní problém v odtocích z dešťových oddělovacích komor. Odlehčovací komory jsou v principu konstruovány tak, že při vyšším průtoku (intenzivní srážky) odpadní voda přetéká přes hranu umístěnou ve stěně komory a kanalizací protéká pouze maximální možný průtok. Během vysokých průtoků dochází rovněž k pohybu sedimentovaného materiálu v kanalizaci a jeho vyplavování. Podíl odlehčené vody je pak dán velikostí srážkové události, ředění odpadní vody v kanalizaci při události není konstantní a v jejím průběhu se mění. Udává se, že vody z odlehčení obsahují asi 1/10 koncentrace původních splašků. V období sucha z dešťových komor však nic neodtéká (Fuksa, 2018).

Pokud se týče odtoků z dešťové kanalizace, tak v případě, že do nich nejsou zaústěny splaškové odpadní vody, je jejich přínos z hlediska znečištění Vltavy téměř zanedbatelný (Šťastný 2018).

Během průtoku městskými aglomeracemi se jakost vody většinou zhoršuje. Do řeky ústí stovky různých výustí, z nichž ale ne všechny přinášejí znečištěnou vodu. Znečištění se však výrazněji zvyšuje během srážkových epizod. Problémem v Praze může být rovněž zachycování a likvidace odpadů z plavidel. Vltava je v posledních letech přetížena okružní lodní dopravou, která mj. může působit potíže zvláště za smogových situací produkcí výfukových plynů z dieselových motorů. I když obecně

existuje infrastruktura a technologie pro likvidaci odpadních vod na lodích, výsledky sledování pracovníků VÚV T.G.M. indikují zvýšený výskyt amoniakálního dusíku. Zdá se, že likvidace odpadních vod na lodích buď není dostatečná, nebo dostatečně využívána a kontrolována (Fuksa, 2018).

4.4 Ústřední čistírna odpadních vod v Praze

Ústřední čistírna odpadních vod (dále jen ÚČOV) je příkladem způsobu odstraňování znečištění z velké aglomerace, kategorie nad 100 000 ekvivalentních obyvatel a je zařazena do nejvyšší kategorie s měsíční četností sledování za rok (NV č. 401/2015 Sb.).

Kanalizace v Praze se postupně vyvíjela tak, jak na ní rostl počet připojených obyvatel. Zatímco na počátku minulého století převažovala tzv. jednotná kanalizace, která odváděla všechny odpadní vody včetně vod srážkových, v nově budovaných částech Prahy v druhé polovině minulého století se rozšiřoval systém tzv. oddílné kanalizace. Oddílná kanalizace spočívá v rozdělení odpadních vod na vody splaškové a vody dešťové. Nový systém vznikal zejména v nově budovaných satelitních celcích a zejména v jeho počátcích se oba typy vod před vtokem na ČOV ještě často spojovaly. Dešťové, balastní vody však narušují systém čištění odpadních vod, protože dochází k jejich přílišnému naředění. V současné době se staví již jen systémy oddělené kanalizace (Fuksa, 2018).

Historicky a až donedávna byla ÚČOV Praha hlavním bodovým zdrojem znečištění dolního toku řeky Vltavy, který má nejdůležitější vliv na kvalitu vody ve Vltavě protékající Prahou.

Původní ÚČOV byla vybudována v Bubenči a již po jejím dokončení v roce 1973 bylo zřejmé, že její kapacita bude vzhledem k dalšímu rozvoji města nedostatečná. ÚČOV prošla během let řadou rekonstrukcí, při nichž docházelo k renovaci stávajícího zařízení a úpravě hydraulických parametrů. V letech 2013 - 2018 došlo k dlouho plánovanému rozšíření ÚČOV Praha o Novou vodní linku, která zvýšila kapacitu čištění odpadních vod na zhruba dvojnásobek.

Základní technologický popis ÚČOV Praha

Navrhované hydraulické parametry z roku 1968 byly:

Mechanický stupeň $5,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, z toho biologický stupeň $2,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Hydraulické parametry z roku 1985 byly následující:

Mechanický stupeň $8,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, z toho biologický stupeň $4,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Stávající, tj. původní ÚČOV Praha v letošním roce dovrší 52 let existence.

Nová vodní linka (NVL) (**obr. 5**), jak se nově vystavěná část nazývá, byla dokončena a do zkušebního provozu uvedena v září roku 2018. Na ní pak bude navazovat modernizace staré části – tj. Modernizace stávající vodní linky (SVL) někdy v průběhu 20-tých let.

Nová vodní linka je navržena a realizována jako nízko zátěžová kaskádová aktivace s regenerací vratného kalu a nitrifikací, doplněna o terciární stupeň čištění, včetně srážení fosforu a dávkování externího substrátu. Je na ni možné přivést nejméně 50 % odpadních vod z území hlavního města Prahy. Hlavním cílem modernizace ÚČOV Praha je dosáhnout na odtoku z NVL požadovanou hodnotu celkového dusíku nejvýše $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Biologická část vodní linky je navržena tak, aby byla schopna na tuto hodnotu vyčistit odpadní vody až do výše nátoky $4,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Hydraulicky je schopna vyčistit v biologické části a terciárním stupni až $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

V rámci přípravy na bakalářskou práci bylo autorce umožněno zúčastnit se exkurze do nově vybudované části.

Nová vodní linka ÚČOV se skládá ze dvou hlavních stavebních celků. Prvním je objekt hrubého (**Obr. 6**) a mechanického předčištění, druhou skupinu objektů tvoří biologická linka a terciární stupeň čištění. Její součástí je i povodňová čerpací stanice. Stavba NVL byla navržena a realizována v aktivní zóně záplavového území. Oba zmíněné stavební celky jsou navrženy tak, aby Nová vodní linka čistila přitékající vody až do povodňových průtoků s periodicitou 20 let (Q_{20}). Oba objekty jsou chráněny proti povodňovým průtokům, podstatnou část stavebních prací představovaly železobetonové konstrukce.



Obr. 5: Celkový pohled na Novou vodní linku ÚČOV Praha (URL 3)

Z pohledu technologie čištění odpadních vod má Nová vodní linka obvyklé uspořádání. Voda je čerpána z Hlavní čerpací stanice přes česle, na kterých jsou odstraňovány plovoucí nečistoty - shrabky. Ty jsou po odvodnění systémem dopravníků předány do uzavíratelných kontejnerů a v nich jsou následně odváženy na skládky zvláštních odpadů. Mechanické čištění probíhá na zařízení s názvem Densadeg 4D. Nová vodní linka má těchto jednotek celkem šest. Jsou schopny zajistit mechanické předčištění až $7,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ odpadních vod. Z toho jsou předčištěné odpadní vody až do průtoku $4,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ odváděny dále na biologické a terciární čištění, zbývající množství hrubého předčištění je odváděno přepadem do recipientu. Jednotlivé jednotky Densadeg 4D jsou za provozu zastupitelné.



Obr. 6: Pračky písků v objektu hrubého předčištění (URL 4)



Obr. 7: Dosazovací nádrže (URL 5)

Vlastní biologická část se skládá ze dvou samostatných linek. Každá z těchto dvou linek se skládá z jedné nádrže pro regeneraci aktivovaného kalu, dvou jednotek kaskádové aktivace a dvou skupin podélných dosazovacích nádrží (**Obr. 7**) po deseti jednotkách (celkem v jedné lince 20 dosazovacích nádrží). Biologickou část NVL tvoří dvě regenerační nádrže, čtyři jednotky kaskádové aktivace a 40 dosazovacích nádrží.

Terciární stupeň čištění zaměřený na odstraňování fosforu se skládá ze tří jednotek Densadeg D2. Terciární stupeň čištění bude v budoucnu doplněn o zdravotní zabezpečení vyčištěných odpadních vod UV zářením.

Posledním prvkem zařízení je povodňová čerpací stanice. Ta je uváděna do provozu v případě povodňových průtoků ve Vltavě, které neumožní gravitační odtok vyčištěných odpadních vod.

V jednotlivých částech technologické linky jsou nečistoty odstraňovány a odváděny ve formě kalů. Kaly z mechanického předčištění a z terciárního stupně jsou zpracovávány společně, kaly z biologické linky samostatně. V obou případech jsou následně v objektu hrubého předčištění kaly homogenizovány, zahuštěny na 6 – 8 % sušiny a odváděny výtlaky na kalové hospodářství SVL k dalšímu zpracování. Z kalového hospodářství je zpětně přiváděn tzv. fugát, což jsou vody získané při odvodňování (odstřeďování) zpracovaného a vyhnílého kalu. Tyto vody s vysokým

obsahem dusíku jsou zaústěny do regeneračních nádrží a vrací se pak do čistícího procesu (SOVAK, 2018).

Z oficiálních výstupů Pražských vodovodů a kanalizací uvedených na internetu vyplývá, že v roce 2018 bylo vyčištěno celkem 106,784 mil. m³ (odpovídá průtoku 3,4 m³.s⁻¹) odpadních vod. Z tohoto množství na ÚČOV Praha připadá cca 84,9 %, na pobočné čistírny 6,4 % a na zkušební provoz Nové vodní linky 8,7 %. Za rok 2019 jsou udávány následující koncentrace vyčištěné odpadní vody (ÚČOV Praha, průměrné roční hodnoty) (**Tab. 1**) :

Ukazatel	Průměr 2019	Limitní hodnoty
Množství OV (m ³ .s ⁻¹)	3,4	4,1
BSK5 (mg.l ⁻¹)	5,5	15
CHSKCr (mg.l ⁻¹)	30,7	60
N-NH ₄ (mg.l ⁻¹)	5	
N-celkový (mg.l ⁻¹)	16	25
P celkový (mg.l ⁻¹)	0,92	1,0

Tab. 1: Průměrné roční koncentrace vyčištěné odpadní vody z ÚČOV Praha v roce 2019

Ústřední čistírna odpadních vod v Praze ve své současné podobě čistí přibližně 96 % odpadních vod, které vzniknou na území hlavního města Prahy a jsou prostřednictvím kanalizační sítě o celkové délce 3 660 km přivedeny do prostoru Trojské kotliny - na Císařský ostrov. Zbytek obstarají tzv. pobočné čistírny umístěné v některých částech Prahy. Odpadní vody jsou dnes přiváděny přibližně od 1,4 mil. ekvivalentních obyvatel, dlouhodobá koncepce počítá se zvýšením až na 1,6 mil. ekvivalentních obyvatel.

5 VÝSLEDKY

5.1 Hodnocení jednotlivých ukazatelů jakosti vody

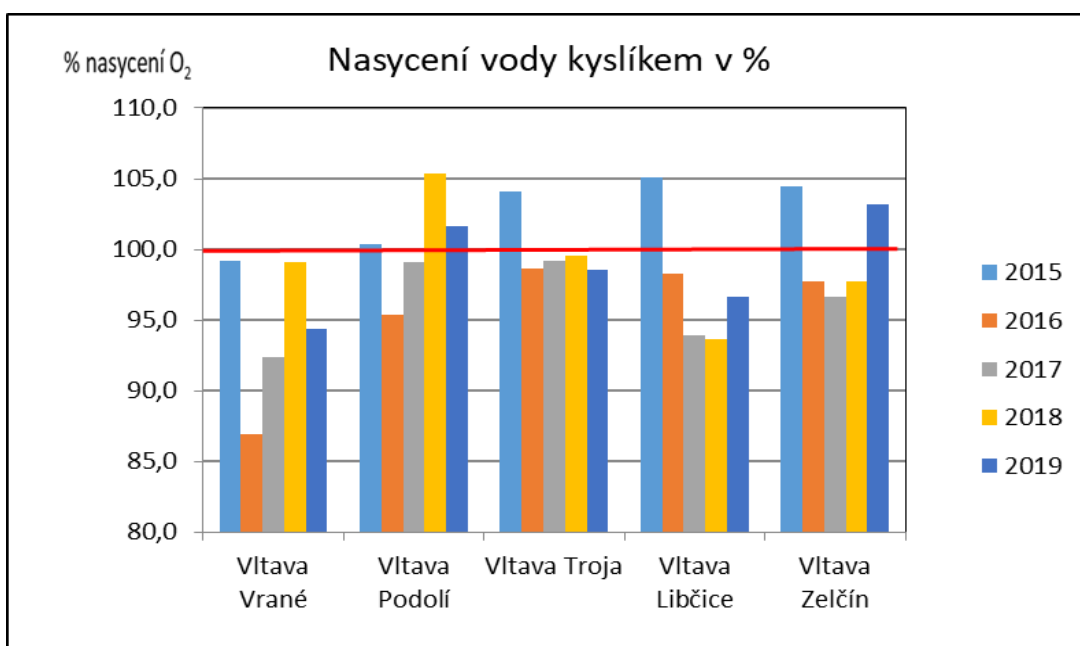
5.1.1 Ukazatele kyslíkového režimu

Rozpuštěný kyslík ve vodě, vyjádřený jako % nasycení

Nízký obsah kyslíku na profilu Vrané (zejména v letním a podzimním období) je dán odpouštěním vody ze spodních partií nádrže (**Obr. 8**). Rozkladné procesy v nádržích spotřebovávají kyslík a při vypouštění vody spodní výpustí se do řeky dostává voda chudá na kyslík. Jak Vltava dále prochází Prahou, díky jezovým zdržím se zpomaluje rychlost toku. Na množství kyslíku ve vodě, pak působí protichůdné procesy - kyslík se spotřebovává na rozklad organických látek, naopak v letním období je obohacován fotosyntetickou činností sinic a řas. Nejvyrovnanější jsou tak výsledky na profilu Troja. Je to způsobeno jednak morfologickými vlastnostmi toku (rychle tekoucí přejezdný úsek), ale i tím, že voda vytékající z jezové zdrže Troja (a dalších předchozích jezových zdrží) je obohacena o atmosférický kyslík a o kyslík vznikající asimilací řas. Znečištění pocházející z Prahy se projevuje úbytkem kyslíku až na profilu Vltava Libčice. Po absorbování znečištění z Prahy ve Vltavě probíhají samočisticí procesy, takže na profilu Vltava Zelčín se situace zvolna zlepšuje.

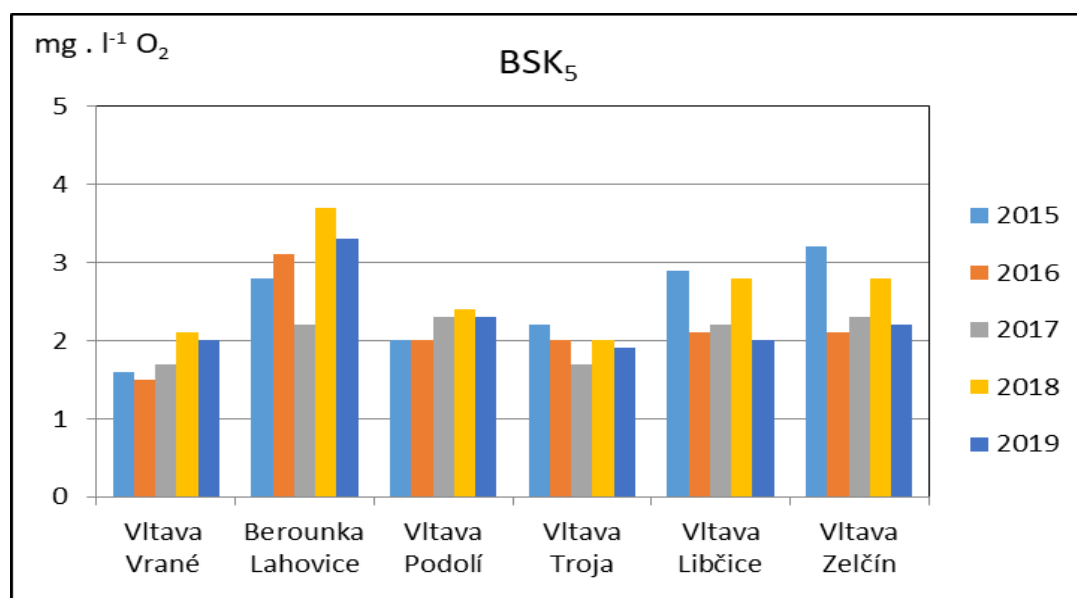
Vyšší koncentrace kyslíku (a tím i vyšší nasycení vody kyslíkem) v letech 2015 a 2018 lze patrně přičíst na vrub nízkým průtokům a zvýšené asimilaci fytoplanktonu (**Obr. 8**). V létě za minimálních průtoků dochází k významnému zpomalení proudění vody v řece a při intenzivním slunečním záření a dostatku živin dochází v povrchových vrstvách k masivnímu rozvoji fytoplanktonu. Ten svojí asimilační schopností dodává do vody kyslík (viz. případy, kdy nasycení vody kyslíkem stoupá na 100 %). K přesycení kyslíkem může docházet i v časném jarním období za nízkých teplot.

Podle sdělení pracovníků laboratoří, v sedmdesátých letech minulého století, docházelo ve Vltavě pod Prahou běžně k tzv. kyslíkovým deficitům, při nichž procento nasycení kyslíkem klesalo až pod 70 %.



Obr. 8: Nasycení vody kyslíkem v %, období 2015 - 2019 na podélném profilu Vltavy

BSK₅ - biochemická spotřeba kyslíku (mg.l⁻¹)

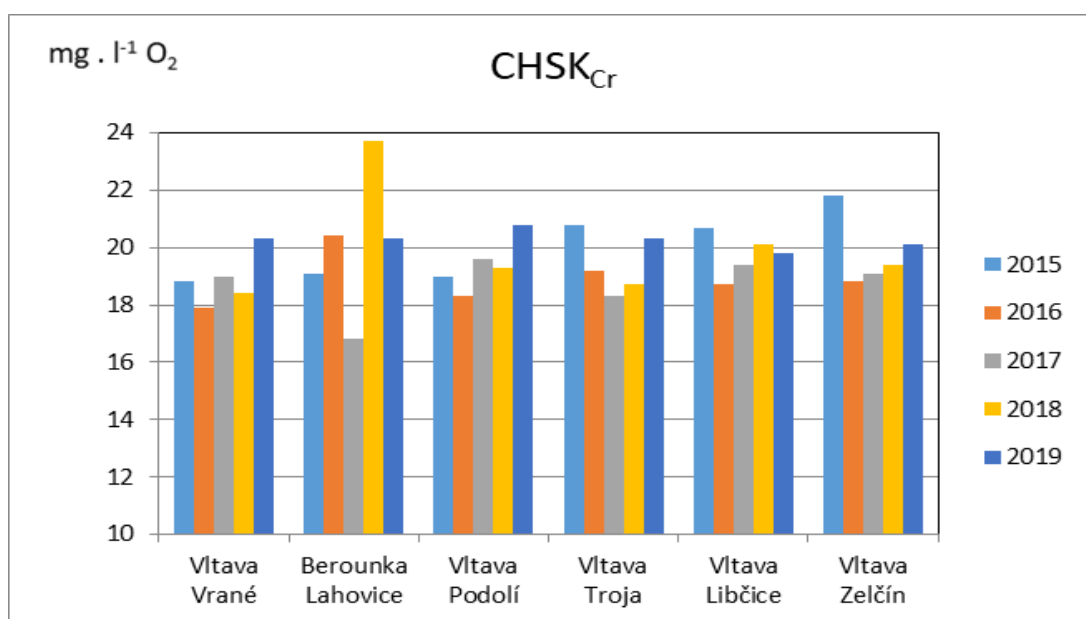


Obr. 9: Ukazatel BSK₅, průměrné roční hodnoty za období 2015 - 2019

Z Obr. 9 je patrné, že voda vytékající z VD Vrané má relativní nízký obsah biologicky snadno rozložitelných látek, takže průměrné roční hodnoty BSK₅ v

jednotlivých letech jsou nejnižší z celé sledované části toku a pohybují se kolem hodnoty $2 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$. Poměrně značný přírůstek znečištění do Vltavy přináší Berounka (průměrné roční hodnoty se pohybují okolo 3 mg/l). Následně se koncentrace BSK_5 při průtoku Prahou vyrovnají a další zvýšení přichází až na profilu Libčice. Profil Libčice zahrnuje již vyčištěné odpadní vody z ÚČOV Praha a odpadní vody z průmyslových podniků pod Prahou v oblasti Roztok a Libčic. Další znečištění podél toku se pak projeví na profilu Vltava Zelčín, které pochází především z Kralup nad Vltavou. Přírůstek znečištění však není velký, díky samočisticí schopnosti toku. Maximální roční hodnoty vykazují větší kolísání a pohybují se kolem hodnoty $4 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$. Oproti stávajícím hodnotám byla např. v 80. letech minulého století úroveň zatížení organickými látkami zhruba o 50 % vyšší. Z **Obr. 9** jsou patrné vyšší hodnoty v letech 2015 a 2018 na profilech pod Prahou způsobené absencí srážek a po většinu roku pouze asanačním průtokem. V roce 2019 se už částečně mohla uplatňovat funkce Nové vodní linky ÚČOV Praha, která byla ve zkušebním provozu. Podle ČSN 72 7221 hodnoty $\text{BSK}_5 < 2 \text{ mg.l}^{-1}$ znamenají podle stupnice tříd jakosti vodu neznečištěnou, BSK_5 v intervalu $2 - < 4 \text{ mg.l}^{-1}$ vodu mírně znečištěnou.

CHSK_{Cr} - chemická spotřeba kyslíku (mg.l^{-1})

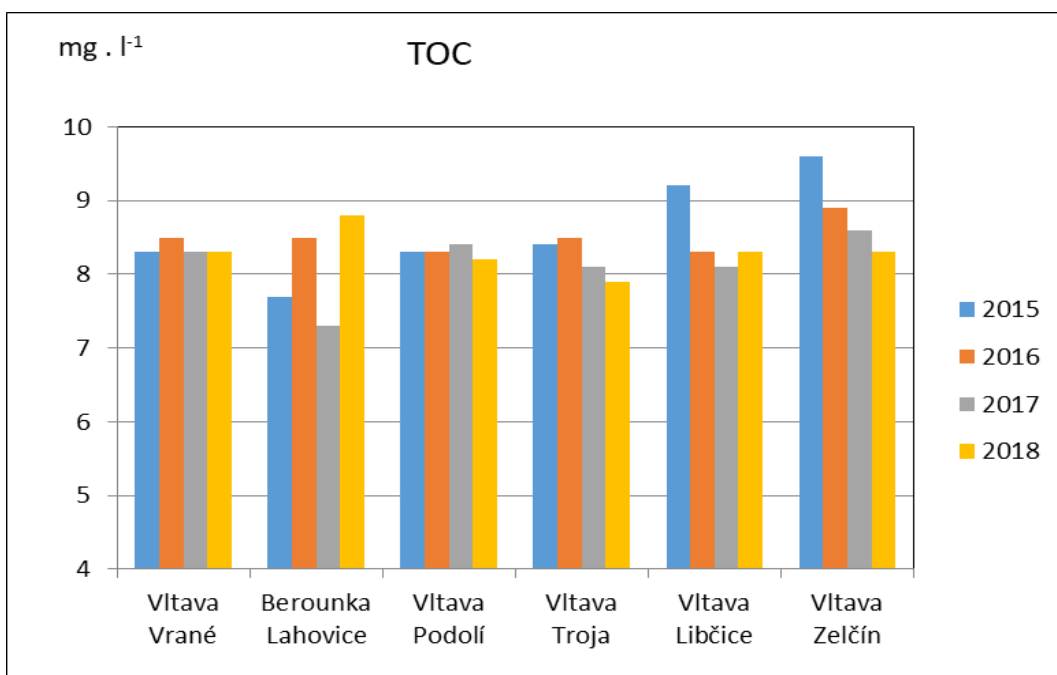


Obr. 10: Ukazatel CHSK_{Cr}, průměrné roční hodnoty za období 2015 - 2019

Z **Obr. 10** je patrné, že uvedený ukazatel nevykazuje ve Vltavě v profilech nad a pod Prahou významnější kolísání. Potvrzuje skutečnost, že Vltava jako taková není významně zatížena organickými látkami chemického původu. Podle ČSN 75 7221 hodnoty $CHSK_{Cr} < 15 \text{ mg.l}^{-1}$ znamenají podle stupnice tříd jakosti vody neznečištěnou, hodnoty $< 25 \text{ mg.l}^{-1}$ vodu mírně znečištěnou.

Průměrné roční hodnoty $CHSK_{Cr}$ se ve většině případů pohybují pod 20 mg.l^{-1} , což odpovídá II. třídě čistoty, vyšší hodnoty jsou patrně v důsledku suchých let.

TOC - celkový organický uhlík (mg.l^{-1})



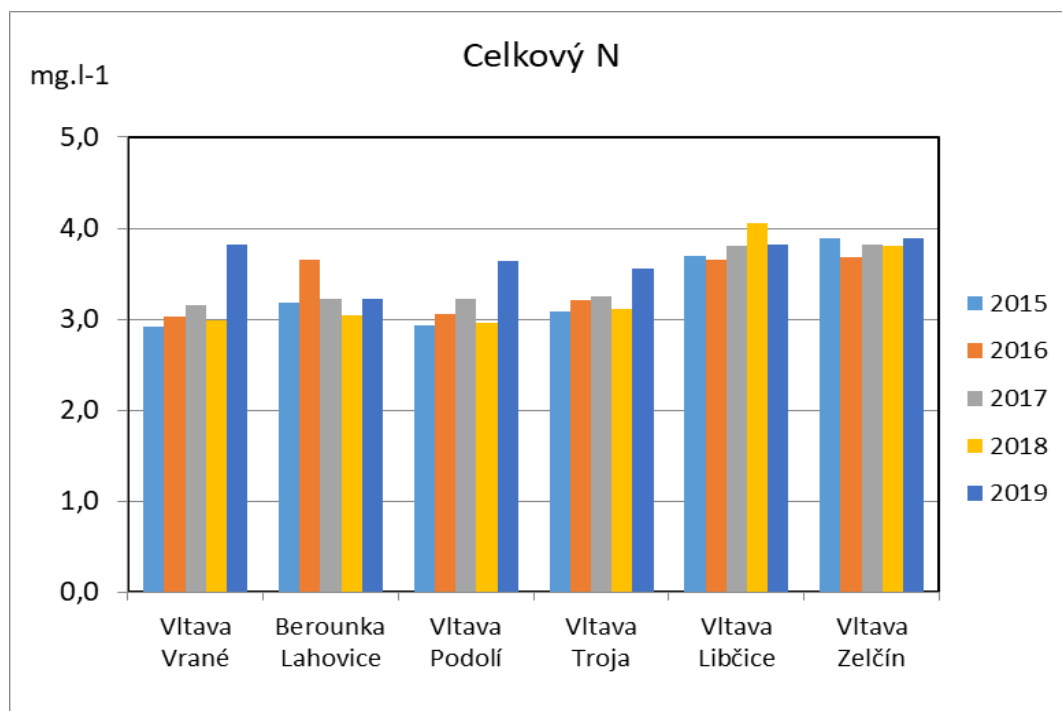
Obr. 11: Ukazatel TOC, průměrné roční hodnoty za období 2015 - 2019

Z **Obr. 11** vyplývá, že stejně tak jako u ukazatele $CHSK_{Cr}$ není u ukazatele TOC výraznějších rozdílů mezi profily Vltava Vrané a Vltava Libčice. Mírný nárůst hodnot TOC na profilu Vltava Zelčín může být způsoben vlivem vstupu čištěných průmyslových i komunálních vyčištěných odpadních vod z Kladna a Kralup (prostřednictvím přítoků). V letech 2015 a 2018 jsou mírně zvýšené koncentrace TOC oproti ostatním sledovaným rokem, což může být způsobeno tím, že oba roky byly významně „suché“ a voda mohla obsahovat více uhlíku.

5.1.2 Živiny

Dusík a jeho formy

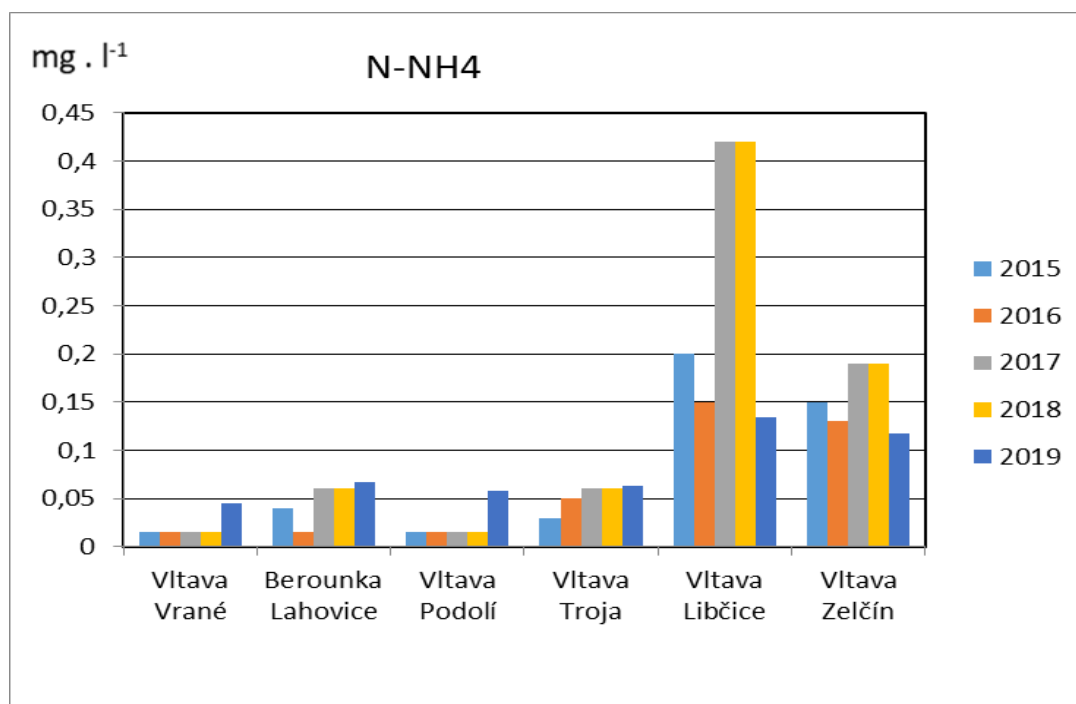
Dusík celkový (mg.l⁻¹)



Obr. 12: Ukazatel dusík celkový, průměrné roční hodnoty za období 2015 – 2019

Z **Obr. 12** je patrné, že k významnějšímu nárůstu celkového dusíku dochází až pod Prahou na profilu Vltava Libčice, patrně vlivem přísunu dusíku z vyčištěných odpadních vod z ÚČOV Praha. Ještě v nedávné době byl hlavní složkou vyčištěných odpadních vod z ÚČOV Praha amoniakální dusík. V současné době již proces nitrifikace probíhá na ÚČOV Praha, takže dusík je vypouštěn jako dusičnanový dusík.

Dusík amoniakální N-NH₄ (mg.l⁻¹)

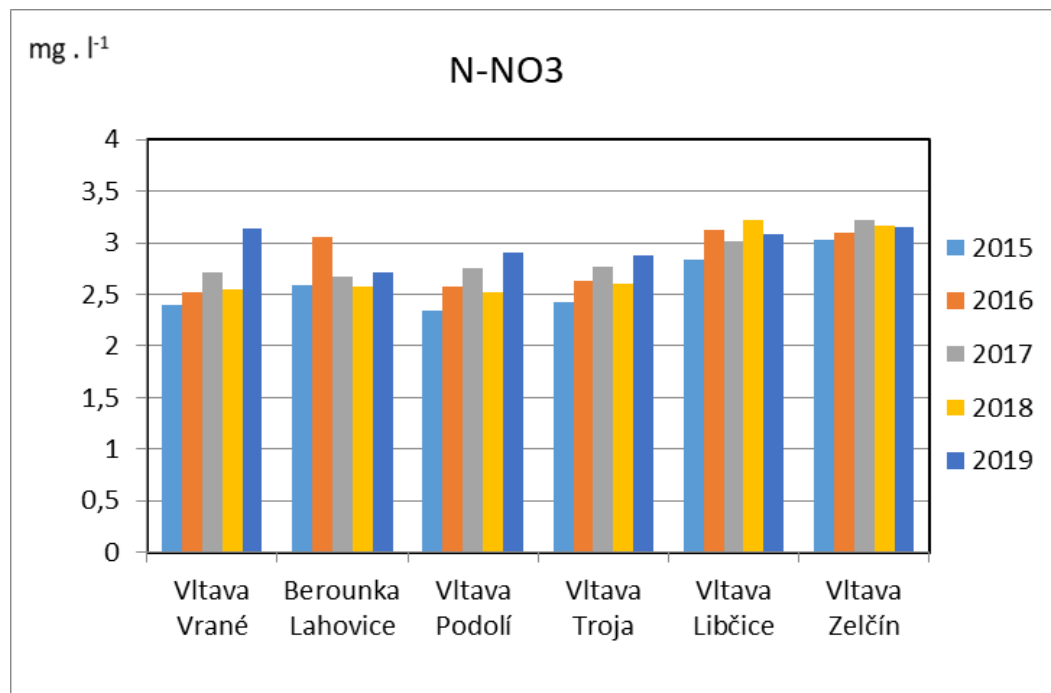


Obr. 13: Ukazatel dusík amoniakální, průměrné roční hodnoty za období 2015 - 2019

Z Obr. 13 je vidět postupný nárůst koncentrace amoniakálního dusíku od profilu Vltava Troja až k ústí do řeky Labe. V profilu Troja se již uplatňuje vliv hlavního města, zdrojem amoniakálního dusíku jsou drobné zdroje znečištění (odlehčení kanalizace, odtoky z dešťových usazovacích nádrží a také lodní doprava). Významný je však nárůst N-NH₄ na profilu Libčice v letech 2017 - 2018. V této době probíhala rekonstrukce ÚČOV, výstavba Nové vodní linky, navíc roky 2015 a 2018 byly, co do srážek, nejsuššími roky v historii sledování posledních 10-ti let. Amoniakální dusík indikuje čerstvé znečištění snadno rozložitelnými organickými látkami.

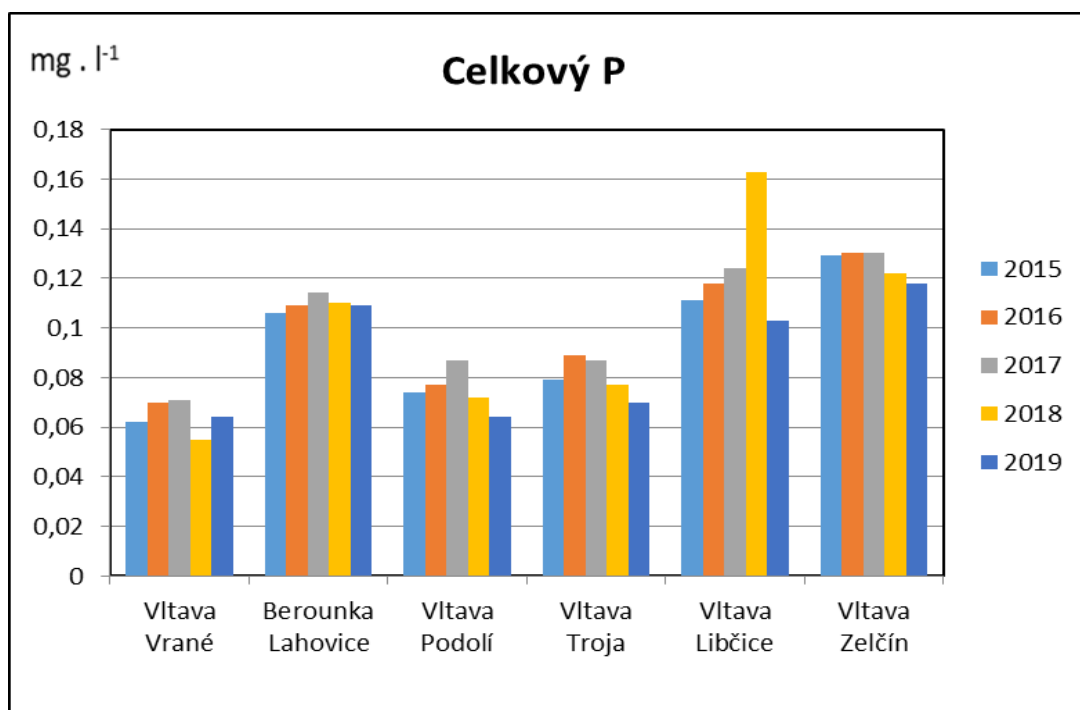
Dusík dusičnanový N-NO₃ (mg.l⁻¹)

Z Obr. 14 je patrný skokový nárůst dusičnanového dusíku na profilu Libčice. Je způsoben z větší části činností ÚČOV Praha.



Obr. 14: Ukazatel dusík dusičnanový, průměrné roční hodnoty za období 2015 - 2019

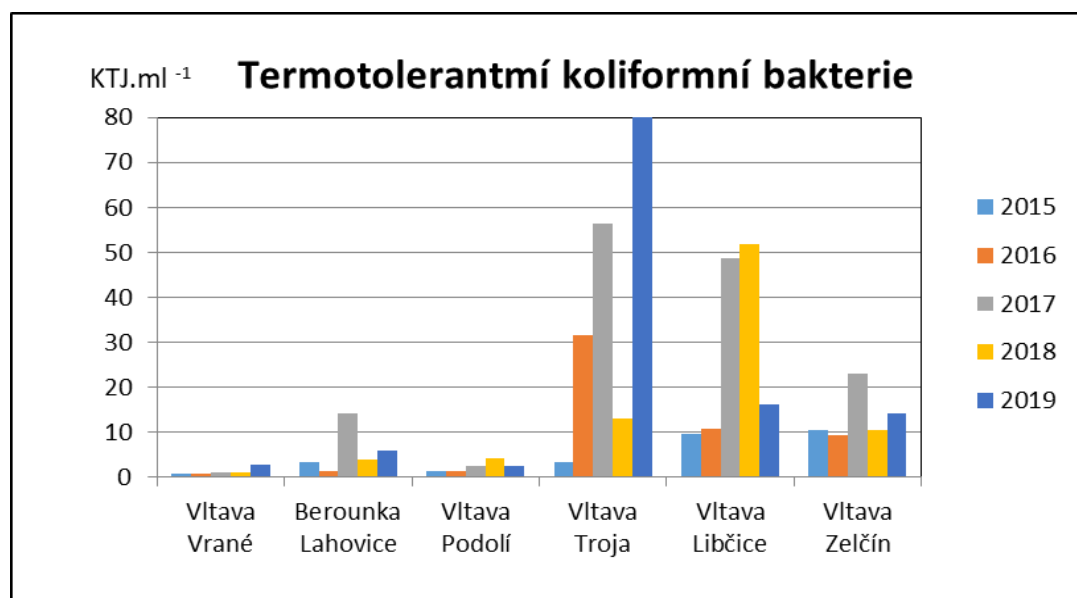
Fosfor celkový (mg.l-1)



Obr. 15: Ukazatel fosfor celkový, roční průměrné hodnoty za období 2015 - 2019

Z grafického znázornění (**Obr. 15**) je patrné, že přínos řeky Berounky zvyšuje koncentraci fosforu ve vltavské vodě jen málo. Průměrné roční koncentrace v Berounce jsou sice téměř dvojnásobné oproti koncentraci fosforu ve výtoku z Vltavské kaskády, avšak s ohledem na množství poměr vody Berounky a Vltavy nezvyšuje Berounka významně koncentraci fosforu ve Vltavě. Roční koncentrace celkového fosforu již mírně stoupají na profilu Vltava Troja, skokově potom na profilu Vltava Libčice. Zvýšená průměrná koncentrace fosforu v roce 2018 na profilu Vltava Libčice je velmi pravděpodobně způsobena sníženou účinností čištění odpadních vod po dobu rekonstrukce Nové vodní linky ÚČOV Praha. Nejvyšší průměrné roční koncentrace celkového fosforu byly zjištěny na uzávěrovém profilu jakosti vody Vltavy v Zelčíně. Množství celkového fosforu ukazuje na silně eutrofizovaný tok Vltavy pod Prahou. Podle ČSN 75 7221 hodnoty celkového P < 0,05 mg.l⁻¹ znamenají podle stupnice tříd jakosti vodu neznečištěnou, < 0,15 mg.l⁻¹ vodu mírně znečištěnou.

Termotolerantní koliformní bakterie (počet kolonií v 1 ml)



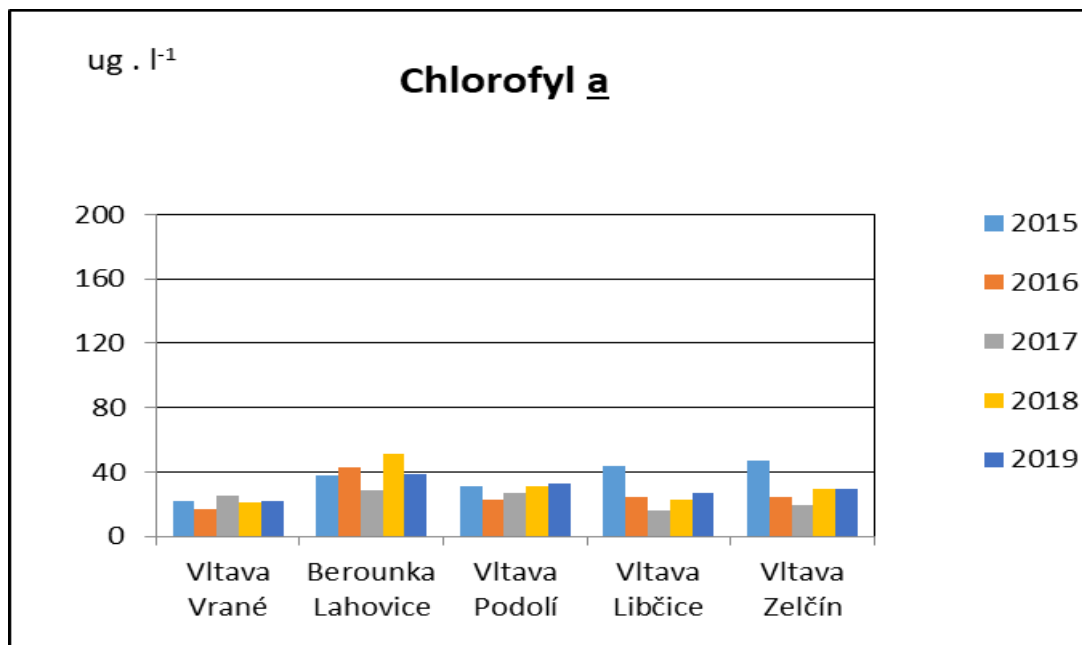
Obr. 16: Ukazatel termotolerantní koliformní bakterie, průměrné roční hodnoty za období 2015 - 2019

Výsledky zjištěné na jednotlivých profilech (**Obr. 16**) mají obdobný průběh jako u amoniakálního dusíku, který je rovněž indikátorem "čerstvého znečištění." Výrazné zvýšení počtů bakterií již na profilu Vltava Troja lze přičíst na vrub drobným výpustím a masivní lodní dopravě v hlavním městě. Postupné snížení hodnot KTJ.ml^{-1} u termotolerantních koliformních bakterií na profilu Vltava Zelčín pravděpodobně souvisí s účinným odbouráváním bakteriálního znečištění v jezových zdržích mezi Prahou a Vraňany.

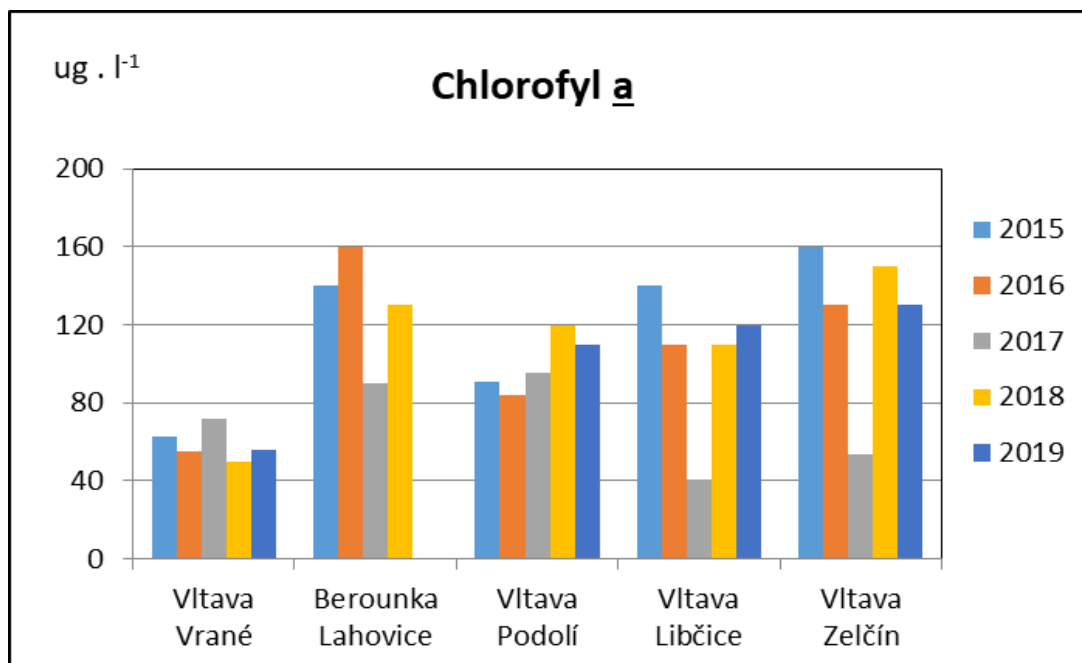
Chlorofyl-a ($\mu\text{g/l}$)

Na **Obr. 17** jsou znázorněny průměrné roční hodnoty chlorofylu-a. Názornější však jsou dosahovaná roční maxima. Z maximálních hodnot na **Obr. 18** je patrné, že Vltava i Berounka jsou silně eutrofizované toky. Voda z Berounky představuje pro Vltavu významné inkulum biologického oživení, zejména řas a sinic, s tím také souvisí nárůst zejména maximálních hodnot koncentrací chlorofylu-a mezi profily Vltava Vrané a Vltava Podolí. Na podélném profilu Vltavy v úseku mezi profily Vltava Podolí a Vltava Zelčín dochází k postupnému nárůstu koncentrace chlorofylu-a, zejména díky pomnožování řas v jezových zdržích a dále také postupnou dotací fosforu z drobných přítoků a lodní dopravy, který podporuje růst řas. Nejvyšší naměřené hodnoty koncentrace chlorofylu-a byly zjištěny v letním období v

"suchých" a teplých letech 2015, 2016 a 2018 (**Obr. 18**). Pozn. Na profilu Vltava Troja se chlorofyl v rámci pravidelného monitoringu nestanovuje.



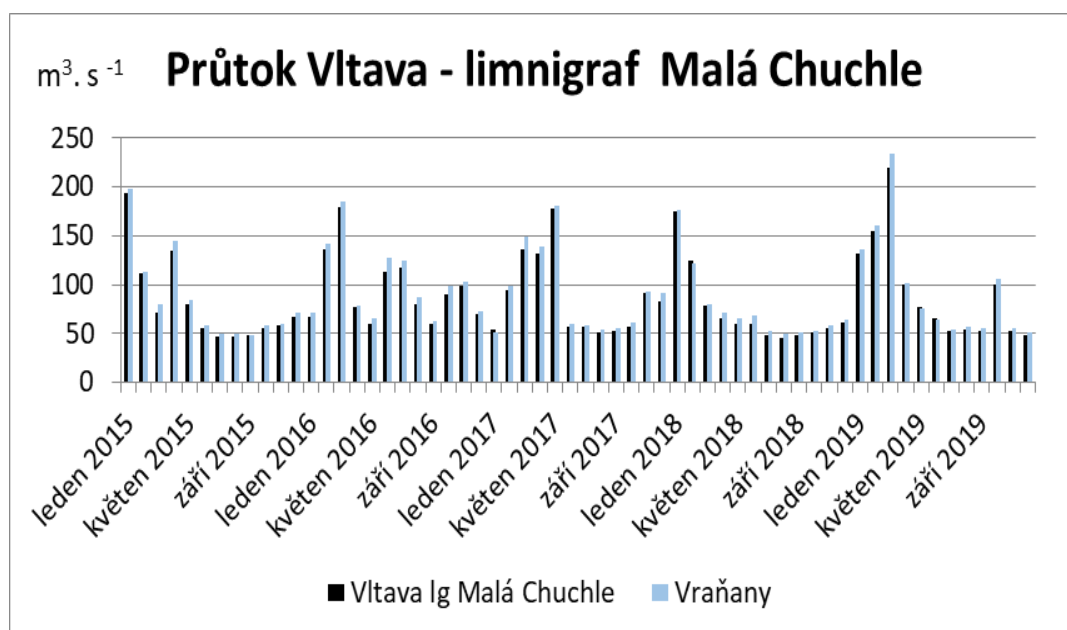
Obr. 17: Ukazatel chlorofyl, průměrné roční hodnoty za období 2015 – 2019



Obr. 18: Ukazatel chlorofyl, dosažená roční maxima za období 2015 – 2019

5.2 Průtoky

Měření průtoků ve Vltavě se provádí na celé řadě profilů. Pro účely této práce byla použita data z limnigrafické stanice Malá Chuchle, ř. km 54. Další limnigrafická stanice je ve Vraňanech, před soutokem s Labem. Pro zjednodušení výpočtů látkové bilance byla použita data limnigrafické stanice Malá Chuchle. Průtok se vyjadřuje v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 19: Průměrné měsíční průtoky na profilu Vltava M. Chuchle za období 2015 - 2019 (Zdroj Povodí Vltavy, s. p.)

Z **Obr. 19** je patrné, že po většinu sledovaného období (s výjimkou roku 2016 a jarních zvýšených průtoků) v Praze se průtok udržoval kolem $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Sledované pětileté období 2015 – 2019 je možno charakterizovat jako nadprůměrně teplé a srážkově podprůměrné. Průtoky s výjimkou jarních maxim způsobených vodou z tajícího sněhu, byly po teplou část roků až na výjimky podprůměrné. V letních měsících většiny těchto let bylo nutno, k udržení přijatelného stavu jakosti vody ve Vltavě v Praze, nadlepšovat průtok odpouštěním vody z Vltavské kaskády ve výši cca $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Když se k tomu připočte průtok Berounky, tak v letním období Prahou protékalo cca $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

5.3 Výpočet látkové bilance vybraných ukazatelů jakosti vody

Roční bilance: vstupní údaje rok 2019, profil Vltava Zelčín.

Bilanční analýza vybraných sledovaných látek dává obraz o množství látek, které projdou (protečou) určitým profilem za časové období (vteřina, den, rok). V případě znalosti koncentrace dané látky, velikosti průtoku je možné spočítat bilanci látek v daném profilu.

Pro ilustraci je níže v **Tab. 2** vypočtena látková bilance pro parametry: BSK₅, CHSK_{Cr}, celkový dusík a celkový fosfor za rok 2019. Uvedené hodnoty byly vypočteny vynásobením průměrné měsíční koncentrace (mg/l) průměrným průtokem m³.s⁻¹. Výsledkem je množství látky v tunách za rok.

Ukazatel	Koncentrace	Průtok	Koeficient přepočtu	t/rok
	mg . l ⁻¹ (g . m ⁻³)	m ³ . s ⁻¹		
BSK₅	2,2	92,45	31,536	6 414
CHSK Cr	20,1	92,45	31,536	58 600
N celkový	3,9	92,45	31,536	11 370
P celkový	0,120	92,45	31,536	350

Tab. 2: Látková bilance vybraných látek na profilu Vltava Zelčín v roce 2019

Interpretace výsledků

Z uvedených výsledků je patrné, že profilem Vltava Zelčín proteče ročně cca 350 t celkového fosforu (v závislosti na průtoku). Uvedené výsledky se používají - např. k úvahám o tom o kolik % je nutné snížit přísun fosforu, tak aby došlo ke zmenšení projevů eutrofizace. Látkové bilance se však hlavně využívají ve vyhodnocování látkových odtoků z čistíren odpadních vod. K dokreslení situace látkového zatížení fosforem je uveden údaj o VD Švihov na Želivce, kde se v posledních letech roční vnos fosforu pohybuje v závislosti na průtoku kolem 7 t celkového fosforu za rok (Forejt 2020, in verb.).

5.4 Výskyt reziduí farmaceutických látek na profilu Vltava Zelčín

Vodohospodářské laboratoře státního podniku Povodí Vltavy se již několik let (počátky se datují kolem roku 2014) zabývají stanovováním farmak a jejich rozkladných produktů v povrchových vodách, které má podnik ve své správě. Pomocí složité techniky kapalinové chromatografie s hmotnostní detekcí (LC-MS/MS) v současné době sledují řadu léčiv a jejich metabolitů v povrchové i odpadní vodě, přičemž každým rokem přibývají látky další.

Kromě zjišťování množství léčiv v povrchových vodách se v poslední době pozornost zaměřuje i na čistírny odpadních vod, kde se kromě výskytu těchto látek sleduje také schopnost čistíren tyto látky z vody odstraňovat.

V rámci pravidelného monitoringu jakosti vody prováděného laboratořemi státního podniku Povodí Vltavy se analýzy vzorků na přítomnost léčiv prováděly i na profilech Vltava Podolí, Vltava Zelčín (uzávěrový profil – poslední profil na území ČR). V roce 2019 se rovněž sledovalo množství léčiv ve vyčištěné vodě vypouštěné z ÚČOV Praha.

Z výsledků monitoringu laboratoří státního podniku Povodí Vltavy je zřejmé, že nejvyšší hodnoty koncentrací léčiv byly nalézány v odpadních vodách, popřípadě v povrchových vodách na malých tocích, do kterých jsou zaústěné městské odpadní vody, nebo odpadní vody z nemocnic a dalších zdravotnických zařízení. Nejvyšší koncentrace léčiv jsou tak stanovovány v tocích s menším objemem vody po zaústění odpadních vod např. ze středního či velkého města, ve kterém je zpravidla nemocnice nebo větší zdravotnické zařízení. Jestliže na čistírnách odpadních vod se nálezy některých léčiv ve vodě pohybují až v mikrogramových množstvích, v povrchové vodě jde o koncentrace zhruba o 3 řády nižší (výsledky se udávají v nanogramech na 1 l). Mezi nejvíce zatížené patří malé toky pod většími městy (typu Benešov, Pelhřimov, Příbram, Rakovník, Prachatice, RÚ Kladruby a další (Liška, 2015).

V Praze je ředění odpadních vod do průtoku Vltavy během roku minimálně desetinásobné nebo větší. Na ÚČOV Praha jsou ve vyčištěné vodě nalézány následující léčivé látky z jednotlivých skupin s uvedením hlavních zástupců:

- rengenkontrastní látky - *Iomeprol, Iohexol*

- umělá sladidla - *Sucralose*
- inhibitory kyseliny močové - metabolit *Allopurinolu* - *Oxypurinal*
- antiepileptika - *Gabapentin*
- antihypertensiva - *Telmisartan*
- léky pro léčení cukrovky - *Metformin*
- umělá sladidla - *Acesulfan*, *Cyclamate*
- látky ze skupiny betablokátorů (léky na vysoký krevní tlak) - *Metoprolol*
- léky proti bolesti - *Diclofenac*, *Ibuprofen-2-hydroxy* (metabolit *Ibuprofenu*)
- diuretika - *Furosemide*, *Hydrochlorthiazide*
- a řada dalších.

Všechny tyto látky se nacházejí v koncentracích od jednotek do tisíců nanogramů (10^{-9} g) na 1 l vody.

Pro představu je uveden celý soubor léčiv a jejich metabolitů, které byly nalezeny ve vltavské vodě na profilu Vltava Zelčín v měřitelných nanogramových koncentracích v roce 2019. Údaje pocházejí z 12 měsíčních sledování.

Byly nalezeny následující látky:

Oxypurinol, Iomeprol, Iopromide, Sucralose, Metformin, Telmisartan, Acesulfam, Gabapentin, Paraxanthine, Iohexol, Furosemide, Caffein, Valsartan acid, Ibuprofen, Saccharin, Hydrochlorothiazide, Lamotrigine, Ibuprofen-2-hydroxy, Tramadol, Diclofenac, Metoprolol, Sulfamethoxazol, Karbamazepin, Ibuprofen-carboxy, Clarithromycin, Diclofenac-4-hydroxy, Cotinine, Venlafaxine, Fexofenadine, Valsartan, Irbesartan, Propyphenazone, Primidone, Peniciline G, Sulfapyridin, Fluconazole, Celiprolol, Trimetoprim Paracetamol Sertraline Triclocarban, Acebutolol, Azithromycin, Simvastatin, Fluoxetine, Sotalol Bisoprolol, Clindamycin, Diltiazem. (Zdroj: Databáze údajů o jakosti vody, Povodí Vltavy, státní podnik 2019).

Z výše uvedeného vyplývá, že výskyt farmak v povrchových vodách je problém, který však není v současné době v řešení. V blízké budoucnosti je však třeba tuto situaci řešit a vstup farmak do povrchových vod co nejvíce omezovat. Cesty k tomuto cíli mohou být různé, počínaje omezením spotřeby léků, likvidace odpadních vod přímo u jejich zdroje (nemocnice, rehabilitační ústavy), přes zavedení

technologií umožňující čistírnám odpadních vod odstraňovat tyto látky přímo z odpadní vody (čištění pomocí aktivního uhlí).

Jedno je však v této chvíli jisté, že dosažení lepšího stavu, než je dosud, nebude ani snadné ani rychlé, určitě to však bude materiálně i finančně velmi náročné.

6 DISKUSE

Práce se zabývá kvalitou vody na podélném profilu dolního toku Vltavy a zejména vlivem hlavního města na jakost vody jako velmi významného bodového zdroje. Pro hodnocení kvality vody i dopadu hlavního města na kvalitu vody byly vybrány zejména parametry podmiňující eutrofizaci – formy fosforu a dusíku, organické zatížení – BSK_5 , $CHSK_{Cr}$ a organický uhlík (TOC) a některé speciální látky např. léčiva. Dominantním zdrojem znečištění dolního toku Vltavy je pražská aglomerace, znečištění ze zdrojů jiných, než výtok z ÚČOV Praha se za nízkých průtokových podmínek projevuje buď jen velmi omezeně (nízké průtoky přítoků ústících do pražské části Vltavy), oddělovače kanalizace (nefunkční), a nebo specificky podle typu látky.

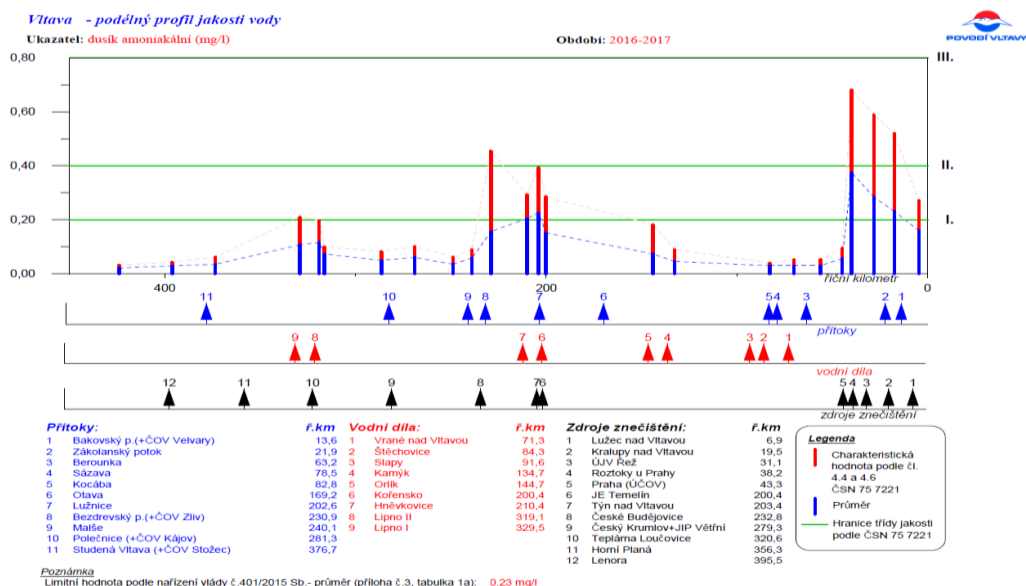
Použitá data, roční průměrné hodnoty vybraných ukazatelů, v některých případech maximální roční hodnoty, se pro hodnocení vybraných parametrů v některých případech ukazují, jako příliš hrubá. Případné výkyvy průměrných ročních hodnot jednotlivých parametrů nelze bez znalosti ročního průběhu podrobněji identifikovat.

Z pohledu ovlivnění jakosti toku Vltavy v jejím dolním úseku jsou pro hodnocení stěžejní parametry: celkový fosfor, amoniakální dusík, koncentrace chlorofylu-a a termotolerantní bakterie. Jak je již popsáno výše v textu z tohoto pohledu přítok Berounky představuje určitý eutrofizační vliv, jedná se zejména o dotaci fosforu a přínos inokula řas a sinic. Vzhledem k nízkým průtokům však tento vliv na vltavskou vodu není významný.

Zásadní vliv na jakost vody ve Vltavě však mají vyčištěné odpadní vody z Ústřední čistírny odpadních vod v Praze Bubenči. Po zaústění těchto odpadních vod se významně zvýší koncentrace amoniakálního dusíku a celkového fosforu ve vltavské vodě. Důsledkem vstupu těchto, eutrofizaci podporujících živin, je zvýšení letních maximálních koncentrací chlorofylu-a ve vltavské vodě pod Prahou, jako indikátoru růstu řas a sinic. Růst řas a sinic je přirozeným eutrofizačním důsledkem zvýšených koncentrací amoniaku a fosforu a postupného zastavování a prohřívání vltavské vody v jezových zdržích Libčice, Klecany a Vraňany.

Dusík se ve vodě vyskytuje zejména ve formě dusičnanů, dusitanů a amoniakálního dusíku, přičemž poměr mezi těmito formami závisí na přítomnosti kyslíku. Platí, že při nedostatku kyslíku se dusičnany redukují na dusitany a amoniak, za přítomnosti

kyslíku probíhá reakce opačně (Hejzlar, 2010). Zdrojem dusíku pro povrchové vody jsou hlavně plošné zdroje (zemědělská půda) a tzv. bodové zdroje (komunální a průmyslové ČOV a volné kanalizační výusti). Obecně lze říci, že během druhé poloviny minulého století došlo k nárůstu koncentrací dusičnanů v povrchových vodách, přičemž hlavním důvodem byla především aplikace dusičnanových hnojiv na zemědělskou půdu. Zemědělská půda je také hlavním zdrojem dusičnanů, naopak bodové zdroje odpadních vod produkují spíše dusík ve formě amoniakálního dusíku. Množství amoniakálního dusíku narůstá především pod městskými sídly, během postupu tokem se však transformuje na dusičnany. Vliv Prahy je tedy vidět především na ukazateli amoniakální dusík. Na **Obr. 20** je znázorněno kolísání amoniakálního dusíku na celém podélném profilu Vltavy. Z grafu je patrný nárůst průměrných ročních koncentrací amoniakálního dusíku pod velkými městy (Český Krumlov, České Budějovice), významný je rovněž přínos řeky Lužnice. Průchodem Vltavskou kaskádou se většina amoniakálního dusíku transformuje na dusičnanový dusík. Na dolním konci Vltavy se pak díky vyčištěným odpadním vodám z Prahy koncentrace amoniakálního dusíku opět zvyšuje. Po rekonstrukci ÚČOV Praha jsou však stávající koncentrace amoniakálního dusíku zhruba poloviční oproti předchozím letům a s výjimkou let 2017 - 2018 již nepřesahují hodnotu $0,2 \text{ mg.l}^{-1}$.

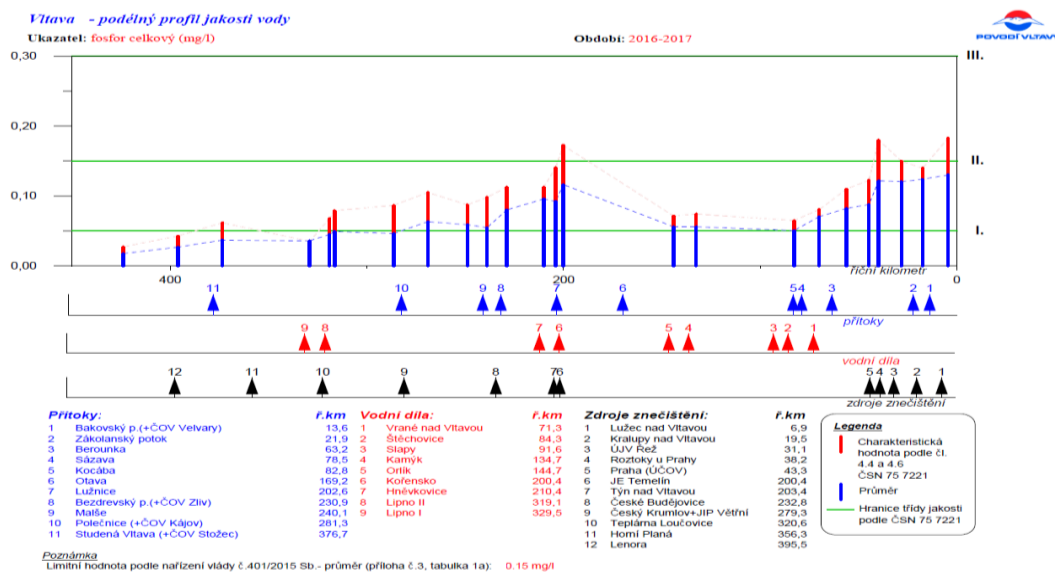


Obr. 20: Koncentrace amoniakálního dusíku v mg.l^{-1} na podélném profilu Vltavy s vyznačením přítoků a zahrnutím zdrojů znečištění za období 2016 - 2017 (Zdroj: Povodí Vltavy, s.p.)

Dusičnanový dusík směrem k soutoku s Labem stoupá pouze mírně. Průměrné roční množství dusičnanů závisí především na vodnosti jarních měsíců, ve kterých dochází k nejvyššímu vyplavování. Během vegetace se vyplavování podstatně snižuje, někdy až zastavuje. Ukazatel celkový dusík tento trend kopíruje, protože dusičnanový dusík představuje v běžných podmínkách toku až 90 % celkového dusíku.

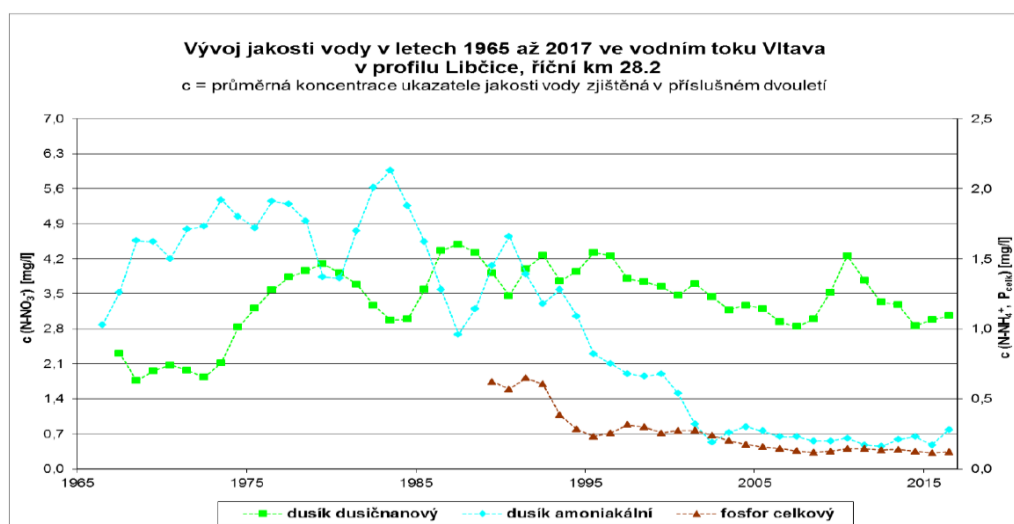
Fosfor se v povrchových vodách analyzuje zpravidla ve formě fosforečnanového fosforu ($P\text{-PO}_4$) a celkového fosforu ($P_{\text{celk.}}$). Hlavním zdrojem rozpuštěného – fosforečnanového fosforu jsou zejména komunální odpadní vody a některé typy průmyslových odpadních vod. Fosforečnanový fosfor se částečně mění na celkový fosfor postupným zabudováváním do fotosynteticky aktivních organismů (řasy a sinice) a dále absorpcí na aktivní organické či anorganické povrchy (Hejzlar, 2010). Fosfor je velmi rizikovým prvkem ve vodních ekosystémech, protože je hlavním spouštěčem a „motorem“ eutrofizace (Pitter, 2015). Níže uvedený **Obr. 21** ilustruje změny koncentrací celkového fosforu na celém podélném profilu řeky Vltavy, zejména po zaústění odpadních vod z města České Budějovice a po vstupu Lužnice do Vltavy. Následuje Vltavská kaskáda (Orlík, Kamýk, Slapy, Štěchovice), kde dojde k sedimentaci fosforu vázaného na částicích a metabolizaci většiny fosforu do fytoplanktonu a jeho postupného úbytku v hlubokých částech těchto nádrží.

Z Vltavské kaskády vytéká voda již o fosfor značně ochuzená. Avšak již po soutoku se Sázavou a Berouňkou se koncentrace celkového fosforu ve vltavské vodě opět zvýší a k výraznému vzestupu koncentrací celkového fosforu pak dochází po zaústění vyčištěných odpadních vod z ÚČOV Praha. Fosfor do vltavské vody přidávají i další přítoky dále po směru toku, jedná se zejména o Botič, Zákolanský a Bakovský potok a o další dotaci fosforu z vyčištěných odpadních vod ze sídel pod Prahou (Roztoky, Kralupy, Kladno). Z dat, které byly k dispozici, jsou patrné nízké roční průměrné hodnoty celkového fosforu zjištěné na výtoku z VD Vrané. Výrazné vyšší koncentrace celkového fosforu přináší Berouňka (i když z pohledu bilance není tento nárůst příliš významný vzhledem k nízkým průtokům po většinu roku). Mírné zvýšení se projevuje již na profilech Vltava Podolí a Vltava Troja. Pod Prahou na profilu Vltava Libčice a Vltava Zelčín koncentrace celkového fosforu skokově narůstají. Jde o doznívající vliv pražské aglomerace.



Obr. 21: Koncentrace celkového fosforu na podélném profilu Vltavy v mg.l^{-1} s vyznačením přítoků a se zahrnutím zdrojů znečištění za období 2016 - 2017 (Zdroj: Povodí Vltavy, s. p.).

Dlouhodobě se však situace, zejména s fosforem postupně zlepšuje. Postupným zaváděním technologií odstraňování fosforu na čistírnách odpadních vod došlo za posledních 40 let k významnému poklesu koncentrací fosforu v povrchových vodách. Z hlediska cílových hodnot pro zajištění dobrého ekologického stavu našich toků to však zatím nestačí, vstupy fosforu do povrchových vod je třeba, všemi dostupnými prostředky, dále snižovat. Na profilu Vltava Libčice (Obr. 22), jako na významném profilu sledování jakosti vod jsou ilustrovány trendy za posledních cca 50 let.



Obr. 22: Historická data ilustrující trendy v režimu dusíku a fosforu (průměrné roční koncentrace v mg.l^{-1} , Zdroj: Povodí Vltavy s.p.).

Pokud se týče oživení Vltavy v úseku toku pod Prahou fytoplanktonem, tak prakticky ve všech publikacích se uvádí, že jde o silně eutrofizovaný úsek toku, kde v letním období dochází k masivnímu rozvoji zelených řas a zejména v místech jezových zdrží, kde dochází ke snížení rychlosti proudění a prohřívání vody. Maximální koncentrace chlorofylu-a dosahují a často i násobně překračují hodnoty 100 mikrogramů na 1 litr. V letním období jsou ve vodě přítomné sinice.

Pozornost si zasluhuje též nárůst koncentrace termotolerantních bakterií (**Obr. 16**) již na profilu Troja, před zaústěním odpadních vod z ÚČOV Praha. Je to velmi pravděpodobně důsledkem zaústění drobných vodotečí (Kunratický potok, Botič, Motolský potok a některé další) obsahující nedostatečně čištěné odpadní vody, dále vlivem zaústění odlehčení dešťové případně neoddělené kanalizace a pravděpodobně i provozem turistické lodní dopravy v centru Prahy spojené s nakládáním s odpadními vodami, jak uvádí také Fuksa (2018).

7 ZÁVĚR

V předkládané práci je základním způsobem zhodnocena kvalita vody na podélném profilu řeky Vltavy v úseku Vrané nad Vltavou – Zelčín. Z výsledků laboratorních analýz (poskytnutých státním podnikem Povodí Vltavy) jednoznačně vyplývá vliv hlavního města Prahy na kvalitu vody ve Vltavě, projevující se zejména nárůstem koncentrace celkového fosforu a zvýšením koncentrace amoniakálního dusíku a množství termotolerantních koliformních bakterií pod zaústěním vyčištěných odpadních vod z ÚČOV Praha. Z vyhodnocení výsledků dlouhodobých měření je zřejmý pokles koncentrací amoniakálního dusíku a celkového fosforu v průběhu období minulých 25 let. Během vypracování této práce bylo autorce umožněno seznámit se s organizací monitoringu jakosti vody v laboratořích státního podniku Povodí Vltavy, zúčastnit se provádění některých laboratorních stanovení a odběru vzorků v terénu.

V samostatné kapitole byl popsán systém technologie čištění odpadních vod v Praze, s důrazem na historii a funkci Ústřední čistírny odpadních vod v Praze. Autorka byla prakticky seznámena s provozem Nové vodní linky ÚČOV Praha.

V rámci vyhodnocení výsledků byl proveden orientační výpočet ročního odnosu vybraných látek (BSK_5 , $CHSK_{Cr}$, celkový dusík, celkový fosfor) Vltavou v uzávěrovém profilu Vltava Zelčín. Za kalendářní rok 2019 tímto profilem proteklo: 6 414 t BSK_5 , 58 600 t $CHSK_{Cr}$, 11 370 t celkového dusíku, z toho cca 300 t amoniakálního dusíku a 350 t celkového fosforu.

Práce se okrajově zabývá výskytem moderních mikrokontaminantů, zejména léčiv. Z naměřených výsledků byl zpracován souhrn účinných látek včetně metabolitů, které se v měřitelných koncentracích vyskytovaly na profilu Vltava Zelčín v roce 2019. Na profilu Vltava Zelčín se v současné době měří cca 50 látek z oblasti farmak a jejich rozkladných produktů.

8 PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

8.1 Seznam literatury

BINDZAR J., 2009: Základy úpravy a čištění vod. VŠCHT, Praha: 251 s.

CAREY R. O. a MIGLIACCIO K. W., 2009: Contribution of Wastewater Treatment Plant Effluents to Nutrient Dynamics in Aquatic Systems: A Review. *Environmental Management* [online]. 2009, 44(2), 205-217 [cit. 2020-02-28]. DOI: 10.1007/s00267-009-9309-5. ISSN 0364-152X. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00267-009-9309-5>

CARPNETER S.R., CARACO N.F., CORRELL D.L., HOWARTH R.W., SHARPLEY A.N, SMITH V.H, 1998: Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications* 8(3)b: s. 559–568.

CÍLEK V., JUST T., SŮVOVÁ Z., a kol., 2017: Voda a krajina: kniha o životě s vodou a návratu k přirozené krajině. Praha: Dokořán, 2017. ISBN isbn978-80-7363-837-5.

CORRELL D. L., 1998: The Role of Phosphorus in the Eutrophication of Receiving Waters: A Review, Published in *J. Environ. Qual.* 27: 261 - 266.

DOHÁNYOS M., KOLLER J., STRNADOVÁ N., 1998: Čištění odpadních vod. 2. vyd. Praha: VŠCHT, ISBN 978-80-7080-316-5.

DOUŠOVÁ B., BŮZEK F., 2016: Chemie životního prostředí: úvod do chemie atmosféry, hydrosféry a geosféry. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, ISBN 978-807080-979-2.

FUKSA J.K., 2018: Vltava v Praze – vliv města na řeku a řeky na město. Sborník prezentací. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, Praha, ISBN 978-80-87402-67-2

HAGGARD B. E., 2010: Phosphorus Concentrations, Loads, and Sources within the Illinois River Drainage Area, Northwest Arkansas, 1997-2008. *Journal of Environmental Quality* [online]. 2010, 39(6), 2113-2120 [cit. 2020-02-28]. DOI: 10.2134/jeq2010.0049. ISSN 00472425. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.2134/jeq2010.0049>

HARTMAN P., PŘIKRYL J., ŠTĚDRONSKÝ E., 2005: Hydrobiologie. 3., přeprac. vyd. Praha: Informatorium, 2005. ISBN 80-7333-046-6.

HORÁKOVÁ M., a kol., 2003: Analytika vody. Vyd. 2., opr. a rozš. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2003. ISBN 978-80-7080-520-6.

HEJZLAR J., 2010: Metodika bilanční analýzy zdrojů živin v povodí, Biologické centrum AV ČR, v.v.i – Hydrobiologický ústav, České Budějovice (2010).

HYDROPROJEKT, 1994: Ekologická studie Vltavy, 1. díl, 84 s. "nepublikováno".
Dep.: Povodí Vltavy, státní podnik

ITICESCU C., GEORGESCU L. P., TOPA C. M., 2013: Assessing the Danube water quality index in the city of Galati, Romania, p. 155 - 164.

JARVIE H. P., NEAL C., WITHERS P. J. A., 2006: Sewage-effluent phosphorus: A greater risk to river eutrophication than agricultural phosphorus? *Science of The Total Environment* [online]. 2006, 360(1-3), 246-253 [cit. 2020-02-28]. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2005.08.038. ISSN 00489697. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969705006066>

JENÍČEK V. a FOLTÝN J., 2010: Globální problémy světa: v ekonomických souvislostech. V Praze: C. H. Beck, 2010. Beckovy ekonomické učebnice. ISBN 978-80-7400-326-4.

JUST T., FUCHS P. a PÍSAŘOVÁ M., 1999: Odpadní vody v malých obcích. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 1999. Výzkum pro praxi. ISBN 80-85900-31-9.

KOMÍNKOVÁ D., BENEŠOVÁ L., ŠŤASTNÁ G.: 2014: Úprava pitných a čištění odpadních vod. ČZU, Praha, 238 s.

KOTLÍK B., LANGHANS J., BERNÁTH P., KRAJÁK V., 2016: Vzorkování. Český Těšín: 2 Theta, 2016. ISBN 978-80-86380-81-0.

KVÍTEK T., 2018: Retence a jakost vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce: význam retence vody na zemědělském půdním fondu pro jakost vody a současně i průvodce vodním režimem krystalinika. Druhé, doplněné vydání. Praha: Povodí Vltavy, státní podnik, ISBN 978-80-270-5244-8.

LINHARTOVÁ I., ZBOŘIL A., 2006: Charakteristiky vodních toků a povodí ČR. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 2006. ISBN 80-85900-62-9.

LIŠKA M., SOUKUPOVÁ K., KOŽELUH M., TAJČ V., 2014: Organické mikrokontaminanty v povrchových vodách pocházející z plošných a bodových zdrojů, nejen v povodí vodárenských zdrojů. Sborník konference Pitná voda 2014. s. 57 – 70. W&ET Team, Č. Budějovice 2014. ISBN 978-80-905238-1-4.

LIŠKA M. a kol. 2015: Výskyt farmak v povrchových a odpadních vodách povodí Vltavy „ve světle“ konference Water and Health – Ženeva/Annemasse 2015. Povodí Vltavy, interní zpráva 2015.

LOUČKA T., 2014: Chemie životního prostředí. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2014. ISBN 978-80-7414-751-7.

Mezinárodní komise pro ochranu Labe, 2005: Labe a jeho povodí. Magdeburk: Internationale Kommission zum Schutz der Elbe/Mezinárodní komise pro ochranu Labe, 2005.

MŽP, 2016: Zpráva o životním prostředí České republiky 2016. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha

MILLIER H. K. G. R., HOODA P. S., 2011: Phosphorus species and fractionation – Why sewage derived phosphorus is a problem. *Journal of Environmental Management* [online]. 2011, 92(4), 1210-1214 [cit. 2020-03-12]. DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.12.012. ISSN 03014797. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479710004536>.

NÁBĚLKOVÁ J., NEKOVÁŘOVÁ J., 2010: *Chemie: chemie životního prostředí. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04534-3.*

OUATTARA N. K, GARCIA-ARMISEN T., ANZIL A., BRION N., SERVAIS P., 2014: Impact of Wastewater Release on the Faecal Contamination of a Small Urban River: The Zenne River in Brussels (Belgium). *Water, Air, & Soil Pollution* [online]. 2014, 225(8) [cit. 2020-03-12]. DOI: 10.1007/s11270-014-2043-5. ISSN 0049-6979. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11270-014-2043-5>

PALMER, P. M., WILSON L. R., O'KEEFE P., SHERIDAN R., KING T.,g CHEN Ch. Y., 2008: Sources of pharmaceutical pollution in the New York City Watershed. *Science of The Total Environment* [online]. 2008, 394(1), 90-102 [cit. 2020-02-28]. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.01.011. ISSN 00489697. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969708000132>

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

PYTL V., 2012: *Příručka provozovatele čistírny odpadních vod. 2. vyd. Líbeznice: Medim pro SOVAK ČR, c2012. ISBN 978-80-87140-26-0.*

SIEGEL M. S., 2017: *Budiž voda: izraelská inspirace pro svět ohrožený nedostatkem vody. 2. vydání. Praha: Aligier, ISBN 978-80-906420-3-4.*

SOJKA J., 2004: *Malé čistírny odpadních vod. 2. aktualiz. vyd. Brno: ERA, 2004. Stavíme. ISBN isbn80-86517-80-2.*

SOVAK, 2018: časopis oboru vodovodů a kanalizací. Jílové u Prahy: J. Fučíková. ISSN 1210-3039.

STRNADOVÁ N., JANDA V., 1999: Technologie vody I. 2., přeprac. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1999. ISBN 80-7080-348-7.

ŠŤASTNÝ V., 2018: Ovlivnění jakosti Vltavy stokovou sítí a vypouštěním z ÚČOV: Elektronický sborník VÚV T. G.M ., Praha 2018.

TERNES T. A., JOSS A., SIEGRIST H., 2004: Peer Reviewed: Scrutinizing Pharmaceuticals and Personal Care Products in Wastewater Treatment. Environmental Science & Technology [online]. 2004, 38(20), 392A-399A [cit. 2020-04-22]. DOI: 10.1021/es040639t. ISSN 0013-936X. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es040639t>

TUHÁČEK M., JELÍNKOVÁ J., 2015: Právo životního prostředí: praktický průvodce. Praha: Grada, 2015. Právo pro každého (Grada). ISBN 978-80-247-5464-2.

VEGER J., BAUDIŠOVÁ D., 1996: Bakterie z čeledi Enterobacteriaceae ve vodním prostředí. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, 1996. Výzkum pro praxi. ISBN 80-85900-11-4.

YIN L., WANG B., YUAN H., DENG S., HUANG J., WANG Y., YU G., 2017: Pay special attention to the transformation products of PPCPs in environment. Emerging Contaminants [online]. 2017, 3(2), 69-75 [cit. 2020-04-16]. DOI: 10.1016/j.emcon.2017.04.001. ISSN 24056650. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405665017300045>

LEGISLATIVNÍ PŘEDPISY

ČSN 75 7220 Jakost vod – Kontrola jakosti povrchových vod. Český normalizační institut, 1998, 8 s.

ČSN 75 7221 Kvalita vod – Klasifikace jakosti povrchových vod, Český normalizační institut, 1998, 8 s.

NV č. 401/2015 Sb.: Nařízení vlády 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, platném znění.

SMĚRNICE 2000/60/ES Evropského parlamentu a rady ze dne 23. října 2000, ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky (ve znění dodatků) 2000.

SMĚRNICE Rady **98/83/ES** ze dne 3. listopadu 1998. o jakosti vody určené k lidské spotřebě.

VYHLÁŠKA č. 98/2011 Sb.: Vyhláška o způsobu hodnocení stavu útvarů povrchových vod, způsobu hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých útvarů povrchových vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu povrchových vod.

VYHLÁŠKA č. 252/2004 Sb.: Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.

ZÁKON č. 254/2001 Sb.: Zákon o vodách a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů.

8.2 Seznam internetových zdrojů

<https://slideplayer.cz/slide/3656341/> [online]. [cit. 2020-02-29].

https://home.czu.cz/storage/65060_CVUT-Nauka-o-rostlinach-II-Fosfor.pdf [online]. [cit. 2020-02-29].

<https://konstrukce.cz/zajimavosti-z-oboru/celkova-prestavba-a-rozsireni-ucov-praha-na-cisarskem-ostrove-246> [online]. [cit. 2020-02-29].

<https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrske-stavby/nova-vodni-linka-ustredni-cistirny-odpadnich-vod-v-praze-dokoncena> [online]. [cit. 2020-02-29].

8.3 Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma eutrofizace (URL 1), URL 1: Schéma eutrofizace, Autor: Ing. Lenka Holišová, Volné dílo, dostupné z <https://slideplayer.cz/slide/3656341/>

Obr. 2 Koloběh fosforu v přírodě (URL 2), URL 2: Koloběh fosforu v přírodě, volné dílo, dostupné z https://home.czu.cz/storage/65060_CVUT-Nauka-o-rostlinach-II-Fosfor.pdf

Obr. 3 Přehledná mapa povodí Vltavy, zdroj VÚV T.G.M., v.v.i.

Obr. 4 Výběr kontrolních profilů na řece Vltavě

Obr. 5 Celkový pohled na Novou vodní linku ÚČOV Praha (URL 3), URL 3: Celkový pohled na Novou vodní linku ÚČOV Praha, publikováno: 21. listopad 2019, autoři: Ing. Ivo Köhler, Ing. Miroslav Kos, dostupné z <https://konstrukce.cz/zajimavosti-z-oboru/celkova-prestavba-a-rozsireni-ucov-praha-na-cisarskem-ostrove-246>

Obr. 6 Pračky písků v objektu hrubého předčištění (URL 4), URL 4: Pračky písků v objektu hrubého předčištění, publikováno: 21. listopad 2019, autoři: Ing. Ivo Köhler, Ing. Miroslav Kos, dostupné z <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrske-stavby/nova-vodni-linka-ustredni-cistirny-odpadnich-vod-v-praze-dokoncena>

Obr. 7 Dosazovací nádrže dostupné (URL 5), URL 5: Dosazovací nádrže, publikováno: 21. listopad 2019, autoři: Ing. Ivo Köhler, Ing. Miroslav Kos, dostupné z <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrske-stavby/nova-vodni-linka-ustredni-cistirny-odpadnich-vod-v-praze-dokoncena>

Obr. 8 Nasycení vody kyslíkem v %, období 2015 - 2019 na podélném profilu Vltavy

Obr. 9 Ukazatel BSK₅, průměrné roční hodnoty za období 2015 - 2019

Obr. 10 Ukazatel CHSK_{Cr}, průměrné roční hodnoty za období 2015 – 2019

Obr. 11 Ukazatel TOC, průměrné roční hodnoty za období 2015 - 2019

Obr. 12 Ukazatel dusík celkový, průměrné roční hodnoty za období 2015 - 2019

Obr. 13 Ukazatel dusík amoniakální, průměrné roční hodnoty za období 2015-2019

Obr. 14 Ukazatel dusík dusičnanový, průměrné roční hodnoty za období 2015 -2019

Obr. 15 Ukazatel fosfor celkový, roční průměrné hodnoty za období 2015 - 2019

Obr. 16 Ukazatel termotolerantní koliformní bakterie, průměrné roční hodnoty za období 2015 - 2019

Obr. 17 Ukazatel chlorofyl, průměrné roční hodnoty za období 2015 - 2019

Obr. 18 Ukazatel chlorofyl, dosažená roční maxima za období 2015 - 2019

Obr. 19 Průměrné měsíční průtoky na profilu Vltava M. Chuchle za období 2015 - 2019 (zdroj Povodí Vltavy, s.p.)

Obr. 20 Koncentrace amoniakálního dusíku v mg.l⁻¹ na podélném profilu Vltavy s vyznačením přítoků a zahrnutím zdrojů znečištění za období 2016 - 2017 (Zdroj Povodí Vltavy, s.p.)

Obr. 21 Koncentrace celkového fosforu na podélném profilu Vltavy v mg.l⁻¹ s vyznačením přítoků a zahrnutím zdrojů znečištění za období 2016 - 2017 (Zdroj Povodí Vltavy, s.p.)

Obr. 22 Historická data ilustrující trendy v režimu dusíku a fosforu, průměrné roční koncentrace v mg.l⁻¹ (Zdroj Povodí Vltavy, s.p.)

8.4 Seznam tabulek

Tab. 1 Průměrné roční koncentrace vyčištěné odpadní vody z ÚČOV Praha v roce 2019

Tab. 2 Látková bilance vybraných látek na profilu Vltava Zelčín v roce 2019

8.5 Zdroje použitých dat

Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3478/8, 150 00 Praha 5 – Smíchov