

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

Katedra ekologie a životního prostředí



Změny chemismu řeky Moravy
při stavební realizaci protipovodňových opatření

Change of chemistry of the Morava River
during the construction of flood protection measures

Bakalářská práce

předložená

na Katedře ekologie a životního prostředí

Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků

na získání titulu Bc. v oboru

Ekologie a ochrana životního prostředí

Vedoucí práce: RNDr. Petr Hekera, Ph.D.

Olomouc 2021

Valérie Hanušová

Hanušová V. 2021. Změny chemismu řeky Moravy při stavební realizaci protipovodňových opatření. Bakalářská práce, Katedra ekologie a životního prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci.

Abstrakt:

Zásadním faktorem ovlivňujícím kvalitu tekoucí vody je přítomnost znečišťujících látek a jejich původci. Tato bakalářská práce obsahuje analýzu a hodnocení jakosti vody odebírané na vybraných lokalitách během stavby protipovodňových opatření na řece Moravě v Olomouci. Vzorky vody odebrané v měsíčních intervalech v období od února 2020 do ledna 2021 byly podrobeny měření koncentrace vybraných chemických a fyzikálně-chemických parametrů (amoniak, dusičnany, fosforečnany, teplota vody, konduktivita, pH). Na základě vyhodnocení získaných informací je diskutován vliv výstavby protipovodňových opatření na kvalitu vody.

Klíčová slova:

tekoucí voda, povodí, živiny, kvalita vody, antropogenní činnost

Hanušová V. 2021. Change of chemistry of the Morava River during the construction of flood protection measures. Bachelor thesis, Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacky University in Olomouc.

Abstract:

Fundamental factor influencing the quality of running water is occurrence of pollutants and their sources. This bachelor thesis contains an analysis and evaluation of the quality of water taken at selected checkpoints during the construction of flood control measures on the Morava river in Olomouc. Water samples taken at monthly intervals in the period from February 2020 to January 2021 were subsequently subjected to measurements of the chemical and physico-chemical parameters (ammonia, nitrates, phosphates, water temperature, conductivity, pH). Based on the evaluation of the obtained information, the impact of the construction of flood protection measures on the quality of water and possible sources of its pollution is discussed.

Keywords:

running water, basin, nutrients, water quality, anthropogenic activity

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Petra Hekery, Ph.D. a jen s použitím citovaných literárních pramenů.

V Olomouci dne 2. srpna 2021

.....

Valérie Hanušová

Obsah

Seznam obrázků	vii
Seznam tabulek	vii
Seznam příloh	viii
Seznam použitých zkratk	viii
Poděkování.....	ix
1 Úvod.....	1
1.1 Úpravy vodních toků.....	4
1.2 Revitalizace vodních toků.....	4
1.3 Stavební úpravy toku	5
1.4 Cíle práce	10
2 Teoretická část	11
2.1 Základní fyzicko-geografická charakteristika.....	11
2.1.1 Pedologické poměry	11
2.1.2 Klimatické poměry	12
2.1.3 Hydrologické poměry.....	13
2.2 Vybrané fyzikálně-chemické vlastnosti	13
2.2.1 Konduktivita.....	13
2.2.2 Hodnota pH	14
2.2.3 Teplota.....	15
2.2.4 Zákal.....	16
2.3 Anorganické látky ve vodách.....	17
2.3.1 Fosfor	17
2.3.2 Dusík	18
2.3.3 Amoniakální dusík	19
2.3.4 Dusičnanový dusík.....	20
3 Praktická část	21
3.1 Popis vybraných míst k odběru vzorků.....	21
3.2 Odběr vzorků a jejich zpracování	22
3.3 Laboratorní stanovení vybraných parametrů	23
3.3.1 Stanovení fosforečnanů PO ₄ ³⁻	23
3.3.2 Stanovení amoniakálního dusíku N-NH ₄ ⁺	24
3.3.3 Stanovení dusičnanového dusíku N-NO ₃ ⁻	24
3.3.4 Stanovení pH.....	25
3.3.5 Stanovení zákalu	25
5 Diskuze	31
6 Závěr	34
7 Přílohy.....	40

Seznam obrázků

Obr. 1 - Hydrogram průtokové vlny a její prvky, převzato od Brázdil, 2005.	2
Obr. 2 - Přehled zjištěného rozsahu záplav za hranicí rozlivu Q100 (pmo.cz)	3
Obr. 3 - Záplavy Černovír (olomoucky.denik.cz).....	6
Obr. 4 - Přírodě blízké úpravy koryta řeky (mapy.cz/fotografie, autor: Dejvarosa)	7
Obr. 5 - Přírodě blízké protipovodňové opatření (mapy.cz/fotografie, autor: Viky Ziskova)...	7
Obr. 6 - Pohled na kamenné nábřeží mezi mosty Komenského a Masarykova před provedením PPO (olomouc.eu).....	8
Obr. 7 - Pohled na nábřeží mezi mosty Komenského a Masarykova po realizaci PPO (olomouc.eu).....	8
Obr. 8 - Přehled etap PPO (protipovodnovaopatreni.olomouc.eu).....	9
Obr. 9 - Klimatické poměry	12
Obr. 10 - Vybraná místa k odběru vzorků	21
Obr. 11 - Koncentrace amoniakálního dusíku	26
Obr. 12 - Koncentrace dusičnanového dusíku	27
Obr. 13 - Koncentrace fosforečnanů.....	27
Obr. 14 - Hodnoty pH.....	28
Obr. 15 - Hodnoty zákalu.....	29
Obr. 16 - Teploty vody.....	29
Obr. 17 - Hodnoty konduktivity.....	30

Seznam tabulek

Tab. 1 - Průměrné koncentrace hodnot na daných lokalitách.....	30
Tab. 2 - Zařazení jednotlivých lokalit do tříd jakosti vody podle ČSN 75 7221	30

Seznam příloh

Příloha 1 - Tabulka výsledků analýz vybraných fyzikálně-chemických parametrů a ANOVA	40
Příloha 2 - Tabulka vybraných parametrů jakosti povrchových vod (ČSN 75 722)	41
Příloha 3 - Boxplot pro dusičnanový dusík.....	42
Příloha 4 - Boxplot pro fosforečnany.....	42
Příloha 5 - Boxplot pro amoniakální dusík.....	42
Příloha 6 - Boxplot pro konduktivitu	43
Příloha 7 - Boxplot pro teplotu	43
Příloha 8 - Boxplot pro pH.....	43
Příloha 9 - Boxplot pro zákal	44
Příloha 10 - Bourání nábřeží při mostě Komenského, červenec 2020 (archiv autorky).....	44
Příloha 11 - Pohled na pravý břeh z mostu Komenského, červenec 2020 (archiv autorky)....	45
Příloha 12 - Pohled na průběh bourání poloviny mostu na Masarykově třídě, červenec 2020 (archiv autorky).....	45
Příloha 13 - Průběh stavebních úprav, červenec 2020 (archiv autorky).....	46
Příloha 14 - Pohled z mostu Komenského, září 2020 (archiv autorky).....	46
Příloha 15 - Pohled na nábřeží z mostu Komenského, prosinec 2020 (archiv autorky).....	47
Příloha 16 - Bourání mostu na Masarykově třídě, duben 2020 (protipovodnovaopatreni.olomouc.eu).....	47
Příloha 17 - Materiál z bouraného mostu, duben 2020 (protipovodnovaopatreni.olomouc.eu)	48
Příloha 18 - Pohled z výšky na demolici mostu, duben 2020 (protipovodnovaopatreni.olomouc.eu).....	48

Seznam použitých zkratk

IS – inženýrské sítě

PPO – protipovodňová opatření Olomouc

Poděkování

Především chci poděkovat svému vedoucímu práce RNDr. Petru Hekerovi, Ph.D., za cenné rady, trpělivost, ochotu, jeho čas a předání potřebných informací k práci teoretické i praktické. Dále děkuji svému blízkému okolí, za veškerou podporu.

1 Úvod

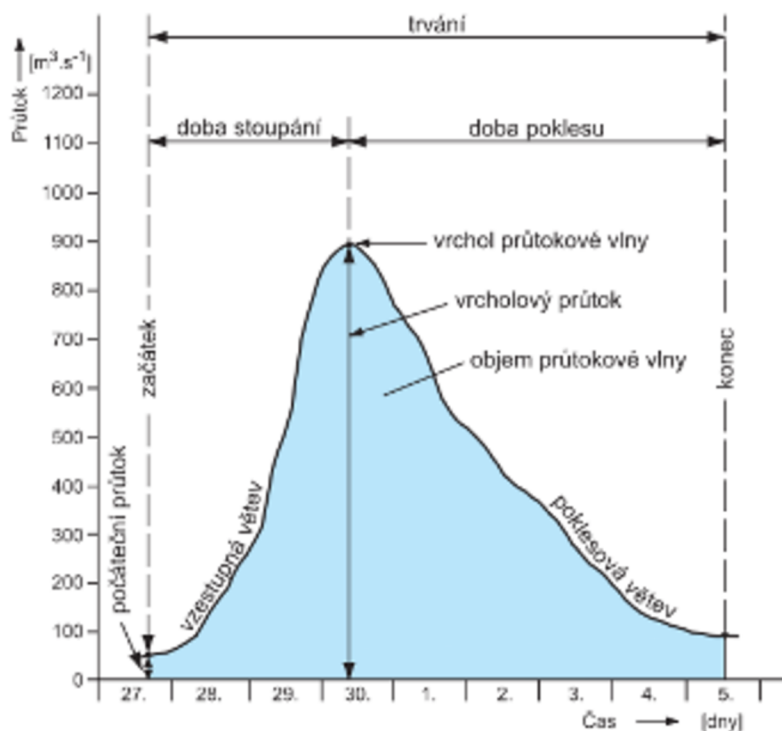
Řeky v krajině zastávají významnou roli, neboť se v nich projevují veškeré důsledky lidské činnosti. Pro skutečnou představu o změnách a dějích v říčním povodí z hlediska znečištění jsou velmi důležité studie prostorových a časových změn kvality vody. Znečištění, které se označuje jako bodové je spojeno převážně se zemědělskou, lesnickou a lidskou činností. Znečištění nebodové označuje živiny, pesticidy, těžké kovy a sedimenty jež jsou ze země transportovány atmosférickými, povrchovými a podzemními vodami. Dostupnost a koloběh živin v říčním prostředí je pro fungování daného ekosystému zásadní, proto analýza změn v kvalitě vody často odhaluje, jak velký dopad má probíhající činnost na daném říčním toce (Raburu, 2006).

Hodnocení různých vodních zdrojů je dnes prioritní zejména kvůli zvýšenému tlaku na všechny systémy životního prostředí. Vodní zdroje jsou jedny z nejcitlivějších systémů na tento tlak. V současné době, více než kdy předtím, jsou ohroženy rostoucí populací lidí, souvisejícím zvýšením zemědělské produkce a rozvojem průmyslu. Kvalita vody v řekách tedy přímo závisí na podmínkách celého povodí, neboť v šíři studovaných ukazatelů tvoří s půdou vzájemně se ovlivňující médium (Yurova & Shirokova, 2020).

V této bakalářské práci se budu snažit nalézt souvislosti mezi stavebními pracemi při protipovodňových úpravách a jakostí vody řeky Moravy. Pokusím se odpovědět na otázku, zda má stavba těchto opatření vliv na zvýšené hodnoty vybraných fyzikálně-chemických parametrů a je-li možné po pouhých 12 měsících vyvodit jednoznačné závěry.

V České republice patří povodně k hlavním přírodním extrémům. Bývají výsledkem komplexního působení meteorologických, antropogenních a fyzicko-geografických faktorů. Přestože se jich nelze zcela vyvarovat, je možné a nutné jim alespoň částečně předcházet. Jedna z posledních rozsáhlých povodní horní a střední části řeky Moravy – povodeň z roku 1997, nemá ve 20. století obdoby (ať už do délky trvání, velikosti kulminačního průtoku, rozsahu postiženého území, či ztrát na životech). Její závažnost vedla společnost k nutnému naplánování a později též k realizaci protipovodňových opatření.

Povodňová vlna je definována jako zvláštní případ průtokové vlny, kdy dochází k překročení průtočné kapacity koryta a voda se začne rozlévat do okolí přes břehové hrany a stává se potenciálně škodlivým živlem. Podle ČSN (1975, 1983) lze povodně charakterizovat jako „největší vrcholový průtok u průtokové vlny“ (Brázdil, 2005).



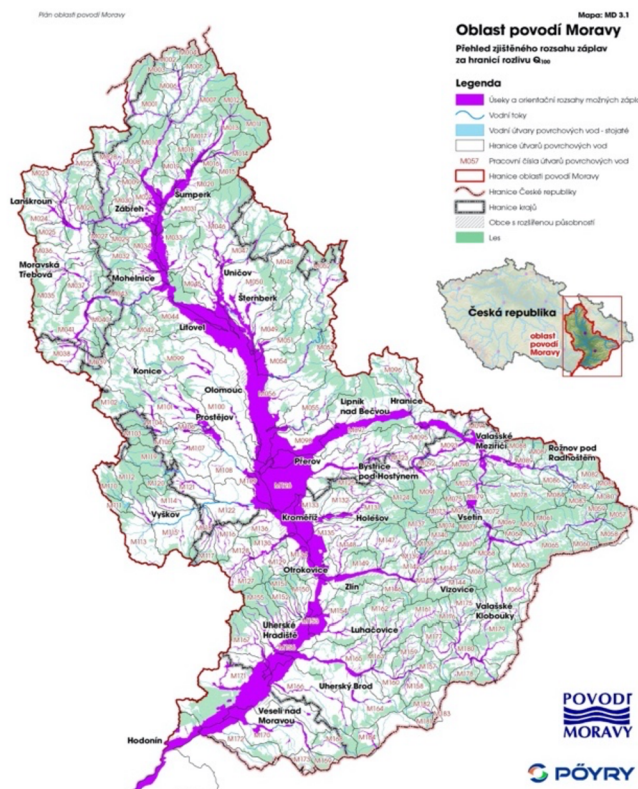
Obr. 1 - Hydrogram průtokové vlny a její prvky, převzato od Brázdil, 2005.

Matějčík a Hladný (1999) uvádějí jako rozhodující vlivy s ohledem na vznik a průběh povodní zejména intercepci, tj. zadržující schopnost vegetace na padající srážky dané druhem, hustotou porostu a vývojovým stadiem, který může prodloužit dobu vsakování na povrchu. Za druhé detenci, tedy naplňování depresí terénu srážkami. A za třetí infiltraci, tedy vsakování

vody do půdních vrstev a zvodní podzemních vod, které závisí na půdním typu, její mocnosti, množství humusu, pórovitosti atd. V neposlední řadě též na objemu říční sítě, tj. plnění koryt toků včetně množství vody v části břehové zóny a rozlivu v inundačním území podél toků.

Mnohé z přirozených faktorů daného toku, jako jeho šířka, hloubka, zakřivení, sklon či doprovodná vegetace, byly postupem času stále více pozměňovány činností člověka za účelem využívání vodního toku jakožto dopravní cesty, zdroje energie, pitné a užitkové vody a také vidinou eliminace povodní. V rámci regulací nebylo výjimkou napřimování toků, ani likvidace přirozených meandrů a budování vodních nádrží s vymezenými retenčními prostory. Dbalo se o hladký průtok inundačním územím a dobré odvádění povodňových průtoků, i tak ale mělo toto úsilí negativní důsledky z hlediska protipovodňové ochrany, jako např. zrychlené šíření povodňových vln přehradními nádržemi a regulovanými úseky toků (Brázdil, 2005).

„V našich podmínkách se vodní hospodářství teprve propracovává od jednostranně hydrotechnického pojmání protipovodňové ochrany (kapacitní koryta, ochranné hráze, nádrže, suché poldry) k pochopení velmi výhodného propojení revitalizačních a protipovodňových opatření“ (strednicechy.ochranaprirody.cz).



Obr. 2 - Přehled zjištěného rozsahu záplav za hranici rozlivu Q100 (pmo.cz)

1.1 Úpravy vodních toků

„Úpravou toků se rozumí především břehové stavby, které usměrňují tok, vytváří podélný profil, vhodný a dostatečně příčný profil koryta toku, zabezpečují břehy, případně i dno vhodným opevněním apod. Do úprav toků se zahrnují i příčné stavby jako jsou stupně, prahy, usměrňovací a soustředňovací stavby i ochranné hráze“ (Oppelová et al., 2012, s. 124).

Způsoby, kterými se upravují vodní toky můžeme obecněji rozdělit na dva druhy, a to pro pomalejší odtok vody z krajiny, nebo naopak rychlejší. Zpomalování je využíváno především na malých tocích, a to např. meandrováním, drobným přehrazováním toků pro vznik kaskád menších přehrad, nebo napravováním zastaralých zásahů do koryta vodního toku. Při úpravách koryta by měl být kladen důraz na zachování vegetačního porostu na březích a v údolních nivách, neboť snižuje odnos splavenin z povodí, zpomaluje průtok a dává šanci k usazování. Pro rychlejší průtok řek jsou jejich koryta rozšiřována, prohlubována a rovnána. Břehy bývají opevňovány, případně doplněny o drény a odvodňovací kanály (Konečný et al., 2013).

Podle studie Antropogenní modifikace a říční ekosystémové služby (Ekka et al., 2020) jsou malé toky rozšiřovány a narovnány především pro zemědělské účely. Velké řeky jsou upravovány za účelem ochrany před povodněmi a rozvojem lužních oblastí. Zvýšená rychlost proudění v narovnaných tocích ovlivňuje říční geomorfologii, energetické režimy a potenciál transportu sedimentů řek. Tím se stává upravený kanál nestabilním a dochází k erozím břehů. Současně se mění dynamika dostupnosti živin a rozpustnost látek. Nakonec dochází k ovlivnění celkové kvality vody a stability ekosystémů.

1.2 Revitalizace vodních toků

Pod pojmem revitalizace si můžeme představit především snahu o zmírnění a nápravu negativních důsledků na ekosystémy, obnovení ekologické funkce vodních toků ve snaze dosáhnout navrácení přírodě blízkému stavu. Revitalizace sama o sobě je během na dlouhou trať a často jí stojí v cestě překážky v podobě majetkových poměrů v povodí, zástavby a liniové stavby v blízkosti vodního toku, protipovodňová opatření na toku, forma využívání toku, finanční možnosti správy toku atp. (Konečný et al., 2013).

1.3 Stavební úpravy toku

„Jako nejproblematictější se jeví příčné stavby v říčním korytě. Ať se již jedná o spádové stupně, skluzy, prahy nebo jezy a přehrad – vykazují společný negativní prvek: jsou překážkou migrace organismů v toku. U jezů a přehrad se k tomuto fenoménu ještě přidává výrazné ovlivnění přirozeného chodu sedimentů v toku, ovlivnění (mnohdy zásadní) skladby rybí obsádky v toku aj.“ (Šlesinger, 2010, s. 65).

Zimová (2008) pro časopis *Urbanismus a územní rozvoj* uvádí, že město Olomouc reagovalo na povodeň v roce 1997 pořízením Technicko-ekonomické studie zvýšení kapacity koryta řeky Moravy. Společně s dalšími územně plánovacími podklady a změnou územního plánu, by měl tento komplex opatření město ochránit před většími povodněmi.

Změna územního plánu zakotvila koncepci protipovodňové ochrany spočívající v těchto opatřeních:

Severně a jižně od zastavěných částí města jsou zachovány prostory pro inundaci, takže nejsou negativně ovlivňována sídla dále po toku.

Vybřežené vody jsou nad městem koncentrovány pomocí ochranné hráze a směřovány do zkapacitněného koryta hlavního toku Moravy.

Město bude chráněno před průtokem $Q_{380}=650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Územně plánovací podklady:

Technicko-ekonomická studie zvýšení kapacity koryta řeky Moravy v Olomouci, prověřila možnost převedení průtoku $Q=650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ přes město.

Ekonomické posouzení návrhu protipovodňových opatření v Olomouci, porovnávalo variantu zkapacitnění koryta a bylo podkladem pro pozdější studii proveditelnosti.

Studie urbanistického a ekologického začlenění koryta řeky Moravy do organismu města Olomouc.

Studie ochrany stokové sítě.

Studie zkapacitnění koryta řeky Moravy v Olomouci, zpřírodnění příční zóny a zapojení řeky do struktury města.

Realizované části protipovodňové ochrany Olomouce se dělí do čtyř etap:

První etapa PPO spočívala ve výstavbě obtokového kanálu jezu u plynárny, který v daném úseku zvýší průtok na $650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Součástí stavby obtoku byl i dvoupólový most přes Moravu na ulici Wittgensteinova a další související investice (např. rozsáhlé přeložky inženýrských sítí, rekonstrukce navazující dopravní infrastruktury, výsadba zeleně nebo rybochod). Další dokončenou realizací protipovodňové ochrany bylo zvýšení levobřežní hráze v městské části Černovír, která je pravidelně sužována rozlivem vod do zástavby i při méně než dvacetileté vodě.



Obr. 3 - Zápavy Černovír (olomoucky.denik.cz)

Součástí II. etapy protipovodňové ochrany byly úpravy v jižní a střední části Olomouce v rozsahu cca 4 km. Vzhledem k rozdílnému charakteru a délce území byla II. etapa rozdělena do dvou částí.

Část II.A zahrnovala úpravy v jižní části města: od konce první etapy po železniční most na trati Olomouc – Nezamyslice na Nových Sadech v délce 1,437 km. Jednalo se o zvýšení kapacity koryta z $Q_{20}=384 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na $Q_{380}=650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v území s převládajícím přírodním charakterem.



Obr. 4 - Přírodě blízké úpravy koryta řeky (mapy.cz/fotografie, autor: Dejvarosa)



Obr. 5 - Přírodě blízké protipovodňové opatření (mapy.cz/fotografie, autor: Viky Ziskova)

Předmětem probíhající části II.B jsou úpravy v centrální části města: od nového mostu u Salzerovy reduty proti toku přes soutok s řekou Bystřicí, včetně kamenného nábřeží se zbytky barokního opevnění až k mostu na Komenského ulici. Úpravy nábřeží spočívají v přebudování obou mostů a posunu nábřežních zdí. Betonové zídky z osmdesátých let byly zhodnoceny jako nedostatečné pro protipovodňovou ochranu, a tak dojde i k jejich úpravě. Most na Komenského

ulici i most na Masarykově ul. je navržen bez horní konstrukce a s výrazně tenčí mostovkou pro zabránění zpětného vzduť směrem k Černovíru. Vlastní šířka "mokrého" koryta zůstane téměř nezměněna. Rozšířením nábrežních zdí vzniknou u vody nové bermy. Levobřežní část je navržena jako přírodní a na pravém břehu bude vybudován široký chodník, po kterém bude možné dojít od Bristolu k vysokoškolským kolejím těsně u vodní hladiny (olomouc.eu). Tato etapa je náročná nejen investičně, ale i projekčně, neboť se jedná o přestavbu cenného území města, které ovlivní jeho podobu na dlouhou dobu (protipovodňová opatření Olomouc, 2020).



Obr. 6 - Pohled na kamenné nábreží mezi mosty Komenského a Masarykova před provedením PPO (olomouc.eu)



Obr. 7 - Pohled na nábreží mezi mosty Komenského a Masarykova po realizaci PPO (olomouc.eu)

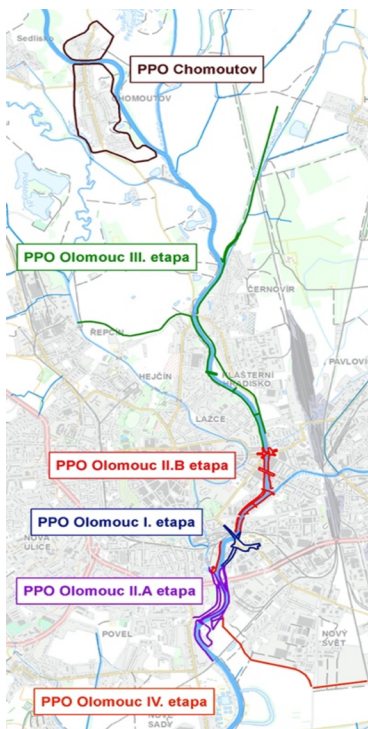
Řeka Morava v řešeném úseku protékala v opěrných zdech, stísněným prostorem poměrně konsolidované bytové zástavby. Zvýšení kapacity koryta bylo dosaženo maximálním posunutím líce nábrežních zdí ke stavební čáře obytné zástavby. Nábrežní komunikace a chodníky byly rekonstruovány, jejichž šířka je cca 6 m. Plány uvádí, že nábrežní zdi budou na obou stranách lemovány alejemi stříhaných stromů, v koruně nábrežních zdí budou vyhlídky zpestřující liniový vzhled nábreží, všechny opěrné zdi budou obloženy kamennými kvádry, v oblasti kolísání hladin bude obklad z mrazuvzdorného kamene. Nábreží by mělo mít vysokou estetickou hodnotu promenády. Na pravé bermě bude chodník pro pěší, na levé bermě pak cyklistická stezka. Posunutí nábrežních zdí vyvolá přeložku inženýrských sítí, Pomoravní kanalizační sběrače v tomto úseku však nebudou dotčeny. Plocha průtočného profilu pod mostem na Masarykově ulici se po rekonstrukci zvětšila o 50 %. V důsledku zvýšení mostovky bylo nutné upravit niveletu vozovky a tramvajových kolejí. Plocha průtočného profilu pod mostem na Komenského ulici se zvětší o 100 % a protože se úroveň vozovky na mostě zvyšuje, bude nutné upustit niveletu ulice Komenského s návazností na stávající úroveň ulice.

Na pravém břehu, na konci zástavby, se pravobřežní opěrná zeď zruší, koryto řeky Moravy se rozšíří a terén se sníží. Protože vzduť z řeky Moravy ovlivňuje průběh hladin v Bystřici, bude nutné zvýšit nábrežní zdi a břehovou hranu Bystřice parapetními zídkami až k železnici (olomouc.eu).

Třetí etapa zahrnuje dokončení hrázového systému v severní části města: od mostu na Komenského ul., po hranici inundace na sever od Olomouce, včetně vybudování koncentrační hráze a přečerpávací stanice při uzávěru Střední Moravy (Zimová, 2008).

Ve IV. etapě se stavební práce zaměří na dokončení PPO v úseku od ul. Šmeralova nad most Komenského. Ozelenění a náhradní výsadbu, dokončení propojení mostů Masarykova a Komenského v rámci souvisejících investic města (úpravy povrchů ulic Nábřeží a Blahoslavova, přeložky IS). S celkovým dokončením protipovodňových opatření v centru města se počítá v polovině roku 2022 (protipovodňová opatření Olomouc, 2020).

Primátor Miroslav Žbánek pro olomouc.eu uvedl, že výsledkem má být revitalizačně upravené koryto řeky, obnovená říční niva, a především vysoká míra ochrany před povodněmi pro zastavěné území. Jako bonus bude možnost rekreačního využití poříční zóny podél toku a několik nových vodních ploch. Výjimečnost celého projektu spočívá v propojení technických řešení s tím, co krajina v okolí řeky sama nabízí a dojde tak k žádoucímu zapojení přírodě blízkých opatření (olomouc.eu).



Obr. 8 - Přehled etap PPO
(protipovodnovaopatreni.olomouc.eu)

1.4 Cíle práce

Cílem bakalářské práce je zhodnocení vlivu stavby protipovodňových opatření na chemismus řeky Moravy.

1. Teoretické podklady pro vypracování:

- a. zpracování dostupné odborné literatury k tématu bakalářské práce
- b. informace poskytnuté veřejnými institucemi

2. Hodnocení kvality vody:

- a. odběry vzorků vody
- b. terénní a laboratorní stanovení vybraných fyzikálně-chemických ukazatelů vody
- c. zpracování získaných dat
- d. zařazení kvality vody do jakostních tříd na základě fyzikálně-chemických ukazatelů

2 Teoretická část

2.1 Základní fyzicko-geografická charakteristika

Vymezení zkoumaného území;

Geomorfologické členění;

Provincie: Západní Karpaty

Soustava: Vněkarpatská sníženina

Podsoustava: Západní Vněkarpatská sníženina

Celek: Hornomoravský úval

Katastrální město Olomouc se nachází na území střední Moravy a z pohledu geomorfologie je situováno v Hornomoravském úvale; tedy v příkopové propadlině, která je vyplněna kvartérními a neogenními sedimenty, přičemž osu sníženiny tvoří několik kilometrů široká niva (Demek et al., 2006). Řeka Morava úvalem protéká s průměrným spádem 68 cm.km^{-1} ve směru severozápad-jihovýchod (Bábek, 2020). Východní část úvalu je tvořena náplavovými kužely stékajícími z Jeseníků a západní nížinnými pahorkatinami.

V neogénu, vlivem vyznívání mořské sedimentace a tektonických posunů Západních Karpat na platformu Českého masivu, vznikaly nové pánve. Ukládaly se zde molasové sedimenty – mořské, brakické a sladkovodní jíly, písky, štěrky, místy i vápence, uhelené sedimenty a evapority. Samostatný genetický vývoj má pliocenní pánev Hornomoravského úvalu, ve které se ukládaly pouze kontinentální sedimenty (Kováč et al., 1993).

Kvartérní sedimenty jsou zachovány ve dvojí pozici: na svazích úvalu jako terasové stupně a jako výplně zaklesnutých depresí (Zeman et al., 1980).

2.1.1 Pedologické poměry

Mezi skalním dnem údolí a povrchem nivy se skrývá až 17 m říčních uloženin, ve kterých je zaznamenána historie řeky. Sedimenty se zde ukládaly v průběhu poslední doby ledové a současné době meziledové (Stehlík & Kadlec, 2012).

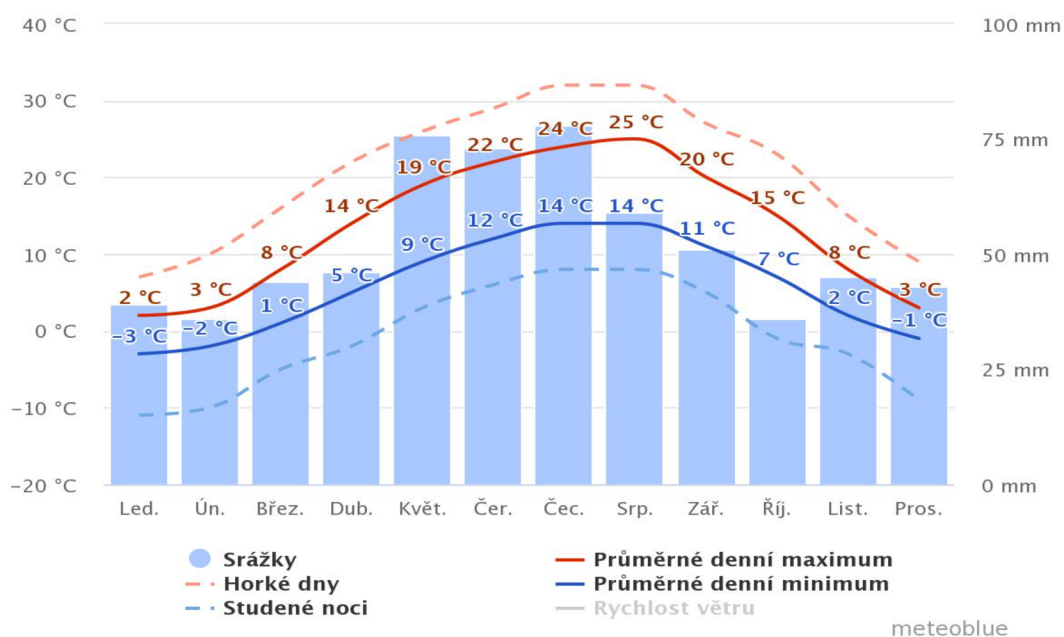
Na katastrálním území města Olomouc se nachází zejména těžké nivní půdy neboli fluvisoly. S největším zastoupením zde najdeme půdní typy jako antropozem, hnědozem,

černozem, fluvizem a kambizem. Okrajově například gleje, luvizem nebo šedozem (CENIA – typy půd, 2013).

2.1.2 Klimatické poměry

Zájmové území se řadí podle E. Quitta do makroklimatické regionalizace T2 – teplá. Pro tuto oblast je typická krátká, mírná zima s krátkým trváním sněhové pokrývky. Jaro a podzim bývají mírně teplé a krátké, zatímco léto je častěji dlouhé a suché. Průměrná roční teplota v Olomouci se pohybuje mezi 8,4 – 9,4 °C. Dlouhodobý roční srážkový úhrn činí 570,1 mm (mestскеklima.upol.cz). Malá část východního okraje města spadá do oblasti MT10 – mírně teplá oblast.

Rok 2020 nebyl výrazně horký, překvapil nezvykle studený květen. Teplotní průměr zvyšovala enormně teplá zima (Procházková et. al.,2021).



Obr. 9 - Klimatické poměry

„Průměrné denní maximum (plná červená čára) zobrazuje maximální teplotu průměrného dne v každém měsíci pro Olomouc. A naopak, průměrné denní minimum (plná modrá čára) zobrazuje průměrnou minimální teplotu. Horké dny a studené noci (přerušovaná červená a modrá čára) ukazují průměr nejteplejších dnů a nejchladnějších nocí v každém měsíci za posledních 30 let“ (meteoblue.com).

Rok 2020 byl za posledních 10 let nejbohatším na srážky, konkrétně v Česku napršelo 735 mm srážek. Došlo k doplnění zásob podpovrchových vod, ale vzhledem k neustále se zvyšujícím průměrným teplotám se stále více vody vypařuje. Nízké průtoky snižují ředící schopnost toku a spolu s vyšší teplotou významně ovlivňují samočistící procesy a další probíhající chemické procesy v toku. Projevem tohoto trendu může být snížení obsahu kyslíku. Na druhé straně vlivem prudkých srážek dochází k vypláchnutí nahromaděného znečištění v povodí a nárazovému zatížení množstvím znečištění, což následně způsobuje častější vznik havarijních situací v recipientu (Procházková et. al.,2021).

2.1.3 Hydrologické poměry

Řeka Morava pramení pod Kralickým Sněžníkem, ve výšce 1380 m n. m. Celková délka řeky na území České republiky činí 284,5 km a z toho cca 14 km protéká katastrálním územím města Olomouc. Do Moravy se v zájmovém území vlévá několik vodotečí. Levým přítokem v jezové zdrži nad teplárnou je Bystřice a pravým přítokem v jižní části města je Mlýnský potok. Průměrný průtok Moravy je vodoměrnou stanicí Olomouc – Nové sady uváděna hodnota $26,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (hydro.chmi.cz). Zmiňované území náleží k úmoří Černého moře a v místě, kde řeka Morava opouští hranice České republiky, se slévá s druhou nejvýznamnější řekou v celém povodí, s řekou Dyjí.

První měsíce roku 2020, s výjimkou února, byly hodnoceny jako odtokově výrazně podprůměrné. Celkově nejmenší průtoky byly sledovány v dubnu. Naopak červen a celá druhá polovina roku 2020 byla hodnocena jako odtokově nadprůměrná (Procházková et. al.,2021).

2.2 Vybrané fyzikálně-chemické vlastnosti

2.2.1 Konduktivita

Její hodnota uvádí obsah aniontů a kationtů rozpuštěných ve vodě, díky kterým se stává vodivou pro elektrický proud. Na základě výsledků se dá snadno a rychle odhadnout stupeň mineralizace vody a prokázat změny v koncentraci rozpuštěných látek. Konduktivita je podmíněna přítomností iontů, jejich nábojovým čísle, pohyblivostí a teplotě.

V rámci klasifikace jakosti povrchových vod patří konduktivita mezi základní chemické ukazatele. Její mezní hodnota je pro I. třídu jakosti menší než $400 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a pro V. třídu jakosti

větší než $1600 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Výkyvy teploty už o $1 \text{ }^\circ\text{C}$ mají za následek změnu výsledné hodnoty nejméně o 2 % (Pitter, 1999).

V hydrochemii se udává konduktivita v jednotkách $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$, většina konduktometrů udává vodivost v $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, kdy $1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1} = 0,1 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$.

Během roku se v závislosti na objemových a průtokových poměrech konduktivita mění. V případě déle trvajícího sucha, kdy se v tocích snižuje objem vody, konduktivita stoupá z důvodu vyšší koncentrace rozpuštěných iontů. To ale nemusí znamenat, že v případě většího přísunu srážek bude konduktivita nižší, neboť srážky s sebou mohou vnést splachy z okolí bohatého na různé látky. K zimnímu období se váže přítok posypové soli z rychlostních komunikací (Kopp, 2015). Dalším důvodem může být samotná antropogenní činnost na daném vodním toce či v jeho okolí. V případě řeky Moravy v Olomouci to byly úpravy pobřežní zóny, jež byly navrženy způsobem, který propojuje několik účelů: zkapacitnění koryta řeky, jejího zpřírodnění a zapojení řeky do struktury města (Čermák, 2001).

Zvýšené hodnoty konduktivity přisuzuje Xiao-long a kol. (2006) ve studii Identifikace antropogenních vlivů na kvalitu vody řek v povodí Taihu odpadním vodám z lidských obydlí a průmyslových oblastí, které do říčního systému přináší velké množství alkalických iontů, neboť jak bylo zmíněno výše, vodivost závisí převážně na koncentraci iontů v povrchových vodách.

2.2.2 Hodnota pH

Hodnota pH zásadně ovlivňuje většinu fyzikálně-chemických a biochemických procesů. Závisí na povaze ve vodě rozpuštěných látek, její teplotě a povaze vody jako takové. Hodnota pH se běžně měří u všech druhů vod a představuje klíčový prvek pro následná posuzování vlastností analyzované vody (Horáková et al., 2007).

Kyselost vody souvisí s nadbytkem vodíkových iontů H^+ a zásaditost s nadbytkem hydroxylových iontů OH^- . Na fyziologické procesy vodních organismů má hodnota pH značný vliv, neboť souvisí s rozpustností celé řady látek (solí železa, vápníku, fosforu), které významně ovlivňují úživnost vody. Nižší pH v jarním období je obvyklou sezonní variací. V době tání sněhu jsou průtoky vody zvýšené a tato voda je méně neutralizována, jelikož zdržení vody v půdách je krátké (Hruška, 1996).

O vlivech na pH se zmiňuje Eriksson (1977) ve své studii Chemie a kvalita vody. Zde jako příklad uvádí Skandinávii, která doplácí na vysoce industrializované území Evropy

a spalování fosilních paliv, s výsledným projevem ve formě kyselých dešťů spojených s klesajícím pH a drastickým vlivem na vodní společenstva.

Nízké pH bývá primárně ve vodách s nízkým obsahem vápníku, s výskytem huminových látek (rašeliniště), z okolí důlních vod sulfidických rud, těžby hnědého uhlí a u většiny minerálních vod. Zvýšené pH je nejčastěji způsobeno intenzivní fotosyntézou vodních rostlin, sinic a řas. Intenzivní fotosyntetická asimilace rostlin totiž vede k vyčerpání volného CO₂ ve vodě a k posunu rovnováhy uhličitanového systému k tvorbě iontu CO₃²⁻, což se projeví výrazným vzrůstem pH vody. Hodnota pH se liší i s různorodostí odpadních vod. Téměř každá zemědělská činnost má na povrchové vody alkalizující vliv (Hruška, 1996).

Xiao-long et. al. (2006) ve svých výsledcích prezentují, že řeky významně ovlivněné odpadními vodami z průmyslu a domácností mají nejnižší hodnoty pH a rozpuštěného kyslíku. To ilustruje vážnou negativní zpětnou vazbu znečištění v těchto řekách převážně tím, že nízké hodnoty pH a rozpuštěného kyslíku snižují rozmanitost fauny a flóry vodního ekosystému.

2.2.3 Teplota

Teplota vody významně ovlivňuje její chemickou a biochemickou reaktivitu, a to od 0 °C asi do 30 °C. Jako příklad můžeme uvést přímý vliv na množství plynů rozpuštěných ve vodě. Čím je voda teplejší, tím méně se v ní plyny rozpouští. V našich podmínkách se průměrná teplota toků pohybuje nejčastěji okolo 9 °C (Dub et al., 1969).

Teplota vody v tocích vykazuje denní a sezónní oscilace. Je ovlivněna množstvím ve vodě obsažených koloidních látek, její barvou, průhledností a mocností vodního sloupce. V podélném profilu toku se voda od pramenů po proudu otepluje přibližně o 0,7 °C na každých 100 m poklesu nadmořské výšky (Lellák & Kubíček, 1991).

Rozkladné procesy v procesu samočištění a oxidace jsou taktéž ovlivněny teplotou. Hlavním zdrojem tepla pro vodní prostředí je infračervená složka slunečního záření, geotermální zdroje a antropogenní činnost, např. oteplené vody z elektráren. Vysoké teploty vody jsou problematické především z hlediska nedostatku kyslíku pro vodní organismy. Teplo se z vody dostává jednak termální radiací omezenou na několik centimetrů při hladině, dále konvekcí, tj. přenosem tepla v pohybujícím se médiu, evaporací, tedy přeměnou vody v páru a přechody tepla do břehů a dna (Kopp, 2015).

Změny v říčním prostředí nastávají též při snížení objemu vody v letním období, kdy dochází ke zmenšení prostoru pro vodní organismy a zvýšení koncentrace znečišťujících látek, které vodní habitaty znehodnocují (Guoyuan et. al., 1987).

2.2.4 Zákaly

Může být definován jako snížení průhlednosti vody vyvolané nerozpuštěnými i rozpuštěnými látkami obsaženými ve vodě (scvk.cz).

„V oblastech, kde je prioritním zdrojem nerozpuštěných látek plošné znečištění, pokud tedy není příčinou vypouštění znečištění z bodového zdroje, koreluje jejich obsah převážně s průtoky a dešťovými srážkami. Problémem jsou hlavně zemědělské oblasti postižené erozí, u sídelních aglomerací pak srážky po delších obdobích sucha, kde dochází k intenzivním splachům ze zpevněných ploch a vypláchnutí kanalizací“ (Konečná et. al., 2018).

Podle Souhrnné zprávy o vývoji jakosti povrchových vod v povodí Moravy ve dvouletí 2019–2020, byl sledován vyšší obsah nerozpuštěných látek než v předchozích letech, pravděpodobně z důvodu vyšších srážek a následných splachů.

Řeky transportují velké množství solí a sedimentů jejichž povaha představuje významnou roli v geochemických procesech daného toku. Prostorová distribuce a koncentrace solí se mění s přítoky dalších vodních toků a s geomorfologickými podmínkami daného území (Guoyuan et. al., 1987). Produkty eroze zanáší vodní toky, snižují jejich jímací kapacitu a tím i kvalitu vody (Konečná et. al., 2018).

Specifičnost zákalu spočívá v tom, že zvýšený zákal vody obvykle není problém trvalého charakteru nýbrž jevem dočasným, spojeným s nárazovou událostí, která bývá iniciována vnějším zásahem do říčního systému (Ručka et. al.).

Jedním ze základních požadavků na jakost pitné a užitkové vody je snížení neprůhlednosti vody nerozpuštěnými látkami. Zákal vody přírodního nebo antropogenního původu je ve většině případů způsoben jílovými minerály, hydratovanými oxidy kovů (železa, manganu), detritem, přemnoženým planktonem a bakteriemi. Nerozpuštěné látky snižují intenzitu procházejícího záření a nerovnoměrně ho rozptylují do všech směrů, proto se zákal stanovuje buď měřením útlumu zářivého toku procházejícího kapalinou, nebo měřením zářivého toku rozptýleného záření (Pitter, 2009).

2.3 Anorganické látky ve vodách

2.3.1 Fosfor

Fosfor patří mezi důležité makrobiogenní prvky, tedy prvky, bez kterých by se neobešel žádný živý organismus. Avšak v nadměrném množství škodí (ofosforu.cz).

Přírodním zdrojem fosforu ve vodách jsou rozpuštěné či vyluhované minerály a horniny. Celkový obsah fosforu ve sladkých vodách se obvykle dělí na rozpustný reaktivní fosfor (SRP), rozpustný organický fosfor (SOP) a částicový fosfor (PP) (Stevens & Stewart, 1982). Antropogenním zdrojem anorganického fosforu se stávají protikoroziční a protiinkrustační přípravky, splaškové vody, živočišný odpad, odpadní vody z textilního a pivovarského průmyslu a splach z půdy obdělávané fosforečnými hnojivy. Dále též některé čisticí, prací, odmašťovací a mycí prostředky. Fosfor organického původu se do povrchových vod dostává z rozkládající se biomasy fytoplanktonu a zooplanktonu, usazených na dně toků.

Návrat fosforu je možný přes biosféru (např. ptačí trus) a za normálních podmínek je velmi pomalý. Samotný koloběh fosforu je poměrně složitý, neboť jeho jednotlivé formy výskytu se ve vodě mění v závislosti na hydrodynamice, využívání fosforu organismy, klimatických podmínkách, sedimentaci částic aj. Významnou roli na poutání fosforu v sedimentech má oxidačně-redukční potenciál, pH a v neposlední řadě též chemické složení sedimentů. Hodnoty pH vyšší než 7 a zvýšený obsah vápníku usnadňuje fosforu přechod ze sedimentů do vody, zatímco kyselé sedimenty poutají fosfor pevně v trojmocných sloučeninách oxidů (Kopp, 2015).

Xiao-long et. al. (2006) nadměrné koncentrace živin a fosforu dávají do spojitosti s vysoce ovlivněným územím urbanizací. Mezi bodové zdroje znečištění se řadí veškeré komunální zdroje (bez ohledu na způsob vypouštění, tzn. i ze septiků s trativody) a průmyslové zdroje, jejich velikost definuje zatížení toku celkovým fosforem (Konečná et. al., 2018). Velké koncentrace fosforu jsou jednou z příčin umělé eutrofizace. V důsledku nadměrného obohacování vod o živiny dochází ke zvyšování produkce biomasy. Zhoršuje se kvalita vody a může dojít až k úplnému znehodnocení doprovázenému nedostatkem kyslíku a následnému úhynu vodních organismů (ofosforu.cz).

2.3.2 Dusík

Dusík se taktéž řadí mezi nejdůležitější makrobiogenní prvky a skupiny nutrientů, které jsou nezbytné pro samotný rozvoj mikroorganismů. Sloučeniny dusíku se uplatňují při veškerých biologických procesech probíhajících v povrchových a podzemních vodách, nebo též v odpadních vodách při biologických procesech čištění (Pitter, 2009).

Celkový dusík lze stanovit jako součet dusitanového, dusičnanového, amoniakálního a organického dusíku. Dusík ve vodách najdeme v různých oxidačních stupních, v iontové i neiontové formě. Distribuce daných forem je ovlivněna zejména biochemickými procesy. Sloučeniny dusíku v biosféře neovlivněné antropogenní činností vznikají převážně rozkladem organických dusíkatých látek. Organickým zdrojem dusíku jsou odpady ze zemědělské výroby (močůvka, siláže) a biomasa odumřelých organismů. Anorganickým zdrojem jsou splachy ze zemědělsky obdělávané půdy dusíkatými hnojivy. Dusík a dusičnany jsou považovány za hlavní produkty plošného znečištění vod ze zemědělství v důsledku zrychleného vyplavování (Konečná et. al., 2018). Fučík et. al. prokázali, že jejich vyplavování ze zemědělských půd lze zabránit cíleným zatravněním oblastí, jež jsou ohroženy zrychlenou infiltrací.

Dalším anorganickým zdrojem jsou odpadní vody a atmosférické srážky (Kopp, 2015). Déšť a sníh obsahují rozpuštěné substance i suspendované látky. Mezi nimi například oceánské soli, které jsou vodní parou vneseny do atmosféry, kde se následně vysráží. Kromě mořských solí srážky obsahují i sloučeniny dusíku, jako dusičnany, amoniak nebo sloučeniny síry (Eriksson, 1977).

Za nejdůležitější formy dusíku z hlediska významu pro kvalitu vody považujeme amoniakální dusík, dusičnany a dusitany. Pro tyto formy jsou charakteristické rozlišné zdroje znečištění a mechanismy transportu znečištění do toku (Langhammer, 2009).

Pokud je dusík přítomen v nadbytku a přesyceném roztoku, může vést k nemoci plynových bublin. Běžnými zdroji přesycených roztoků jsou podzemní vody, odpadní nebo chladicí vody z elektráren. Uvolnění tlaku nebo zvýšení teploty způsobí, že plyn přejde z roztoku a vytvoří bubliny na povrchu nebo v tkáni organismů. Vnější bubliny mohou následně ovlivnit chování nebo bránit v dýchání. Vnitřní bubliny mohou způsobit poškození tkáně nebo embolii v žaberních cévách (Hellowell, 1988).

2.3.3 Amoniakální dusík

Amoniakální dusík vzniká jako primární produkt při rozkladu většiny organických dusíkatých látek rostlinného i živočišného původu. Antropogenním zdrojem organického původu jsou hlavně splaškové odpadní vody, kalová voda ze stabilizace čistírenských kalů, nebo odpady ze zemědělské výroby. Umělým zdrojem anorganického původu jsou především dusíkatá hnojiva, průmyslové odpadní vody z tepelného zpracování uhlí a z galvanického pokovování. Díky průmyslovým exhalacím se amoniakální dusík dostává do atmosférických vod, kde je významnou komponentou, a to zvláště v oblastech se znečištěným ovzduším.

V povrchových vodách nepřevyšují koncentrace amoniakálního dusíku obvykle 1 mg.l^{-1} . Ve značně znečištěných tocích se jeho průměrná koncentrace pohybuje okolo 10 mg.l^{-1} . Pro odstranění amoniakálního dusíku z odpadních vod se využívá provzdušňování, neboť volný molekulární NH_3 je těkavý (Pitter, 2009).

„Plynný amoniak (molekulární, nedisociovaná forma NH_3) se ve vodě ihned rozpouští za tvorby amonných solí (iontová, disociovaná forma NH_4^+). Vzájemný poměr obou forem závisí na pH a teplotě. S rostoucí teplotou a hodnotou pH roste i podíl plynného amoniaku. Amoniakální dusík je v přírodních vodách za aerobních podmínek velmi nestálý. Biochemickou oxidací (nitrifikací) přechází na dusíkaté sloučeniny vyšších oxidačních stupňů“ (Kopp, 2015, s. 61).

Ve formě amonných solí je pro většinu organismů neškodný, a to až do několika desítek mg.l^{-1} , nedisociovaná forma NH_3 je však, zvláště pro ryby, značně toxická. Na většinu vodních organismů působí amoniak negativně již od koncentrace $0,2 \text{ mg.l}^{-1}$. Zvláště citlivá jsou raná stádia lososovitých ryb, která pociťují koncentrace amoniaku již v řádu tisícín miligramu. Ryby se zbavují přes 90 % veškerého amoniaku vznikajícího v důsledku metabolismu v jejich těle uvolňováním přes žábry, na základě koncentračního spádu. Rostoucí koncentrace amoniaku v jejich okolí tak může bránit a posléze i blokovat další uvolňování amoniaku z těla. Tento trend může vést až k autointoxikaci ryb, jejich onemocnění, či dokonce úhynu. Toxicita amoniaku stoupá se snižující se koncentrací kyslíku (Kopp, 2015).

Jak vysvětluje Hellawell (1988) Účinek toxické látky na organismus závisí na koncentraci a délce expozice. Nízká koncentrace v dlouhém časovém horizontu se vyrovná vysoké koncentraci, která působí jen krátce. Nicméně každý druh má tendenci reagovat na různé toxické látky jinými způsoby, a i rozdílné životní fáze jedince mají odlišné reakce.

Studii zaměřenou na hodnocení přirozených a antropogenních vlivů na řece Guadalquivir publikovala Mendiguchia et al. (2007). Ve výsledcích uvádí, že amoniak

a dusitany byly naměřeny nejvíce v městské zóně, pocházející z odpadních vod a nitrifikačních procesů. Velmi vysoké koncentrace dusičnanů byly nalezeny v širokém okolí řeky, ale ve skutečnosti byly dusičnany jen proměnná, která překročila kritickou hodnotu. V tomto případě nebylo vysvětlení zdroje jednoznačné a hodnoty příkládá vlivu zemědělství.

2.3.4 Dusičnanový dusík

Dusičnany vznikají převážně sekundárně při nitrifikaci amoniakálního dusíku a jsou posledním stupněm rozkladu dusíkatých organických látek v anaerobním prostředí. S vegetačním obdobím se ve vodách mění i koncentrace dusičnanů. Ve vegetačním období jsou z vody odčerpány vegetací. Maxima a minima jsou rovněž závislá na způsobu obdělávání zemědělské půdy (Pitter, 2009).

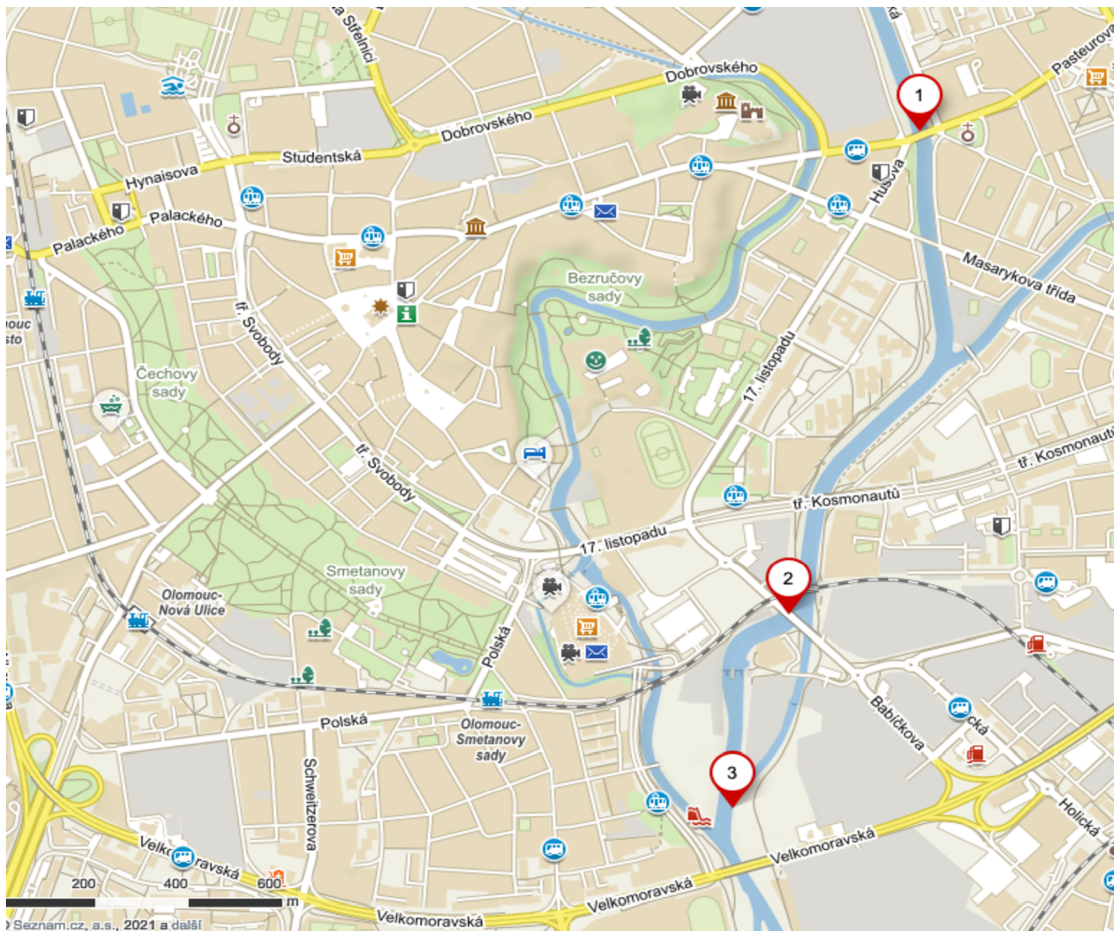
V článku O antropogenním vlivu a kvalitě vody (Singkran et. al., 2019) se můžeme dočíst o signifikantně negativní korelaci rozpuštěného kyslíku na množství dusičnanového dusíku, celkového fosforu nebo fekálního znečištění v městských, zastavěných a průmyslových oblastech.

Dusičnany se ale nejčastěji objevují jako důsledek zemědělské činnosti a riziko u nich spočívá v tom, že jsou ve střevech redukovány na dusitany, které mohou přecházet na některé rakovinotvorné látky např. N-nitrosoaminy (scvk.cz). „Mezi plošné zdroje potenciálního zemědělského znečištění povrchových vod řadíme zemědělské půdy ležící bezprostředně při březích vodních toků, erozně ohrožené svahy orné půdy, lokality s výskytem půd s rizikem zrychlené infiltrace a vyplavování živin“ (Konečná et. al., 2018).

3 Praktická část

3.1 Popis vybraných míst k odběru vzorků

Vybraná část vodního toku Moravy byla zkoumána na třech stanovištích. Za první odběrné místo byl určen most Komenského, který byl v době odběrů již po rekonstrukci a mohl tak sloužit jako kontrolní bod. Druhým odběrným místem byl zvolen most přes Moravu na ulici Wittgensteinova, který se jevil jako jediná možnost ve sledování jakosti vody při urbanizační činnosti na Masarykově mostě, neboť výše podél toku platil zákaz vstupu do okolí staveniště. Před soutokem Moravy s Mlýnským potokem bylo určeno třetí odběrné místo, kde docházelo ke spojení vody z jezu obtokového kanálu s hlavním korytem řeky. Zde dochází díky jezu ke zvýšené prostupnosti kyslíku z atmosféry do vodního prostředí prostřednictvím vyšší turbulence vody.



Obr. 10 - Vybraná místa k odběru vzorků

3.2 Odběr vzorků a jejich zpracování

Analyzovaný vzorek by měl reprezentovat jakost vody v místě, čase a bodě svého odběru, je proto důležité vyhnout se nevratnému poškození vzorku. Minimalizovat pravděpodobnost poškození vzorku lze třemi způsoby.

Nejprve je třeba stanovit vhodný program odběrů, poté správně a odborně provést samotné odběry vzorků vody. Důležité je také správné uchování odebraných vzorků do začátku rozboru vody, který by měl být proveden v co nejkratším časovém odstupu. Ukazatele jakosti vody náchylné ke změnám během přepravy do laboratoře, jež není možné uchovat beze změny, se analyzují ihned na místě odběru. V mém případě se jednalo o stanovení vodivosti a teploty vody na dané lokalitě. Ukazatele jakosti vody, které konzervovat lze, se konzervují bezprostředně po odebrání vzorku, jelikož jednotlivé složky vody podléhají změnám různého charakteru fyzikálního, chemického či biologického. Patří k nim: únik rozpuštěných plynů, mikrobiologický rozklad organických látek, či změny iontových rovnováh. Tyto změny probíhají za různých reakčních podmínek.

Změnám ukazatelů vody většinou zcela zabránit nelze, je ale možné tyto změny minimalizovat, popř. snížit jejich rychlost, např. vhodnou vzorkovnicí, úpravou vzorku, nízkou teplotou a skladováním vzorků v temnu během přepravy a před analýzou (Horáková et al., 2007).

Způsob odběru byl proveden podle ČSN 75 7051, místních podmínek, druhu a účelu rozboru. Odběry byly prováděny periodicky po dobu 12 měsíců od února 2020 do ledna 2021 s výpadkem 2 měsíců, z důvodu opatření souvisejících s pandemickou situací spojenou s Covid-19. Odběr byl prováděn vždy okolo 15. dne v měsíci. Každý vzorek byl odebrán pomocí vzorkovače, tedy nádobou na lanku, která byla ponořena do hloubky cca 20 cm pod hladinou a následně vytažena. Část vzorku byla přelita do označené vzorkovnice, druhá část sloužila ke stanovení aktuální vodivosti a určení teploty vody. Pro měření byl použit konduktometer DIST 3 od firmy Hanna, který v terénu nebylo nutné kalibrovat. Další parametry byly měřeny v laboratoři do 4 h od odběru.

Do protokolu o odběrech byly zaznamenány výsledky měření na místě odběru, zvolený způsob odběru, teplota vody, vodivost, aktuální podnebí, případný výskyt sinic či splavenin. V laboratoři byly pomocí spektrofotometru DR2800 od firmy HACH stanoveny amonné ionty ve formě amoniakálního dusíku, dusičnanový dusík, rozpuštěné orthofosforečnany a zákal. K měření pH byl použit metr pH-100ATC firmy Voltcraft.

Pro naměřená data vybraných fyzikálně-chemických parametrů kvality vody byla použita statistická analýza rozptylu a boxploty, které jsou umístěny v přílohách. Zpracování dat a jejich statistické vyhodnocení bylo provedeno v programu RStudio 1.4.1717.

3.3 Laboratorní stanovení vybraných parametrů

3.3.1 Stanovení fosforečnanů PO_4^{3-}

Použité chemikálie, soupravy a roztoky:

- reagentie PhosVer 3 od firmy HACH
- filtrační zařízení s filtrem o velikosti pórů 0,45 μm
- spektrofotometr DR2800 HACH
- deionizovaná voda

Před samotným měřením rozpustných orthofosforečnanů je nutné vzorky přefiltrovat na filtračním zařízení s filtračním papírem o velikosti pórů 0,45 μm do kádinek. Poté napipetovat 10 ml přefiltrovaného vzorku do předem připravených zkumavek, následně přidat 1 balení PhosVer 3 a důkladně míchat do rozpuštění, které trvá přibližně 2 minuty. Takto připravený vzorek se nechá 8–10 minut reagovat.

Reakcí kyseliny askorbové vzniká fosfomolybdenová modř. Čím intenzivnější zbarvení, tím vyšší množství fosforečnanů ve vzorku.

Měření se provádí při vlnové délce 890 nm a pokud je intenzita zbarvení v rozmezí hmotnostních koncentrací 0,005 až 0,75 mg.l^{-1} , pak splňuje podmínky Lambertova - Beerova zákona a je vhodné pro spektrofotometrické vyhodnocení. V případě vyšších koncentrací je potřeba vzorek naředit (Horáková et al., 2007).

Množství rozpuštěných fosforečnanů je třeba zjišťovat při správně nastavené metodě spektrofotometru, tedy číselné hodnotě 490. Pomocí blanku nastavíme nulu a následně můžeme měřit připravené vzorky. Přístroj ukazuje výsledné množství rozpuštěných fosforečnanů v mg.l^{-1} .

3.3.2 Stanovení amoniakálního dusíku N-NH_4^+

Použité chemikálie, soupravy a roztoky:

- Nesslerovo činidlo
- spektrofotometr DR2800 HACH
- deionizovaná voda

Pro běžné stanovení amoniakálního dusíku pomocí spektrofotometrické metody se ve většině případů využívá jedna z nejstarších a nejrozšířenějších metod, a to metoda Nesslerova. Tato metoda byla unifikována v ČSN 83 0520 a ČSN 83 0530 v 80. letech minulého století. Stanovení probíhá na základě reakce amoniaku a hydroxidů alkalických kovů s Nesslerovým činidlem (tj. s tetrajodortuřnanem sodným nebo draselným) za vzniku tzv. Millonovy báze (tj. oxidimerkuriaminjodidu), která při menších koncentracích amoniaku vytváří žlutohnědé koloidní roztoky, jejichž intenzitu je pak možné stanovit spektrofotometricky (Horáková et al., 2007).

Na spektrofotometru bylo nejprve třeba nastavit číslo metody, v tomto případě 380 a připravit si blank z 10 ml deionizované vody, ke které bylo přidáno 6 kapek Nesslerova činidla. Dále ze surových vzorků vody napipetovat 10 ml do připravené zkumavky, tam také přidat 6 kapek Nesslerova činidla, obsah promíchat po dobu jedné minuty a poté nechat cca 10 minut reagovat. Vzorek je nakonec třeba přelit do kyvety, vložit do adaptéru spektrofotometru a změřit při vlnové délce 425 nm. Výsledná hodnota amonických iontů je přístrojem vyjádřena v mg.l^{-1} .

3.3.3 Stanovení dusičnanového dusíku N-NO_3^-

Použité chemikálie, soupravy a roztoky:

- NitraVer5
- spektrofotometr DR2800 HACH
- deionizovaná voda

Pro stanovení dusičnanů ve vodách existují desítky až stovky metod, díky různým modifikacím však žádnou nelze označit za absolutně nejlepší a univerzální. Při uplatnění vybraných metod se různé složky vody rušivě ovlivňují, ať už kvalitativně, nebo kvantitativně. Jednotlivé metody mají odlišnou citlivost i jiný rozsah stanovení. Největší skupinu metod

užívaných v praxi tvoří absorpční metody spektrofotometrické. Ty lze rozdělit na metody přímého stanovení dusičnanů a stanovení nepřímého, kde jsou dusičnany spektrofotometricky stanoveny jako amoniakální dusík nebo dusitany (Horáková et al., 2007).

Toto měření na spektrofotometru pod číslem metody 355 probíhalo při vlnové délce 500 nm a množství dusičnanů bylo uvedeno v mg.l^{-1} . Nejprve bylo nutno napipetovat 10 ml vzorku, přidat obsah jednoho sáčku NitraVer 5 a po dobu jedné minuty promíchávat. Vzorek nechat 5 minut reagovat a následně změřit. Princip reakce spočívá v tom, že sáček NitraVer5 obsahuje kadmium, které v prostředí kyseliny sírové zredukuje dusičnany na dusitany. Z dusitanů následně vzniká diazoniová sůl, která reaguje s kyselinou salicylovou. Výsledkem reakce je žlutě zbarvený roztok.

3.3.4 Stanovení pH

Hodnota pH se ve vzorku rychle mění v důsledku chemických, fyzikálních nebo biologických pochodů, a proto je nutné pH měřit co nejdříve po odběru. Pro kalibraci pH metru bylo třeba elektrodu nejprve ponořit do pufrčního roztoku s pH hodnotou 7,00 a pro stabilizaci krátce zamíchat elektrodou v roztoku. Následně šroubovákem pomocí kalibračního trimru „CAL PH7“ na displeji nastavit hodnotu pH 7,00. Po provedení kalibrace elektrodu opláchnout v deionizované vodě a vysušit buničitou vatou. Přístroj připravený k měření ponořit do kapaliny a pro stabilizaci hodnoty na displeji kapalinu promíchávat.

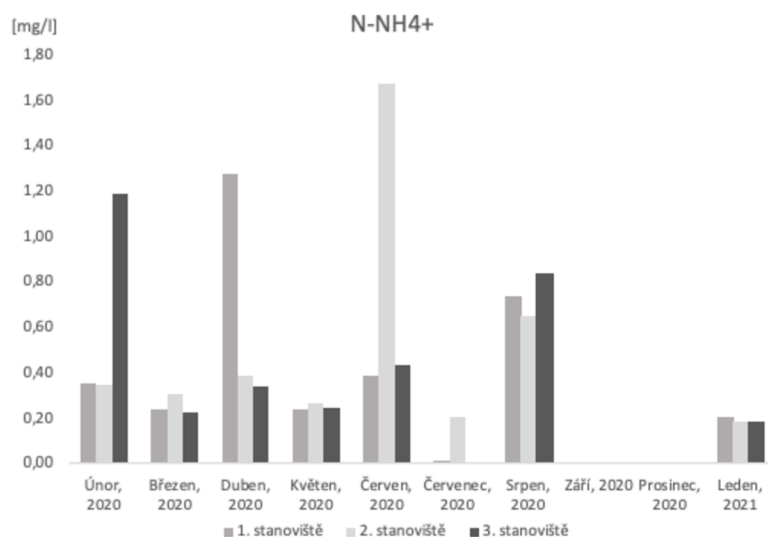
3.3.5 Stanovení zákalu

Metoda měření je založena na principu pohltivosti rozptýleného světla. V případě průchodu světelných paprsků čistou vodou je trajektorie těchto paprsků přímá a relativně nerozptýlená. Jakmile jsou ve vodě přítomny molekuly pevných částic, světelný paprsek je jimi ovlivňován; částičky pevných látek světelnou energii absorbují a odklánějí, a tím odrážejí světelný paprsek do všech směrů (United States Environmental Protection Agency, 1999).

Zákal byl měřen na výše zmíněném spektrofotometru metodou č. 747. Kyveta byla nejprve naplněna destilovanou vodou pro účel nulování a až následně byly odebrané vzorky měřeny.

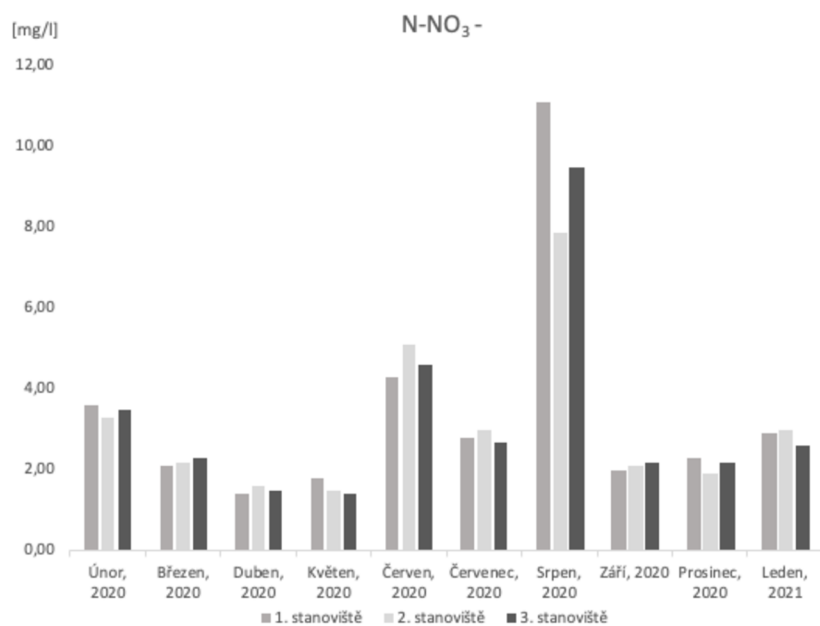
4 Výsledky

Výsledky fyzikálně-chemických analýz odebraných vzorků z období od února 2020 do ledna 2021 jsou prezentovány v podobě grafů. Zdrojová tabulka dat se statistickými výsledky a boxploty jsou umístěny v přílohách.



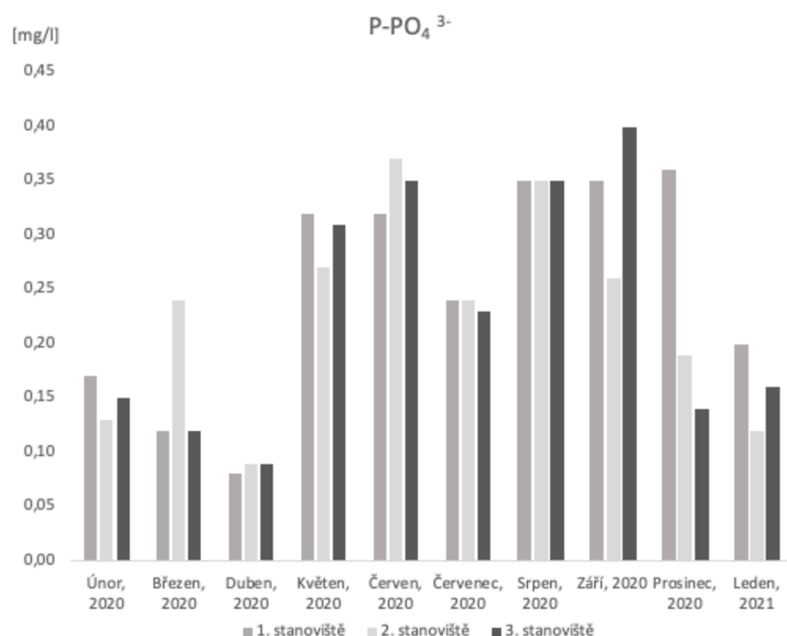
Obr. 11 - Koncentrace amoniakálního dusíku

Nejnižší koncentrace byly naměřeny v září a prosinci, kdy sahalý pod míru detekce přístroje. Hraniční hodnota, $0,01 \text{ mg.l}^{-1}$, byla naměřena v červenci, na první lokalitě. Maxima koncentrací byla na první lokalitě stanovena v dubnu, na druhé v červnu a na třetí v únoru. Současně, na všech třech lokalitách, byly zvýšené koncentrace naměřeny v srpnu.



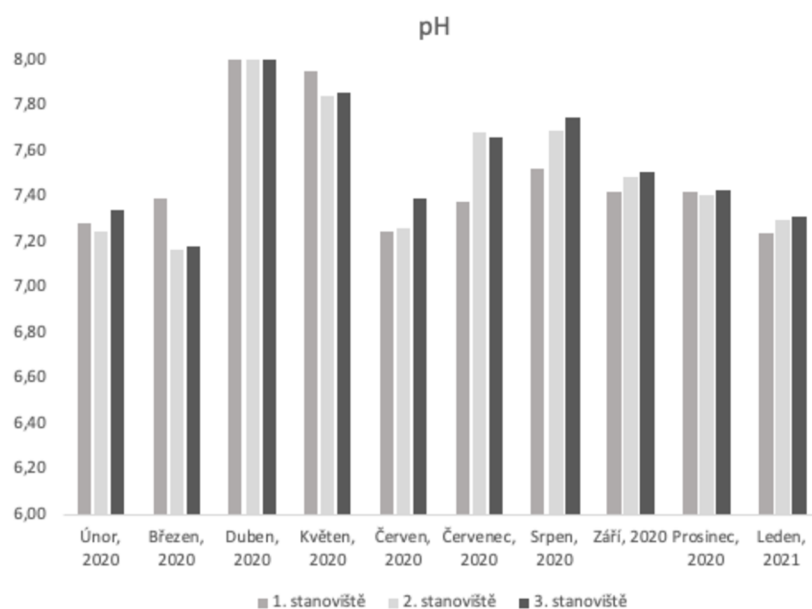
Obr. 12 - Koncentrace dusičnanového dusíku

Koncentrace dusičnanů byly v průběhu roku relativně vyrovnané. Maxima na všech lokalitách byla zaznamenána v srpnu s hodnotami vyššími než 7,0 mg.l⁻¹. Naopak minima v dubnu a květnu dosahovala kolem 1,5 mg.l⁻¹.



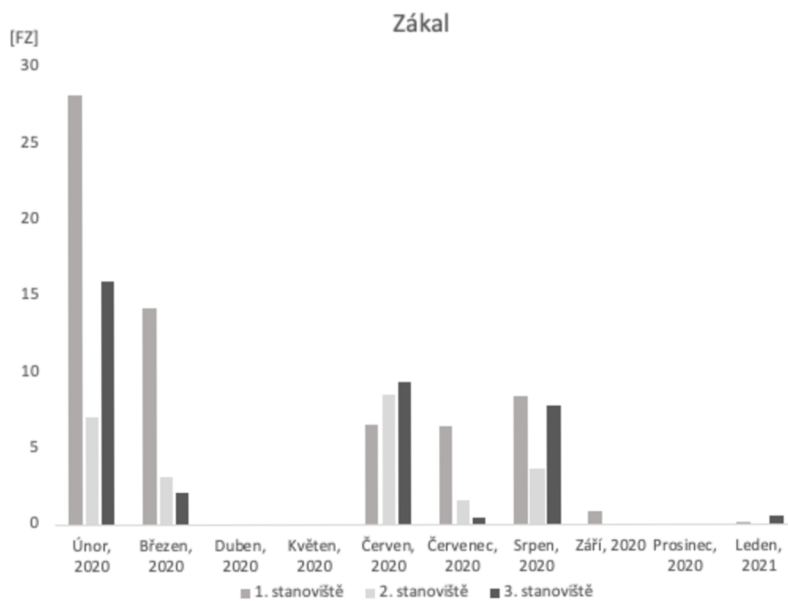
Obr. 13 - Koncentrace fosforečnanů

Koncentrace fosforečnanů se ve většině případů v průběhu sledovaného období nacházely mezi 0,2–0,3 mg.l⁻¹. Maximální hodnoty se vyskytovaly na všech třech lokalitách v září. Nejvyšší koncentrace byla stanovena na třetí lokalitě s hodnotou 0,40 mg.l⁻¹. Minimální koncentrace fosforečnanů byly naměřeny v dubnu a to bez výjimky lokalit.



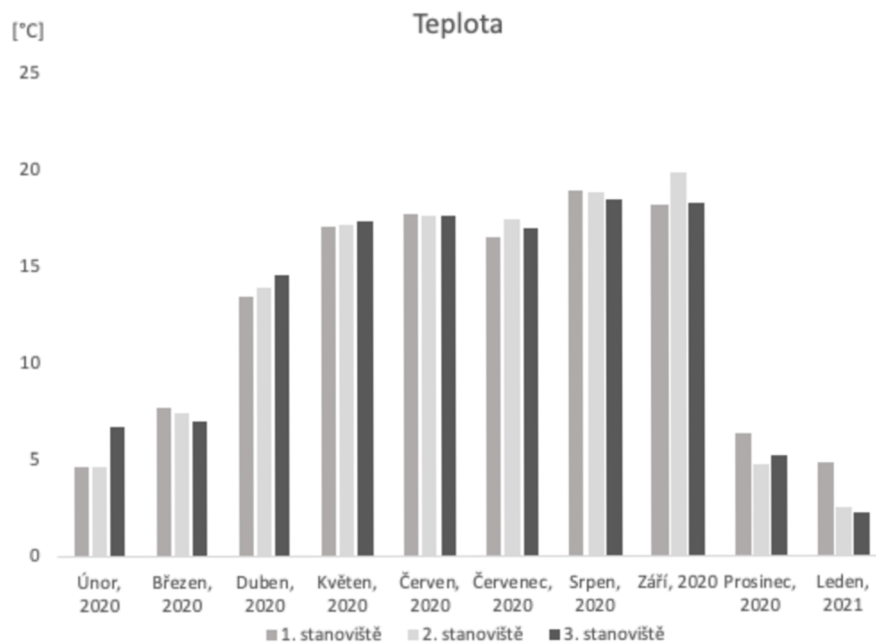
Obr. 14 - Hodnoty pH

Celkově se hodnoty pH nenacházely v žádných extrémních výkyvech. Pohybovaly se v rozmezí 7–8. Nejvyšší pH, 8,16 bylo stanoveno v dubnu na třetí lokalitě. Opačným případem byl měsíc březen s nejnižší hodnotou 7,17 na druhé lokalitě.



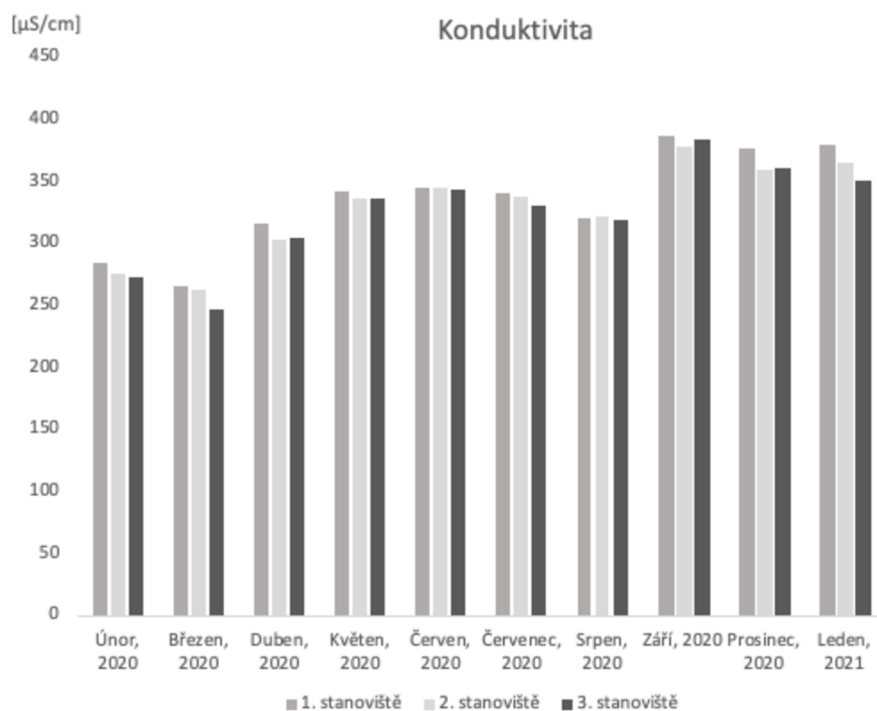
Obr. 15 - Hodnoty zákalu

Při stanovení zákalu byly naměřeny nejvyšší hodnoty v únoru a to okolo 28 FZ. Dále v průběhu roku zde bylo několik měření pod mírou detekce přístroje a slabší zákal v letních měsících.



Obr. 16 - Teploty vody

Nejvyšší teploty vody byly naměřeny srpnu a září, kolem 19 °C a nejnižší v lednu 2021, kdy voda dosahovala teplot kolem 2 °C.



Obr. 17 - Hodnoty konduktivity

Konduktivita byla v průběhu celého měření relativně vyrovnaná a dosahovala hodnot v rozpětí 247–387 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Tab. 1 - Průměrné koncentrace hodnot na daných lokalitách

Lokalita	Teplota [°C]	Konduktivita [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	N-NH ₄ ⁺ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	pH
1.	12,6	335,6	0,3	3,4	0,3	7,5
2.	12,5	328,7	0,5	3,3	0,2	7,5
3.	12,5	325,3	0,3	3,3	0,2	7,6

Tab. 2 - Zařazení jednotlivých lokalit do tříd jakosti vody podle ČSN 75 7221

Lokalita	Teplota [°C]	Konduktivita [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	N-NH ₄ ⁺ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	pH
1.	I	I	I	III	II
2.	I	I	II	II	II
3.	I	I	I	II	II

5 Diskuze

Správce stavby PPO Olomouc, etapy II.B, Ing. Jan Jurkovský mi poskytl informace o zásazích stavby do vodního toku: „Ty jsou možné během úplné srážky na jezu¹, kdy hladina v Moravě poklesne na úroveň, která umožní práce v korytě. K této srážce je nutné předem získané povolení vodoprávního úřadu a v Olomouci k ní dochází cca 5 týdnů v roce. Během této doby probíhá zvýšený dohled hydrobiologů ve vztahu k živočichům (záchranný transfer). Konkrétně v roce 2020 byla srážka kvůli demolici větší části mostu Masarykova v dubnu a první týden v květnu. Dešťové srážky v červnu a říjnu loňského roku byly velmi vydatné a zvýšené průtoky nám stavební práce na nových snížených bermách (avšak mimo hlavní koryto) pozastavily.“

Míra rozdílů v jakosti kvality vody a průměrných koncentracích vybraných fyzikálně-chemických parametrů na jednotlivých lokalitách nebyla příliš patrná. Ukázalo se, že i na první, kontrolní lokalitě, byly naměřeny zvýšené hodnoty, které ovšem nelze dávat do souvislosti se stavební činností na toku. Na druhé lokalitě už mohly být výsledky ovlivněny přítokem Bystřice a značnou vzdáleností od místa stavby, ale z důvodu stavebních prací nebyl možný přístup k řece mezi I. a II. lokalitou pro zvolení jiného odběrného místa.

U prvního grafu, koncentrací amoniakálního dusíku, může trend vyšších hodnot v první polovině roku souviset se sezónní dynamikou, vyplavování amoniakálních iontů z půd a antropogenním znečištěním. Při porovnání vybraných imisních standardů přípustného znečištění povrchových vod podle Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. došlo k překročení uvedeného limitu (tedy 0,5 mg.l⁻¹) celkem šestkrát. Vzhledem k vysoké hodnotě na první lokalitě to pravděpodobně nesouvisí se stavebními zásahy v říčním korytě, ale se zemědělskou činností a se splašky z výše položeného území a odpadních vod ze zastavěného území (Mendiguchia et. al., 2007). Naopak snížená koncentrace amoniakálního dusíku pod mez detekce přístroje v září a prosinci, může být důsledkem procesů nitrifikace (Mendiguchia et al., 2007). Na třetí lokalitě také provzdušňováním toku pod jezem, kde se tříštěním vody dostává kyslík do vody (Pitter, 2009). Je třeba doplnit, že při Nesslerově metodě pro rutinní stanovení amoniakálního dusíku, která probíhá v silně alkalickém prostředí, vykazují stejnou absorpční schopnost jako jodid oxidimerkuriidu i huminové látky, které se v přírodních vodách běžně vyskytují. Je tedy možné, že výsledky analýzy byly zatíženy pozitivní chybou (Horáková et. al., 2007).

¹ tj. vypuštění vody jezové zdrže

Koncentrace dusičnanového dusíku byla na lokalitách v průběhu roku víceméně konstantní a vyrovnaná. Většina odběrů byla zařazena do první nebo druhé kategorie znečištění podle ČSN 75 7221, která stanovuje limity u vybraných parametrů pro pět tříd jakosti a zařazení provádí podle nejhorších zjištěných stavů.

K překročení přípustného znečištění (tedy $7,0 \text{ mg.l}^{-1}$) povrchových vod podle Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. došlo celkem třikrát. Zdrojem největšího znečištění na všech třech lokalitách, které bylo zaznamenáno v srpnu, mohly být splachy z hnojených polí a atmosférické depozice (Konečná et. al., 2018). Městské, zastavěné a průmyslové oblasti s nižším obsahem rozpuštěného kyslíku mohou vykazovat vyšší koncentrace dusičnanového dusíku (Singkran et. al., 2019). Ve vegetačním období jsou dusičnany odčerpávány flórou (Pitter, 2009).

Velké rozpětí naměřených koncentrací fosforečnanů může mít více původců. Především bodové zdroje znečištění jako jsou komunální a průmyslové zdroje (Konečná et. al., 2018). Nejvyšší hodnoty bývají naměřeny ve vysoce urbanizovaném prostředí (Xiao-long et al., 2006). V zimním období mohly být za zvýšenými koncentracemi mineralizace odumřelých organismů, aniž by docházelo ke spotřebování primárními producenty. Taktéž vlivem samotné mechanické práce v korytě řeky, demolicí a demontáží mostu, sutí v říčním korytě, úpravami nábřeží a následnou změnou v hydrodynamice toku. V letním období se mohl přidat i splach z polí, kde byla aplikována fosforečná hnojiva. Získané hodnoty však nelze porovnávat jako u výše uvedených, tedy z hlediska přípustného znečištění imisních standardů ani zařadit do kategorie znečištění podle ČSN 75 7221, protože nebyl měřen organický fosfor a nerozpuštěné formy fosforu. Nicméně Souhrnná zpráva o vývoji jakosti povrchových vod v povodí Moravy ve dvouletí 2019-2020 u celkového fosforu uvádí zlepšení oproti předchozím letem na většině sledovaných profilech, pouze na jednom došlo ze zhoršení.

Nejvyšší hodnoty pH mohly souviset se suchem v dubnu, následně sníženým objemem vody a intenzivní fotosyntézou vodních rostlin s nástupem vegetační sezóny (Hruška, 1996). Také odpadní voda ze stavební činnosti pH vody zvyšuje. Za nízké hodnoty může odpovídat přítomnost odpadních vod z domácností nebo průmyslových oblastí (Xiao-long et al., 2006). Nicméně, hodnoty do 8,5 se u povrchově tekoucích vod stále řadí mezi běžný průměr. V průběhu roku byly hodnoty již relativně konstantní.

Ke zvýšeným hodnotám zákalu pravděpodobně přispěly splachy ze zpevněných městských ploch a kanalizací, zejména po delším období sucha, kdy došlo k vypláchnutí nanesených sedimentů deštěm. Jak uvádí Procházková et. al. (2021) zákal koreluje s průtokem a dešťovými srážkami, které byly v roce 2020 nadprůměrné, a to především v druhé polovině roku. Vyšší hodnoty mohou být ovlivněny také produkty eroze ze zemědělských ploch, které

následně zanáší tok (Konečná et. al., 2018). Paradoxně na druhé a třetí lokalitě byly naměřeny nižší průměrné hodnoty zákalu než na první, v době, kdy stavební práce v korytě řeky probíhaly. Mohl se projevit vliv přítoku Bystřice, kterým došlo k nařazení toku a také poměrně velká vzdálenost od samotného místa stavby.

Teplota vody byla na vybraných lokalitách ovlivněna převážně přírodními poměry, denními a sezónními oscilacemi (Lellák & Kubíček, 1991). Naměřené hodnoty byly příznivé pro rychlost biochemických procesů, procesy samočištění i rozpustnost kyslíku, neboť odpovídaly první třídě v hodnocení jakosti povrchových vod. Nejvyšší naměřené teploty na druhé lokalitě mohly ovlivňovat rozpustnost plynů a jejich dostupnost (Dub et. al., 1969).

Konduktivita na všech lokalitách odpovídala v hodnocení jakosti vody podle ČSN 75 7221 první třídě. Vyšší hodnoty v dubnu a květnu oproti předešlým měsícům, můžeme přisuzovat sníženému objemu vody a demolici větší části mostu na Masarykově třídě. Zbytky betonové suti a kovových částí, které byly ponechány v korytě řeky, při přerušení stavebních prací z důvodu velikonočních svátků, taktéž mohly z části ovlivnit vodivost. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny od září do ledna díky ovlivnění toku mechanickými úpravami břehové linie a budování kanalizace na levém břehu řeky ve spojení se zvýšeným přísunem srážek do toku. Následné splachy z okolí břehů, přítok kanalizací s dešťovou vodou a v zimním období ještě s posypovou solí z přilehlých komunikací (Kopp, 2015). Dále odpadní vody z lidských obydlí a průmyslových oblastí (Xiao-long et. al., 2006).

Pro ještě detailnější posouzení míry vlivu stavebních úprav v korytě řeky byly vytvořeny boxploty (viz. přílohy) na kterých lze lépe rozpoznat kde se pohybovaly průměrné hodnoty jednotlivých parametrů na daných lokalitách. Pro další doplnění by bylo vhodné prostudovat dokumentaci k celé stavbě včetně stavebních deníků. Proto jsem se obrátila na vedoucího provozu Olomouc, Josefa Holásk. Provoz Olomouc však bude mít přístup k těmto údajům až po dokončení celé stavby, kdy bude kompletně hotová a zkolaudovaná. Následně převezme stavební objekty týkající se koryta vodního toku do své správy, majetku a údržby.

Management proti znečištění tekoucích vod může být různého charakteru. Zaprvé čištění odpadních vod ještě před jejich vypuštěním do řek, tedy hned u zdroje nebo bagrováním odstranit usazené znečištění a nadměrné množství živin (Erikson, 1977). Což ale v některých případech může negativně ovlivnit hladinu podzemní vody a tato možnost nebývá vnímána jako ideální ze strany orgánů ochrany přírody (pmo.cz).

6 Závěr

Výsledky získané statistickou analýzou dat nebyly signifikantní. Nedošlo tedy k zamítnutí nulové hypotézy, která říká, že stavební činnost neměla vliv na zvýšené hodnoty vybraných fyzikálně-chemických parametrů.

Pro hodnocení jakosti vody byla využita Klasifikace kvality vody ČSN 75 7221 a nařízení vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod. Při porovnání analyzovaných hodnot z první lokality s hodnotami z druhé a třetí lokality se výrazný vliv stavebních úprav v chemismu řeky neprojevil. Nejvíce byl chemismus ovlivněn dusičnany a fosforečnany, a to nevyjímaje první lokalitu, kde byly stavební úpravy mostu v době odběrů hotové.

Samotné mechanické narušení neprobíhalo ve výrazně masivním měřítku a pro stav kvality vody bylo tedy přijatelné. Pro představu jsem do příloh vložila několik fotek z průběhu stavební činnosti.

Lze konstatovat, že pokud se stavební úpravy provádí v rámci možností citlivě, nemusí se to na biotě daného toku negativně projevit. Ve zmírnění případných vlivů stavby se mohl projevit přítok řeky Bystřice. Výrazné ovlivnění toku tak probíhalo pouze v úseku několika stovek metrů.

Regulační zásahy do toku řeky Moravy měly v důsledku nového hydrologického režimu a záměrné rekultivaci vliv na celou říční krajinu. Protipovodňová ochrana města Olomouc je stále ve fázi výstavby, což znamená, že bude ještě nějakou dobu částečně ovlivňovat chemismus řeky (ať už z hlediska vodivosti, hodnoty pH, či zákalu).

Do budoucna by bylo příhodné zaměřit se na management povrchových vod a dále pokračovat v hodnocení chemismu vody. Data by v širších souvislostech mohla mít větší vypovídající hodnotu. Pokud totiž nedojde k omezení produkce z bodových a plošných zdrojů znečištění, koncentrace živin a rizikových látek bude ve vodě stoupat. Říční krajina je ve výsledku popisem ekologických, ekonomických, sociálních a kulturních interakcí.

Použité zdroje

- Bábek, O. (2020). *Zdánlivá muda na Hané*. Příběh geologicky aktivní příkopové propadliny. *Vesmír*, 99(7–8), s. 447.
- Brázdil, R. (2005). *Historie počasí a podnebí v Českých zemích*. Brno: Masarykova univerzita v Brně. ISBN 80-210-3864-0.
- Demek, J., & Mackovčín, P. (2006). *Zeměpisný lexikon ČR*. Vyd. 2. Brno: AOPK ČR. ISBN 80-86064-99-9.
- Dub, O., & Němec et al. (1969). *Hydrologie*. Praha: SNTL.
- Ekka, A., Pande, S., Jiang, Y., & Zaag, P. (2020). *Antropogenic Modifications and River Ecosystem Services: A Landscape Perspective*. Department of Water Management, Delft University of Technology, The Netherlands. *Water* 2020, 12, 2706.
- Eriksson, E. (1977). *Water Chemistry and Water Quality*. Springer on behalf of Royal Swedish Academy of Sciences. *Ambio*, 1977, Vol. 6, No. 1, Water: A Special Issue (1977), p. 27–30.
- Fučík, P. et al. (2010). *Posuzování vlivu odvodňovacích systémů a ochranných opatření na jakost vody v zemědělsky obhospodařovaných povodích drobných vodních toků*. Metodika. Praha: VÚMOP, v. v. i., 2010.
- Guoyuan, G. & Jiongxin, X. (1987). *Environmental effects of human activities on rivers in the Huanghe-Huaihe-Haihe Plain, China*. Institute of Geography, Academia Sinica, Beijing. *Geogr. Ann.* 69 A (1), 181–188.
- Hellawell, M. J. (1988). *Toxic Substances in Rivers and Streams*. Nature Conservancy Council, Peterborough, PE1 1UA, Great Britain. *Environmental Pollution* 50, p. 61–85.
- Hladný, J., & Matějčík, J. (1999). *Povodňová katastrofa 20. století na území České republiky*. Praha: Ministerstvo životního prostředí.
- Horáková, M. (2007). *Analytika vody*. Praha: VŠCHT.
- Hruška, J. (1996). *Vliv kyselého deště na povrchové vody*. *Vesmír* 75, 373, 1996/7.
- Konečná, J. et al. (2018). *Principles of approach to optimization of water and soil protection in the Svatka river sub-basins*. Research Institute for Soil and Water Conservation, p.r.i., AQUATIS a.s., BUT in Brno. *VTEI*, 2018, 2.
- Kopp, R. (2015). *Hydrochemie nejen pro rybáře*. Brno: Mendelova univerzita.

- Kováč, M. et al. (1993). *Alpínský vývoj Západných Karpát*. Brno: Masarykova univerzita.
- Langhammer, J. (ed.) (2007). *Povodně a změny v krajině*. Praha: Katedra fyzické geografie a geokologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze. ISBN 978-80-86561-86-8.
- Lellák, J., & Kubíček, F. (1991). *Hydrobiologie*, Univerzita Karlova, Praha: Vydavatelství Karolinum.
- Pitter, P. (1999). *Hydrochemie*, Praha: Vydavatelství VŠCHT.
- Procházková, L. et. al. (2021). *Souhrnná zpráva o vývoji jakosti povrchových vod v povodí Moravy ve dvouletí 2019–2020*. Povodí Moravy, s.p., 78 s.
- Opletová P., & Novák, J., & Kotovicová, J. (2012). *Vzdělávací modul ochrana životního prostředí – voda*. Náměšť nad Oslavou: Zemědělská a ekologická regionální agentura.
- Raburu, P. O., & Okeyo-Owuor, J. B. (2006). *Impact of agro-industrial activities on the water quality of River Nyando, Lake Victoria Basin, Kenya*. Department of Fisheries and Aquatic Sciences, Moi University, p. 307–314.
- Singran, N., Anantawong, P., Intharawichian, N., & Kunta, K. (2019). *The Chao Phraya River Basin: water quality and anthropogenic influences*. 1287-1293. DOI:10.2166/ws.2018.167.
- Stehlík, F., & Kadlec, J. (2012). *Dolní tok Moravy v holocénu aneb co řeka napsala do svého archivu*. Vesmír, 91(2), s. 100.
- Stevens, R. J., & Stewart, B. M. (1982). *Concentration, fractionation and characterisation of soluble organic phosphorus in river water entering Lough Neagh*. Department of Agriculture, Freshwater Biological Investigation Unit, Greenmount Road, Muckamore. Water Res. Vol 16. p. 1507–1519.
- Šlesingr, M. (2010). *Revitalizace toků: příspěvek k problematice úprav vodních toků*. Brno: VUTIUM. ISBN 978-80-214-3942-9.
- Xiao-long, W., Yong-long, L., Jing-yi, H., Gui-zhen, H., & Tie-yu, W. (2006). *Identification of anthropogenic influences on water quality of rivers in Taihu watershed*. Chinese Academy of Sciences, Beijing. Journal of Environmental Sciences 19 (2007), 475–481.
- Yurova, Y., & Shirokova, V. (2020). *Geoecological Assessment of Anthropogenic Impacts on the Osetr River Basin*. Department of Soil Science, Ecology and Environmental Management, Moscow. Geosciences 2020, 10, 121.

Zeman, A., Havlíček, P., Minaříková, D., Růžička, M., & Fejfar, O. (1980). *Kvartérní sedimenty střední Moravy*. Praha: Sborník geologických věd, Antropozoikum, 13, 37–55.

Internetové zdroje

AOPK, ČR. (n.d.). *Revitalizace jako součást protipovodňových opatření*. [Internet]. [cit. 2021-02-28]. Dostupné z:

<https://strednicechy.ochranaprirody.cz/res/archive/191/024601.pdf?seek=1406791792>

CENIA – Česká informační agentura životního prostředí [Internet]. [cit. 2021-02-14]. Dostupné z: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/home>

CHMU – Český hydrometeorologický ústav: Historická data – hydrologie [Internet]. [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/hydrologie/historicka-data>

CHMU – Český hydrometeorologický ústav: Historická data – hydrologie [Internet]. [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-prehledy-pozorovani#>

CHMU – Český hydrometeorologický ústav: Historická data – hydrologie [Internet]. [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: https://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=2505266

Čermák, V. (2001). *Zkapacitnění koryta řeky Moravy v Olomouci, zpřírodnění poriční zóny a zapojení řeky do struktury města*. [Internet]. [cit. 2021-03-5]. Dostupné z: <http://www.uprm.cz/data/docs/studie/olomouc.pdf>

Konečný, T., & Novák, O., & Hanzlík, P. (2013). *Management vodních toků*. Asociace pro mezinárodní otázky [Internet]. [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.studentsummit.cz/wp-content/uploads/2019/02/PSS-Management-vodn%C3%ADch-tok%C5%AF-UNEP.pdf>

Langhammer, J. (2010). *Water quality changes in the Elbe River basin, Czech Republic, in the context of the post-socialist economic transition*. *GeoJournal* 75, 185–198. [Internet]. [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10708-009-9292-7>

Meteoblue (n.d.). Průměrné teploty a úhm srážek. [Internet]. [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/historyclimate/climatemodelled/olomouc_%c4%8cesko_3069011

Mestskeklima.upol.cz. (n.d.). Grantová agentura České republiky. [Internet]. [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: http://mestskeklima.upol.cz/olomouc.html#srazky_koli

Ofosforu.cz. (n.d.). Web o fosforu a jeho měření v CHKO Moravský kras. [Internet]. [cit. 2021-07-12]. Dostupné z: <http://ofosforu.cz/role-fosforu/>

Protipovodňová opatření Olomouc (n.d.). *Přehled všech jednotlivých etap protipovodňových opatření v Olomouci*. [Internet] [cit. 2021-02-28] Dostupné z: <https://protipovodnovaopatreni.olomouc.eu/prehled-etap>

Povodí Moravy (n.d.). *V řekách je málo vody a hodně živin, zarůstají trávou*. [Internet]. [cit. 2021-07-24]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/media/tiskove-zpravy/v-rekach-je-malo-vody-zarustaji-travou/>

Ručka, J., Tuhovčák, L., & Kadlecová, V. (n.d.). *Zákal ve vodovodní síti, metody predikce jeho vzniku a šíření*. VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. [Internet]. [cit. 2021-07-24]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/16503453-Zakal-ve-vodovodni-siti-metody-predikce.html>

Statutární město Olomouc (2018). *Město a Povodí Moravy spolupracují při IV. etapě protipovodňových opatření*. [Internet]. [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.olomouc.eu/aktualni-informace/aktuality/23356>

United States Environmental Protection Agency (1999). *EPA Guidance Manual Turbidity Provisions*. [Internet]. [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: nepis.epa.gov

Veolia Voda (n.d.) *Rozbor vody*. Severočeské vodovody a kanalizace, a.s. [Internet]. [cit. 2021-07-14]. Dostupné z: <https://www.scvk.cz/res/archive/114/012518.pdf>

Zimová J. (2008). *Protipovodňová opatření v povodí Moravy – příklad Olomouce*, Urbanismus a územní rozvoj 11 (2), 43–51 [Internet]. [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: https://www.uur.cz/images/5-publikacni-cinnost-a-knihovna/casopis/2008/2008-02/07_protipovodnova.pdf

Legislativní předpisy a normy

ČSN 75 7221. Jakost vod. Klasifikace jakosti povrchových vod.

ČSN 75 7051. Kvalita vod. Odběr vzorků. Část 3: Konzervace vzorků vod a manipulace s nimi.

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

7 Přílohy

Příloha 1 - Tabulka výsledků analýz vybraných fyzikálně-chemických parametrů a ANOVA

Období	Lokalita	Zákal [FZ]	Teplota [°C]	Konduktivita [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	N-NH ₄ ⁺ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	pH
Únor, 2020	1.	28,10	4,7	284	0,36	3,6	0,17	7,28
	2.	6,99	4,7	276	0,35	3,3	0,13	7,25
	3.	15,90	6,7	273	1,19	3,5	0,15	7,34
Březen, 2020	1.	14,20	7,8	266	0,24	2,1	0,12	7,39
	2.	3,10	7,5	263	0,31	2,2	0,24	7,17
	3.	2,12	7,0	247	0,23	2,3	0,12	7,18
Duben, 2020	1.	< 0,01	13,5	316	1,28	1,4	0,08	8,11
	2.	< 0,01	14,0	303	0,39	1,6	0,09	8,15
	3.	< 0,01	14,6	304	0,34	1,5	0,09	8,16
Květen, 2020	1.	0,01	17,1	342	0,24	1,8	0,32	7,95
	2.	< 0,01	17,2	336	0,27	1,5	0,27	7,84
	3.	< 0,01	17,4	336	0,25	1,4	0,31	7,86
Červen, 2020	1.	6,54	17,8	345	0,39	4,3	0,32	7,25
	2.	8,48	17,7	345	1,68	5,1	0,37	7,26
	3.	9,27	17,7	344	0,44	4,6	0,35	7,39
Červenec, 2020	1.	6,37	16,6	341	0,01	2,8	0,24	7,38
	2.	1,58	17,5	338	0,21	3,0	0,24	7,68
	3.	0,41	17,0	330	< 0,01	2,7	0,23	7,66
Srpen, 2020	1.	8,40	19,0	320	0,74	11,1	0,35	7,52
	2.	3,60	18,9	322	0,65	7,9	0,35	7,69
	3.	7,80	18,5	319	0,84	9,5	0,35	7,75
Září, 2020	1.	0,83	18,2	387	< 0,01	2,0	0,35	7,42
	2.	< 0,01	19,9	378	< 0,01	2,1	0,26	7,49
	3.	< 0,01	18,3	384	< 0,01	2,2	0,40	7,51
Prosinec, 2020	1.	< 0,01	6,4	376	< 0,01	2,3	0,36	7,42
	2.	< 0,01	4,8	360	< 0,01	1,9	0,19	7,41
	3.	< 0,01	5,3	361	< 0,01	2,2	0,14	7,43
Leden, 2021	1.	0,06	4,9	379	0,21	2,9	0,20	7,24
	2.	< 0,01	2,6	365	0,19	3,0	0,12	7,30
	3.	0,56	2,3	350	0,19	2,6	0,16	7,31
ANOVA	Pr (>F)	0,35	0,99	0,83	0,94	0,97	0,85	0,89
	F-value	1,08	0,01	0,19	0,06	0,03	0,17	0,11
	SD	6,38	6,16	38,58	0,41	2,34	0,10	0,29

Příloha 2 - Tabulka vybraných parametrů jakosti povrchových vod (ČSN 75 722)

Ukazatel	Symbol	Jednotka	Třída				
			I.	II.	III.	IV.	V.
Reakce vody	pH		6,0 – 8,5	6,0 – 8,5	6 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 – 9,0
Teplota vody	t	°C	< 22	< 23	< 24	< 26	> 26
Konduktivita	x	mS/cm	< 400	< 700	< 1100	< 1600	> 1600
Amoniakální dusík	N-NH ₄ ⁺	mg/l	< 0,3	< 0,5	< 1,5	< 5,0	> 5,0
Dusičnanový dusík	N-NO ₃ ⁻	mg/l	< 1,0	< 3,4	< 7,0	< 11,0	> 11

Třída I – neznečištěná voda: stav povrchové vody nebyl významně ovlivněn lidskou činností. Ukazatele jakosti vody nepřesahují hodnoty odpovídající přirozenému pozadí v tocích. Voda je vhodná pro veškerá možná využití (např. chov ryb, průmyslové nebo vodárenské účely).

Třída II – mírně znečištěná voda: stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností v malé míře. Ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které umožňují existenci vyváženého a udržitelného ekosystému.

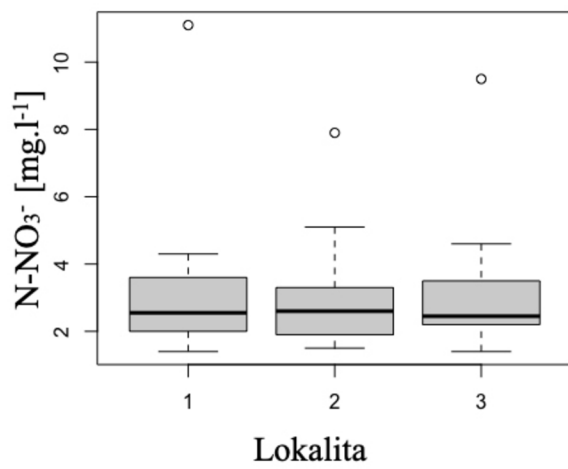
Třída III – znečištěná voda: stav povrchové vody byl ovlivněn lidskou činností tak, že její využití je částečně omezeno. Ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které nemusí vytvořit podmínky pro udržitelný ekosystém.

Třída IV – silně znečištěná voda: stav povrchové vody, který byl lidskou činností ovlivněn do takové míry, že ukazatele jakosti vody značí o existenci nevyváženého ekosystému.

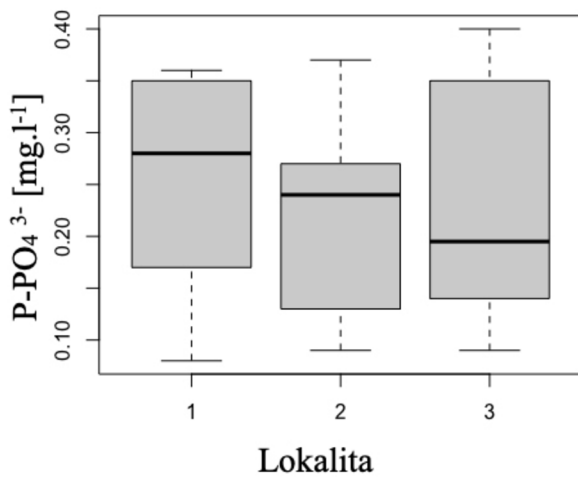
Třída V – velmi silně znečištěná voda: stav povrchové vody byl lidskou činností ovlivněn natolik, že ukazatele jakosti vody vypovídají o silně nevyváženém ekosystému (ČSN 75 7221).

Vizualizace statistických dat boxploty

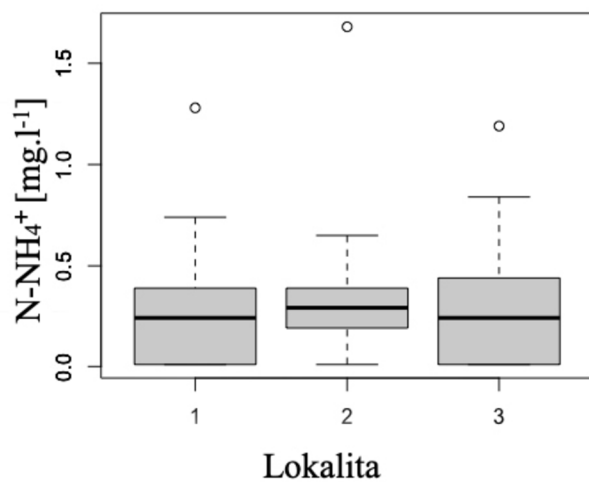
Pro vybrané parametry a lokality



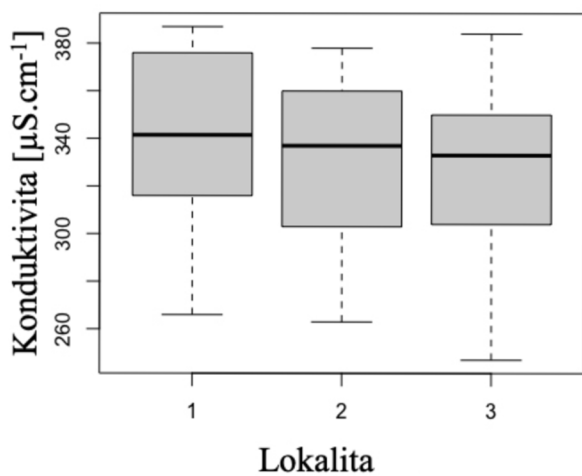
Příloha 3 - Boxplot pro dusičnanový dusík



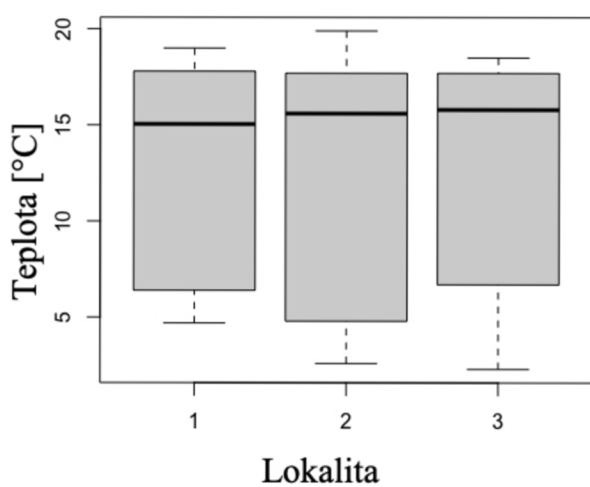
Příloha 4 - Boxplot pro fosforečnany



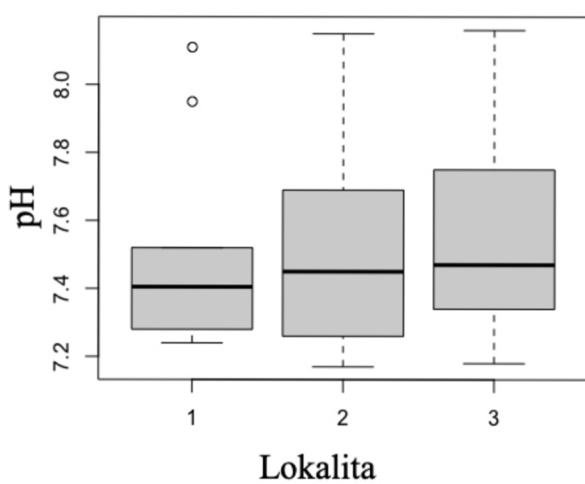
Příloha 5 - Boxplot pro amoniakální dusík



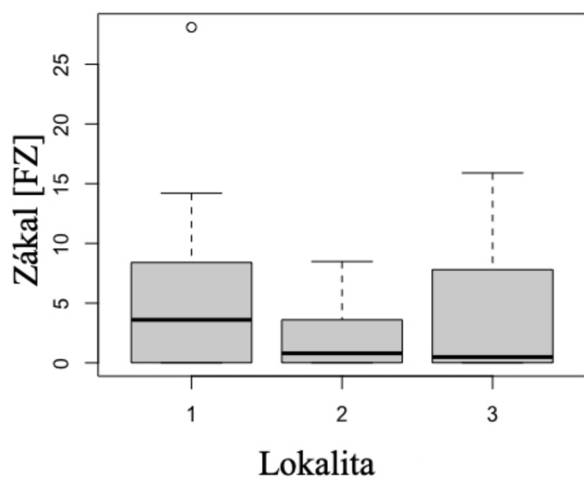
Příloha 6 - Boxplot pro konduktivitu



Příloha 7 - Boxplot pro teplotu



Příloha 8 - Boxplot pro pH



Příloha 9 - Boxplot pro zákal

Fotodokumentace stavebních úprav



Příloha 10 - Bourání nábreží při mostě Komenského, červenec 2020 (archiv autorky)



Příloha 11 - Pohled na pravý břeh z mostu Komenského, červenec 2020 (archiv autorky)



Příloha 12 - Pohled na průběh bourání poloviny mostu na Masarykově třídě, červenec 2020 (archiv autorky)



Příloha 13 - Průběh stavebních úprav, červenec 2020 (archiv autorky)



Příloha 14 - Pohled z mostu Komenského, září 2020 (archiv autorky)



Příloha 15 - Pohled na nábřeží z mostu Komenského, prosinec 2020 (archiv autorky)

Fotodokumentace demolice mostu na Masarykově třídě



Příloha 16 - Bourání mostu na Masarykově třídě, duben 2020 (protipovodnovaopatreni.olomouc.eu)



Příloha 17 - Materiál z bouraného mostu, duben 2020 (protipovodnovaopatreni.olomouc.eu)



Příloha 18 - Pohled z výšky na demolici mostu, duben 2020 (protipovodnovaopatreni.olomouc.eu)