

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 3. května 2021

.....

Valérie Hanušová

Obsah

Seznam obrázků	vii
Seznam tabulek	vii
Seznam příloh	viii
Seznam použitých zkratk	viii
Poděkování	ix
1 Úvod	1
1.2 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	14
2.2.4 Zákaly	15
2.3 Anorganické látky ve vodách	15
2.3.1 Fosfor	15
2.3.2 Dusík	16
2.3.3 Amoniakální dusík	16
2.3.4 Dusičnanový dusík	17
3 Praktická část	18
3.1 Popis vybraných míst k odběru vzorků	18
3.2 Odběr vzorků a jejich zpracování	19
3.3 Laboratorní stanovení vybraných parametrů	20
3.3.1 Stanovení fosforečnanů PO ₄ ³⁻	20
3.3.2 Stanovení amoniakálního dusíku N-NH ₄ ⁺	20
3.3.3 Stanovení dusičnanového dusíku N-NO ₃ ⁻	21
3.3.4 Stanovení pH	22
3.3.5 Stanovení zákalu	22
4 Výsledky	23
5 Diskuze	30
6 Závěr	32
7 Přílohy	36

Seznam obrázků

Obrázek 1: Hydrogram průtokové vlny a její prvky (upraveno podle ČSN, 1975, 1983) převzato od Brázdil, 2005	2
Obrázek 2: Přehled zjištěného rozsahu záplav za hranicí rozlivu Q100 (pmo.cz).....	3
Obrázek 3: Záplavy Černovír (olomoucky.denik.cz).....	6
Obrázek 4: Přírodě blízké koryto řeky (mapy.cz/fotografie, autor: Dejvarosa).....	6
Obrázek 5: Přírodě blízké protipovodňové opatření (mapy.cz/fotografie, autor: Viky Ziskova)	7
Obrázek 6: Pohled na kamenné nábřeží mezi mosty Komenského a Masarykova před provedením PPO (olomouc.eu).....	8
Obrázek 7: Pohled na kamenné nábřeží mezi mosty Komenského a Masarykova po realizaci PPO (olomouc.eu).....	8
Obrázek 8: Přehled etap PPO (protipovodnovaopatreni.olomouc.eu)	9
Obrázek 9: Klimatické poměry	12
Obrázek 10: Vybraná místa k odběru vzorků.....	18
Obrázek 11: Koncentrace amonných iontů	23
Obrázek 12: Koncentrace dusičnanů	24
Obrázek 13: Koncentrace fosforečnanů	25
Obrázek 14: Hodnoty pH	26
Obrázek 15: Hodnoty zákalu	27
Obrázek 16: Teploty vody	28
Obrázek 17: Hodnoty konduktivity	28

Seznam tabulek

Tabulka 1: Průměrné koncentrace hodnot na daných lokalitách.....	29
Tabulka 2: Zařazení jednotlivých lokalit do tříd jakosti vody podle ČSN 75 7221.....	29

Seznam příloh

Příloha 1: Tabulka výsledků analýz vybraných fyzikálně-chemických parametrů.....	36
Příloha 2: Tabulka vybraných parametrů jakosti povrchových vod (ČSN 75 722)	37
Příloha 3: Bourání nábreží při mostě Komenského, červenec 2020 (archiv autorky).....	38
Příloha 4: Pohled na pravý břeh z mostu Komenského, červenec 2020 (archiv autorky).....	39
Příloha 5: Pohled na průběh bourání poloviny mostu na Masarykově třídě, červenec 2020 (archiv autorky).....	39
Příloha 6: Průběh stavebních úprav, červenec 2020 (archiv autorky).....	40
Příloha 7: Pohled z mostu Komenského, září 2020 (archiv autorky).....	40
Příloha 8: Pohled na nábreží z mostu Komenského, prosinec 2020 (archiv autorky).....	41
Příloha 9: Bourání mostu na Masarykově třídě, duben 2020 (protipovodnovaopatreni.olomouc.eu).....	41
Příloha 10: Materiál z bouraného mostu, duben 2020 (protipovodnovaopatreni.olomouc.eu)	42
Příloha 11: Pohled z výšky na demolici mostu, duben 2020 (protipovodnovaopatreni.olomouc.eu).....	42

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.

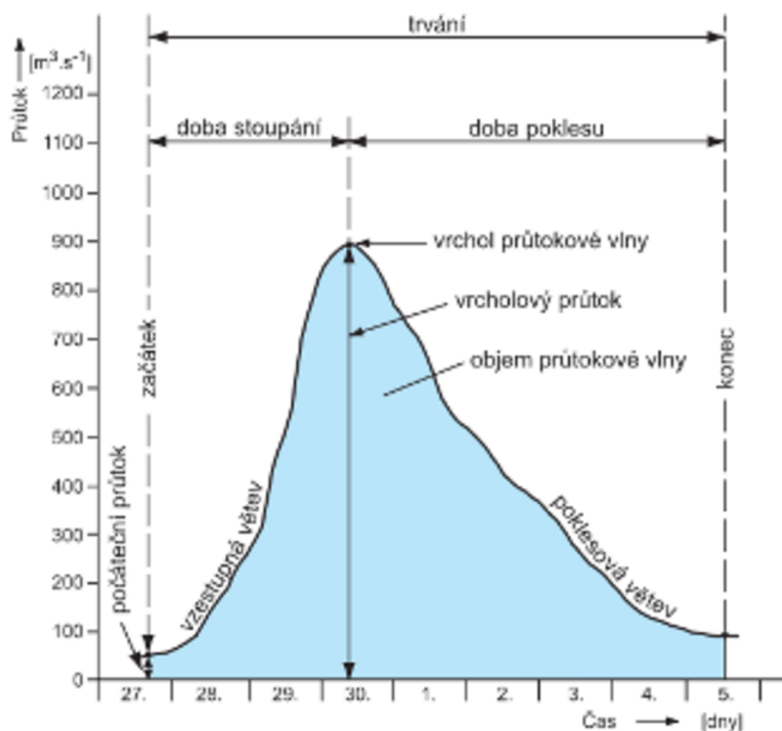
1 Úvod

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).

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 vyplavování problémových živin 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).



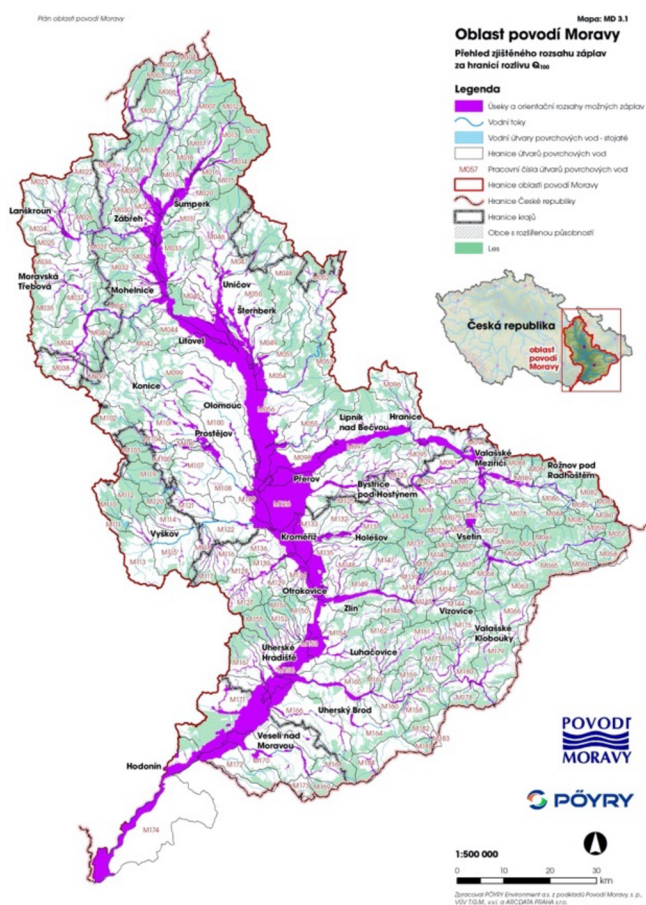
Obrázek 1: Hydrogram průtokové vlny a její prvky (upraveno podle ČSN, 1975, 1983) převzato od Brázdil, 2005.

Matějčíček 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).



Obrázek 2: Přehled zjištěného rozsahu záplav za hranici rozlivu Q100 (pmo.cz)

- 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“ (Oppeltová 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).

- 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).

- Stavební úpravy toku

„Jako nejproblematičtější 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, porovnálo 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 pořiční 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.



Obrázek 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.



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



Obrázek 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 nábřežních 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).



Obrázek 6: Pohled na kamenné nábřeží mezi mosty Komenského a Masarykova před provedením PPO (olomouc.eu)



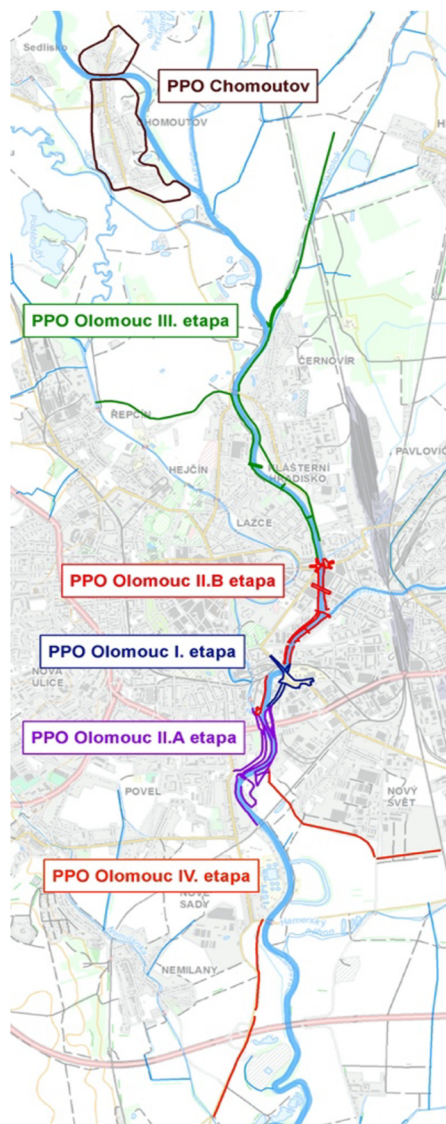
Obrázek 7: Pohled na kamenné nábřeží mezi mosty Komenského a Masarykova po realizaci PPO (olomouc.eu)

Řeka Morava v řešeném úseku protékala v opěrných zdech, stísněným prostorem poměrně konsolidované bytové zástavby. Zvýšení kapacity koryta bylo dosaženo maximálním posunutím líce nábřežních zdí ke stavební čáře obytné zástavby. Nábřežní komunikace a chodníky byly rekonstruovány, jejichž šířka je cca 6 m. Plány uvádí, že nábřežní zdi budou na obou stranách lemovány alejemi stříhaných stromů, v koruně nábřežních zdí budou vyhlídky zpestřující liniový vzhled nábřeží, všechny opěrné zdi budou obloženy kamennými kvádry, v oblasti kolísání hladin bude obklad z mrazuvzdorného kamene. Nábřeží by mělo mít vysokou estetickou hodnotu promenády. Na pravé bermě bude chodník pro pěší, na levé bermě pak cyklistická stezka. Posunutí nábřežních 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 vzdutí z řeky Moravy ovlivňuje průběh hladin v Bystřici, bude nutné zvýšit nábřežní zdi a břehovou hranu Bystřice parapetními zídками 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).



Obrázek 8: Přehled etap PPO
(protipovodnovaopatreni.olomouc.eu)

1.2 Cíle práce

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

Teoretické podklady pro vypracování:

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

Hodnocení kvality vody:

- odběry vzorků vody
- terénní a laboratorní stanovení vybraných fyzikálně-chemických ukazatelů vody
- zpracování získaných dat
- 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

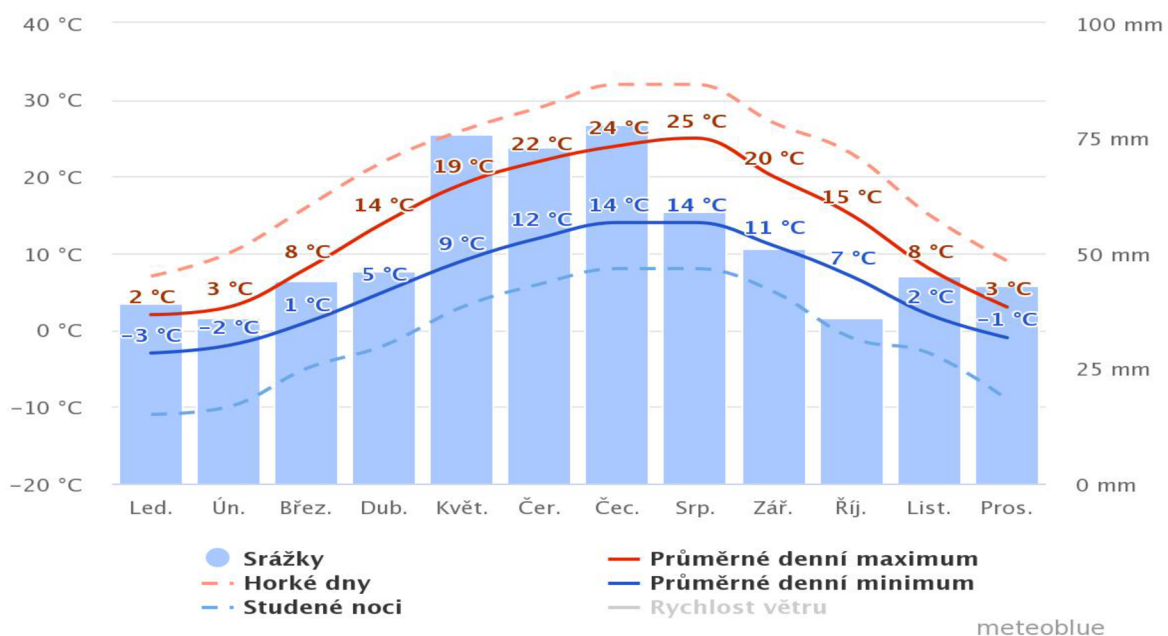
Mezi skalním dnem údolí a povrchem nivy se skrývá až 17 m říčních uloženin, ve kterých je zaznamenána historie řeky. Sedimenty se zde ukládaly v průběhu poslední doby ledové a současné době meziledové (Stehlík & Kadlec, 2012).

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.



Obrázek 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).

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 vlévá s druhou nejvýznamnější řekou v celém povodí, Dyjí.

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° 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).

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.

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.

Nízké pH bývá 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. Hodnota pH se liší i s různorodostí odpadních vod, kdy například odpadní vody ze zemědělství (silážní šťávy) mohou hodnotu značně snížit a odpadní vody ze stavební činnosti naopak zvýšit (Kopp, 2015).

Hodnota pH se běžně měří u všech druhů vod a představuje klíčový prvek pro následná posuzování vlastností analyzované vody (Horáková et al., 2007).

2.2.3 Teplota

Teplota vody významně ovlivňuje její chemickou a biochemickou reaktivitu, a to od $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ asi do $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. 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 $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (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 proudy otepluje přibližně o $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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).

2.2.4 Zákaly

Jedním ze základních požadavků na jakost pitné a užitkové vody je snížení neprůhlednosti vody nerozpuštěnými látkami. Zákaly 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 zákaly stanovují 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

Přirozeným zdrojem fosforu ve vodách jsou rozpuštěné či vyluhované minerály a horniny. Antropogenním zdrojem anorganického fosforu se stávají protikorozní a protiinkrustační přípravky, splaškové vody, živočišný odpad, odpadní vody z textilního a pivovarského průmyslu a splach z půdy obdělávané fosforečnými hnojivými. 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. V celkové bilanci koloběhu fosforu většinou převažuje posun fosforu z vod do sedimentů nežli naopak, pro úživnost nádrže je však důležitější přísun do samotného toku, než vnitřní samozásobení zpětným uvolňováním ze sedimentů (Kopp, 2015).

2.3.2 Dusík

Dusík se řadí mezi nejdůležitější makrobiogenní prvky a patří do 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).

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, atmosférické srážky a odpadní vody (Kopp, 2015).

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).

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).

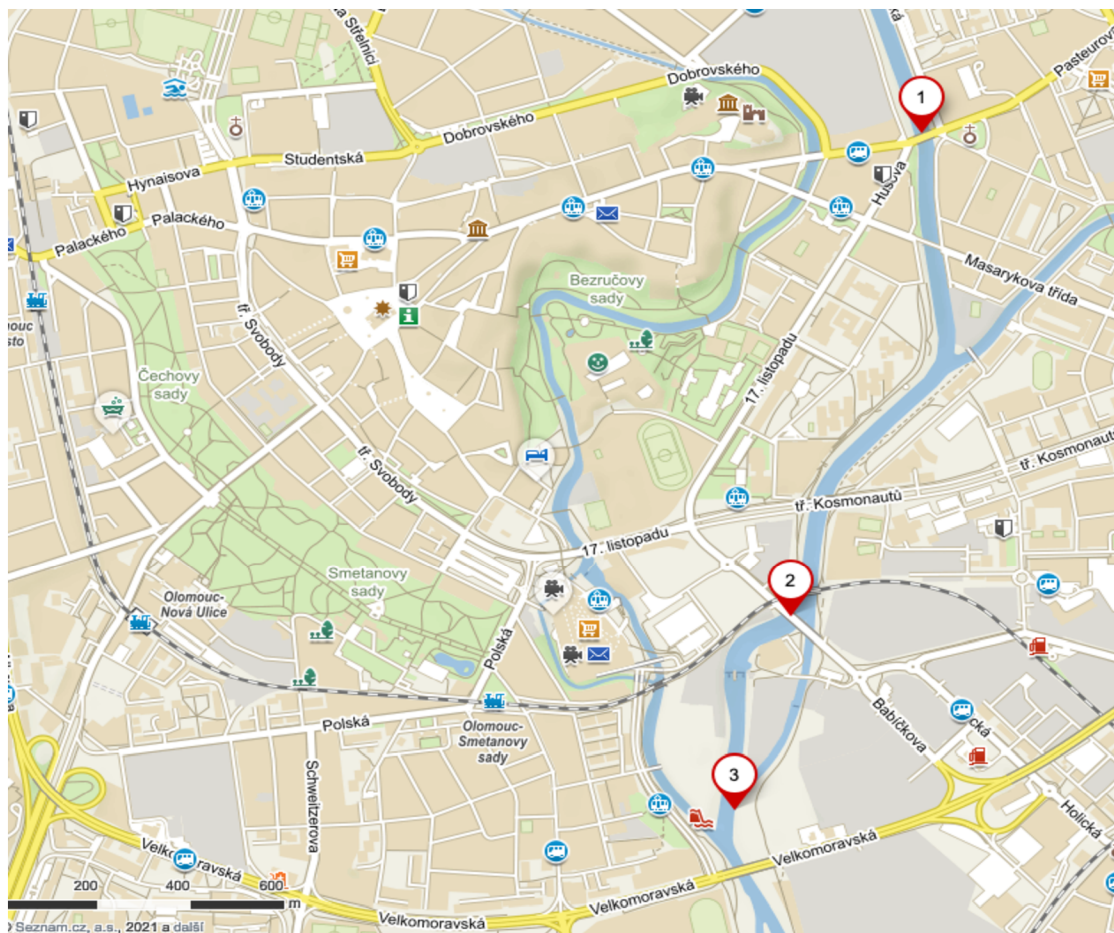
2.3.4 Dusičnanový dusík

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).

3 Praktická část

3.1 Popis vybraných míst k odběru vzorků

Vybraná část vodního toku Moravy byla zkoumána na třech stanovištích. Za první stanoviště byl určen most Komenského, který byl v době odběrů již po rekonstrukci a mohl tak sloužit jako kontrolní bod. Druhým stanovištěm byl most přes Moravu na ulici Wittgensteinova, který představoval výhodný bod ve sledování jakosti vody při urbanizační činnosti na Masarykově mostě, a to z hlediska přístupnosti, dostatečné vzdálenosti od místa stavby a mísení s levým přítokem, řekou Bystřicí. 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.



Obrázek 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, způsobeném pandemií koronaviru. 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.

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 promíchávat 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 amoniakálních 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.

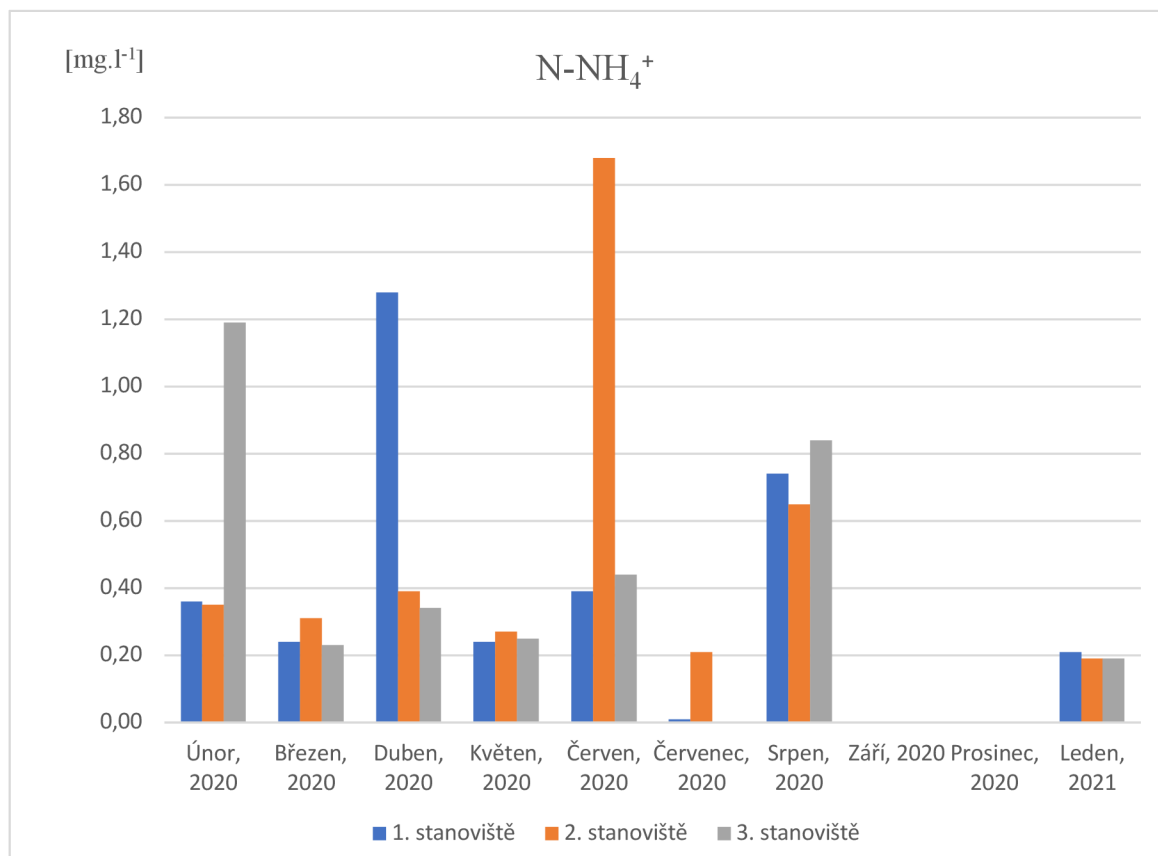
3.3.5 Stanovení zákalu

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.

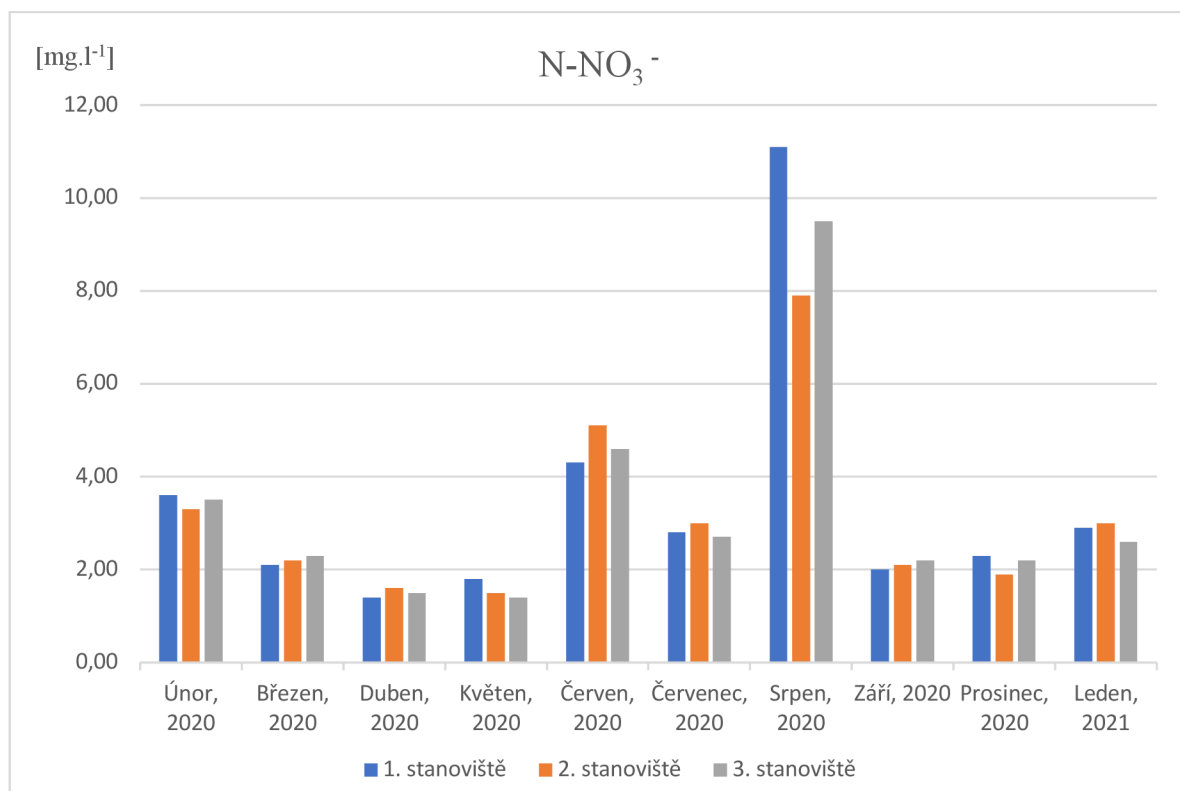
4 Výsledky

Výsledky fyzikálně-chemických analýz odebraných vzorků z období od února 2020 do ledna 2021 jsou prezentovány v podobě grafů. Zdrojová tabulka dat je uvedena v příloze.



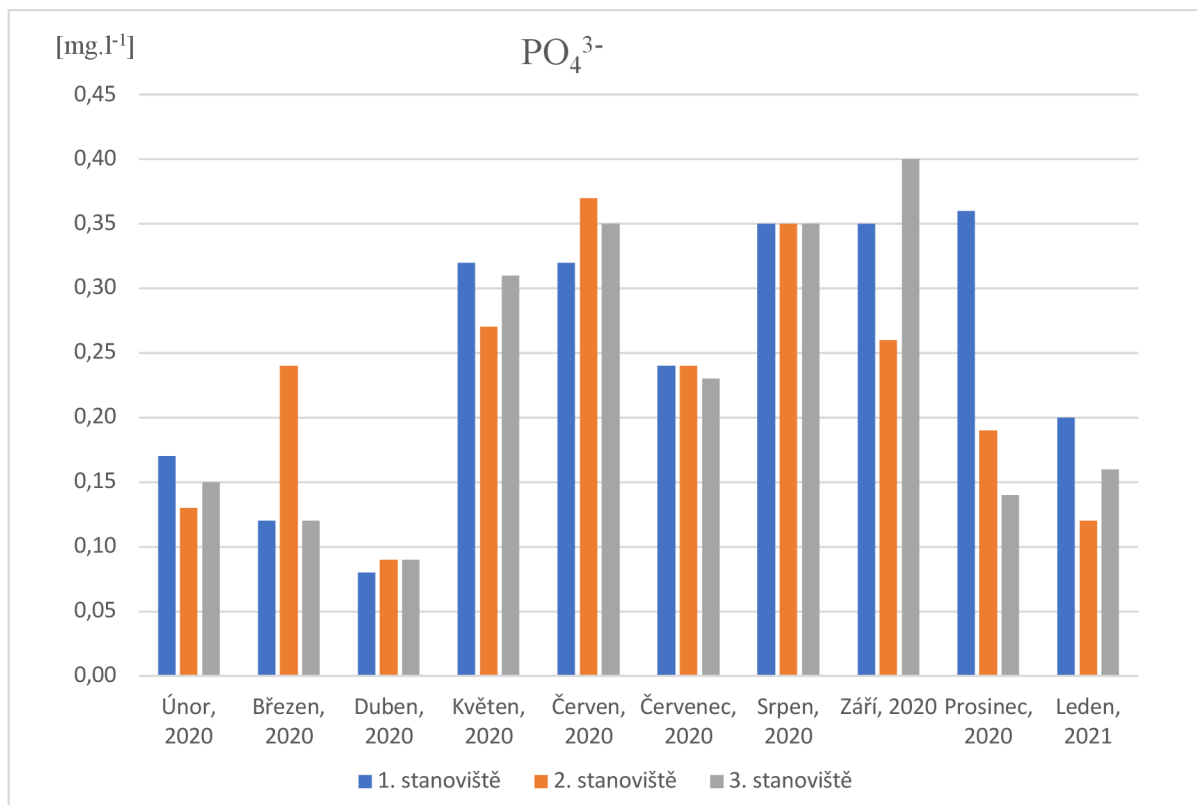
Obrázek 11: Koncentrace amonných iontů

Nejnižší koncentrace amonných iontů byly naměřeny v září a prosinci, kdy sahaly 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.



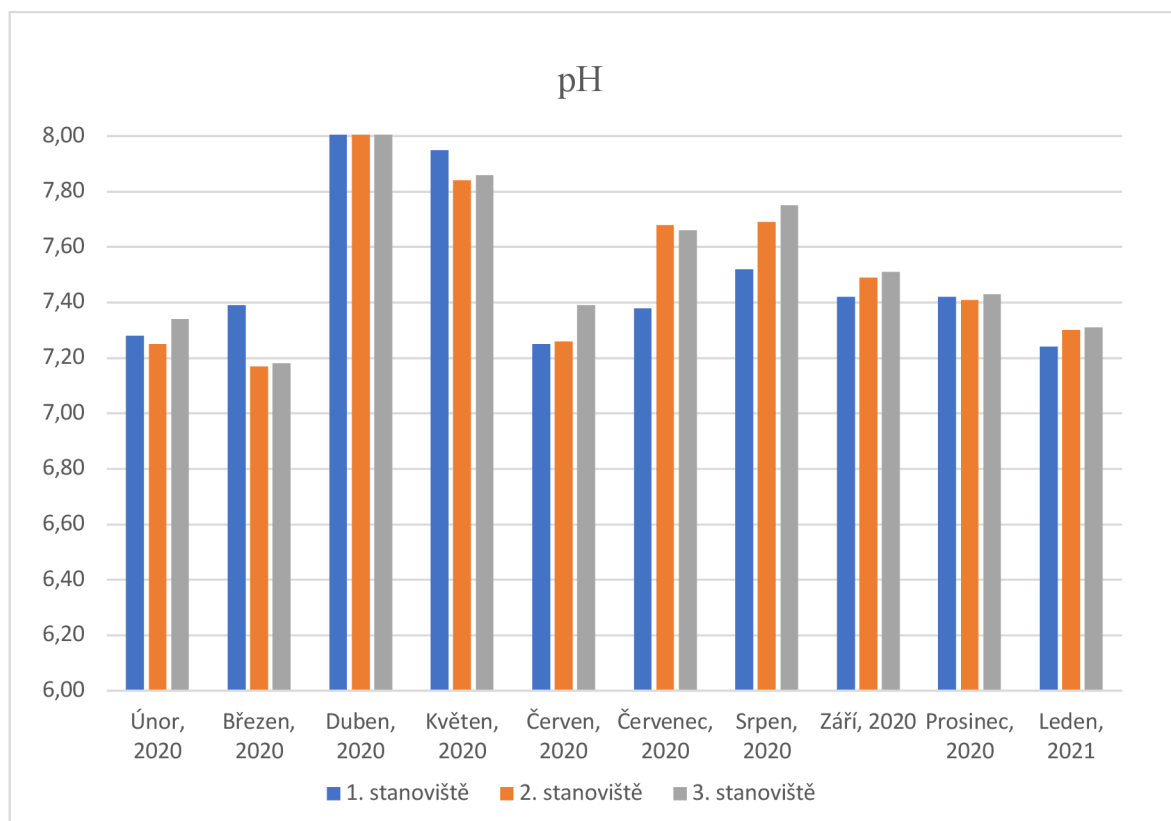
Obrázek 12: Koncentrace dusičnanů

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.



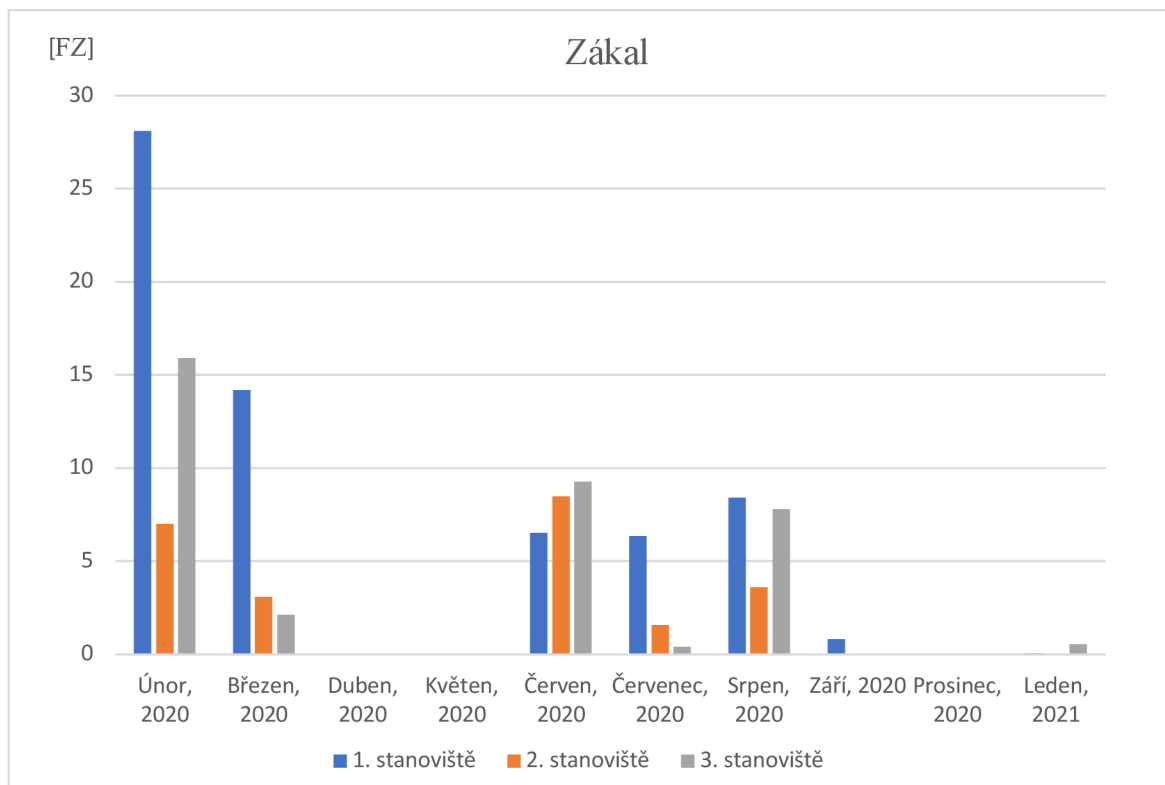
Obrázek 13: Koncentrace fosforečnanů

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.



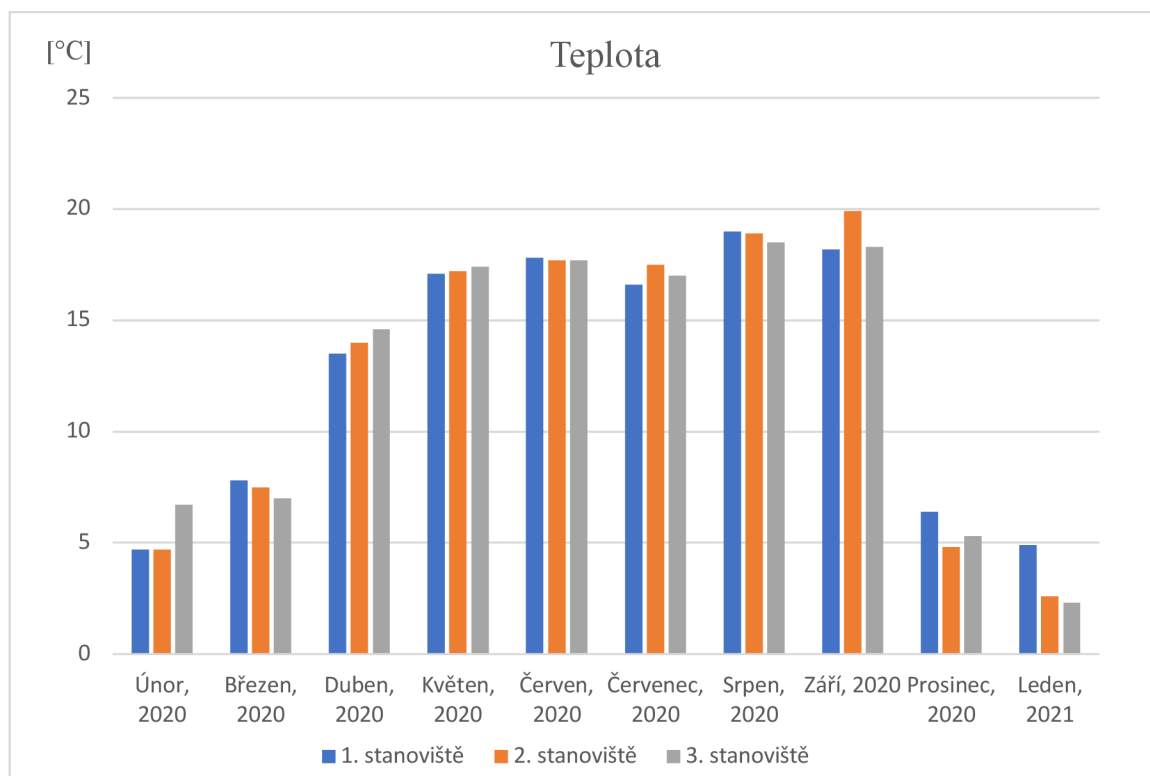
Obrázek 14: Hodnoty pH

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.



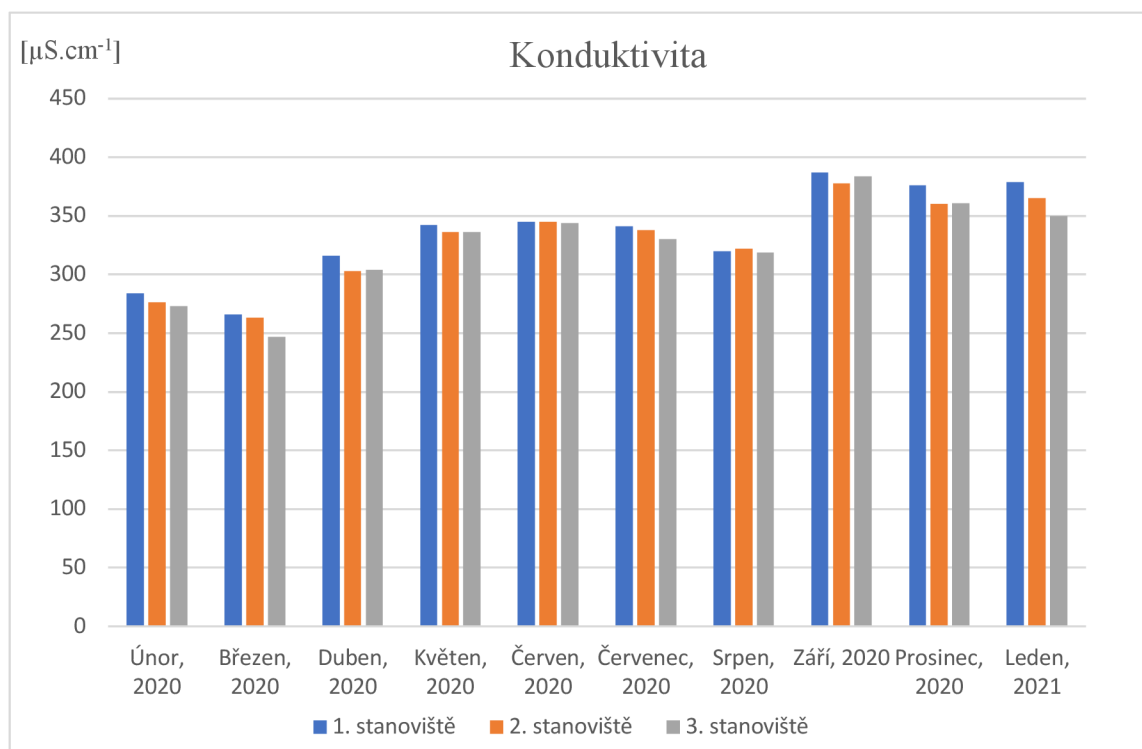
Obrázek 15: Hodnoty zákalu

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.



Obrázek 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.



Obrázek 17: Hodnoty konduktivity

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

	Teplota [$^{\circ}\text{C}$]	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
Lokalita 1	12,6	335,6	0,3	3,4	0,3	7,5
Lokalita 2	12,5	328,7	0,3	3,3	0,2	7,5
Lokalita 3	12,5	325,3	0,3	3,3	0,2	7,6

Tabulka 1: Průměrné koncentrace hodnot na daných lokalitách

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

Tabulka 2: Zařazení jednotlivých lokalit do tříd jakosti vody podle ČSN 75 7221

Chybí zařazení PO₄³⁻ neboť ukazatele kvality vody v rámci ČSN 75 7221 jsou stanoveny pro celkový fosfor.

5 Diskuze

Míra rozdílů v jakosti kvality vody a průměrných koncentracích vybraných fyzikálně-chemických parametrů na jednotlivých lokalitách nebyla příliš patrná. Ukázalo se, že i na prvním, kontrolním stanovišti byla čas od času nějaká maxima, kterým ovšem nelze přikládat souvislost se stavební činností na toku. Na druhé lokalitě už mohly být výsledky ovlivněny přítokem Bystřice, ale z důvodu stavebních prací nebyl možný přístup k řece mezi I. a II. lokalitou pro zvolení jiného odběrného místa.

U prvního grafu, koncentrací amoniakálních iontů, může trend vyšších hodnot v první polovině roku souviset se sezónní dynamikou, vyplavování amonických iontů z půd a antropogenním znečištěním. Při porovnání vybraných imisních standardů přípustného znečištění povrchových vod podle Nařízení vlády č. 229/2007 Sb. došlo k překročení uvedeného limitu (tedy $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$) 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. Naopak snížená koncentrace amonických iontů pod mez detekce přístroje v září a prosinci, může být důsledkem procesů nitrifikace. Je třeba doplnit, že při „Nesslerově“ metodě pro rutinní stanovení amoniakálního dusíku, která probíhá v silně alkalickém prostředí, vykazují stejnou absorbanci jako jodid oxidimerkuriamidu i huminové látky, které se v přírodních vodách běžně vyskytují. Je tedy možné, že výsledky analýzy byly zatíženy pozitivní chybou (Horáková et. al., 2007).

Koncentrace dusičnanů byla na stanovištích v průběhu roku víceméně konstantní. Většina odběrů byla zařazena do první nebo druhé kategorie znečištění podle ČSN 75 7221. K překročení přípustného znečištění (tedy $7,0 \text{ mg.l}^{-1}$) povrchových vod podle Nařízení vlády č. 229/2007 Sb. došlo celkem třikrát. Zdrojem znečištění na všech třech lokalitách, které bylo zaznamenáno v srpnu, mohly být pravděpodobně splachy z hnojených polí a atmosférické depozice.

Vyšší koncentrace fosforečnanů v zimním období mohly být způsobeny mineralizací 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. Přesto by naměřené hodnoty neměly být považovány za zanedbatelné.

Nejvyšší hodnoty pH mohly souviset se suchem, sníženým objemem vody a intenzivní fotosyntézou vodních rostlin s nástupem vegetační sezóny. Také odpadní voda ze stavební činnosti pH vody zvyšuje. Nicméně, hodnoty do 8,5 se u povrchově tekoucích vod stále řadí mezi běžný průměr. V průběhu roku byly hodnoty již relativně konstantní.

Ke zvýšené hodnotě zákalu na první lokalitě pravděpodobně přispělo období cirkulací, jarní tání sněhu a ledu, později větrné a suché počasí, či nárůst fytoplanktonu (e-learning.vscht.cz). Zvýšené hodnoty na druhém a třetím stanovišti mohou být ještě důsledkem zvýšené turbidity spojené se stavební činností při demontáži mostu na Masarykově třídě.

Teplota vody byla na vybraných lokalitách ovlivněna převážně přírodními poměry. Naměřené hodnoty byly příznivé pro rychlost biochemických procesů, procesy samočištění i rozpustnost kyslíku, neboť odpovídaly první třídě v hodnocení jakosti povrchových vod.

Konduktivita na všech lokalitách odpovídala v hodnocení jakosti vody podle ČSN 75 7221 první třídě. Vyšší hodnoty v dubnu, oproti předešlým měsícům, mohly souviset s demolicí poloviny mostu na Masarykově třídě. Zbytky betonové suti a kovových částí, které byly ponechány v korytě řeky, při přerušení stavebních prací z důvodu velikonočních svátků, tak mohly zčásti ovlivnit i vodivost. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny od září do ledna, pravděpodobně díky mechanickým úpravám břehové linie a budování kanalizace na levém břehu řeky.

6 Závěr

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 i 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 dále pokračovat v hodnocení chemismu vody. Data by v širších souvislostech mohla mít větší vypovídající hodnotu. Užitečné by případně bylo zaměřit se též na hydromorfologii vodního toku.

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.
- Hladný, J., & Matějčíček, J. (1999). *Povodňová katastrofa 20. století na území České republiky*. Praha: Ministerstvo životního prostředí.
- Horáková, M. (2007). *Analytika vody*. Praha: VŠCHT.
- 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 geoekologie 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.
- Opletová P., & Novák, J., & Kotovicová, J. (2012). *Vzdělávací modul ochrana životního prostředí – voda*. Náměš' 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.
- Stehlík, F. & Kadlec, J. (2012). *Dolní tok Moravy v holocénu aneb co řeka napsala do svého archivu*. *Vesmír*, 91(2), s. 100.
- Šlesingr, M. (2010). *Revitalizace toků: příspěvek k problematice úprav vodních toků*. Brno: VUTIUM. ISBN 978-80-214-3942-9.

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 pořiční 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 úhrn 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.

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>.

Říhová, Ambrožová, J. (2007). *Průhlednost, zákal a barva vody*. Encyklopedie hydrobiologie : výkladový slovník. Praha: VŠCHT. [Internet]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=P040.

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.

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.

Předpis 229/2007 Sb., nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 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

	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

Příloha 1: Tabulka výsledků analýz vybraných fyzikálně-chemických parametrů

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	μS/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

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

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).

Fotodokumentace stavebních úprav



Příloha 3: Bourání nábreží při mostě Komenského, červenec 2020 (archiv autorky)



Příloha 4: Pohled na pravý břeh z mostu Komenského, červenec 2020 (archiv autorky)



Příloha 5: Pohled na průběh bourání poloviny mostu na Masarykově třídě, červenec 2020 (archiv autorky)



Příloha 6: Průběh stavebních úprav, červenec 2020 (archiv autorky)



Příloha 7: Pohled z mostu Komenského, září 2020 (archiv autorky)



Příloha 8: Pohled na nábreží z mostu Komenského, prosinec 2020 (archiv autorky)

Fotodokumentace demolice mostu na Masarykově třídě



Příloha 9: Bourání mostu na Masarykově třídě, duben 2020 (protipovodnovaopatreni.olomouc.eu)



Příloha 10: Materiál z bouraného mostu, duben 2020 (protipovodnovaopatreni.olomouc.eu)



Příloha 11: Pohled z výšky na demolici mostu, duben 2020 (protipovodnovaopatreni.olomouc.eu)