



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

ODHAD BILANCE PLAVENIN VE VYBRANÉM VODOMĚRNÉM PROFILU TOKU

ESTIMATION OF THE SEDIMENT BALANCE IN THE SELECTED HYDROMETRIC
PROFILE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radek Priesner

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. DANIEL MARTON, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Radek Priesner
Název	Odhad bilance plavenin ve vybraném vodoměrném profilu toku
Vedoucí práce	doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2021
Datum odevzdání	27. 5. 2022

V Brně dne 30. 11. 2021

doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Habersack H., Haimann M., Kerschbaumsteiner W., Lalk P. Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes, Wien, 2017.

Hudíková, D. Vazba průtoků a sedimentů ve vybraném vodoměrném profilu povodí řeky Dyje. Brno, 2019. 52 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Daniel Marton, Ph.D.

Starý, M. Modul 01 Hydrologie, VUT FAST V Brně, Brno 2005

Zachoval, Z. Splaveniny ve vodních tocích: Modul 1. Brno, 2016.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Problematika transportu sedimentů a jejich následné ukládání v nádržích je poměrně závažný problém, který vodohospodářská odborná veřejnost vnímá velice intenzivně. Z tohoto důvodu jsou práce v dané oblasti žádané. Cílem bakalářské práce je vyhodnotit bilanci plavenin přesněji nerozpuštěných látek unášených v suspenzi ve vybraném vodoměrném profilu. Výpočet bude složit jako dílčí podklad pro řešení projektu ATCZ28 SEDECO. Praktická aplikace bude provedena na datech měřených v profilu Příbice na řece Jihlavě, kde probíhá kontinuální měření plavenin od roku 2019.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je vyhodnotit bilanci plavenin, respektive nerozpuštěných látek unášených v suspenzi ve vybraném vodoměrném profilu. Práce dále obsahuje metodický návod na měření a následné vyhodnocení plavenin, který vychází z rakouské metodické příručky Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes (Habersack et al., 2017). Výpočet bude sloužit jako dílčí podklad pro řešení projektu ATCZ28 SEDECO – Sedimenty a ekosystémové služby ve vzájemném působení s povodněmi a suchem v pohraniční oblasti AT-CZ. Praktická aplikace bude provedena na datech měřených v profilu Přibice na řece Jihlavě, kde probíhá kontinuální měření plavenin od roku 2019.

KLÍČOVÁ SLOVA

Plaveniny, bilance plavenin, suspendované látky, koncentrace suspendovaných látek, zákalová sonda, vícebodová metoda, integrační metoda, ADCP, Jihlava.

ABSTRACT

The aim of the bachelor thesis is to evaluate the balance of suspended sediment load, respectively undissolved substances carried in suspension in the selected hydrometric profile. The work also contains methodical instructions for measurement and subsequent evaluation of sediment load, based on the Austrian methodological manual Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes (Habersack et al., 2017). The calculations will be used as a partial basis for the project ATCZ28 SEDECO – Sediments, ecosystem services and interrelation with floods and droughts in the AT-CZ border region. The practical application will be implemented on data measured in hydrometric profile Přibice on the River Jihlava, where continuous measurement of suspended sediment load has been taking place since 2019.

KEYWORDS

Sediment load, balance of suspended sediment load, suspended solids, concentration of suspended solids, turbidity probe, multi-point method, integration method, ADCP, Jihlava.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Radek Priesner *Odhad bilance plavenin ve vybraném vodoměrném profilu toku*. Brno, 2022. 62 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Odhad bilance plavenin ve vybraném vodoměrném profilu toku* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 23. 5. 2022

Radek Priesner
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Odhad bilance plavenin ve vybraném vodoměrném profilu toku* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 23. 5. 2022

Radek Priesner
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Velice děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Danielu Martonovi, Ph.D. za jeho nekončící ochotu, investovaný čas a cenné rady, jež dovedly tento spis do zdárného konce. Za vytrvalou podporu patří obrovské díky také mé rodině a všem mým nejbližším.

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	CÍL PRÁCE	3
3	SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ.....	4
3.1	SPLAVENINY	4
3.1.1	Dělení splavenin	5
3.1.2	Vlastnosti splavenin.....	5
3.2	MĚŘENÍ PLAVENIN	7
3.2.1	Přímé metody.....	8
3.2.2	Nepřímé metody	10
3.2.3	Kombinace přímé a nepřímé metody.....	11
3.2.4	Strategie měření plavenin	11
3.2.5	Výběr místa měření	12
3.2.6	Vybavení monitorovací stanice	13
3.3	DISTRIBUCE KONCENTRACE SUSPENDOVANÝCH LÁTEK V PŘÍČNÉM PROFILU TOKU	14
3.3.1	Vícebodová metoda v kombinaci s měřením ADCP	15
3.3.2	Integrační metoda	16
3.4	LABORATORNÍ ANALÝZA PLAVENIN.....	17
3.5	METODIKA MĚŘENÍ PLAVENIN ČESKÝM HYDROMETEOROLOGICKÝM ÚSTAVEM	18
4	METODICKÝ POSTUP.....	20
4.1	PRŮBĚŽNÝ ZÁZNAM ZE SONDY	20
4.2	ODBĚR KALIBRAČNÍ VZORKŮ.....	21
4.3	ZJIŠTĚNÍ DISTRIBUCE KONCENTRACE SUSPENDOVANÝCH LÁTEK V PŘÍČNÉM PROFILU TOKU.....	22
4.4	LABORATORNÍ ANALÝZA	25
5	PRAKTICKÁ APLIKACE A VYHODNOCENÍ DAT	27
5.1	POPIS ŘEŠENÉ OBLASTI.....	27
5.1.1	Geomorfologie.....	28
5.1.2	Klimatologie	28
5.1.3	Hydrologie.....	28
5.2	VYHLAZENÍ A DOPLNĚNÍ HODNOT NAMĚŘENÝCH SONDOU	30
5.3	KALIBRACE SONDY	33
5.3.1	Postup A	33

5.3.2	Postup B	33
5.4	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ DISTRIBUCE KONCENTRACE SUSPENDOVANÝCH LÁTEK V PŘÍČNÉM PROFILU.....	34
5.4.1	Vyhodnocení měření vícebodovou metodou	34
5.4.2	Vyhodnocení měření zařízením ADCP kombinovaným s odběrem vzorků.....	37
5.4.3	Vyhodnocení měření integrační metodou.....	37
5.5	STŘEDNÍ KONCENTRACE SUSPENDOVANÝCH LÁTEK V PŘÍČNÉM PROFILU	39
5.5.1	Postup podílem	39
5.5.2	Postup regresní analýzou	40
5.6	PŘEPOČET HODNOT NAMĚŘENÝCH SONDOU NA STŘEDNÍ KONCENTRACE SUSPENDOVANÝCH LÁTEK.....	43
5.7	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	43
5.7.1	Vyhodnocení výsledků o čtyřech měřeních příčného profilu	44
5.7.2	Vyhodnocení výsledků o třech měřeních příčného profilu.....	45
5.7.3	Vyhodnocení výsledků o dvou měřeních příčného profilu.....	47
5.8	STATISTICKÉ CHARAKTERISTIKY	48
5.8.1	Statistické charakteristiky transportu suspendované hmoty dosažené čtyřmi měřeními příčného profilu.....	48
5.8.2	Statistické charakteristiky transportu suspendované hmoty dosažené třemi měřeními příčného profilu.....	48
5.8.3	Statistické charakteristiky transportu suspendované hmoty dosažené dvěma měřeními příčného profilu.....	49
6	SHRnutí VÝSLEDKŮ	50
6.1	SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ S ČESKÝM HYDROMETEOROLOGICKÝM ÚSTAVEM.....	52
7	ZÁVĚR.....	53
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	54
	SEZNAM TABULEK.....	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ	58
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	61

1 ÚVOD

Voda, naše nejcennější surovina, neb bez ní by na naší planetě pravděpodobně nikdy nevznikl život, se na Zemi vyskytuje ve všech třech skupenstvích, tedy v plynném skupenství ve formě vodní páry, v pevném skupenství ve formě ledu a v kapalném skupenství ve formě vody, jak ji známe nejlépe. Drtivá většina pozemské vody je alokována v mořích a oceánech (přibližně 96,5 %), naopak nejmenší část je v řekách, kde zastává objem o velikosti asi 2 120 km³, což odpovídá ani ne dvou desetitisícinám procenta veškeré vody na zeměkouli [1]. Přesto jsou právě řeky tím, čím se tato práce zabývá.

Již od útlého věku nám je do hlavy vštěpováno, že vodu z řek bychom neměli pít, protože není čistá a sterilní. Mohou se v ní vyskytovat látky a organismy nebezpečné lidskému tělu, jako například viry, bakterie, chemikálie a mnoho dalších, které jsou vázány na jemné částice transportované vodou. Mimo jiné se v řekách vyskytují i nerozpuštěné částice různých velikostí, které s sebou voda unáší. Tyto částice dělíme dle charakteru pohybu v proudu na plávi (částice plovoucí při hladině) a splaveniny (neplovoucí částice pohybující se v mase vody). Splaveniny dále třídíme na dnové splaveniny (pohybující se u dna toku) a plaveniny (částice pohybující se v proudu). Dle původu rozdělujeme splaveniny na splaveniny koryta (vznikají vymíláním dna koryta) a splach (vznikl vymíláním povrchu povodí). [2]

Tyto rozptýlené částice jsou hodné dostatečného monitoringu, neboť na základě jejich koncentrací a jakosti si můžeme vytvořit obrázek, jak moc silná eroze je v okolní krajině a na orně půdě v povodí toku, zdali je na toku řeky vhodné zbudovat vodní elektrárnu či jak velké zanášení dna můžeme očekávat v případě výstavby přehrady nebo rybníku. Znalost splaveninových poměrů je rovněž důležitá pro správný návrh revitalizace koryt toků a jejich korektní správu. [2]

Co se týče způsobů měření těchto suspendovaných látek, lze metody rozdělit na přímé (vzorky suspendovaných látek) a nepřímé (například optické a akustické). Pro následné vyhodnocení množství je vhodné tyto metody kombinovat. Vzorky vody patří k tradičním metodám měření, které po odběru vzorků vyžadují i laboratorní analýzu vlastností suspendovaných látek (velikost zrn, koncentrace atd.). Naopak nepřímé metody měří skrz moderní technologie náhradní parametry, jako útlum zvuku, rozptyl světla či propustnost světla. Ve srovnání s metodami přímými mohou metody nepřímé zaznamenávat data s vyšší časovou variabilitou, avšak je při nich i nadále nutné odebírat vzorky, protože vyžadují kalibraci a ověření zaznamenaných dat. Nepřímé metody jsou kvalitní jen tak, jak kvalitní je následná kalibrace. [3]

Následující řádky budou sloužit jako jeden z dílčích výstupů v rámci projektu ATCZ28 SEDECO – Sedimenty a ekosystémové služby ve vzájemném působení s povodněmi a suchem v pohraniční oblasti AT-CZ.

Tato práce může navíc sloužit jako metodický návod pro správné provedení kombinovaného způsobu měření sedimentů ve vodních tocích. Vedle pokynů k měření plavenin obsahuje tento soupis i popisy postupů při vyhodnocování naměřených dat. Dále jsou zde vysvětleny laboratorní analýzy k určení koncentrace a kvality řešených rozptýlených částic. Nechybí ani vysvětlení následného finálního stanovení objemů suspendovaných látek.

Metodický návod je zpracován dle rakouské metodické příručky „Schwebstoffe im Fließgewässer – Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes“ (Splaveniny ve vodních tocích – pokyny pro záznam transportu splavenin) od autorů: Helmut Habersack, Marlene Haimann, Willibald Kerschbaumsteiner, Petra Lalk (BMLFUW, 2017).

2 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je odhad bilance plavenin v řece Jihlavě ve vodoměrném profilu Příbice, a to v období od 05.09.2019 do 31.10.2021. Součástí je i srovnání výsledných hodnot s hodnotami naměřenými ČHMÚ.

Výstupem budou především tyto parametry:

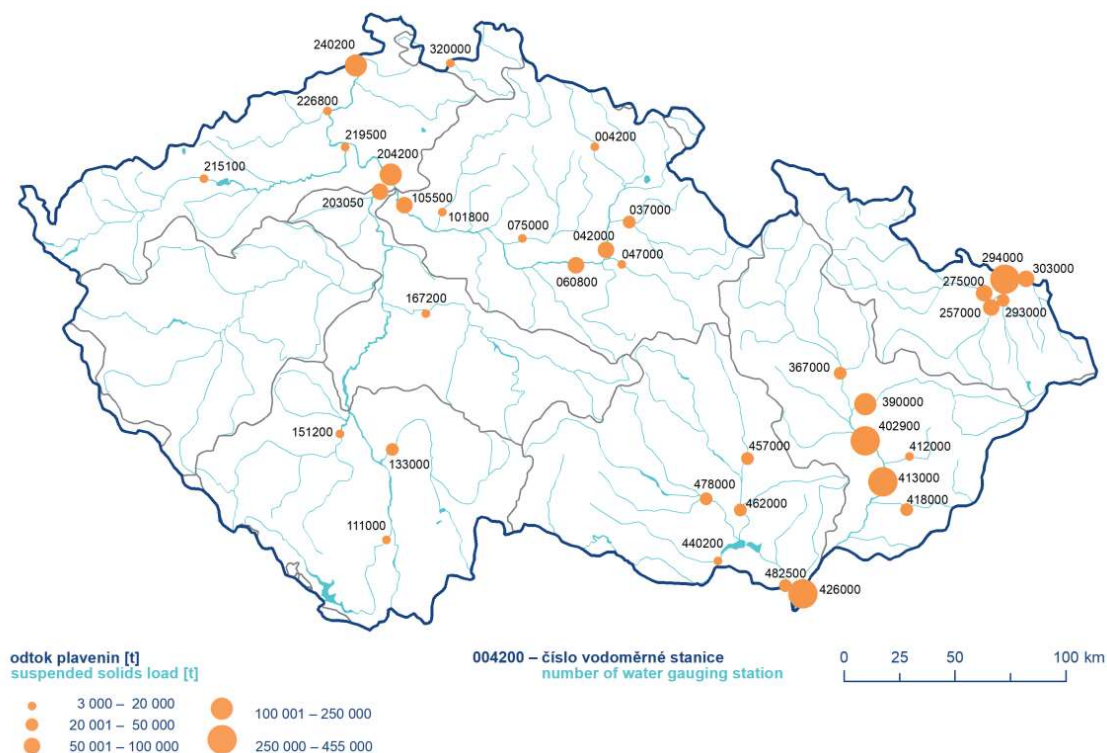
- koncentrace suspendovaných látek [mg/l],
- transport suspendované hmoty [kg/s],
- množství plavenin [t],
- časová a prostorová variabilita.

3 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

Největším aktérem v otázce monitoringu plavenin na území České republiky je Český hydrometeorologický ústav, který systematicky provádí měření již od roku 1984. Do té doby zde byla všechna měření prováděna pouze účelově a nesystematicky. [2]

3.1 SPLAVENINY

Splaveniny jsou nerozpuštěné látky a částice, které s sebou voda unáší s proudem toku. Jedná se o přirozený, korytotvorný proces, který je zásadní pro přežití mnoha živočichů a organismů, protože splaveniny jsou pro mnohé z nich zdrojem živin a prostředkem jejich pohybu. [2]



Obr. 1. Roční odtoky plavenin v roce 2020 naměřené ČHMÚ [4]

„Hlavním problémem z hlediska zachování plynulého pohybu splavenin po délce toku jsou objekty na tocích vytvářející nádrže a zdrže (přehrady, malé vodní nádrže, jezy), vzduť při povodních (mosty) a zásobníky splavenin (vývary). Především v nádržích a zdržích dochází k tak významnému usazování splavenin, že se pod nimi vytváří hladová voda (voda nenasycená splaveninami), která vymílá dno koryta, což může mít zásadní vliv na vývoj koryta pod hrází. Názorným příkladem je vznik hladové vody výstavbou vysoké Asuánské přehrady na Nilu, která způsobila vymílání delty Nilu vzdálené až 1000 km.“ [2]

3.1.1 Dělení splavenin

Splaveniny patří mezi pevné (nerozpuštěné) částice a látky, ať už organického či anorganického původu, které přemísťuje proud řeky. Vznikají vymíláním povrchu. Zanikají odběrem nebo usazením na povrchu. [2]

„Dle charakteru pohybu v proudu dělíme nerozpuštěné látky na:

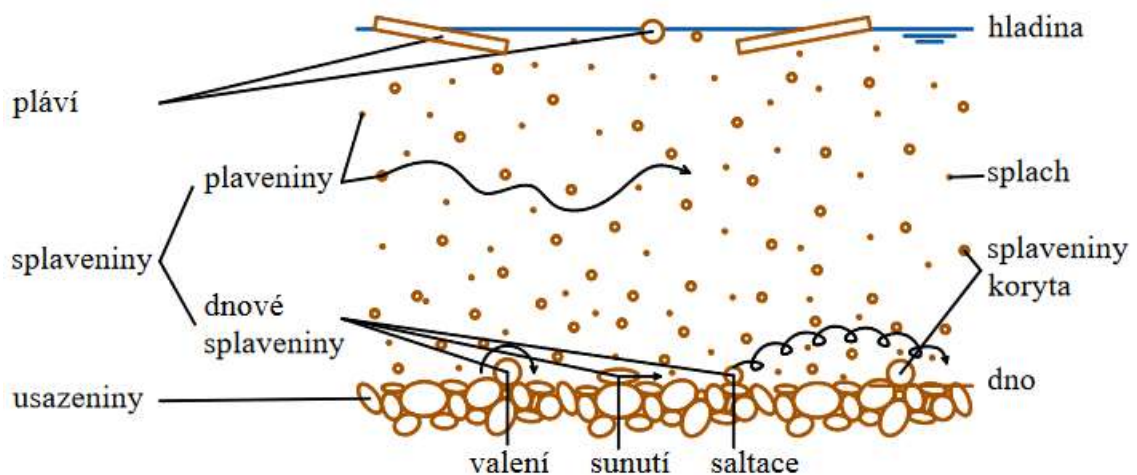
- plávi (splávi) – plovoucí částice pohybující se při hladině,
- splaveniny – neplovoucí částice pohybující se v proudu.

Splaveniny následně dělíme na:

- dnové splaveniny (splaveniny) – splaveniny pohybující se v proudu při dně,
- plaveniny – splaveniny pohybující se (vznášející se) v proudu v suspenzi.

Splaveniny můžeme dále rozlišit dle původu na:

- splaveniny koryta – vznikly vymíláním povrchu koryta toku,
- splach (smyv) – vznikl vymíláním povrchu povodí.“ [2]



Obr. 2. Dělení částic v korytě toku [2]

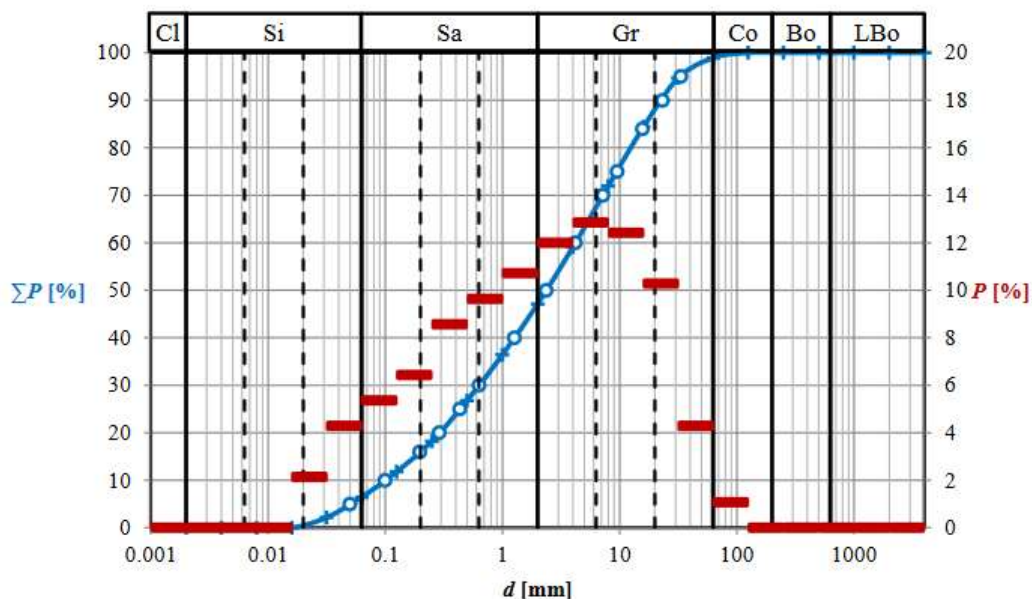
3.1.2 Vlastnosti splavenin

Splaveniny jsou tvořeny tuhými částicemi organického i anorganického původu. Organické zastoupení je složeno především z kostí, schránek živočichů a mineralizovaného dřeva. Anorganické částice, jenž svým zastoupením v tocích převyšují organické částice, jsou tvořeny minerály a horninami. [2]

V posledních letech zaznamenáváme výrazný nárůst splavenin antropogenního, tedy lidského původu. Jsou to kupříkladu částice cihel, betonu, skla, střešních krytin a mnoho dalších. Dále se mezi nimi vyskytují částice spojené s činností člověka v povodí a částice z úpravářských a údržbových prací okolo koryta toku (pohoz, zához, drátky atd.). [2]

3.1.2.1 Fyzikální vlastnosti splavenin

„Z pohledu fyzikálních vlastností určujeme u splavenin především velikost, tvar, zaoblenost, povrchovou strukturu, objem a hustotu částic.“ [2]

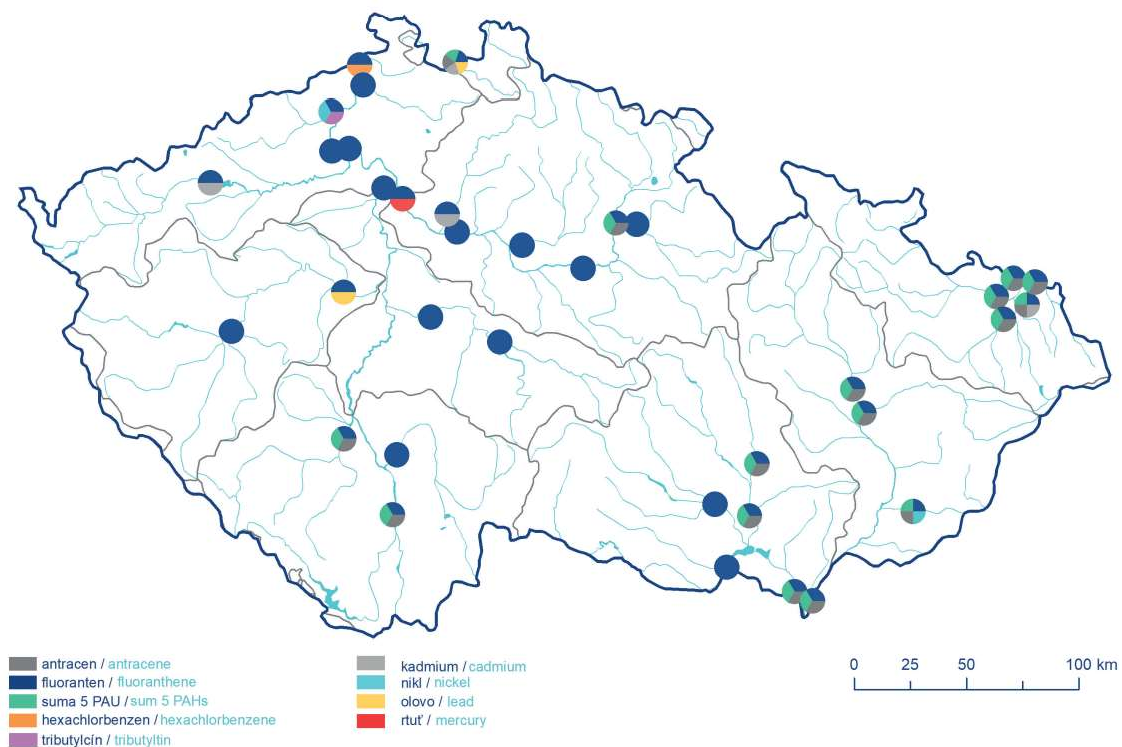


Obr. 3. Příklad zrnitostní křivky splavenin (červeně – hmotnostní zastoupení frakcí, modře – kumulativní hmotnostní zastoupení frakcí, křížky – hranice frakcí, kružnice – charakteristické velikosti částic) [2]

O fyzikálních vlastnostech splavenin blíže pojednává studijní opora Splaveniny ve vodních tocích (Zachoval, 2016).

3.1.2.2 Chemické vlastnosti splavenin

Ve splaveninách se může vyskytovat obrovské množství organických a anorganických látek. Mnohé z nich se v toku řeky a v suspendovaných látkách vyskytují přirozeně. V případě absence nadměrných koncentrací jsou spíše neškodné a nezpůsobují značné obtíže, avšak při nadlimitních koncentracích mohou způsobovat úhyny vodních živočichů až značnou kontaminaci toku. Problematice měření chemických vlastností splavenin se na území České republiky aktivně věnuje ČHMÚ, který provádí systematický monitoring celkem 26 prioritních látek, z nichž některé mají tendence limitní hodnoty i překračovat, viz obrázek 4 [4]. Pro detailnější informace ohledně chemického rozložení splavenin na českém území jsou dobrým zdrojem ročenky, které ČHMÚ pravidelně vydává.



Obr. 4. Výskyt látek, které překročily limity norem enviromentální kvality v plaveninách v roce 2020 [4]

O chemických vlastnostech splavenin blíže pojednává například studijní opora Chemie a technologie vody (Malá, 2005).

3.2 MĚŘENÍ PLAVENIN

Jak již bylo zmíněno v úvodu této práce, způsoby měření suspendovaných látek lze rozdělit na metody přímé (vzorky suspendovaných látek) a metody nepřímé (optické a akustické). Pro následné vyhodnocení množství je pak vhodné metody přímé a nepřímé kombinovat. [3]

Tab. 1. Přehled nejběžnějších technologií na měření suspendovaných látek [3]

Přímý odběr vzorků	
princip měření:	Vzorky směsi vody se splaveninami jsou izokineticky odebírány vzorkovacím zařízením a poté analyzovány v laboratoři.
výhody:	Akceptovaná a osvědčená metoda, která umožňuje stanovit koncentrace a zrnitosti a používá se ke kalibraci řady dalších technologií.
nevýhody:	Slabé časové rozlišení, k získání údajů vyžaduje personál na místě odběrů a laboratorní analýzy.
Optické metody	
princip měření:	Měří se zpětná difuze nebo průchod viditelného či infračerveného světla.
výhody:	Jednoduchá a robustní technologie, dobré časové rozlišení, umožňuje záznam dat a dálkové ovládání, relativně levná.
nevýhody:	Závisí na tvaru a velikosti zrn, pouze bodové měření, citlivá ke znečištění.
Akustické metody	
princip měření:	Akustické signály rozptýlené po odrazu od částic suspendovaných látek se používají ke stanovení koncentrace a velikosti zrn.
výhody:	Dobré časové a prostorové rozlišení, velký vertikální dosah, měří bez poruch.
nevýhody:	Zpětně rozptýlené signály se těžko převádějí, při vysoké koncentraci suspendovaných látek signál slábne.

3.2.1 Přímé metody

Jedná se o nejtradičnější způsob měření suspendovaných látek, jehož principem je odběr vzorků a jejich následné laboratorní vyhodnocení. Výsledkem je lokální koncentrace suspendovaných látek v mg/l. Vzorkování lze provádět manuálně nebo strojně.

Fyzický odběr reprezentativních vzorků směsi vody a sedimentů z řek a potoků je naprosto zásadní pro všechny nepřímé metody, jelikož se jedná o jedinou akceptovatelnou formu následné kalibrace a validace. [3]

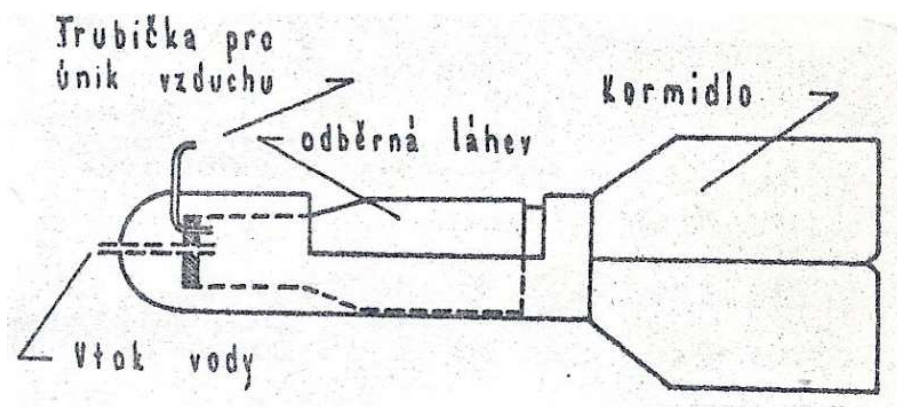
Použitý vzorkovač by měl ideálně být izokinetický, tzn. sběrač odebírá vzorky vody tak, aby rychlost vody proudící do něj odpovídala rychlosti proudění v toku, takže vzorek vody získaný ve sběrači má stejnou koncentraci suspendovaných látek jako voda v toku. Vstupní otvor sběrače musí být umístěn mimo zónu poruch proudění způsobených sběračem a jeho provozním zařízením. Narušení proudnic, zejména v blízkosti vstupního otvoru, musí být omezeno na minimum, proto osoba manipulující se vzorkovačem musí postupovat dostatečně opatrně, aby svými kroky nebo manipulací se vzorkovačem nerozvířila sedimenty na dně toku, což by způsobilo značné zkreslení naměřených hodnot. Sběrač musí obsahovat nádobu, kterou lze vyjmout a uzavřít, aby ji bylo možné snadno a bez ztráty obsahu přepravit do laboratoře. Jestliže je nádoba na vzorek součástí sběrače, je třeba obsah pečlivě vyprazdňovat, protože materiál může ulpívat na stěnách nádoby. Pro stanovení koncentrace suspendovaných látek musí mít

vzorek dostatečný objem, takže se doporučuje minimální velikost vzorku 0,50 l. Čas odběru vzorků musí být správně zvolen podle dané situace a typu vzorkovače, aby nedošlo k přeplnění nádoby a tím k umělému zvýšení koncentrace v odebraném vzorku. Sběrač suspendovaných látek uchycený na laně musí mít dostatečnou hmotnost, aby se minimalizovalo vychýlení nosného lana odporem proudění ze svislé polohy, vzorkovač však musí být současně ještě přenosný. Vzorkovač musí mít proudnicový tvar, aby se snížil odpor a minimalizovaly poruchy proudění. Pro použití při vícebodové metodě musí být odběrové zařízení vybaveno ovladatelným ventilem, s výjimkou mělkých, pomalu tekoucích vod. [3]

Jako vzorkovací zařízení může posloužit kupříkladu nádoba na speciálně upravené tyči nebo batometr s pevným tělem a kormidlem. Vzorkovače jsou povětšinou připevněné k teleskopické tyči nebo zavěšené na laně.



Obr. 5. Možné vzorkovací zařízení: vzorkovač na tyči (vlevo) a sběrač zavěšený na laně (vpravo) [5]



Obr. 6. Řez batometrem [6]

3.2.2 Nepřímé metody

Z pohledu stáří jde o mladší způsoby měření suspendovaných látek. Principem je měření náhradních parametrů (útlum zvuku, rozptyl světla, propustnost světla) pomocí moderních technologií. Především jde o měření optické a akustické. Výhodou oproti metodám přímým je větší časová variabilita a dynamika. Nevýhodou je nutný odběr kalibračních a validačních vzorků z důvodu časové variability velikosti částic v toku. Nepřímé metody jsou kvalitní jen tak, jak kvalitní je následná kalibrace. [3]

Nastavení a rozsah měření musí odpovídat danému místu měření. Je nutné přihlídnout k veškerým přítokům vnášejícím splaveniny k místu měření. Naměřené hodnoty musí být zaznamenávány minimálně v patnáctiminutovém intervalu, u toků s rychle kolísajícími podmínkami by měl být zvolený interval ještě kratší, například pět minut. Při volbě měřicího rozsahu zákalové sondy je nutné zajistit, aby se zachytily i vysoké koncentrace, jaké se vyskytují především při povodních. Je doporučen dálkový přenos a ukládání dat. [3]

Optická zákalová sonda by měla být vybavena automatickým čistícím systémem (stěračem), aby se optika udržela co nejvíce neznečištěná. Přesto je však nutné sondu pravidelně vytahovat z vody a manuálně čistit. Interval čištění se volí dle četnosti a intenzity výskytu nečistot a zanášení sondy. Pokud se na sondě nebo na jejím upevnění zachytí plovoucí předměty (větve, plastové sáčky...), je nutné předměty co nejrychleji odstranit. [3]

Tab. 2. Požadavky na optické sondy [3]

parametry měření:	pevné částice (zákal)
rozsah měření TS:	0,001 – min. 50 g/L
interval měření:	≤ 15 min
princip měření:	technologie s infračerveným duálně rozptýleným světlem pro na barvě nezávislé měření zákalu
metoda kalibrace:	specifická podle vzorků, založená na gravimetrických analýzách sušiny s korekčním faktorem
automatický čistící systém:	mechanické čištění, např. stěrač (silikonová guma)
reprodukovatelnost:	obsah sušiny: < 3 %
provozní podmínky:	0 – 40 °C
materiál:	nerez, křemenné sklo

Jak již bylo zmíněno, sondy neměří v požadovaných jednotkách mg/l, ale pouze v náhradních jednotkách, které se odvíjejí od jejich typu a způsobu kalibrace. Jsou to například:

- NTU (Nephelometric Turbidity Unit),
- FTU (Formazine Turbidity Unit),
- FNU (Formazine Nephelometric Unit),
- FAU (Formazine Attenuation Unit).



Obr. 7. Optická zákalová sonda Solitax ts-line sc od výrobce Hach [7]

3.2.3 Kombinace přímé a nepřímé metody

Pro zjišťování množství splavenin je užitečné metody přímé a nepřímé kombinovat. Příkladem takovéto kombinace může být průběžná detekce zákalu v jednom bodě toku pomocí optické sondy, což umožňuje monitorování změn zákalu v průběhu času. Kvůli časové variabilitě velikosti částic v toku je následně nutné provést kalibraci pomocí ručně odebíraných vzorků v blízkosti sondy. Po sestavení hydrogramu koncentrace suspendovaných látek v blízkosti sondy přichází na řadu měření v příčném profilu v podobě vícebodové metody, integrační metody nebo ADCP měření, které zjistí distribuci koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu. Po výpočtu transportu suspendované hmoty se vypracuje vztah mezi koncentrací suspendovaných látek v blízkosti sondy a střední koncentrací suspendovaných látek v příčném profilu, s nímž se generuje časová řada střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu. Díky vynásobení této časové řady časovou řadou průtoku vyplyne jako výsledek transport suspendované hmoty, z něhož lze integrováním zjistit množství suspendované hmoty pro libovolné období. [3]

3.2.4 Strategie měření plavenin

Pro korektní a co nejpřesnější měření plavenin je, především v případě kombinace přímých a nepřímých metod, naprosto zásadní pravidelnost odběrů a měření. V otázce četnosti měření sond je doporučeno zvolit interval dle lokálních podmínek a typu sondy, aby nedošlo k nepostřehnutí vyšších hodnot zákalu. Při málo častém odběru kalibračních vzorků dochází při přepočtu hodnot naměřených sondou ke zkreslení. Pokud je proveden nedostatečný počet měření zjišťujících distribuci koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu, lze očekávat zkreslení finálních výsledků v podobě odnosů množství plavenin.

Tab. 3. Přehled strategie monitoringu plavenin [3]

parametr	metoda	četnost
zákal	optická zákalová sonda	nepřetržitě
koncentrace suspendovaných látek v blízkosti sondy	bodový odběr v blízkosti sondy (kalibrační vzorky)	závisí na výšce hladiny a koncentraci suspendovaných látek: při nízkých hodnotách méně často, při vysokých hodnotách se zvyšuje až na každodenní
distribuce koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu	vícebodová metoda, integrační metoda, měření ADCP kombinované s odběrem vzorků	při různých průtocích podle zajištění charakteristiky příčného profilu (cca dvakrát až čtyřikrát ročně)
kvalita suspendovaných látek	odběr vzorků k získání dostatečného množství	měsíčně

3.2.5 Výběr místa měření

Místo měření, respektive umístění měrné stanice, by mělo být zvoleno tak, aby umožňovalo celoroční monitoring a reprezentativní výsledky měření pro daný úsek toku. Již při volbě umístění stanic je proto potřeba brát v potaz průtokové poměry, sedimentační a erozní tendence, výpusti, vegetaci nebo tvorbu ledu. Přístupnost a funkčnost místa měření by měla být zaručena i při povodních. [3]



Obr. 8. Měřící místo v Přibicích

Pro výpočet množství plavenin je třeba průběžně sledovat průtok v místě měření, proto je vhodné umísťovat monitorovací zařízení na již fungující limnigrafickou stanici, která průtok společně s vodním stavem kontinuálně zaznamenává. V případě zbudování nové měrné stanice je třeba zajistit, zejména pak při povodních, spolehlivý záznam průtoku a transportu suspendované hmoty. [3]

Měřený profil by měl být zvolen tak, aby průtokové poměry byly co nejrovnoměrnější a aby distribuce rychlosti a suspendovaných látek v příčném profilu při různých vodních stavech zůstávala přibližně stejná. Navíc by se v okolí místa měření neměly tvořit zpětné proudy. [3]

3.2.6 Vybavení monitorovací stanice

Základem pro průběžný záznam transportu suspendovaných látek je vybavení měrné stanice zákalovou sondou. Sondou je třeba umístit přímo do vodního toku, a to tak, aby měřicí senzor byl buď ve směru proudění vody, nebo kolmo k němu. Výška měřícího senzoru ode dna koryta by měla být volena tak, aby se neocitl nad hladinou nebo nezamrzl, ale zároveň aby, v případě větších průtoků, chod dnových splavenin nezkreslil zaznamenávané hodnoty nebo nepoškodil měřicí zařízení. V rámci umístění sondy je třeba také zohlednit faktory, které by mohly negativně ovlivnit či zkreslit záznam hodnot (např. biologické znečištění). [3]

Sondu je vhodné chránit ochranným krytem, aby nedošlo k jejímu poškození, odcizení nebo utržení (např. vlivem nárazu plovoucích klád). Držák sondy je ideální zhotovit tak, aby bylo možné sondu vytahovat kvůli čištění a revizi, příhodné jsou proto konstrukce sklopné či kolejnicové. [3]



Obr. 9. Uzamčená a krytem chráněná sonda v Přibicích

Pro účely měření plavenin je vhodné vybavit monitorovací stanici následovně:

- zdroj elektřiny – přípojka na síť nebo akumulátor,
- ústrojí pro údržbu, ochranu a čištění sondy,
- limnigrafický domek nebo vodotěsná skříňka pro umístění zapisovače dat, akumulátoru aj. [3]



Obr. 10. Napájení elektřinou ze solárního panelu (vlevo), limnigrafická stanice (uprostřed), skříňka se zapisovačem dat a akumulátorem (vpravo) [3]

3.3 DISTRIBUCE KONCENTRACE SUSPENDOVANÝCH LÁTEK V PŘÍČNÉM PROFILU TOKU

Zjišťování distribuce koncentrace suspendovaných látek slouží ke stanovení střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu. Mělo by se provádět v dostatečných intervalech a při co nejrozdílnějších průtocích a chodech splavenin, aby bylo co nejvíce vypovídající. K určení příčné distribuce se používá především vícebodové nebo integrované vzorkování. Dále aplikujeme měření ADCP v kombinaci s odběrem vzorků. Dle podmínek a možností na místě měření následně volíme provádění broděním, z mostu nebo ze člunu. [3]



Obr. 11. Měření distribuce koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu broděním (vlevo), ze člunu (uprostřed) a z mostu (vpravo) [3], [5]

Při provádění vícebodového nebo integrovaného vzorkování s měřením ADCP v kombinaci s odběrem vzorků je třeba vést protokol měření, který bude obsahovat všechny náležitosti. [3]

Při měření v příčném profilu za účelem kalibrace optické sondy je třeba zohlednit také následující body:

1. Pro kalibraci musí být vzorek suspendovaných látek odebrán co nejbližší k sondě.
2. Popis na láhvích se vzorky obsahuje označení místa měření, datum odběru vzorků, číslo vzorku a čas odběru.
3. Současně s odběrem kalibračního vzorku u nepřímého měřicího zařízení je třeba podle možnosti odečíst vodní stav, údaj ze sondy a zaznamenat je do protokolu.
4. Tyto pracovní kroky se opakují v takovém intervalu, aby se během měření v příčném profilu získaly nejméně tři vzorky a interval vzorkování nebyl delší než 30 minut. [3]

3.3.1 Vícebodová metoda v kombinaci s měřením ADCP

Vícebodovou metodu lze uplatnit do rychlosti proudění toku přibližně 4 m/s, protože při vyšších rychlostech proudění vznikají podmínky, které již neumožňují integrované bodové vzorkování. K odběru je nutné použít izokinetický sběrač, který bude vhodný pro účely integrovaného bodového vzorkování. [3]

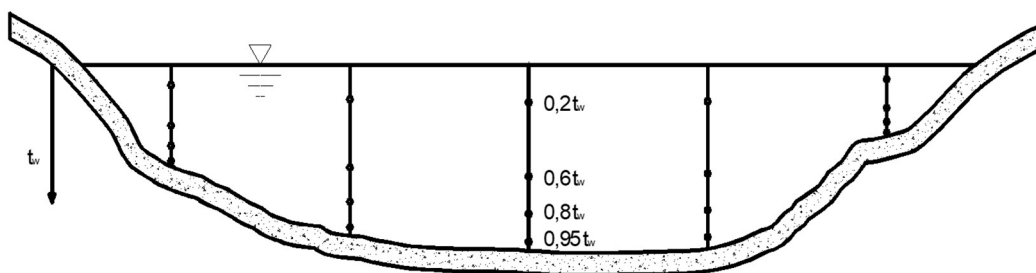
Stanovení střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu pomocí vícebodové metody je vázané k rychlosti proudu vody, proto je třeba kromě odběru vzorků také měřit rychlost proudění vody v odběrových bodech. K měření rychlosti proudění je příhodné využít systém ADCP (acoustic Doppler current profiler).



Obr. 12. ADCP zařízení od firmy SONTEC

Jedná se o hydroakustický průtokoměr, který vysílá do vody ultrazvuk různými směry (ty se od sebe v malých úhlech liší) a poté detekuje zpětný signál rozptýlený částicemi vody. Zařízení využívá k určení rychlosti vody Dopplerův efekt, tedy vztah

mezi změnou frekvence zdroje a relativními rychlostmi zdroje a pozorovatele. Hloubku částic, které signál odrazily, lze odhadnout pomocí doby zpoždění impulsu. Výhodou využití systému ADCP je fakt, že zpětně rozptýlený signál přijímaný ADCP zařízením lze převést na relevantní SSC (suspended sediment concentration) data, jelikož rozptyl je úměrný koncentraci. Protože detekovaný zpětně rozptýlený signál závisí na koncentraci a velikosti sedimentu, je nutné odebrat vzorky pro kalibraci měření a pro určení koncentrace suspendovaných látek. Vzhledem k tomu, že provedení i laboratorní vyhodnocení vícebodové metody je časově náročné, lze jej provádět v kombinaci s měřením ADCP s výrazně menším počtem vzorků, díky čemuž je možné distribuci suspendovaných látek v příčném profilu zjistit rychleji. Rozsah použití měřicího zařízení ADCP závisí především na typu použitého přístroje. Tyto průtokoměry pracují s různými frekvencemi a jsou proto vhodné pro různé hloubky vody a rychlosti proudění. V závislosti na distribuci zrnitosti platí, že čím vyšší je frekvence přístroje, tím menší je měřitelný rozsah koncentrace. [3]



Obr. 13. Schéma vícebodové metody v pěti vertikálách a čtyřech hloubkových úrovních, kde t_w představuje hloubku vody na vertikále [3]

3.3.2 Integrační metoda

„Integrační metoda je rychlejší než metoda vícebodová, protože je zapotřebí méně vzorků a lze vypustit současné měření rychlosti, proto se přednostně používá při nestabilních průtokových poměrech. Dokonce i v mělkých, brodění umožňujících vodách s nízkou rychlostí proudění (<1,5 m/s) poskytuje tato metoda dobré výsledky, avšak s rostoucí rychlostí proudění (>1,5 m/s) klesá u integrační metody přesnost. K odběru je nutné použít izokinetický sběrač, který bude vhodný pro účely integrovaného bodového vzorkování.“ [3]

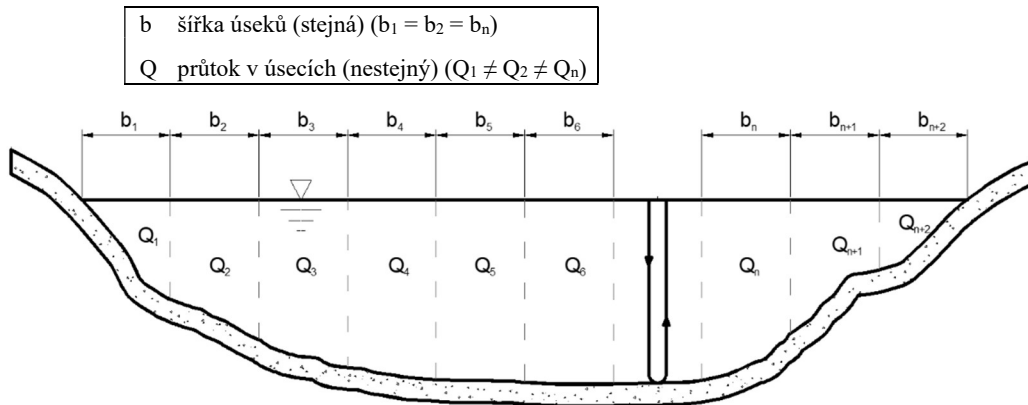
Při provádění integrační metody rozlišujeme dva přístupy:

- a) metoda stejných šířek – Equal-Width-Increment (EWI),
- b) metoda stejných průtoků – Equal-Discharge-Increment (EDI).

3.3.2.1 Metoda stejný šířek

Principem metody stejný šířek (EWI) je rozdělení příčného profilu toku na úseky o stejné šířce a následné odebrání vzorků ve středu těchto úseku. Metodu lze provádět dvěma způsoby, a to s měřením průtoku, nebo bez měření průtoku. U varianty bez měření průtoku je v každé vertikále nutné mít stejnou rychlost spouštění a zvedání.

Doplňková měření rychlosti proudu vedou ke zvýšení přesnosti. Je vhodné, aby měření obsahovalo minimálně deset vertikál. [3]

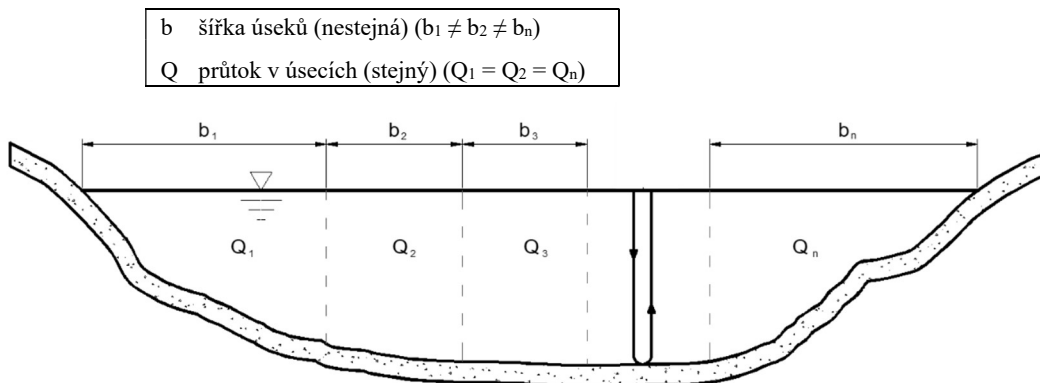


Obr. 14. Schéma integrovaného vzorkování metodou stejných šířek (EWI) [3]

Provádění integrovaným vzorkováním metodou stejných šířek detailněji popisuje metodika Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes (Habersack et al., 2017).

3.3.2.2 Metoda stejných průtoků

Principem metody stejných průtoků (EDI) je rozdělení příčného profilu toku na úseky se stejným průtokem a následné odebrání vzorků na vertikálách, které procházejí těžištěm průtoků v příslušných vertikálách. Nutným předpokladem pro využití této metody je znalost průtokových poměrů v daném profilu. Rychlost spuštění a zvedání sběrače je možné zvolit pro každou vertikálu zvlášť, není nutná stejná rychlost v celém profilu, jako je tomu u metody stejných šířek. Výhodou je, že u metody EDI stačí pouze čtyři až devět vertikál, čímž se zkrátí doba odběru a vyhodnocení. [3]



Obr. 15. Schéma integrovaného vzorkování metodou stejných průtoků (EDI) [3]

Provádění integrovaným vzorkováním metodou stejných průtoků detailněji popisuje metodika Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes (Habersack et al., 2017).

3.4 LABORATORNÍ ANALÝZA PLAVENIN

Hlavním cílem laboratorní analýzy je určení koncentrace suspendovaných látek, a to skrze filtrační proces. K filtraci lze použít dvě analytické techniky:

- a) tlaková filtrace,
- b) vakuová filtrace.

„Tlaková filtrace působí na vzorek tlakem a vylisuje tak veškerou kapalinu ze vzorku přes membránový filtr, zatímco vakuová filtrace ji přes odpovídající filtr naopak nasává. Částice suspendované hmoty zůstávají od určité velikosti zrn na povrchu filtru. Po vysušení se na přesných váhách (přesnost alespoň $\pm 0,1$ mg) gravimetricky stanoví hmotnost odfiltrovaných částic suspendovaného materiálu. Pro získání srovnatelných výsledků měření musí mít póry filtrů průměr $0,45 \mu\text{m}$. Kvůli hygroskopické a strukturální stabilitě a konstantnímu průměru pórů se jako filtrační materiál osvědčily směsné estery celulózy (acetát nebo nitrát celulózy).“ [3]



Obr. 16. Vakuové filtrační zařízení (vlevo) a membránové filtry (vpravo) [3]

3.5 METODIKA MĚŘENÍ PLAGENIN ČESKÝM HYDROMETEOROLOGICKÝM ÚSTAVEM

Český hydrometeorologický ústav se na území České republiky věnuje poměrně komplexnímu monitoringu toků, který kromě zjištění bilance transportu a koncentrace plavenin zahrnuje i jejich jakost či analýzu dnových sedimentů. Jejich metodický postup měření plavenin je obdobný jako výše rozepsaný návod, ne však totožný. Nutno podotknout, že každá pobočka ČHMÚ si stanovuje svůj vlastní postup odběru, proto se způsoby mohou napříč kraji mírně lišit.

Původně byly odběry vzorků pro stanovení koncentrace plavenin prováděny ručním izokinetickým vzorkovačem integrálním způsobem v pouze jedné reprezentativní svislici, jež byla stanovena na základě analýzy celého profilu. Nyní se na měrné stanice spíše umísťují strojní vzorkovače (tzv. samplery), které kontinuálně ve zvolených časových intervalech, pomocí sacího koše, automaticky odeberou vzorek vody z jednoho bodu toku. Zařízení provádí odběr standardně jednou denně. Vzorek je umístěn do plastové nádoby o objemu 1,0 l, kterých sampler pojme celkem dvacet čtyři. Z tohoto důvodu se odběrné zařízení zároveň chová jako chladicí zařízení a udržuje nízkou teplotu, aby nedošlo k biologickým či chemickým pochodům plavenin, které by významně změnily jejich vlastnosti. Každý 24. den jsou pověřeným

zaměstnancem ČHMÚ všechny vzorky odvezeny do laboratoře, kde následně probíhá jejich analýza. Odběr plavenin je většinou kombinován s občasným měřením příčného profilu systémem ADCP. [8]



Obr. 17. Sampler (vlevo) a odebrané vzorky (vpravo) v Židlochovicích

Ještě před samplery byl, například v Židlochovicích, využíván systém přečerpávání vzorků do polohovatelné nádoby umístěné na vnitřní straně stěny stanice. Od tohoto způsobu však bylo brzy upuštěno pro jeho tendenci koncentraci plavenin zkreslovat pokaždé, když došlo k odběru. Rozdílné průměry přívodného potrubí taktéž nebyly příliš vhodné. Tuto metodu nám v Židlochovicích ukázal a okomentoval laskavý pracovník ČHMÚ.



Obr. 18. V minulosti využívaný systém odběru vzorků suspendovaných látek v Židlochovicích

4 METODICKÝ POSTUP

Tato kapitola postupně popisuje způsob, jakým byla data v zájmové oblasti Přibice získávána a poskytne tak čtenáři podrobný metodický postup, který lze analogicky aplikovat na jiné území o podobných vlastnostech.

V rámci zájmové oblasti byla zvolena kombinovaná metoda měření plavenin, a to pomocí optické zákalové sondy v kombinaci s vícebodovým způsobem zjištění distribuce koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu, to vše za doprovodu měření systémem ADCP.

4.1 PRŮBĚŽNÝ ZÁZNAM ZE SONDY

Pro účely monitoringu plavenin byla v Přibicích vybrána optická sonda s desetiminutovým intervalem měření. Konkrétně se jedná o optický snímač zákalu S461 Ponsel zakoupený od firmy FIEDLER AMS s.r.o.

Tab. 4. Parametry užití optické sondy [9]

princip měření:	nefelometrické měření, 850 nm, 90°
rozsah měření TS:	0 – 4000 NTU v nastavitelných rozsazích
interval měření:	10 min
maximální čas odezvy:	< 1 sekunda
metoda kalibrace:	gravimetrická analýza sušiny s korekčním faktorem
automatický čistící systém:	snímač má hladkou zkosenou hranu, což zabraňuje většímu usazování nečistot
přesnost měření:	lepší než 5% z rozsahu
rozlišení:	0,01 – 1 NTU
provozní podmínky:	0 – 50 °C
materiál snímače:	PVC, PMMA, polyamid

Sonda je umístěna kolmo na směr proudu řeky. Proti poškození je chráněna ochranným krytem, proti odcizení je zabezpečena zámkem. Od měrné stanice vede k měřicímu zařízení připojovací kabel, který sondě dodává elektrickou energii. Zařízení kontinuálně měří v jednotce NTU. Zjištěné hodnoty odesílá do měrné stanice, kde jsou zaznamenávány a ukládány.



Obr. 19. Optický snímač zákalu užitý v Přibicích – S461 Ponsel [9]

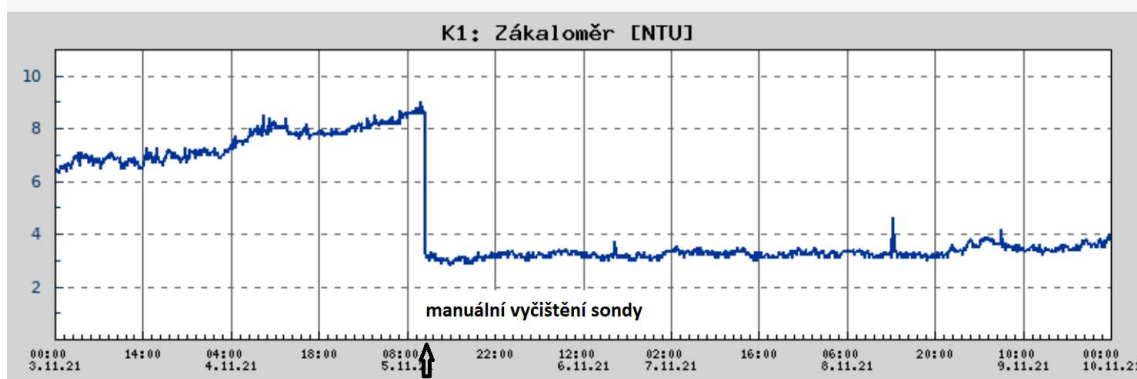


Obr. 20. Umístění sondy v Přibicích (vlevo), znečištění sondy v Přibicích (vpravo)

Sonda má do jisté míry samočisticí schopnost díky zkosené hraně snímače, přesto jsou však nutné pravidelné revize a čištění sondy z důvodu biologického zanášení, které vede ke zkreslování naměřených dat v podobě velmi vysokých hodnot, nebo naopak hodnot nulových, viz obrázek 21.

Stanice Přibice: Změřené hodnoty

Sledované období: 3.11.2021 00:00 - 10.11.2021 00:00



Obr. 21. Ukázka skokového poklesu měření NTU po vyčištění sondy (Přibice dne 05.11.2021) [10]

4.2 ODBĚR KALIBRAČNÍ VZORKŮ

Použitá optická sonda měří v náhradních jednotkách NTU, které se však svou hodnotou neshodují s požadovanými jednotkami mg/l. Z tohoto důvodu je nutná tzv. mokrá kalibrace sondy. Její princip spočívá v odběru kalibračních vzorků po vzoru kapitoly 3.2.1 a současný odečet dat zjištěných sondou, aby bylo možné zjistit korelaci obou hodnot a díky tomu přepočítat data naměřená sondou na požadované jednotky.

Kalibrační vzorky je třeba odebírat v pravidelných intervalech (viz tabulka 3), aby při porovnání s naměřenými hodnotami sondou došlo k uspokojivé závislosti obou veličin, což následně umožní přepočítání z NTU na mg/l.

K těmto účelům byl použit izokinetický vzorkovač, tedy sběrač konstruovaný tak, aby rychlost vody proudící do něj odpovídala rychlosti proudění v toku. To má za efekt odběr vzorků se stejnou koncentrací suspendovaných látek, jako má voda v toku. V našem případě byla použita speciálně upravená teleskopická tyč, na jejímž konci se nachází víčko nádoby, ke kterému lze snadno přišroubovat plastovou nádobu určenou pro odebraný vzorek. Nádobka má objem 1,0 l, minimální doporučený objem odebraného vzorku je 0,5 l.

Před každým kalibračním odběrem je vhodné sondu vyčistit od biofilmu a nečistot. Odběr se provádí v bezprostřední blízkosti sondy. Při manipulaci se sběračem je třeba dbát na nerozvíření sedimentů na dně koryta, což by způsobilo významné zkreslení naměřených hodnot. Odběr trvá přibližně třicet sekund.



Obr. 22. Odběr kalibračních vzorků pomocí vzorkovací tyče (vlevo), nádoby s odebranými vzorky (vpravo) [10]

4.3 ZJIŠTĚNÍ DISTRIBUCE KONCENTRACE SUSPENDOVANÝCH LÁTEK V PŘÍČNÉM PROFILU TOKU

Zákalová sonda je umístěna u břehu koryta, není proto schopna zjistit distribuci koncentrace suspendovaných látek v celém příčném profilu, což je problematické, neboť v různých částech koryta mohou nastat rozdílné koncentrace plavenin. Tento problém je v Přibicích řešen aplikací vícebodové metody v kombinaci s měřením pomocí systému ADCP.

Zařízením ADCP se měří rychlostní pole v příčném profilu toku. Měření probíhá přejížděním se zařízením od jednoho břehu na druhý, kolmo na tok řeky, pomocí vodícího lana. Přejezdem se vytváří tzv. transekty. Měření probíhá tak dlouho, dokud nejsou výsledky uspokojivé, respektive dokud nejsou vytvořeny alespoň čtyři transekty s celkovou chybou měření průtoku do pěti procent. [10]

Šířka řešeného profilu se většinou pohybuje okolo 23 m, proto bylo koryto pro naše účely rozděleno sedmi svislicemi na celkem osm šířkových dílů. Po zhodnocení výšky hladiny a morfologického uspořádání koryta bylo prvních šest vertikál zpracováváno dvoubodovou metodou (vertikála je rozdělena dvěma body), zatímco sedmá vertikála je řešena jednobodovou metodou (vertikála je rozdělena pouze jedním bodem).

V průběhu vícebodového měření byly u sondy prováděny odběry izokinetickým vzorkovačem, což následně umožnilo zjistit závislost mezi koncentracemi u sondy a koncentracemi v příčném profilu. Odběry byly provedeny vždy celkem tři. První vzorek byl odebrán před začátkem měření, druhý vzorek byl odebrán po změření třetí vertikály, třetí vzorek byl odebrán po ukončení měření.

Zde je uveden doporučený postup při aplikaci vícebodové metody v kombinaci s měřením systémem ADCP, vycházející z metodiky Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes (Habersack et al., 2017):

1. Na začátku měření se do protokolu vyplní následující informace: označení místa měření, datum, druh měření, měřicí zařízení použité pro odběr vzorků suspendovaných látek, měřicí tým, čas a – pokud jsou známy – vodní stav a teplota vody.
2. Od jednoho břehu na druhý se natáhne vodící lano, podél kterého bude probíhat měření.
3. Za vodící lano se připevní ADCP zařízení. Měření rychlosti proudění probíhá tak dlouho, dokud nejsou výsledky uspokojivé.
4. Pomocí měrného pásma se zjistí šířka hladiny příslušného profilu a zapíše se do protokolu. Profil se rozdělí na 5 až 10 úseků stejné šířky. Umístění měřicích vertikál je vždy dáno středy těchto předem definovaných šířkových úseků.
5. Zjistí se hloubka vody v jednotlivých měřicích vertikálách a zapíše se do protokolu.
6. Počet odběrových bodů na každé vertikále se, v závislosti na hloubce vody, stanoví ve stejných relativních odběrových hloubkách. Hloubka odběru (počítáno od hladiny) je, dle zvoleného počtu bodů, následující (t_w = hloubka vody ve vertikále):
 - a) 5bodová metoda: $0,05 \cdot t_w$, $0,2 \cdot t_w$, $0,6 \cdot t_w$, $0,8 \cdot t_w$, $0,9 \cdot t_w$
 - b) 4bodová metoda: $0,2 \cdot t_w$, $0,6 \cdot t_w$, $0,8 \cdot t_w$, $0,95 \cdot t_w$
 - c) 3bodová metoda: $0,2 \cdot t_w$, $0,6 \cdot t_w$, $0,8 \cdot t_w$
 - d) 2bodová metoda: $0,2 \cdot t_w$, $0,8 \cdot t_w$
 - e) 1bodová metoda: $0,6 \cdot t_w$
7. Odběr vzorků suspendovaných látek se provádí ve stanovených odběrových bodech, při tom se stopkami měří délka trvání odběru. Vzorkovací láhve by neměly být naplněny do celé kapacity, ale současně by neměly obsahovat méně než polovinu možného množství vzorku. Není-li tato podmínka splněna, musí se odběr vzorků opakovat. Při odběru vzorků je třeba dbát na nerozvíření sedimentů na dně koryta. Popis na láhvi se vzorkem obsahuje označení místa měření, číslo vzorku a datum odběru.
8. Místo odběru (lokalizace a hloubka odběru), čas odběru, délka trvání odběru a číslo láhve se vzorkem jsou zaznamenány do protokolu. Pokud je to možné, měl by být zadán také údaj ze sondy a vodní stav v době odběru.
9. Postup z bodů 5 až 7 opakujeme i v ostatních odběrových bodech a vertikálách.

10. V průběhu vícebodového měření se v blízkosti sondy provádí odběry izokinetickým vzorkovačem. Při odběru je třeba opět dbát na nezvíření sedimentů na dně koryta.
11. Po dokončení měření se do protokolu doplní následující informace (jso-li známy): vodní stav, teplota vody a čas dokončení měření.
12. Po odběru se vzorky co nejdříve dopraví do laboratoře, kde jsou analyzovány na obsah odfiltrovatelných látek. Pokud laboratorní analýza není v nejbližší době možná, je nutné vzorky umístit do chladicího boxu, aby nedošlo k chemickým a biologickým pochodům, které by mohly ovlivnit jejich vlastnosti.



Obr. 23. Natáhnutí vodícího lana (vlevo) a přivázání ADCP zařízení (vpravo)



Obr. 24. Natažení měrného pásma (vlevo) a provádění odběrů vícebodovou metodou (vpravo)



Obr. 25. Odběr kalibračních vzorků (vlevo) a následné uložení odebraných vzorků do chladicího zařízení (vpravo)

4.4 LABORATORNÍ ANALÝZA

Laboratorní vyhodnocování nerozpuštěných látek odebíraných v Přibicích je povětšinou prováděno ve vídeňské laboratoři, avšak v případě potřeby disponuje požadovanou laboratorní technikou i Ústav vodního hospodářství krajiny Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně.

„Určení odfiltrovatelných částic látek se provádí podle následujících pokynů:

1. Membránové filtry s podložkou se suší při 105 °C po dobu minimálně 10 minut až max. 3 hodiny, až do dosažení konstantní hmotnosti.
2. Membránový filtr i s podložkou se ihned po vysušení zváží (m_a) [mg]. To by se při používání podložek vyžadujících kvůli své tepelné kapacitě snížení teploty mělo provést v exsikátoru.
3. Poté se membránový filtr vloží do filtračního zařízení.
4. Vzorek se nalije do filtračního zařízení a zjistí se přesný objem vzorku (V_p) [l]. Pokud to nelze provést, musí se objem předem určit gravimetricky nebo pomocí odměrného válce. Láhve se vzorky a případně i odměrný válec je třeba důkladně opláchnout čistou vodou. Proplachovací voda se zbývajícími suspendovanými látkami se musí rovněž nalít do filtračního zařízení.
5. Během procesu filtrace je nutné pomocí stříčky s čistou vodou zajistit, aby se na membránový filtr dostaly i částice ulpělé na nálevce.
6. Po dokončení filtrace se membránový filtr s odfiltrovanými látkami položí na příslušnou podložku. Membránový filtr s odfiltrovanými látkami a podložkou by se měl znovu sušit až na konstantní hmotnost při 105 °C (alespoň 30 minut, v závislosti na množství a materiálu i déle).
7. Membránový filtr s odfiltrovanými látkami a podložkou se zváží (m_b) [mg] ihned po vysušení, nebo musí nejprve vychladnout v exsikátoru.

8. Výpočet sušiny m_T [mg] se provede dle rovnice: $m_T = m_b - m_a$ [mg].
9. Koncentrace suspendovaných látek se vypočítá podle vzorce: $s_0 = m_T/V_P$ [mg/l].“ [3]

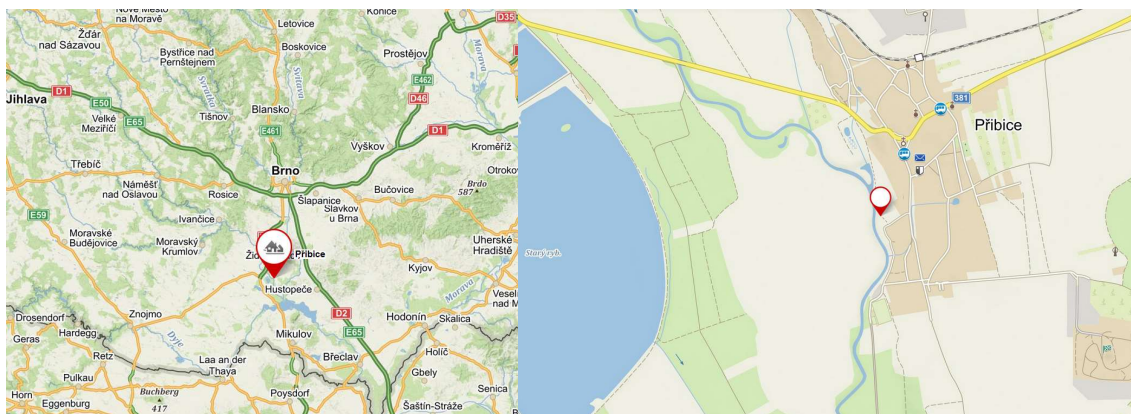


Obr. 26. Měření nerozpuštěných látek v mg/l pomocí membránové vývěvy přes filtrační soupravu v laboratoři na Ústavu vodního hospodářství krajiny (vlevo) a nerozpuštěné látky z Příbic (odběr dne 05.11.2021) zachycené na membránovém filtru (vpravo) [10]

5 PRAKTICKÁ APLIKACE A VYHODNOCENÍ DAT

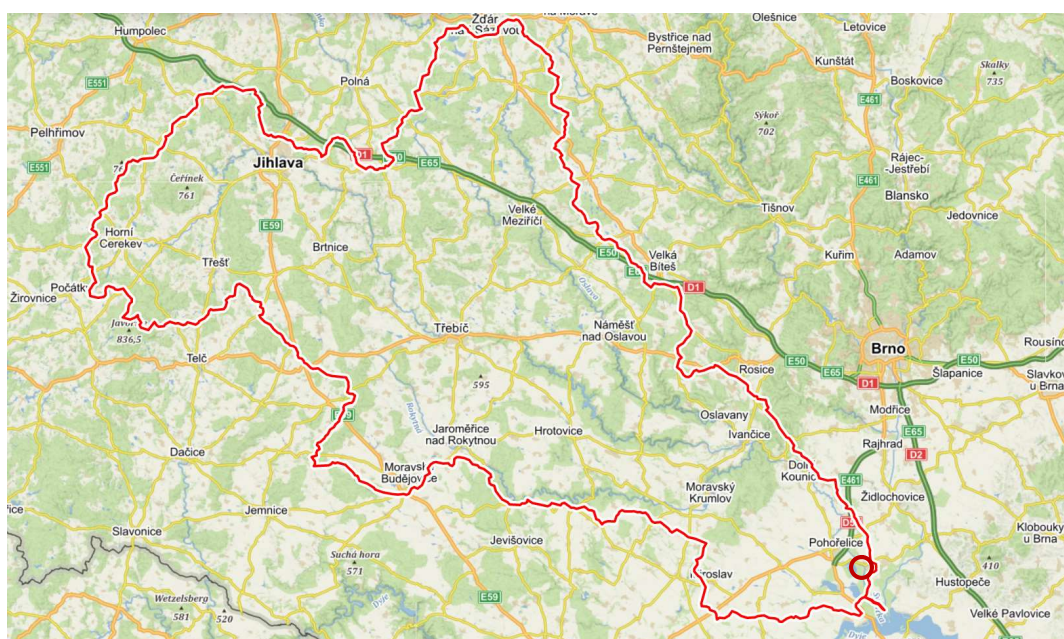
5.1 POPIS ŘEŠENÉ OBLASTI

Jak již bylo zmíněno, tato práce se zabývá bilancí plavenin v řece Jihlavě ve vodoměrném profilu Příbice. Obec spadá pod okres Brno-venkov (leží asi třicet kilometrů jižně od Brna) v Jihomoravském kraji. K roku 2021 zde žilo 1 047 obyvatel. V posledních letech pozorujeme postupný úbytek obyvatel. Příbice patří se svou rozlohou o velikosti 7,39 km² do katastrálního území Příbice. [11]



Obr. 27. Hrubá lokalizace Příbice (vlevo) a přesné umístění limnigrafické stanice a místa měření (vpravo) [12]

„Při zkoumání struktury půdního fondu je patrné, že majoritní zastoupení má v zájmovém území využití pozemků jako orná půda (621,9 ha). Lesní půda zabírá pouze 2,5 ha. Dále se zde nachází trvalé travní porosty (5,9 ha), sady (3,8 ha), zahrady (20,8 ha) a vinice (1,4 ha). Zbytek plochy území tvoří zejména ostatní plochy (55,3 ha) a zastavěné plochy (16,5 ha). Vodní plochy se rozkládají na 11 ha.“ [11]



Obr. 28. Povodí řeky Jihlavy s vyznačením zájmové lokality [12]

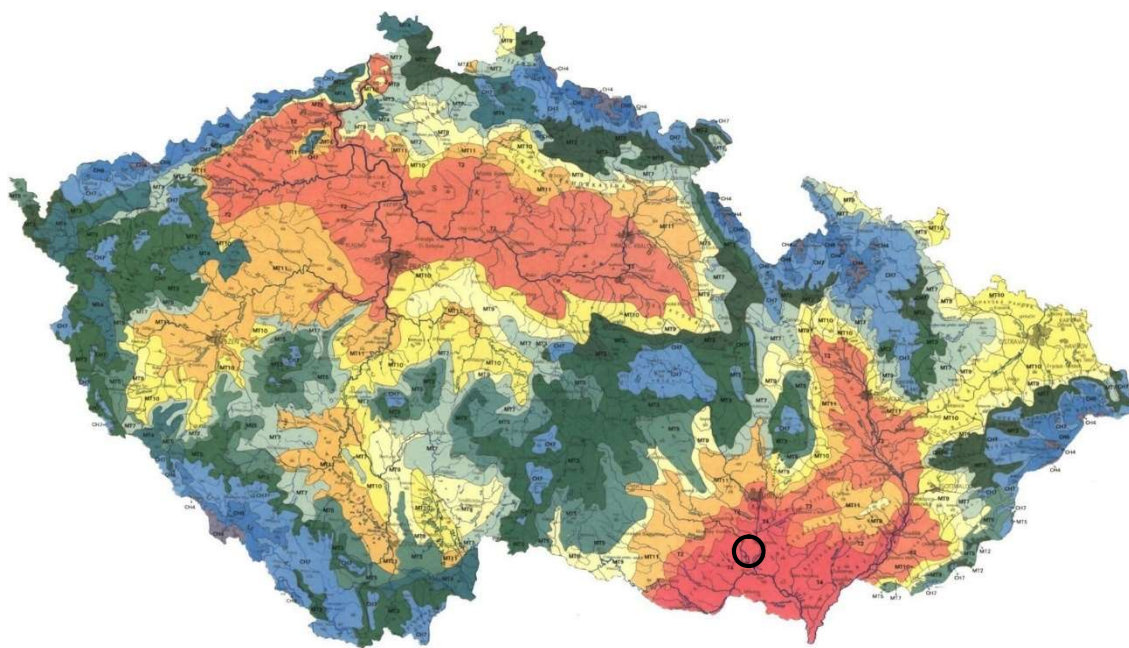
5.1.1 Geomorfologie

„Z geomorfologického hlediska se obec Příbice nachází v soustavě Vnější Západní Karpaty, podsoustavě Středomoravské Karpaty, celku Dyjsko-svratecký úval. Vněkarpatské sníženiny představují pruh nižšího a méně členitého území, který probíhá ve směru JZ-SV od Znojma přes Brno. Krajina úvalu je převážně polní, mimo nivy téměř bezlesá. Patří mezi nejsušší a nejteplejší oblasti Česka. Geologické podloží je tvořeno mohutnými usazeninami, v nichž se střídají vrstvy pískovce a jílovce. Na spraších vznikly velmi kvalitní hluboké půdy hlinité černozemě – převážně černozem typická. Na menších plochách se vyskytují též nivní uloženyiny slabě až středně karbonátové. Průměrná nadmořská výška Příbic je 180 m n. m.“ [11]

5.1.2 Klimatologie

Průměrné roční srážky dosahují až 570 mm, průměrné roční teploty vzduchu se pohybují v intervalu 9-10 °C. [11]

Dle Quittovy klimatické klasifikace (z období od 1961 do 2000) spadají Příbice do oblasti T4, tedy nejteplejší oblasti v České republice. Tato oblast je charakteristická velmi teplým a krátkým jarem, velmi teplým, velmi suchým a velmi dlouhým létem, teplým a velmi krátkým podzimem a velmi teplou, suchou až velmi suchou a velmi krátkou zimou. [13]



Obr. 29. Klimatické oblasti dle Quittovy klasifikace (z roku 1971) s vyznačením zájmové lokality [13]

5.1.3 Hydrologie

Jedním z nejvýznamnějších prvků Příbic je protékající řeka Jihlava, která pramení na Českomoravské vysočině u obce Jihlávka a ústí do střední nádrže VD Nové Mlýny. Staničení hlásného profilu Příbice se nachází na 7,46 km toku z celkových 184 km.

Plocha povodí obce je 2 998 km². Průměrný sklon toku je v Přibicích 2-3 %. Detailnější informace ohledně hlásného profilu Přibice jsou v ucelené formě špatně dohledatelné. Nejbližším významným hlásným profilem řeky Jihlavy jsou Ivančice. [11]

Tab. 5. *Nejdůležitější informace z evidenčního listu hlásného profilu Ivančice [14]*

Hlásný profil Ivančice		
staničení:	32,95	[km]
plocha povodí:	2679,982	[km ²]
nula vodočtu:	194,01	[m n. m.]
průměrný roční stav:	130	[cm]
průměrný roční průtok:	10,389	[m ³ /s]
Q₁ =	93,8	[m ³ /s]
Q₅ =	175	[m ³ /s]
Q₁₀ =	218	[m ³ /s]
Q₅₀ =	333	[m ³ /s]
Q₁₀₀ =	390	[m ³ /s]

Co se týče příčného profilu koryta, šířka hladiny se při našich měřeních pohybovala okolo 23 m. Výšky vodní hladina se pohybovala v rozmezí od 0,45 do 0,60 m, avšak jak jsme díky zařízení ADCP zjistili v jedné z nadcházejících kapitol (kapitola 5.4.2), ve středu koryta se nachází prohlubeň, která při našich měřeních dosáhla hloubky až 1,0 m od hladiny vody. Výška hladiny je však v průběhu času, vlivem měnicího se průtoku, velmi proměnlivá.



Obr. 30. *Koryto řeky Jihlavy v Přibicích ze dne 22.04.2022*

5.2 VYHLAZENÍ A DOPLNĚNÍ HODNOT NAMĚŘENÝCH SONDOU

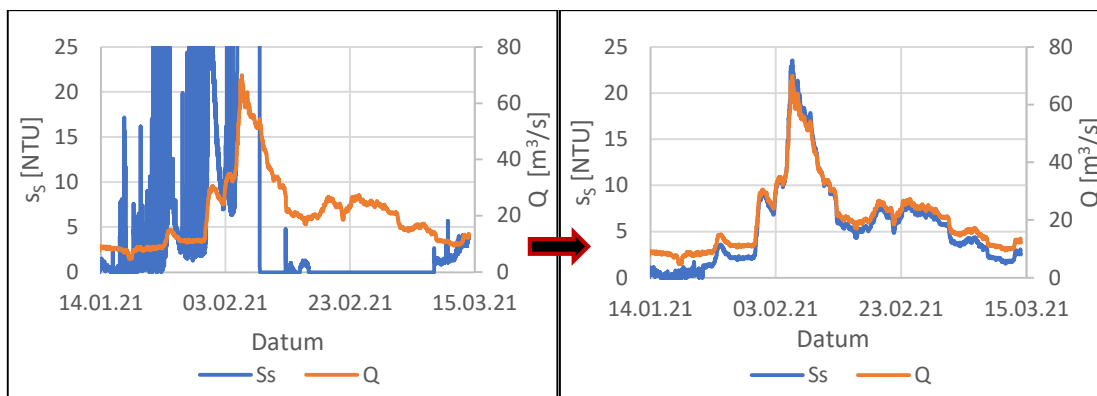
Velkou nevýhodou využití optických sond v otázce měření plavenin je jejich citlivost na znečištění a následná tendence ke zkreslování dat, většinou je tedy zapotřebí korekce naměřených hodnot. Vyskytují-li se v záznamu sondy nepřesnosti, chybné či chybějící úseky, jako tomu bylo i v případě Příbic, je nutné záznam zkorigovat, viz obrázek 31.

„Při verifikaci však musíme zohlednit i další okolnosti, především vlivy:

- přírodní: např. srážky, povodně, tání sněhu a ledovců, sesuvy půdy,
- antropogenní: např. vodohospodářská opatření, výpusti, vyplachování nádrží,
- specifické vlivy přístrojů a vlivy související s místem měření: např. zanesení štěrkem, vyschnutí, úder blesku, zalednění, vniknutí vody do sondy, plávi, porucha zařízení, měřicí rozsah, doba odezvy, přenos dat, údržbářské práce.“ [3]

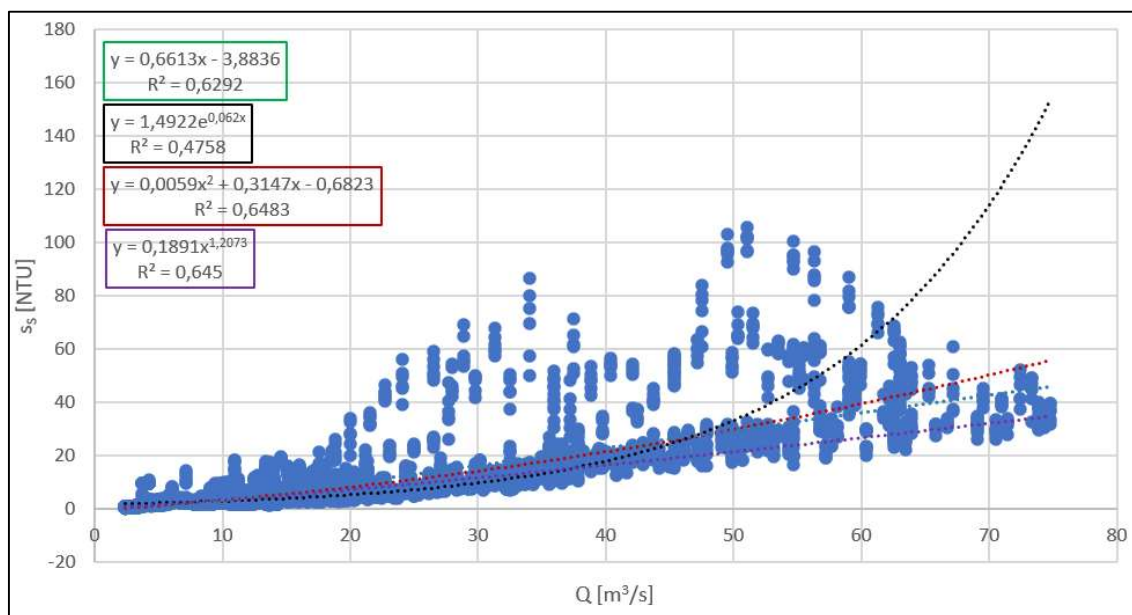
„Jako korekční pomůcky pro opravení hydrogramu sondy lze využít například kalibrační vzorky nebo průtok (při dostatečné souvztažnosti). V případě možnosti lze také využít hydrogram sekundární sondy či vhodného sousedního místa měření na stejném vodním toku. Pokud ke korekci využijeme pouze vzorky suspendovaných látek v blízkosti sondy bez náhradního hydrogramu, takovýto zákrok je zpravidla spojen se ztrátou informací. Při dostatečné korelaci mezi hydrogramem sondy a průtokem lze z průtoku pro narušenou oblast sestavit náhradní hydrogram. Výpadek sondy při velmi nízkých vodních stavech je pro výpočet množství plavenin menším problémem, protože přirozený transport suspendované hmoty v dobách nízkého průtoku přispívá k celkovému množství plavenin pouze nepatrně. Takovéto chybné kalibrační vzorky se nekorigují, ale ani se nepoužívají pro další přepočty.“ [3]

Pro účely korigování námi řešených hodnot na území Příbic byla využita kombinace závislosti plavenin na kontinuálně měřeném průtoku (interval měření je jedna hodina) a souvztažností sondou naměřených dat v těsném časovém rozmezí od postiženého, úpravu vyžadujícího úseku. Souhrou těchto pomůcek byl hydrogram za pomoci interpolace vyhlazen a doplněn. Druhým majoritním zásahem bylo vynechání úseku v období od 23.04.2020 v 11:00 do 26.05.2020 v 9:50, protože data v tomto období byla významně nekonzistentní a deformovaná. Takováto intervence byla korektní, neboť průtoky v tomto čase byly značně nízké. Z celkové počtu 787,42 dnů jsme se tímto umazáním dostali na záznam o velikosti 754,47 dnů neboli 2,07 let. Kompletní zkorigovaný hydrogram je vyobrazen na obrázku 33.



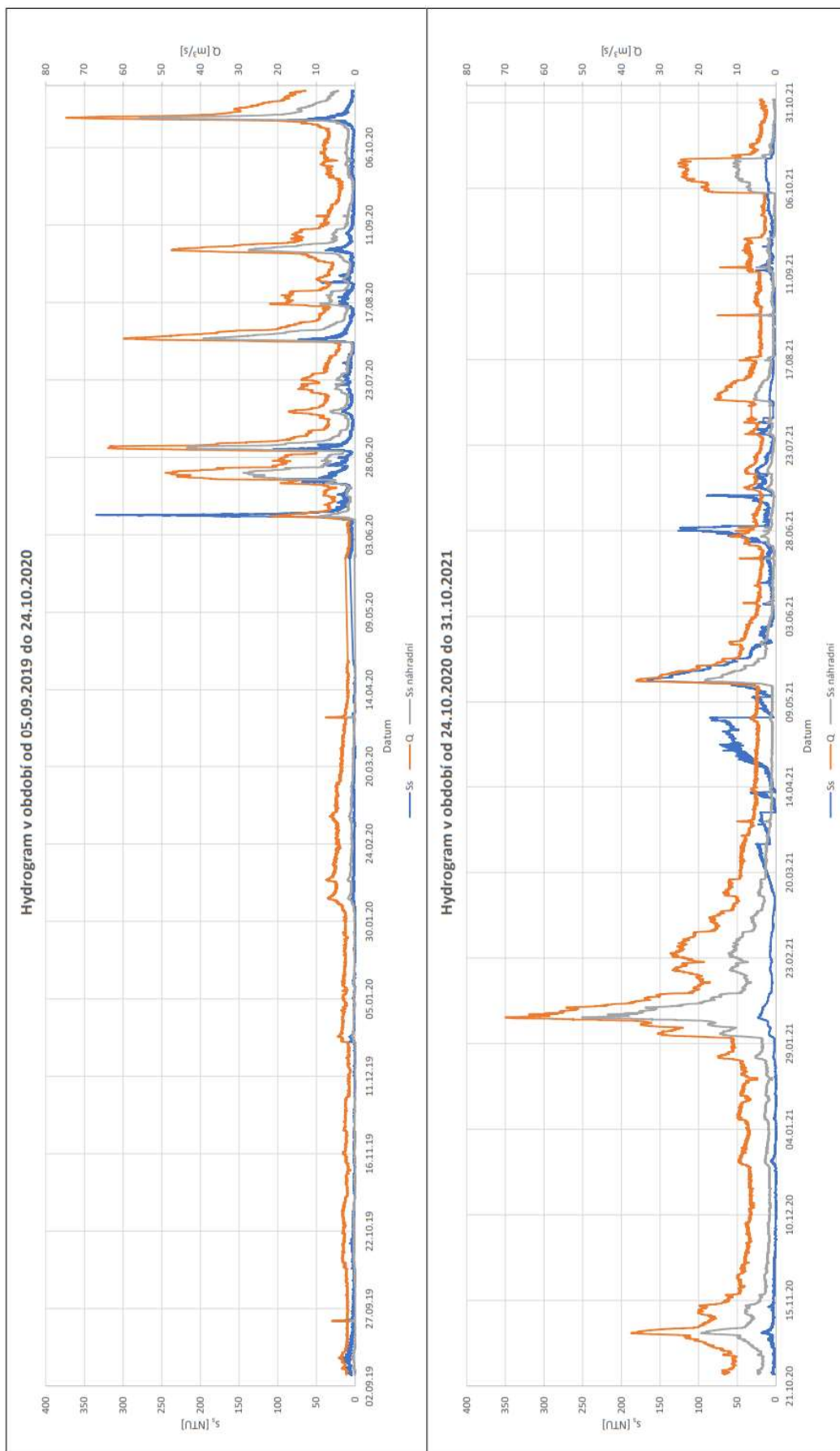
Obr. 31. Ukázka vyhlazení a doplnění hodnot velmi poškozené části hydrogramu sondy v Příbicích, kde s_s [NTU] je záznam sondy a Q [m³/s] je průtok

Pro lepší pochopení souvislostí a závislostí byl pro naši situaci rovněž sestaven hydrogram náhradní, syntetický. Byl vytvořen na základě korelace průtoku a sondou zjištěných dat, kdy z celkového počtu téměř 110 000 hodnot bylo vybráno přes 10 000 těch nejvíce reprezentativních a s průtokem nejvíce souvztažných. Pro jeho vymodelování byl využit polynomický trend druhého stupně, neboť vykazoval uspokojivou přesnost a dobře vystihoval vzájemnou souvztažnost hodnot, viz obrázek 32. Tento náhradní hydrogram byl následně, pro rozšíření obzorů v oblasti výsledků, vyhodnocen taktéž.



Obr. 32. Zjištění korelace průtoku Q [m³/s] a hodnot naměřených sondou s_s [NTU] pro umělé vytvoření náhradního hydrogramu

Obr. 33. Hydrogram obsahující křivku skutečně naměřeného zákalu a synteticky vytvořenou křivku zákalu



5.3 KALIBRACE SONDY

Nyní přichází na řadu zjištění závislosti koncentrace suspendovaných látek v odebraných kalibračních vzorcích u sondy na příslušných, v tom samém čase sondou naměřených hodnotách. Tento krok je nutný pro pozdější přepočítání dat zaznamenaných sondou na koncentrace suspendovaných látek v blízkosti sondy, protože sondy měří pouze v náhradních jednotkách NTU, nikoli v požadovaných mg/l. K tomu existují dva postupy, nazvěme je „A“ a „B“, které lze případně i kombinovat. Je však vhodné pečlivě zvážit, v jakém případě zvolit jaký postup. Jak již bylo v této práci zmíněno, ke kalibraci je třeba odběr dostatečného množství kalibračních vzorků, viz tabulka 3. U vzorků je třeba brát ohled na korektnost jejich odběru.

„Možné zdroje chyb u odebraných kalibračních vzorků:

- chybný odběr vzorků: např. přeplnění či zvržení sedimentů při kontaktu se dnem,
- záměna láhví nebo popisů,
- růst mikroorganismů při příliš dlouhém skladování za vysoké teploty,
- špatná manipulace se vzorky při laboratorní analýze.“ [3]

V námi řešeném území byl zvolen postup „B“.

5.3.1 Postup A

Tento postup je vhodný především pro hydrogramy s relativně vysokou časovou hustotou kalibračních vzorků, ale s nepříznivým vztahem mezi měřením zákalu a kalibračními vzorky odebíranými v blízkosti sondy. Principem je výpočet koeficientů kalibrace sondy k_s dle vzorce:

$$k_s = \frac{s_k}{s_s}, \quad (1)$$

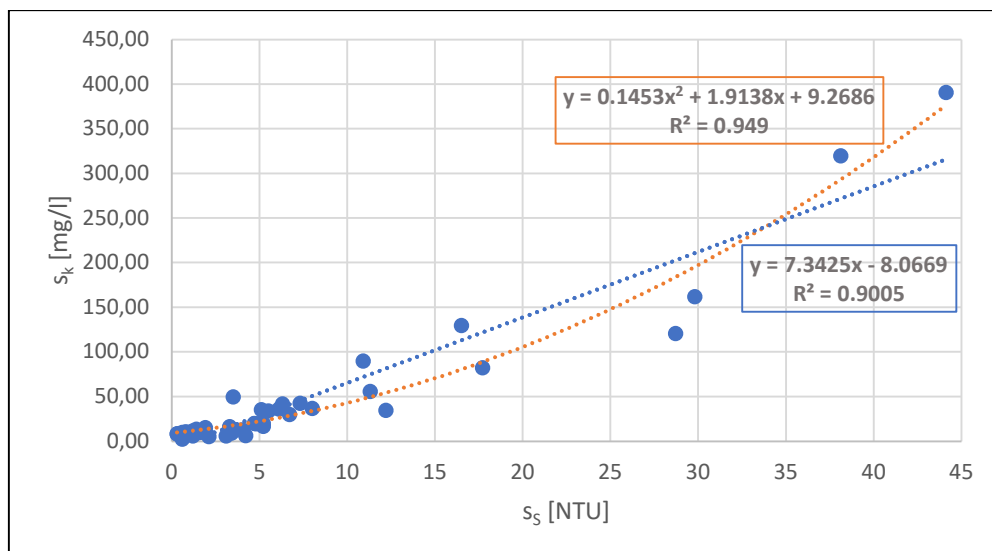
kde: k_s [-] je koeficient kalibrace sondy, s_k [mg/l] lokálně měřená koncentrace suspendovaných látek u sondy a s_s [NTU] je příslušný záznam ze sondy. [3]

Následuje lineární interpolace korekčních faktorů, čímž lze vygenerovat hydrogram koncentrací suspendovaných látek v blízkosti sondy. [3]

5.3.2 Postup B

Postup „B“ je vhodný především pro taková místa měření nebo taková časová období, ve kterých existuje dobrá souvztažnost mezi hodnotami získanými sondou a kalibračními vzorky odebranými u sondy, avšak vzorkování probíhalo v nepravidelných intervalech. Principem přepočtu hodnot ze sondy na koncentrace suspendovaných látek v blízkosti sondy je užití regresní analýzy nebo jiných statistických metod. [3]

Pro náš účel byl použit přepočítání pomocí regresní analýzy, přesněji za užití lineárního trendu a za užití polynomického trendu druhého stupně, viz obrázek 34. Oba trendy vykazují velkou přesnost, proto pro maximalizaci škály výsledků byly do vyhodnocení zahrnuty oba.



Obr. 34. Závislost koncentrace suspendovaných látek u sondy s_k [mg/l] na záznamu ze sondy s_s [NTU]

5.4 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ DISTRIBUCE KONCENTRACE SUSPENDOVANÝCH LÁTEK V PŘÍČNÉM PROFILU

Výsledkem měření distribuce koncentrace v příčném profilu je transport suspendované hmoty v příčném profilu Q_s [g/s]. Počítáme jej dle rovnice:

$$Q_s = \int_{b_A}^{b_E} \int_0^{t_w} s_0(h, b) \cdot v(h, b) dt_w db, \quad (2)$$

kde: Q_s [g/s] je transport suspendované hmoty v příčném profilu, s_0 [mg/l] koncentrace suspendovaných látek, v [m/s] rychlost proudění, t_w [m] hloubka vody, h [m] výška nad dnem a b [m] je šířka hladiny. [3]

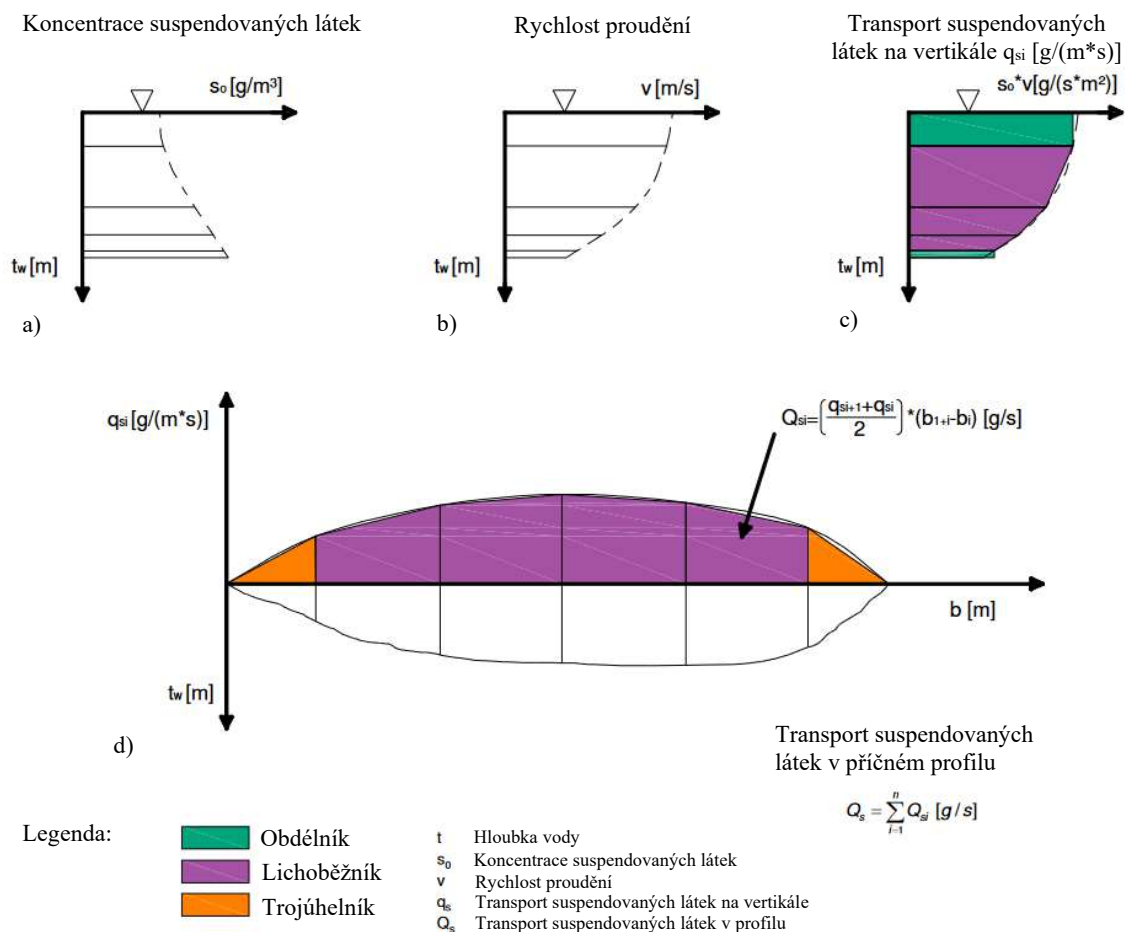
Střední koncentrace suspendovaných látek v profilu je pak podílem transportu suspendované hmoty a průtoku:

$$s_m = \frac{Q_s}{Q}, \quad (3)$$

kde: s_m [mg/l] je střední koncentrace suspendovaných látek, Q_s [g/s] transport suspendované hmoty a Q [m³/s] průtok. [3]

5.4.1 Vyhodnocení měření vícebodovou metodou

Vyhodnocení odběrů vícebodovou metodou probíhá za laboratorního vyhodnocení koncentrací suspendovaných látek v odběrových bodech. To vše s přihlédnutím k rychlostem proudění. Princip vyhodnocení je graficky znázorněn na následujícím obrázku:



Obr. 35. Grafické znázornění postupu vyhodnocení vícebodovou metodou [3]

Při vyhodnocení měření distribuce koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu vícebodovou metodou se postupuje podle následujících bodů, které vycházejí z rakouské metodické příručky Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes (Habersack et al., 2017):

1. Před výpočtem transportu suspendovaných látek musí být do vyhodnocovacího programu zadány obecné údaje z protokolu měření nebo z filtrovaných vzorků suspendovaných látek (obrázek 36 – hlavička s obecnými údaji). Měly by zahrnovat tyto informace: datum, místo, průtok, vodní stav, použité měřicí zařízení, měřicí tým při měření, zpracovatel a datum vyhodnocení.
2. Do vyhodnocovacího protokolu se zapisuje označení, vzdálenost od referenčního bodu a hloubka vody pro každou vertikálu, hloubka odběru vzorků a rychlosti proudění a koncentrace suspendovaných látek v odběrových bodech (obrázek 36 – naměřená data).
3. V prvním kroku se v každém měřicím bodě a v každé měřicí vertikále vynásobí koncentrace suspendovaných látek s_0 [mg/l] a rychlost proudění v [m/s] (obrázek 36 – sloupec 1). Chod suspendované hmoty podél vertikály v g/(m*s) se počítá z obsahu plochy každé vertikály od vodní hladiny po dno (obrázek 35c). Za tímto účelem se plochy od nejnižšího bodu odběru po

nejvyšší bod odběru aproximují jako lichoběžníky, ale plocha od nejvyššího bodu odběru k hladině a od nejnižšího bodu odběru ke dnu jako obdélníky (obrázek 36 – sloupec 2). Ke zjišťování chodu suspendované hmoty se dílčí plochy každé vertikály sčítají (obrázek 36 – sloupec 3), čímž zjistíme transport suspendované hmoty na vertikále q_{si} [g/(m·s)].

4. Posledním krokem je výpočet transportu suspendované hmoty Q_s [g/s] pro celý příčný profil. Ten se ve vnitřních dílcích stanoví pomocí vzorce pro lichoběžník $[Q_{si} = [(q_{si} + q_{si+1})/2] \cdot (b_{(i+1)} - b_{(i)})]$, kde transporty suspendované hmoty na jednotlivých vertikálách q_{si} [g/(m·s)] představují strany lichoběžníku a spolupůsobící šířky b [m] představují výšku lichoběžníku (obrázek 35d). Rozdílně se vyhodnocují data na okrajích profilu, kde se předpokládá nulový chod suspendované hmoty v místě břehů, kvůli čemuž se transport počítá pomocí vzorce pro trojúhelník (obr. 36 – sloupec 4). Transport suspendované hmoty v příčném profilu Q_s [g/s] se vypočítá sečtením dílčích ploch Q_{si} [g/s].

Místo měření	Prácheň	Měřicí zařízení	ADCP
Datum měření	08.07.2021	Měřicí tým	DM, SP, MB
Hladina vody	0,45 m	Zpracovatel	RP
Průtok dle ADCP	4,583 m ³ /s	Datum zpracování	15.01.2022

hlavička s obecnými údaji

Označení měření	Vzdálenost od ref. bodu	Hloubka vody	Hloubka měření	Označení vzorku	Čas odběru	Koncentrace susp. látek	Rychlost proudění	Chod susp. hmoty	Chod susp. hmoty podél vertikál	Transport susp. hmoty na vertikále	Transport susp. hmoty v profilu
	b	t _w				s ₀	v	s ₀ ·v		q _{si}	Q _{si}
	[m]	[m]	[m]			[mg/l]	[m/s]	[g/s·m ²]	[g/s·m]	[g/s·m]	[g/s]
	0										2,48
I	3,00	0,50	0,10	I/1	10:19	28,65	0,145	4,15	0,42	1,65	11,24
			0,40	I/2	10:21	28,80	0,085	2,45	0,99		
									0,24		
II	6,00	0,50	0,10	II/1	10:23	29,08	0,388	11,28	1,13	5,85	26,20
			0,40	II/2	10:25	37,82	0,320	12,10	3,51		
									1,21		
III	9,00	0,70	0,14	III/1	10:27	27,55	0,638	17,58	2,46	11,62	38,71
			0,56	III/2	10:28	30,06	0,520	15,63	6,97		
									2,19		
IV	12,00	0,80	0,16	IV/1	10:33	30,09	0,678	20,40	3,26	14,18	38,38
			0,64	IV/2	10:35	31,82	0,473	15,05	8,51		
									2,41		
V	15,00	0,60	0,12	V/1	10:37	29,16	0,755	22,02	2,64	11,40	30,59
			0,48	V/2	10:39	30,29	0,528	15,99	6,84		
									1,92		
VI	18,00	0,45	0,09	VI/1	10:41	29,04	0,728	21,14	1,90	8,99	19,46
			0,36	VI/2	10:43	30,34	0,620	18,81	5,39		
									1,69		
VII	21,00	0,25	0,15	VII/1	10:45	30,45	0,523	15,93	2,39	3,98	2,99
									1,59		
	22,50										

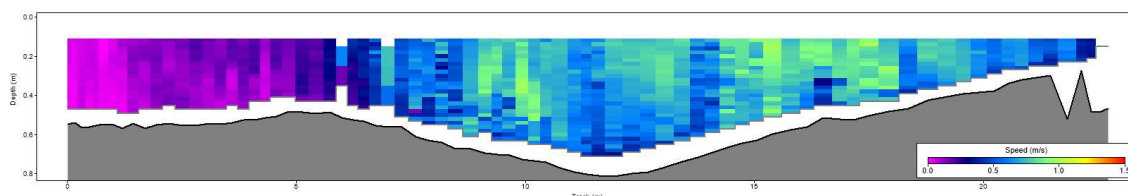
Celkový transport suspendované hmoty Q _s [g/s]	170,04
Celkový transport suspendované hmoty Q _s [kg/s]	0,17
Průtok Q [m ³ /s]	4,583
Střední koncentrace suspendovaných látek s _m [mg/l]	37,1

naměřená data

Obr. 36. Ukázka listu s vyhodnocením vícebodového odběru

5.4.2 Vyhodnocení měření zařízením ADCP kombinovaným s odběrem vzorků

Při vyhodnocení měření zařízením ADCP se intenzity zpětně rozptýlených ozvěn vyslaných z ADCP přepočítají na koncentrace suspendovaných látek. Intenzity, závislé na vlnové délce ultrazvukového signálu, koncentraci suspendovaných látek a distribuci zrnitosti jejich částic, se následně přepočítají pomocí sonarové rovnice [15]. Tomuto se blíže věnuje například práce Estimation of suspended sediment concentrations with ADCP in Danube River (Baranya & Józsa, 2013).



Obr. 37. Ukázka výsledku rychlostního bodového pole jednoho transektu z přístroje ADCP – Příbice 15.09.2021 [10]

Measurement Results																		
Tr	Time			Distance				Mean Vel		Discharge						%		
#	Time	Duration	Temp.	Track	DMG	Width	Area	Boat	Water	Left	Right	Top	Middle	Bottom	Total	MBTotal	Measured	
1	L	12:08:07 AM	0:01:57	20.0	23.39	21.88	22.880	12.653	0.200	0.470	0.01	0.00	1.27	4.02	0.65	5.946	--	67.6
2	R	12:10:11 AM	0:01:56	20.0	22.44	21.76	22.763	12.375	0.193	0.485	0.01	0.00	1.29	4.06	0.64	6.000	--	67.7
5	L	12:16:24 AM	0:01:47	19.6	24.47	21.96	22.959	12.177	0.229	0.486	0.02	0.00	1.31	3.96	0.64	5.921	--	66.9
6	R	12:18:16 AM	0:01:55	19.7	22.84	21.94	22.937	12.521	0.199	0.471	0.01	0.00	1.38	3.80	0.71	5.898	--	64.4
			Mean	19.8	23.29	21.88	22.885	12.431	0.205	0.478	0.01	0.00	1.31	3.96	0.66	5.941	0.000	66.6
			Std Dev	0.2	0.76	0.08	0.076	0.177	0.014	0.008	0.00	0.00	0.04	0.10	0.03	0.038	0.000	1.3
			COV	0.0	0.033	0.003	0.003	0.014	0.067	0.016	0.343	0.000	0.033	0.025	0.047	0.006	0.000	0.020

Obr. 38. Výsledky jednotlivých transektů z programu RiverSurveyor Live – Příbice 15.09.2021 [10]

K výše zmíněnému je zapotřebí odběr vzorků současně s měřením ADCP, díky kterým se zjistí koncentrace suspendovaných látek a velikost zrn. Tím získáme distribuci koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu v mg/l. Jelikož se při měření systémem ADCP současně zaznamenává distribuce rychlosti proudění v příčném profilu, je možný výpočet transportu suspendované hmoty a střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu, a to podle rovnic 2 a 3. [3]

5.4.3 Vyhodnocení měření integrační metodou

Pro maximalizaci škály výsledků a rozšíření obzorů jsme zkusili data zpracovat rovněž integrační metodou, byť byla distribuce koncentrace suspendovaných látek v Příbících zjišťována metodou vícebodovou v kombinaci s měřením ADCP.

Vyhodnocení integrovaného odběru se provádí obdobně jako u odběru vícebodového. První integrace na vertikále probíhá metodou samotného vzorkování. Střední koncentrace na vertikále je v této metodě váženou koncentrací, vyplývající z požadované izokinetiky a konstantní rychlosti zvedání a spouštění vzorkovače. [3]

U metody EWI ve variantě 2 (s měřením průtoku) se před výpočtem transportu suspendovaných hmot zadají do vyhodnocovacího listu obecné údaje z protokolu měření nebo z filtrovaných vzorků suspendovaných látek (obrázek 39 – hlavička s obecnými údaji). Měly by zahrnovat tyto informace: datum, místo, průtok, vodní stav, použité měřicí zařízení, měřicí tým při měření, datum a zpracovatel vyhodnocení. Do vyhodnocovacího listu se dále zadává označení, vzdálenost od referenčního bodu, hloubka vody, rychlost proudění a koncentrace suspendovaných látek pro každou vertikálu (obrázek 39 – naměřená data jednotlivých vertikál). [3]

„Výpočet se provádí vynásobením střední rychlosti na vertikále v_{mL} [m/s] a střední koncentrace integrovaného vzorku (s_{mL}) [mg/l] (obrázek 39 – sloupec 1). Chod suspendované hmoty q_{si} [g/s·m] se počítá podle rovnice 4 (obrázek 39 – sloupec 2):

$$q_{si} = (s_{mL} v_{mL}) t_{wL}, \quad (4)$$

kde: q_{si} [g/s·m] je schod suspendované hmoty, s_{mL} [mg/l] je střední koncentrace integrovaného vzorku, v_{mL} [m/s] je střední rychlost na vertikále a t_{wL} [m] je hloubka vody na příslušné vertikále.

Pomocí vzorce pro plochu lichoběžníků (rovnice 5) lze určit dílčí transporty suspendované hmoty v profilu Q_{si} [g/s] a jejich následnou sumou lze zjistit celkový transport suspendované hmoty v celém profilu Q_s [g/s] (obrázek 39 – sloupec 3).

$$Q_{si} = \left[\frac{q_{si} + q_{si+1}}{2} \right] (b_{i+1} - b_i), \quad (5)$$

kde: Q_{si} [g/s] je dílčí transport suspendované hmoty v profilu, q_{si} [g/s·m] je chod suspendované hmoty a b [m] je vzdálenost od referenčního bodu.“ [3]

Místo měření	Přibice	Měřicí zařízení	ADCP	hlavička s obecnými údaji
Datum měření	26.07.2021	Měřicí tým	DM, SP, MB	
Hladina vody	0,60 m	Zpracovatel	RP	
Průtok dle ADCP	9,88 m ³ /s	Datum zpracování	15.01.2022	

Označení měření	Vzdálenost od ref. bodu	Hloubka vody	Označení vzorku	Čas odběru	Střední koncentrace susp. látek	Střední rychlost proudění	Chod susp. hmoty	Transport susp. hmoty na vertikále	Transport susp. hmoty v profilu
	b	t _{wL}			s _{mL}	v _{mL}	s _{mL} ·v _{mL}	q _{si}	Q _{si}
	[m]	[m]			[g/m ³]	[m/s]	[g/s·m ²]	[g/s·m]	[g/s]
	0,00								62,45
I	3,00	0,70	I	10:36	195,64	0,304	59,48	41,63	170,38
II	6,00	0,65	II	10:40	219,65	0,504	110,70	71,96	437,22
III	9,00	0,90	III	10:44	247,50	0,986	243,91	219,52	754,73
IV	12,00	1,00	IV	10:51	312,02	0,909	283,63	283,63	743,20
V	15,00	0,80	V	10:56	311,89	0,849	264,80	211,84	616,67
VI	18,00	0,60	VI	10:58	313,18	1,061	332,13	199,28	464,41
VII	21,00	0,40	VII	11:02	330,33	0,835	275,83	110,33	110,33
	23,00								

Celkový transport suspendované hmoty Q _s [g/s]		3359,40
Celkový transport suspendované hmoty Q _s [kg/s]		3,36
Průtok Q [m ³ /s]		9,88
Střední koncentrace suspendovaných látek s _m [mg/l]		340,0

Obr. 39. Ukázka listu s vyhodnocením integračního odběru

„U metody EWI ve variantě 1 (bez měření průtoku) se provádí zjišťování střední koncentrace suspendovaných látek pro celý profil s_m [mg/l], vážené podle příslušného průtoku, pomocí „myšleného sloučení“ všech vzorků z profilu. Objem vzorků V_p [l] na jedné vertikále se pokládá za přímo úměrný ke střední rychlosti proudění na této vertikále. Střední koncentrace suspendovaných látek s_{mL} [mg/l] se počítá podle rovnice 6:

$$s_m = \frac{\sum s_{mL} \cdot V_p}{\sum V_p}, \quad (6)$$

kde: s_m [mg/l] je střední koncentrace suspendovaných látek pro celý profil, s_{mL} [mg/l] je střední koncentrace suspendovaných látek na jedné vertikále a V_p [l] je objem vzorků na jedné vertikále.

Při použití metody EDI se střední koncentrace suspendovaných látek určuje aritmetickým průměrováním koncentrací suspendovaných látek na jednotlivé vertikále. To je možné díky umístění měřicí vertikály proporčně k průtoku.“ [3]

5.5 STŘEDNÍ KONCENTRACE SUSPENDOVANÝCH LÁTEK V PŘÍČNÉM PROFILU

V následujícím kroku je třeba zjistit souvislosti mezi střední koncentrací suspendovaných látek v příčném profilu s_m [mg/l] a lokálně měřenou koncentrací u sondy s_k [mg/l] a tuto souvislost využít k přepočítání lokálního měření sondy na koncentraci suspendovaných látek v celém příčném profilu. K tomuto kroku můžeme opět přistupovat, podobně jako v kapitole 5.3, dvěma postupy, a to podílem nebo regresní analýzou. V našem případě byly pro maximalizaci škály výsledků využity oba postupy.

V případě Příbic zde však narážíme na problém, který bude patrný v následujících kapitolách. Pro řešené území byly v době tvorby této práce zhotoveny pouze čtyři analýzy distribuce koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu, ve kterých ale nenacházíme uspokojivou korelaci mezi střední koncentrací suspendovaných látek v příčném profilu a lokálně měřenou koncentrací suspendovaných látek u sondy. Z tohoto důvodu byly vyzkoušeny tři verze přepočtů, a to se všemi čtyřmi měřeními, se třemi měřeními a s pouze dvěma měřeními příčného profilu. Vždy bylo odebráno to nejvíce nekorelující měření.

5.5.1 Postup podílem

V postupu podílem zjišťujeme vzájemné souvislosti poměrem obou hodnot, čímž získáme konkrétní reálné číslo. Výpočet je dle vzorce:

$$k_p = \frac{s_m}{s_k}, \quad (7)$$

kde: k_p [-] je koeficient příčného profilu, s_m [mg/l] je střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu a s_k [mg/l] je lokálně měřená koncentrace u sondy. [3]

5.5.1.1 Vyhodnocení čtyř měření příčného profilu podílem

Tab. 6. Vyhodnocení koeficientu k_p čtyřmi měřeními příčného profilu

Vícebodová metoda vyhodnocení					Integrační metoda vyhodnocení						
měření	Q	S_m	S_k	k_{pi}	měření	Q	S_m	S_k	k_{pi}		
	[m ³ /s]	[mg/l]	[mg/l]	[-]		[m ³ /s]	[mg/l]	[mg/l]	[-]		
1	4,58	37,10	29,79	1,25	1	4,58	37,27	29,79	1,25		
2	9,88	339,64	31,10	10,92	2	9,88	340,02	31,10	10,93		
3	3,33	12,84	109,66	0,12	3	3,33	12,81	109,66	0,12		
4	5,94	14,66	195,64	0,07	4	5,94	14,66	195,64	0,07		
				$k_p [-] =$	3,09					$k_p [-] =$	3,09

5.5.1.2 Vyhodnocení tří měření příčného profilu podílem

Tab. 7. Vyhodnocení koeficientu k_p třemi měřeními příčného profilu

Vícebodová metoda vyhodnocení					Integrační metoda vyhodnocení						
měření	Q	S_m	S_k	k_{pi}	měření	Q	S_m	S_k	k_{pi}		
	[m ³ /s]	[mg/l]	[mg/l]	[-]		[m ³ /s]	[mg/l]	[mg/l]	[-]		
1	4,58	37,10	29,79	1,25	1	4,58	37,27	29,79	1,25		
3	3,33	12,84	109,66	0,12	3	3,33	12,81	109,66	0,12		
4	5,94	14,66	195,64	0,07	4	5,94	14,66	195,64	0,07		
				$k_p [-] =$	0,48					$k_p [-] =$	0,48

5.5.1.3 Vyhodnocení dvou měření příčného profilu podílem

Tab. 8. Vyhodnocení koeficientu k_p dvěma měřeními příčného profilu

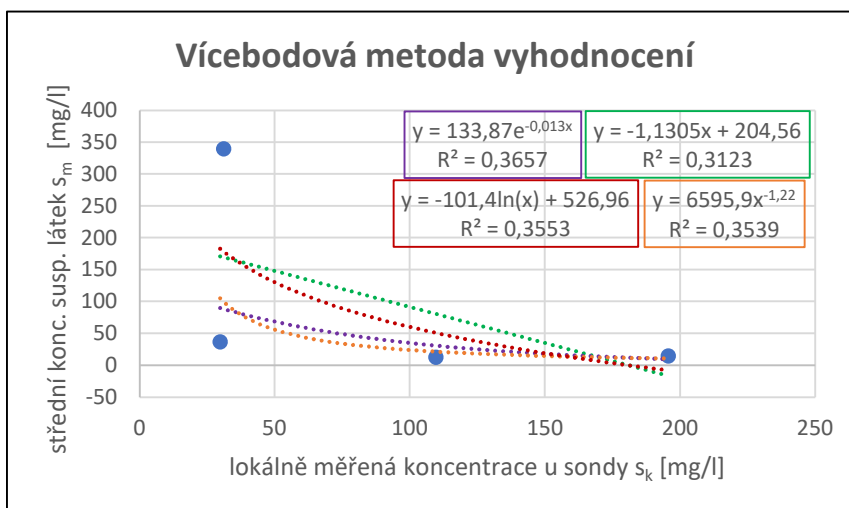
Vícebodová metoda vyhodnocení					Integrační metoda vyhodnocení						
měření	Q	S_m	S_k	k_{pi}	měření	Q	S_m	S_k	k_{pi}		
	[m ³ /s]	[mg/l]	[mg/l]	[-]		[m ³ /s]	[mg/l]	[mg/l]	[-]		
3	3,33	12,84	109,66	0,12	3	3,33	12,81	109,66	0,12		
4	5,94	14,66	195,64	0,07	4	5,94	14,66	195,64	0,07		
				$k_p [-] =$	0,10					$k_p [-] =$	0,10

5.5.2 Postup regresní analýzou

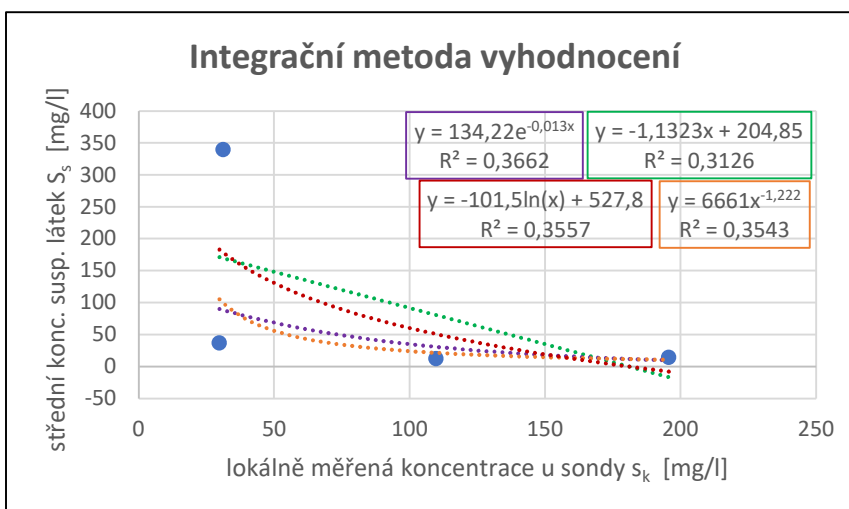
Využitím tohoto postupu lze odhadnout střední koncentrace suspendovaných látek pro všechny koncentrace v blízkosti sondy pomocí regresních rovnic nebo jiných statistických metod. Je nutno brát v potaz, že vztah mezi koncentrací v blízkosti sondy a střední koncentrací suspendovaných látek je odlišný pro jednotlivá měření a je, mimo jiné, ovlivněn místem odběru kalibračních vzorků, distribucí rychlosti nebo morfodynamikou. [3]

5.5.2.1 Vyhodnocení čtyř měření příčného profilu regresní analýzou

Pro přepočítání skrz regresní analýzu byl v obou případech zvolen exponenciální trend pro svou vlastnost dobře vystihovat závislost obou hodnot a zároveň pro svou schopnost nepřepočítávat data do minusových hodnot a současně data nenadhodnocovat.



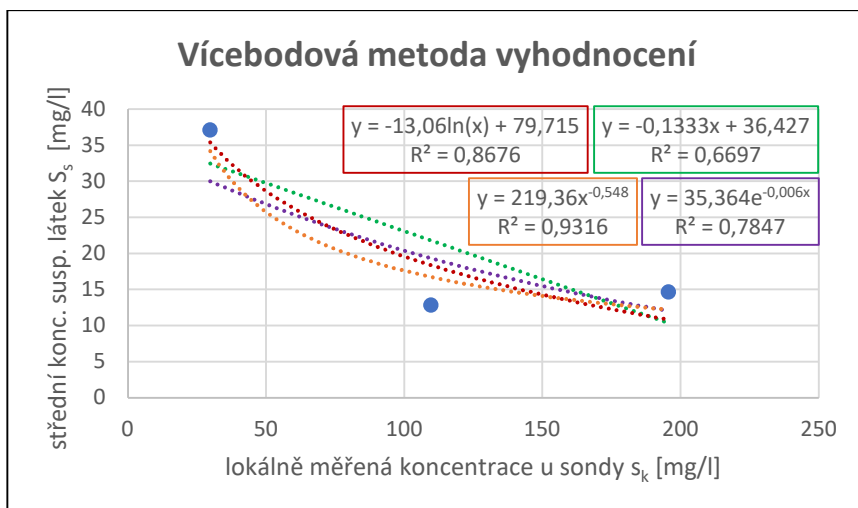
Obr. 40. Analýza korelace střední koncentrace suspendovaných látek na lokálně měřené koncentraci u sondy – čtyři měření příčného profilu, vícebodová metoda vyhodnocení



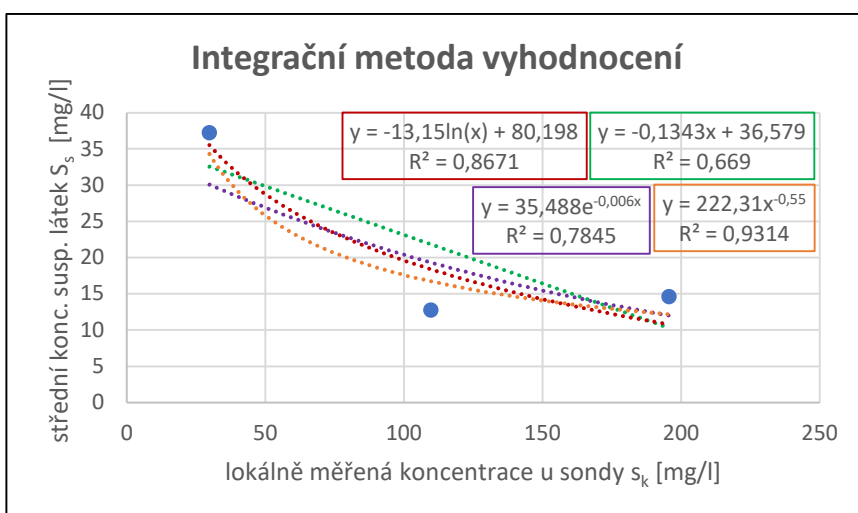
Obr. 41. Analýza korelace střední koncentrace suspendovaných látek na lokálně měřené koncentraci u sondy – čtyři měření příčného profilu, integrační metoda vyhodnocení

5.5.2.2 Vyhodnocení tří měření příčného profilu regresní analýzou

Pro přepočítání skrz regresní analýzu byl v obou případech zvolen exponenciální trend pro svou vlastnost dobře vystihovat závislost obou hodnot a zároveň pro svou schopnost nepřepočítávat data do minusových hodnot a současně data nenadhodnocovat.



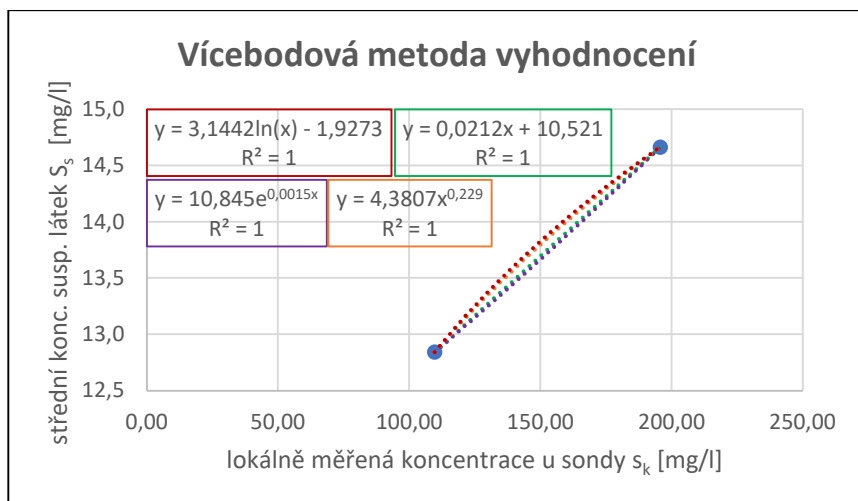
Obr. 42. Analýza korelace střední koncentrace suspendovaných látek na lokálně měřené koncentraci u sondy – tři měření příčného profilu, vícebodová metoda vyhodnocení



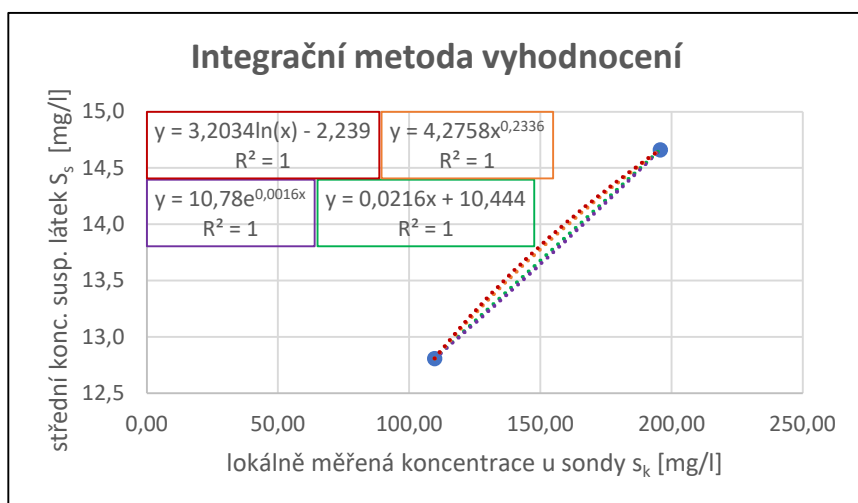
Obr. 43. Analýza korelace střední koncentrace suspendovaných látek na lokálně měřené koncentraci u sondy – tři měření příčného profilu, integrační metoda vyhodnocení

5.5.2.3 Vyhodnocení dvou měření příčného profilu regresní analýzou

Pro přepočítání skrz regresní analýzu byl v obou případech zvolen mocninný trend pro svou schopnost nepřepočítávat data do minusových hodnot.



Obr. 44. Analýza korelace střední koncentrace suspendovaných látek na lokálně měřené koncentraci u sondy – dvě měření příčného profilu, vícebodová metoda vyhodnocení



Obr. 45. Analýza korelace střední koncentrace suspendovaných látek na lokálně měřené koncentraci u sondy – dvě měření příčného profilu, integrační metoda vyhodnocení

5.6 PŘEPOČET HODNOT NAMĚŘENÝCH SONDOU NA STŘEDNÍ KONCENTRACE SUSPENDOVANÝCH LÁTEK

Po provedení úkonů popsaných v kapitole 5.5 byla zjištěna distribuce koncentrace suspendovaných látek v celém příčném profilu. Nyní je nutné všechny tyto koncentrace přepočítat na požadované hodnoty v mg/l, a to za pomoci postupů z kapitoly 5.3. Jak již bylo zmíněno, pro naše účely byl použit postup druhý, tedy přepočet regresní analýzou, přesněji přepočet lineárním trendem a přepočet polynomickým trendem druhého stupně.

5.7 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Vynásobením časových řad průtoku a střední koncentrace suspendovaných látek, vypočtené předchozími postupy (kapitola 5.6), se vypočítá transport suspendované hmoty Q_s [g/s], který je následně vhodné převést na kg/s. Integrováním tohoto

transportního hydrogramu podle času lze pro libovolné doby určit množství plavenin $V_{S,m}$ [t]. Toho v našem případě dosáhneme převodem požadovaných Q_s [kg/s] na jednotky t/min a následným vynásobením desíti (sonda měří v desetiminutovém intervalu). Vydělením množství plavenin velikostí povodí v místě měření lze určit odnos splavenin v povodí $V'_{S,m}$ [t/km²]. [3]

Výsledky jsou vyhodnoceny pro celé období, tedy od 05.09.2019 do 31.10.2021, a pro jeden celý rok, rok 2020.

Kvůli trojitému postupu v kapitole 5.5 dostáváme i větší množství finálních výsledků, přesněji výsledky pro čtyři, tři a dvě měření příčného profilu a jejich následné vyhodnocení analýzou korelací středních koncentrací suspendovaných látek na lokálně měřených koncentracích u sondy.

5.7.1 Vyhodnocení výsledků o čtyřech měřeních příčného profilu

5.7.1.1 Přepočítání lineárním trendem

Tab. 9. Vyhodnocení výsledků pro celé období – čtyři měření příčného profilu, přepočítání lineárním trendem

	Celé období – čtyři měření příčného profilu, přepočítání lineárním trendem							
	Naměřený hydrogram				Náhradní hydrogram			
	Přepočítání poměrem		Přepočítání reg. analýzou		Přepočítání poměrem		Přepočítání reg. analýzou	
	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda
ΣQ_s [kg/s]	279 964,9	280 373,8	771 776,3	773 813,5	166 989,0	167 236,6	809 030,3	811 164,8
ΣQ_s [t/s]	280,0	280,4	771,8	773,8	167,0	167,2	809,0	811,2
ΣQ_s [t/min]	16 797,9	16 822,4	46 306,6	46 428,8	10 019,3	10 034,2	48 541,8	48 669,9
$V_{S,m}$ [t]	167 979,0	168 224,3	463 065,8	464 288,1	100 193,4	100 342,0	485 418,2	486 698,9
$V'_{S,m}$ [t/km ²]	56,0	56,1	154,5	154,9	33,4	33,5	161,9	162,3
σQ_s [t/r]	81 265,9	81 384,6	224 024,9	224 616,2	48 472,2	48 544,1	234 838,7	235 458,3

Tab. 10. Vyhodnocení výsledků pro rok 2020 – čtyři měření příčného profilu, přepočítání lineárním trendem

	Rok 2020 – čtyři měření příčného profilu, přepočítání lineárním trendem							
	Naměřený hydrogram				Náhradní hydrogram			
	Přepočítání poměrem		Přepočítání reg. analýzou		Přepočítání poměrem		Přepočítání reg. analýzou	
	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda
ΣQ_s [kg/s]	118 964,7	119 139,1	381 808,8	382 816,5	89 850,7	89 983,5	391 267,3	392 299,8
ΣQ_s [t/s]	119,0	119,1	381,8	382,8	89,9	90,0	391,3	392,3
ΣQ_s [t/min]	7 137,9	7 148,3	22 908,5	22 969,0	5 391,0	5 399,0	23 476,0	23 538,0
$V_{S,m}$ [t]	71 378,8	71 483,4	229 085,3	229 689,9	53 910,4	53 990,1	234 760,4	235 379,9
$V'_{S,m}$ [t/km ²]	23,8	23,8	76,4	76,6	18,0	18,0	78,3	78,5

5.7.1.2 Přepočítání polynomickým trendem druhého stupně

Tab. 11. Vyhodnocení výsledků pro celé období – čtyři měření příčného profilu, přepočítání polynomickým trendem druhého stupně

	Celé období – čtyři měření příčného profilu, přepočítání polynomickým trendem druhého stupně							
	Naměřený hydrogram				Náhradní hydrogram			
	Přepočítání poměrem		Přepočítání reg. analýzou		Přepočítání poměrem		Přepočítání reg. analýzou	
	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda
ΣQ_s [kg/s]	1 045 458,3	1 048 306,5	2 055 751,7	2 065 938,2	282 812,9	283 529,9	2 206 025,9	2 216 973,9
ΣQ_s [t/s]	1 045,5	1 048,3	2 055,8	2 065,9	282,8	283,5	2 206,0	2 217,0
ΣQ_s [t/min]	62 727,5	62 898,4	123 345,1	123 956,3	16 968,8	17 011,8	132 361,6	133 018,4
$V_{s,m}$ [t]	627 275,0	628 983,9	1 233 451,0	1 239 562,9	169 687,7	170 117,9	1 323 615,6	1 330 184,3
$V'_{s,m}$ [t/km ²]	209,2	209,8	411,4	413,5	56,6	56,7	441,5	443,7
σQ_s [t/r]	303 467,1	304 293,8	596 726,8	599 683,6	82 092,6	82 300,7	640 347,1	643 525,0

Tab. 12. Vyhodnocení výsledků pro rok 2020 – čtyři měření příčného profilu, přepočítání polynomickým trendem druhého stupně

	Rok 2020 – čtyři měření příčného profilu, přepočítání polynomickým trendem druhého stupně							
	Naměřený hydrogram				Náhradní hydrogram			
	Přepočítání poměrem		Přepočítání reg. analýzou		Přepočítání poměrem		Přepočítání reg. analýzou	
	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda
ΣQ_s [kg/s]	375 547,5	376 560,3	1 021 562,6	1 026 626,2	158 388,4	158 793,2	1 059 804,0	1 065 061,4
ΣQ_s [t/s]	375,5	376,6	1 021,6	1 026,6	158,4	158,8	1 059,8	1 065,1
ΣQ_s [t/min]	22 532,8	22 593,6	61 293,8	61 597,6	9 503,3	9 527,6	63 588,2	63 903,7
$V_{s,m}$ [t]	225 328,5	225 936,2	612 937,6	615 975,7	95 033,0	95 275,9	635 882,4	639 036,8
$V'_{s,m}$ [t/km ²]	75,2	75,4	204,4	205,5	31,7	31,8	212,1	213,2

5.7.2 Vyhodnocení výsledků o třech měřeních příčného profilu

5.7.2.1 Přepočítání lineárním trendem

Tab. 13. Vyhodnocení výsledků pro celé období – tři měření příčného profilu, přepočítání lineárním trendem

	Celé období – tři měření příčného profilu, přepočítání lineárním trendem							
	Naměřený hydrogram				Náhradní hydrogram			
	Přepočítání poměrem		Přepočítání reg. analýzou		Přepočítání poměrem		Přepočítání reg. analýzou	
	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda
ΣQ_s [kg/s]	37 900,0	38 059,7	213 898,0	214 674,0	20 949,8	21 043,2	219 762,5	220 559,1
ΣQ_s [t/s]	37,9	38,1	213,9	214,7	20,9	21,0	219,8	220,6
ΣQ_s [t/min]	2 274,0	2 283,6	12 833,9	12 880,4	1 257,0	1 262,6	13 185,8	13 233,5
$V_{s,m}$ [t]	22 740,0	22 835,8	128 338,8	128 804,4	12 569,9	12 625,9	131 857,5	132 335,4
$V'_{s,m}$ [t/km ²]	7,6	7,6	42,8	43,0	4,2	4,2	44,0	44,1
σQ_s [t/r]	11 001,3	11 047,7	62 088,6	62 313,8	6 081,1	6 108,2	63 790,9	64 022,1

Tab. 14. *Vyhodnocení výsledků pro rok 2020 – tři měření příčného profilu, přepočtené lineárním trendem*

	Rok 2020 – tři měření příčného profilu, přepočtené lineárním trendem							
	Naměřený hydrogram				Náhradní hydrogram			
	Přepočtené poměrem		Přepočtené reg. analýzou		Přepočtené poměrem		Přepočtené reg. analýzou	
	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda
ΣQ_s [kg/s]	15 840,3	15 908,1	105 304,2	105 686,1	11 387,8	11 438,0	106 791,4	107 178,6
ΣQ_s [t/s]	15,8	15,9	105,3	105,7	11,4	11,4	106,8	107,2
ΣQ_s [t/min]	950,4	954,5	6 318,2	6 341,2	683,3	686,3	6 407,5	6 430,7
$V_{s,m}$ [t]	9 504,2	9 544,8	63 182,5	63 411,6	6 832,7	6 862,8	64 074,9	64 307,1
$V'_{s,m}$ [t/km ²]	3,2	3,2	21,1	21,2	2,3	2,3	21,4	21,5

5.7.2.2 Přepočtené polynomičným trendem druhého stupně

Tab. 15. *Vyhodnocení výsledků pro celé období – tři měření příčného profilu, přepočtené polynomičným trendem druhého stupně*

	Celé období – tři měření příčného profilu, přepočtené polynomičným trendem druhého stupně							
	Naměřený hydrogram				Náhradní hydrogram			
	Přepočtené poměrem		Přepočtené reg. analýzou		Přepočtené poměrem		Přepočtené reg. analýzou	
	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda
ΣQ_s [kg/s]	43 266,0	43 477,3	211 640,0	212 864,0	21 054,9	21 120,8	219 736,8	221 012,3
ΣQ_s [t/s]	43,3	43,5	211,6	212,9	21,1	21,1	219,7	221,0
ΣQ_s [t/min]	2 596,0	2 608,6	12 698,4	12 771,8	1 263,3	1 267,2	13 184,2	13 260,7
$V_{s,m}$ [t]	25 959,6	26 086,4	126 984,0	127 718,4	12 632,9	12 672,5	131 842,1	132 607,4
$V'_{s,m}$ [t/km ²]	8,7	8,7	42,4	42,6	4,2	4,2	44,0	44,2
σQ_s [t/r]	12 558,9	12 620,2	61 433,1	61 788,4	6 111,6	6 130,8	63 783,4	64 153,6

Tab. 16. *Vyhodnocení výsledků pro rok 2020 – tři měření příčného profilu, přepočtené polynomičným trendem druhého stupně*

	Rok 2020 – tři měření příčného profilu, přepočtené polynomičným trendem druhého stupně							
	Naměřený hydrogram				Náhradní hydrogram			
	Přepočtené poměrem		Přepočtené reg. analýzou		Přepočtené poměrem		Přepočtené reg. analýzou	
	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda
ΣQ_s [kg/s]	17 274,5	17 352,1	104 451,8	105 056,5	11 054,1	11 090,7	106 506,2	107 123,9
ΣQ_s [t/s]	17,3	17,4	104,5	105,1	11,1	11,1	106,5	107,1
ΣQ_s [t/min]	1 036,5	1 041,1	6 267,1	6 303,4	663,2	665,4	6 390,4	6 427,4
$V_{s,m}$ [t]	10 364,7	10 411,3	62 671,1	63 033,9	6 632,5	6 654,4	63 903,7	64 274,4
$V'_{s,m}$ [t/km ²]	3,5	3,5	20,9	21,0	2,2	2,2	21,3	21,4

5.7.3 Vyhodnocení výsledků o dvou měřeních příčného profilu

5.7.3.1 Přepočítání lineárním trendem

Tab. 17. Vyhodnocení výsledků pro celé období – dvě měření příčného profilu, přepočítání lineárním trendem

	Celé období – dvě měření příčného profilu, přepočítání lineárním trendem							
	Naměřený hydrogram				Náhradní hydrogram			
	Přepočítání poměrem		Přepočítání reg. analýzou		Přepočítání poměrem		Přepočítání reg. analýzou	
	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda
ΣQ_s [kg/s]	4 526,8	4 515,9	39 335,8	38 686,0	1 903,7	1 898,1	34 467,0	33 796,0
ΣQ_s [t/s]	4,5	4,5	39,3	38,7	1,9	1,9	34,5	33,8
ΣQ_s [t/min]	271,6	271,0	2 360,2	2 321,2	114,2	113,9	2 068,0	2 027,8
$V_{s,m}$ [t]	2 716,1	2 709,6	23 601,5	23 211,6	1 142,2	1 138,9	20 680,2	20 277,6
$V'_{s,m}$ [t/km ²]	0,9	0,9	7,9	7,7	0,4	0,4	6,9	6,8
σQ_s [t/r]	1 314,0	1 310,8	11 418,1	11 229,5	552,6	551,0	10 004,8	9 810,0

Tab. 18. Vyhodnocení výsledků pro rok 2020 – dvě měření příčného profilu, přepočítání lineárním trendem

	Rok 2020 – dvě měření příčného profilu, přepočítání lineárním trendem							
	Naměřený hydrogram				Náhradní hydrogram			
	Přepočítání poměrem		Přepočítání reg. analýzou		Přepočítání poměrem		Přepočítání reg. analýzou	
	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda
ΣQ_s [kg/s]	1 800,8	1 796,2	18 570,0	18 249,2	1 131,0	1 127,7	17 445,5	17 118,3
ΣQ_s [t/s]	1,8	1,8	18,6	18,2	1,1	1,1	17,4	17,1
ΣQ_s [t/min]	108,0	107,8	1 114,2	1 095,0	67,9	67,7	1 046,7	1 027,1
$V_{s,m}$ [t]	1 080,5	1 077,7	11 142,0	10 949,5	678,6	676,6	10 467,3	10 271,0
$V'_{s,m}$ [t/km ²]	0,4	0,4	3,7	3,7	0,2	0,2	3,5	3,4

5.7.3.2 Přepočítání polynomičným trendem druhého stupně

Tab. 19. Vyhodnocení výsledků pro celé období – dvě měření příčného profilu, přepočítání polynomičným trendem druhého stupně

	Celé období – dvě měření příčného profilu, přepočítání polynomičným trendem druhého stupně							
	Naměřený hydrogram				Náhradní hydrogram			
	Přepočítání poměrem		Přepočítání reg. analýzou		Přepočítání poměrem		Přepočítání reg. analýzou	
	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda
ΣQ_s [kg/s]	11 766,6	11 760,0	27 683,7	27 343,2	10 141,5	10 138,6	25 088,7	24 752,4
ΣQ_s [t/s]	11,8	11,8	27,7	27,3	10,1	10,1	25,1	24,8
ΣQ_s [t/min]	706,0	705,6	1 661,0	1 640,6	608,5	608,3	1 505,3	1 485,1
$V_{s,m}$ [t]	7 060,0	7 056,0	16 610,2	16 405,9	6 084,9	6 083,1	15 053,2	14 851,4
$V'_{s,m}$ [t/km ²]	2,4	2,4	5,5	5,5	2,0	2,0	5,0	5,0
σQ_s [t/r]	3 415,5	3 413,6	8 035,8	7 937,0	2 943,8	2 942,9	7 282,6	7 184,9

Tab. 20. Vyhodnocení výsledků pro rok 2020 – dvě měření příčného profilu, přepočtené polynomickým trendem druhého stupně

	Rok 2020 – dvě měření příčného profilu, přepočtené polynomickým trendem druhého stupně							
	Naměřený hydrogram				Náhradní hydrogram			
	Přepočtené poměrem		Přepočtené reg. analýzou		Přepočtené poměrem		Přepočtené reg. analýzou	
	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda	Vícebodová metoda	Integrační metoda
ΣQ_s [kg/s]	5 475,9	5 473,3	13 169,1	13 002,9	5 037,1	5 035,5	12 558,1	12 392,1
ΣQ_s [t/s]	5,5	5,5	13,2	13,0	5,0	5,0	12,6	12,4
ΣQ_s [t/min]	328,6	328,4	790,1	780,2	302,2	302,1	753,5	743,5
$V_{s,m}$ [t]	3 285,6	3 284,0	7 901,5	7 801,7	3 022,3	3 021,3	7 534,9	7 435,2
$V'_{s,m}$ [t/km ²]	1,1	1,1	2,6	2,6	1,0	1,0	2,5	2,5

5.8 STATISTICKÉ CHARAKTERISTIKY

Následující vyhodnocení statistických charakteristik průměrného ročního odnosu plavenin (za celé období) je pouze orientační, neboť vlivem obrovských velikostních rozdílů jednotlivých výsledků není jejich vypovídající hodnota uspokojivá. Například koeficient variace C_v [-] v případě čtyř měření příčného profilu je téměř o velikosti 1,0.

5.8.1 Statistické charakteristiky transportu suspendované hmoty dosažené čtyřmi měřeními příčného profilu

Tab. 21. Statistické charakteristiky výsledků v celém období – čtyři měření příčného profilu

Statistické charakteristiky pro 4 měření příčného profilu			
Střední hodnota	$\bar{Q}_s =$	276 940,10	[t/r]
Disperze	$D =$	67 260 026 437,83	[(t/r) ²]
Směrodatná odchylka	$\sigma =$	259 345,38	[t/r]
Koeficient variace	$C_v =$	0,94	[-]
Koeficient asymetrie	$C_s =$	10,97	[-]

5.8.2 Statistické charakteristiky transportu suspendované hmoty dosažené třemi měřeními příčného profilu

Tab. 22. Statistické charakteristiky výsledků v celém období – tři měření příčného profilu

Statistické charakteristiky pro 3 měření příčného profilu			
Střední hodnota	$\bar{Q}_s =$	35 939,61	[t/r]
Disperze	$D =$	781 669 878,93	[(t/r) ²]
Směrodatná odchylka	$\sigma =$	27 958,36	[t/r]
Koeficient variace	$C_v =$	0,78	[-]
Koeficient asymetrie	$C_s =$	0,00	[-]

5.8.3 Statistické charakteristiky transportu suspendované hmoty dosažené dvěma měřeními příčného profilu

Tab. 23. Statistické charakteristiky výsledků v celém období – dvě měření příčného profilu

Statistické charakteristiky pro 2 měření příčného profilu			
Sřední hodnota	$\bar{Q}_s =$	5 584,18	[t/r]
Disperze	$D =$	15 425 330,31	[(t/r) ²]
Směrodatná odchylka	$\sigma =$	3 927,51	[t/r]
Koeficient variace	$C_v =$	0,70	[-]
Koeficient asymetrie	$C_s =$	-0,02	[-]

6 SHRUTÍ VÝSLEDKŮ

Dosáhli jsme velkého množství výsledků, proto je nyní nutné data profiltrovat pro snadnější orientaci. Z tohoto důvodu nejsou do finálního shrnutí zahrnuty výsledky vyhodnocení integrační metodou, neboť se téměř shodovaly s výsledky vyhodnocenými vícebodovou metodou. Navíc je užití výsledků vyhodnocených vícebodovou metodou v našem případě i vhodnější, protože distribuce koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu byla zjišťována právě vícebodovou metodou v kombinaci s měřením ADCP.

Data byla v závěrečné souhrnné tabulce rozdělena na tři barevně rozlišené oddíly, z nichž každý zaznamenává data přepočítaná dle různého počtu měření příčného profilu. Oranžová představuje čtyři měření příčného profilu, modrá představuje tři měření příčného profilu a zelená představuje dvě měření příčného profilu. Jak již bylo zmíněno v předešlých kapitolách, důvodem takového členění výsledků je neuspokojivá korelace koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu s_m [mg/l] a lokálně měřené koncentrace u sondy s_k [mg/l]. Dále je tabulka rozdělena dle přepočtu dat naměřených sondou s_s [NTU] na koncentraci suspendovaných látek s_k [mg/l], kdy barvy tmavšího odstínu představují přepočet lineárním trendem a barvy světlejšího odstínu představují přepočet polynomickým trendem druhého stupně.

Tab. 24. Shrnutí výsledků pro celé období

Celé období	4 měření příčného profilu				3 měření příčného profilu				2 měření příčného profilu				
	Naměřený hydrogram		Náhradní hydrogram		Naměřený hydrogram		Náhradní hydrogram		Naměřený hydrogram		Náhradní hydrogram		
	Přepočít poměrem	Přepočít analýzou	Přepočít poměrem	Přepočít analýzou	Přepočít poměrem	Přepočít analýzou	Přepočít poměrem	Přepočít analýzou	Přepočít poměrem	Přepočít analýzou	Přepočít poměrem	Přepočít analýzou	
Přepočít lineárním trendem	$V_{s,m}$ [t]	167 979	463 066	100 193	485 418	22 740	128 339	12 570	131 858	2 716	23 602	1 142	20 680
	$\varnothing Q_s$ [t/r]	81 266	224 025	48 472	234 839	11 001	62 089	6 081	63 791	1 314	11 418	553	10 005
Přepočít polynomičtým trendem 2. stupně	$V_{s,m}$ [t]	627 275	1 233 451	169 688	1 323 616	25 960	126 984	12 633	131 842	7 060	16 610	6 085	15 053
	$\varnothing Q_s$ [t/r]	303 467	596 727	82 093	640 347	12 559	61 433	6 112	63 783	3 416	8 036	2 944	7 283

Tab. 25. Shrnutí výsledků pro rok 2020

Rok 2020	4 měření příčného profilu				3 měření příčného profilu				2 měření příčného profilu				
	Naměřený hydrogram		Náhradní hydrogram		Naměřený hydrogram		Náhradní hydrogram		Naměřený hydrogram		Náhradní hydrogram		
	Přepočít poměrem	Přepočít analýzou	Přepočít poměrem	Přepočít analýzou	Přepočít poměrem	Přepočít analýzou	Přepočít poměrem	Přepočít analýzou	Přepočít poměrem	Přepočít analýzou	Přepočít poměrem	Přepočít analýzou	
Přepočít lin. trendem	$V_{s,m}$ [t]	71 379	229 085	53 910	234 760	9 504	63 182	6 833	64 075	10 365	62 671	6 632	63 904
Přepočít pol. trendem 2. st.	$V_{s,m}$ [t]	225 328	612 938	95 033	635 882	1 080	11 142	679	10 467	3 286	7 901	3 022	7 535

6.1 SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ S ČESKÝM HYDROMETEOROLOGICKÝM ÚSTAVEM

V Přibicích neprovádí ČHMÚ pravidelný monitoring plavenin, výsledky proto musíme srovnat s jiným hlásným profilem, aby bylo zaručeno alespoň částečné ověření výsledků, zda hodnoty nejsou abnormálně nadhodnoceny nebo podhodnoceny. Nejbližším významným hlásným profilem na řece Jihlavě, kde probíhá nebo probíhalo měření a zpracování výsledků je profil Ivančice. Ty se nachází jen o trochu blíže k pramenu řeky, přesněji na staničení 32,95 km, což znamená, že jejich plocha povodí je téměř 2 700 km² [14]. Přibice se nacházejí na staničení 7,46 km a jejich plocha povodí je 2 998 km² [11]. Při porovnání velikostí povodí můžeme v Přibicích očekávat mírně vyšší množství plavenin $V_{s,m}$ [t] (přibližně o 11 %).

Dle hydrologické ročenky ČHMÚ roku 2020 je dlouhodobý (období 2000-2010) průměrný roční odtok plavenin v Ivančicích roven 21 375 t/r. V roce 2019 zde byl naměřen roční odtok plavenin pouhých 5 839 t/r, rok 2019 byl tedy z tohoto hlediska podprůměrný [16]. V roce 2020 zde byl naměřen odtok plavenin o velikosti 20 671 t/r, tento rok byl tudíž spíše průměrný [4]. Pro rok 2021 bohužel nebyla v době tvorby této práce ještě vydána ročenka pro daný rok.

Těmto hodnotám se pro rok 2020 nejvíce podobají naše výsledky získané třemi měřeními příčného profilu. Ty se pohybují v rozsahu od 9 504 t/r (6 833 t/r pro syntetický hydrogram) do 63 183 t/r (64 075 t/r pro syntetický hydrogram).

Při porovnávání výsledků však musíme, kromě faktu, že srovnávací data bereme z jiné lokality, brát v potaz:

- odlišný způsob odběru plavenin ČHMÚ (odběr jednou denně pomocí sampleru),
- skutečnost, že vyhlazování a doplňování hydrogramu sondy (kapitola 5.2) je velmi individuální zásah, který vytvoří vždy trochu rozdílné výsledky,
- naši ne příliš uspokojivou korelaci mezi střední koncentrací suspendovaných látek v příčném profilu s_m [mg/l] a lokálně měřenou koncentrací suspendovaných látek u sondy s_k [mg/l].

7 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce uvedla čtenáře do situace problematiky monitoringu plavenin a vysvětlila ty nejdůležitější a nejzákladnější prvky a fakta ze současného stavu poznání tohoto odvětví. Dále po vzorů rakouské metodické příručky Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes (Habersack et al., 2017) líčí metodický postup měření plavenin a následné vyhodnocení v řešené oblasti Přibice, kterou i okrajově popisuje. Nechybí ani srovnání výsledků s daty naměřenými Českým hydrometeorologickým ústavem, jenž se problematikou měření plavenin zabývá již od minulého století.

Práce zpracovává bilanci plavenin v řece Jihlavě ve vodoměrném profilu Přibice, kde probíhá kontinuální měření již od roku 2019. Konkrétně řeší období od 05.09.2019 do 31.10.202 s vynecháním úseku v období od 23.04.2020 v 11:00 do 26.05.2020 v 9:50. Data jsou vyhodnoceny pro celé období (754,47 dnů) a pro jeden celý rok, rok 2020. Hlavními výsledky jsou celkový odnos plavenin $V_{S,m}$ [t] a průměrný roční odnos plavenin \bar{Q}_s [t/r].

Dostali jsme poměrně velké množství finální výsledků, které jsou rozděleny do tří segmentů podle toho, kolik měření příčného profilu bylo pro jejich přepočítání použito. Důvodem tohoto trojitého množství výsledků je ne příliš uspokojivá korelace mezi střední koncentrací suspendovaných látek v příčném profilu s_m [mg/l] a lokálně měřenou koncentrací suspendovaných látek u sondy s_k [mg/l]. Celkově byl příčný profil analyzován čtyřikrát, v každém ze segmentů bylo odebráno to nejméně korelující měření.

Výsledky získané čtyřmi měřeními příčného profilu jsou nejvyšší, naopak nejmenší jsou výsledky o dvou měřeních příčného profilu. Při pohledu na získané hodnoty z roku 2020 zjistíme, že k výsledkům od ČHMÚ se nejvíce přibližují data přepočítané pomocí tří měření příčného profilu.

Co se týče průměrného odnosu z povodí $V'_{S,m}$ [t/km²] pro celé období, který by ideálně neměl překročit 4,0 t/ha/r, je povodí ve všech případech vyhovující, neboť nejvyšší dosažený roční odnos je pouhých 1,0 t/ha/r, a to při čtyřech měřeních příčného profilu. Limit pro obsah nerozpuštěných látek v povrchových vodách (NEK dle NV č. 405/2015 Sb.) je 20 mg/l. Tento limit byl naopak značně překročen u výsledků o čtyřech měřeních příčného profilu a částečně překročen u výsledků o třech a dvou měřeních příčného profilu.

Závěrem lze konstatovat, že vodoměrný profil Přibice nutně potřebuje více měření příčného profilu, které přesněji určí závislost střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu s_m [mg/l] na lokálně měřené koncentraci suspendovaných látek u sondy s_k [mg/l], neboť dosavadní korelace nejsou nijak zvlášť uspokojivé, což má za následek značnou roztroušenost výsledků.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] STARÝ, Miloš. *Hydrologie Modul 01*. Brno: VUT FAST v Brně, 2005.
- [2] ZACHOVAL, Zbyněk. *Splaveniny ve vodních tocích Modul 01*. Brno: VUT FAST v Brně, 2016.
- [3] HABERSACK H., HAIMANN M., KERSCHBAUMSTEINE W., LALK P. *Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes*, Wien, 2017.
- [4] *Hydrologická ročenka České republiky 2020: Hydrological yearbook of the Czech Republic 2020*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2021, 276 s. ISBN 978-80-7653-030-0. Dostupné také z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/hydro/hydrologicke_rocenky/HR_2020.pdf
- [5] PASEKA, Stanislav a Daniel MARTON. *Zpráva z odběru vzorků ze zákaloměrných stanic za monitorovací období č. 9: Report – shrnutí výsledků za MO9*. Brno: VUT FAST v Brně, 2021.
- [6] STARÝ, Miloš. *Hydrologie Modul 02*. Brno: VUT FAST v Brně, 2005.
- [7] HACH COMPANY. *Popis produktu SOLITAX sc* [online]. [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: <https://cz.hach.com/ponorna-sonda-solitax-t-line-sc-pro-mereni-zakalu-0-001-4000-nbsp-ntu-a-nerozpustenych-pevnych-latek-0-001-50-nbsp-g-l-se-steracem-nerезova-ocel/product?id=24929010631>
- [8] HALÍŘOVÁ, Jarmila a Pavel STIERAND. *Výsledky pozorování režimu plavenin v povodí Labe. (V Extrémy oběhu vody v krajině: sborník abstraktů a CD s příspěvky z mezinárodní konference: Mikulov 8.-9. dubna 2014)*. Praha: Nakladatelství Českého hydrometeorologického ústavu, 2014. Dostupné také z: <http://www.cbks.cz/sbornikMikulov14/Halirova.pdf>
- [9] FIEDLER COMPANY. *Popis produktu S461 Ponsel* [online]. [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: <https://www.fiedler.company/cs/produkty/snimace-kvalitatparametru-vody/mereni-zakalu>
- [10] PASEKA, Stanislav a Daniel MARTON. *Zpráva z odběru vzorků ze zákaloměrných stanic za monitorovací období č. 10: Report – shrnutí výsledků za MO10*. Brno: VUT FAST v Brně, 2022.
- [11] Povodňový plán obce Příbice. *Elektronický digitální povodňový portál* [online]. [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: <https://www.edpp.cz/povodnovy-plan/pribice/>
- [12] SEZNAM.CZ. *Mapy.cz* [online]. [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: <https://mapy.cz>
- [13] QUITT, Evžen. *Klimatické oblasti Československa: Climatic regions of Czechoslovakia*. Brno: Geografický ústav ČSAV, 1971. *Studia geographica*.
- [14] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Evidenční list hlásného profilu č.397* [online]. [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: <https://hydro.chmi.cz/hpps/evlist.php?seq=307003>
- [15] BARANYA, Sándor a János JÓZSA. Estimation of Suspended Sediment Concentrations with Adcp in Danube River. *Journal of Hydrology and*

Hydromechanics [online]. 2013, **61**(3), 232-240 [cit. 2022-05-23]. ISSN 0042-790X. Dostupné z: doi:10.2478/johh-2013-0030

- [16] *Hydrologická ročenka České republiky 2019: Hydrological yearbook of the Czech Republic 2019*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2020, 269 s. ISBN 978-80-87577-99-8. Dostupné také z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/hydro/hydrologicke_rocenky/HR_2019.pdf

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Přehled nejběžnějších technologií na měření suspendovaných látek [3].....	8
Tab. 2. Požadavky na optické sondy [3]	10
Tab. 3. Přehled strategie monitoringu plavenin [3].....	12
Tab. 4. Parametry užití optické sondy [9]	20
Tab. 5. Nejdůležitější informace z evidenčního listu hlásného profilu Ivančice [14]....	29
Tab. 6. Vyhodnocení koeficientu k_p čtyřmi měřeními příčného profilu	40
Tab. 7. Vyhodnocení koeficientu k_p třemi měřeními příčného profilu	40
Tab. 8. Vyhodnocení koeficientu k_p dvěma měřeními příčného profilu.....	40
Tab. 9. Vyhodnocení výsledků pro celé období – čtyři měření příčného profilu, přepočít lineárním trendem	44
Tab. 10. Vyhodnocení výsledků pro rok 2020 – čtyři měření příčného profilu, přepočít lineárním trendem	44
Tab. 11. Vyhodnocení výsledků pro celé období – čtyři měření příčného profilu, přepočít polynomickým trendem druhého stupně.....	45
Tab. 12. Vyhodnocení výsledků pro rok 2020 – čtyři měření příčného profilu, přepočít polynomickým trendem druhého stupně.....	45
Tab. 13. Vyhodnocení výsledků pro celé období – tři měření příčného profilu, přepočít lineárním trendem	45
Tab. 14. Vyhodnocení výsledků pro rok 2020 – tři měření příčného profilu, přepočít lineárním trendem	46
Tab. 15. Vyhodnocení výsledků pro celé období – tři měření příčného profilu, přepočít polynomickým trendem druhého stupně.....	46
Tab. 16. Vyhodnocení výsledků pro rok 2020 – tři měření příčného profilu, přepočít polynomickým trendem druhého stupně.....	46
Tab. 17. Vyhodnocení výsledků pro celé období – dvě měření příčného profilu, přepočít lineárním trendem	47
Tab. 18. Vyhodnocení výsledků pro rok 2020 – dvě měření příčného profilu, přepočít lineárním trendem	47
Tab. 19. Vyhodnocení výsledků pro celé období – dvě měření příčného profilu, přepočít polynomickým trendem druhého stupně.....	47
Tab. 20. Vyhodnocení výsledků pro rok 2020 – dvě měření příčného profilu, přepočít polynomickým trendem druhého stupně.....	48
Tab. 21. Statistické charakteristiky výsledků v celém období – čtyři měření příčného profilu.....	48
Tab. 22. Statistické charakteristiky výsledků v celém období – tři měření příčného profilu.....	48

Tab. 23. Statistické charakteristiky výsledků v celém období – dvě měření příčného profilu.....	49
Tab. 24. Shrnutí výsledků pro celé období	50
Tab. 25. Shrnutí výsledků pro rok 2020.....	50

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Roční odtoky plavenin v roce 2020 naměřené ČHMÚ [4].....	4
Obr. 2. Dělení částic v korytě toku [2].....	5
Obr. 3. Příklad zrnitostní křivky splavenin (červeně – hmotnostní zastoupení frakcí, modře – kumulativní hmotnostní zastoupení frakcí, křížky – hranice frakcí, kružnice – charakteristické velikosti částic) [2]	6
Obr. 4. Výskyt látek, které překročily limity norem enviromentální kvality v plaveninách v roce 2020 [4].....	7
Obr. 5. Možné vzorkovací zařízení: vzorkovač na tyči (vlevo) a sběrač zavěšený na laně (vpravo) [5]	9
Obr. 6. Řez batometrem [6]	9
Obr. 7. Optická zákalová sonda Solitax ts-line se od výrobce Hach [7]	11
Obr. 8. Měřicí místo v Přibicích	12
Obr. 9. Uzamčená a krytem chráněná sonda v Přibicích	13
Obr. 10. Napájení elektřinou ze solárního panelu (vlevo), limnigrafická stanice (uprostřed), skříňka se zapisovačem dat a akumulátorem (vpravo) [3].....	14
Obr. 11. Měření distribuce koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu brodění (vlevo), ze člunu (uprostřed) a z mostu (vpravo) [3], [5].....	14
Obr. 12. ADCP zařízení od firmy SONTEC.....	15
Obr. 13. Schéma vícebodové metody v pěti vertikálách a čtyřech hloubkových úrovních, kde t_w představuje hloubku vody na vertikále [3]	16
Obr. 14. Schéma integrovaného vzorkování metodou stejných šířek (EWI) [3].....	17
Obr. 15. Schéma integrovaného vzorkování metodou stejných průtoků (EDI) [3].....	17
Obr. 16. Vakuové filtrační zařízení (vlevo) a membránové filtry (vpravo) [3].....	18
Obr. 17. Sampler (vlevo) a odebrané vzorky (vpravo) v Židlochovicích.....	19
Obr. 18. V minulosti využívaný systém odběru vzorků suspendovaných látek v Židlochovicích	19
Obr. 19. Optický snímač zákalu užitý v Přibicích – S461 Ponsel [9].....	20
Obr. 20. Umístění sondy v Přibicích (vlevo), znečištění sondy v Přibicích (vpravo) ...	21
Obr. 21. Ukázka skokového poklesu měření NTU po vyčištění sondy (Přibice dne 05.11.2021) [10]	21
Obr. 22. Odběr kalibračních vzorků pomocí vzorkovací tyče (vlevo), nádoby s odebranými vzorky (vpravo) [10]	22
Obr. 23. Natáhnutí vodícího lana (vlevo) a přivázání ADCP zařízení (vpravo).....	24
Obr. 24. Natažení měrného pásma (vlevo) a provádění odběrů vícebodovou metodou (vpravo).....	24

Obr. 25. Odběr kalibračních vzorků (vlevo) a následné uložení odebraných vzorků do chladicího zařízení (vpravo)	25
Obr. 26. Měření nerozpuštěných látek v mg/l pomocí membránové vývěvy přes filtrační soupravu v laboratoři na Ústavu vodního hospodářství krajiny (vlevo) a nerozpuštěné látky z Přibic (odběr dne 05.11.2021) zachycené na membránovém filtru (vpravo) [10].....	26
Obr. 27. Hrubá lokalizace Přibic (vlevo) a přesné umístění limnigrafické stanice a místa měření (vpravo) [12].....	27
Obr. 28. Povodí řeky Jihlavy s vyznačením zájmové lokality [12].....	27
Obr. 29. Klimatické oblasti dle Quittovy klasifikace (z roku 1971) s vyznačením zájmové lokality [13].....	28
Obr. 30. Koryto řeky Jihlavy v Přibicích ze dne 22.04.2022.....	29
Obr. 31. Ukázka vyhlazení a doplnění hodnot velmi poškozené části hydrogramu sondy v Přibicích, kde s_s [NTU] je záznam sondy a Q [m^3/s] je průtok	31
Obr. 32. Zjištění korelace průtoku Q [m^3/s] a hodnot naměřených sondou s_s [NTU] pro umělé vytvoření náhradního hydrogramu.....	31
Obr. 33. Hydrogram obsahující křivku skutečně naměřeného zákalu a synteticky vytvořenou křivku zákalu	31
Obr. 34. Závislost koncentrace suspendovaných látek u sondy s_k [mg/l] na záznamu ze sondy s_s [NTU]	34
Obr. 35. Grafické znázornění postupu vyhodnocení vícebodovou metodou [3]	35
Obr. 36. Ukázka listu s vyhodnocením vícebodového odběru	36
Obr. 37. Ukázka výsledku rychlostního bodového pole jednoho transektu z přístroje ADCP – Přibice 15.09.2021 [10].....	37
Obr. 38. Výsledky jednotlivých transektů z programu RiverSurveyor Live – Přibice 15.09.2021 [10].....	37
Obr. 39. Ukázka listu s vyhodnocením integračního odběru.....	38
Obr. 40. Analýza korelace střední koncentrace suspendovaných látek na lokálně měřené koncentraci u sondy – čtyři měření příčného profilu, vícebodová metoda vyhodnocení.....	41
Obr. 41. Analýza korelace střední koncentrace suspendovaných látek na lokálně měřené koncentraci u sondy – čtyři měření příčného profilu, integrační metoda vyhodnocení.....	41
Obr. 42. Analýza korelace střední koncentrace suspendovaných látek na lokálně měřené koncentraci u sondy – tři měření příčného profilu, vícebodová metoda vyhodnocení.....	42
Obr. 43. Analýza korelace střední koncentrace suspendovaných látek na lokálně měřené koncentraci u sondy – tři měření příčného profilu, integrační metoda vyhodnocení.....	42

Obr. 44. Analýza korelace střední koncentrace suspendovaných látek na lokálně měřené koncentraci u sondy – dvě měření příčného profilu, vícebodová metoda vyhodnocení..... 43

Obr. 45. Analýza korelace střední koncentrace suspendovaných látek na lokálně měřené koncentraci u sondy – dvě měření příčného profilu, integrační metoda vyhodnocení..... 43

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ADCP	acoustic Doppler current profiler,
b [m]	vzdálenost od referenčního bodu, resp. spolupůsobící šířka,
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft,
C_s [-]	koeficient asymetrie,
C_v [-]	koeficient variace,
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav,
d [m]	velikost suchých částic,
D [(t/r) ²]	disperze,
EDI	equal discharge increment,
EWI	equal width increment,
k_p [-]	koeficient příčného profilu,
k_s [-]	koeficient kalibrace sondy,
m_a [mg]	hmotnost podložky a membránového filtru po vysušení,
m_b [mg]	hmotnost podložky, membránového filtru a odfiltrovatelné sušiny po vysušení,
m_T [mg]	sušina,
NEK	norma enviromentální kvality,
NV	nařízení vlády,
\bar{Q}_s [t/r]	střední hodnota transportu suspendované hmoty,
P [%]	hmotnostní zastoupení,
Q [m ³ /s]	průtok,
Q_N [m ³ /s]	N-letý průtok,
Q_S [g/s, kg/s]	transport suspendované hmoty,
q_{si} [g/(m·s)]	transport suspendované hmoty na vertikále,
s_0 [mg/l]	koncentrace suspendovaných látek,
SEDECO	Sediments, ecosystem services and interrelation with floods and droughts in the AT-CZ border region,
s_k [mg/l]	koncentrace suspendovaných látek u sondy,
s_m [mg/l]	střední koncentrace suspendovaných látek,
s_{ml} [mg/l]	(střední) koncentrace suspendovaných látek integrovaného vzorku,
s_s [NTU]	záznam sondy,

SSC	suspended sediment concentration,
t_w [m]	hloubka vody,
t_{wl} [m]	hloubka vody integrovaného vzorku,
v [m/s]	rychlost proudění,
$V'_{S,m}$ [t/km ²]	odnos splavenin z povodí,
VD	vodní dílo,
v_{ml} [m/s]	střední rychlost proudění,
V_P [l]	objem vzorku,
$V_{S,m}$ [t]	množství plavenin,
Σ	suma,
σ [t/r]	směrodatná odchylka.