



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

BILANCE PLAVENIN UNÁŠENÝCH VE VZNOSU VE VYBRANÝCH PROFILECH POVODÍ DYJE A SVRATKY

SUSPENDED SEDIMENT LOAD BALANCE IN A SELECTED PROFILES OF THE THAYA AND SVRATKA
RIVER BASINS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radek Priesner

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav vodního hospodářství krajiny
Student: **Bc. Radek Priesner**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24
Studijní program: N0732A260025 Stavební inženýrství – vodní hospodářství a vodní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Bilance plavenin unášených ve vzosu ve vybraných profilech povodí Dyje a Svatky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

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 diplomové práce je vyhodnotit bilanci plavenin ve vodoměrných profilech v povodí řek Dyje, Jihlava a Svatka a vytvořit vlastní metodu filtrace surových dat.

Cíle a výstupy diplomové práce:

Cílem diplomové práce je vyhodnotit bilanci plavenin, respektive nerozpuštěných látek unášených v suspenzi v instalovaných měrných profilech Hevlín/Dyje, Přibice/Jihlava, Znojmo/Dyje a Židlochovice/Svatka. Práce bude vycházet z metodického návodu na měření a následné vyhodnocení plavenin dle rakouské metodické příručky Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes (Habersack et al., 2017) a navazovat na studentovu předchozí bakalářskou práci. Oproti předchozímu bude rozšířena o vlastní metody zpracování a filtrace surových dat měření sondy. Data budou využity z řešení projektu ATCZ28 SEDECO – Sedimenty a ekosystémové služby ve vzájemném působení s povodněmi a suchem v pohraniční oblasti AT-CZ, ze kterého jsou k dispozici záznamy měření od 2019 do roku 2022.

Seznam doporučené literatury a podklady:

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.

Priesner R. 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.

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

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 22. 3. 2023

L. S.

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

doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

V rámci této diplomové práce je vyhodnocena bilance plavenin, tedy nerozpuštěných látek unášených v suspenzi, ve vodoměrných profilech Hevlín/Dyje, Přibice/Jihlava, Znojmo/Dyje a Židlochovice/Svratka. Měření a následné vyhodnocení plavenin je provedeno dle oficiální rakouské metodické příručky, tento spis tedy navazuje na předchozí, bakalářskou práci. Vybrané základní kroky doporučované rakouskou metodikou při samotném měření plavenin jsou nadto porovnány s oficiálními postupy ze Spojených států amerických a z České republiky. Práce navíc přichází s inovativními způsoby korekce dat naměřených optickou sondou. Výstupy budou využity v projektu ATCZ28 SEDECO – Sedimenty a ekosystémové služby ve vzájemném působení s povodněmi a suchem v pohraniční oblasti AT-CZ, ze kterého jsou k dispozici i samotné záznamy měření, a to od roku 2019 do roku 2022. Všechny výsledky jsou mimoto porovnány s měřeními Českého hydrometeorologického ústavu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Plaveniny, bilance plavenin, suspendované látky, koncentrace suspendovaných látek, Jihlava, Dyje, Svratka, umělé neuronové sítě, UNS, ATCZ28 SEDECO.

ABSTRACT

The balance of suspended sediment, i.e. undissolved substances carried in suspension, load in the hydrometric profiles Hevlín/Thaya, Přibice/Jihlava, Znojmo/Thaya and Židlochovice/Svratka is evaluated in this thesis. The measurements and the subsequent evaluation of the suspended sediment are carried out according to the official Austrian methodological manual, so this paper is a continuation of the previously written bachelor thesis. In addition, the selected basic steps recommended by the Austrian methodology for the actual measurement of the suspended sediment are compared with official procedures from the United States and the Czech Republic. On top of that, the work comes with innovative ways of correcting the data measured by the optical probe. The results will be used in the project ATCZ28 SEDECO – Sediments, ecosystem services and interrelation with floods and droughts in the AT-CZ border region, from which the measurement records from 2019 to 2022 themselves are available. All results are also compared with the measurements of the Czech Hydrometeorological Institute.

KEYWORDS

Suspended sediment, suspended sediment balance, suspended sediment load, suspended sediment concentration, Jihlava, Thaya, Svratka, artificial neural network, ANN, ATCZ28 SEDECO.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PRIESNER, Radek. *Bilance plavenin unášených ve vzosu ve vybraných profilech povodí Dyje a Svratky*. Brno, 2024. 102 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Bilance plavenin unášených ve vzosu ve vybraných profilech povodí Dyje a Svratky* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2024

Bc. Radek Priesner
autor

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji a vyjadřuji upřímnou vděčnost vedoucímu této diplomové práce, panu doc. Ing. Danielu Martonovi, Ph.D., jehož odborné vedení, trpělivost a cenné rady byly naprosto esenciální a nepostradatelné. Další díky patří panu Mgr. Liboru Miklovi, Ph.D., za nabídnutí pomocné ruky a za poskytnutí metodické příručky Českého hydrometeorologického ústavu. Největší poděkování však náleží mé rodině a všem mým nejbližším, bez jejichž vytrvalé podpory by tyto řádky nikdy nespátřily světlo světa.

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	CÍL PRÁCE	2
3	SROVNÁNÍ VYBRANÝCH POSTUPŮ Z METOD MĚŘENÍ PLAVENIN V ČR A VE SVĚTĚ	3
3.1	In situ odběry vzorků	3
3.1.1	Metody odběrů vzorků v ČR	3
3.1.2	Metody odběrů vzorků dle americké USGS	9
3.1.3	Srovnání s rakouskou metodikou.....	21
3.2	Laboratorní analýza	22
3.2.1	Metody laboratorní analýzy v ČR.....	22
3.2.2	Metody laboratorní analýzy dle americké USGS	23
3.2.3	Srovnání s rakouskou metodikou.....	23
4	METODICKÝ POSTUP.....	24
4.1	Metody korekce záznamů sondy.....	24
4.1.1	Metoda bez korekce dat.....	24
4.1.2	Metoda korekce dat pomocí filtrace	24
4.1.3	Metoda korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění	25
4.1.4	Metoda korekce dat pomocí UNS.....	25
4.2	Analýza úspěšnosti filtrace dat	29
4.3	Vyhodnocení měření distribuce koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu	29
4.4	Střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu.....	30
4.4.1	Přepočet podílem	30
4.4.2	Přepočet regresní analýzou	30
4.5	Kalibrace sondy	31
4.6	Vyhodnocení výsledků.....	31
5	PRAKTICKÁ APLIKACE	32
5.1	Základní informace o lokalitách.....	32
5.1.1	Hevlín	32
5.1.2	Přibice.....	33
5.1.3	Židlochovice	34
5.1.4	Znojmo	35
5.2	Vodoměrný profil Hevlín	36
5.2.1	Korekce záznamu sondy	36
5.2.2	Analýza úspěšnosti výsledků filtrace dat	46
5.2.3	Střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu.....	46
5.2.4	Kalibrace sondy	47

5.2.5	Vyhodnocení výsledků ve vodoměrném profilu Hevlín.....	48
5.3	Vodoměrný profil Příbice	51
5.3.1	Korekce záznamu sondy.....	51
5.3.2	Analýza úspěšnosti výsledků filtrace dat.....	58
5.3.3	Střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu.....	58
5.3.4	Kalibrace sondy	59
5.3.5	Vyhodnocení výsledků ve vodoměrném profilu Příbice.....	60
5.4	Vodoměrný profil Židlochovice.....	63
5.4.1	Korekce záznamu sondy.....	63
5.4.2	Analýza úspěšnosti výsledků filtrace dat.....	70
5.4.3	Střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu.....	70
5.4.4	Kalibrace sondy	71
5.4.5	Vyhodnocení výsledků ve vodoměrném profilu Příbice.....	72
5.5	Vodoměrný profil Znojmo	75
5.5.1	Korekce záznamu sondy.....	75
5.5.2	Analýza úspěšnosti výsledků filtrace dat.....	82
5.5.3	Střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu.....	82
5.5.4	Kalibrace sondy	83
5.5.5	Vyhodnocení výsledků ve vodoměrném profilu Příbice.....	84
6	SHRnutí VÝSLEDKŮ A SROVNÁNÍ S VÝSLEDKY Z ČHMÚ	88
6.1	Vodoměrný profil Hevlín	88
6.2	Vodoměrný profil Příbice	89
6.3	Vodoměrný profil Židlochovice.....	89
6.4	Vodoměrný profil Znojmo	90
7	ZÁVĚR.....	91
8	SEZNAMY	93
8.1	Literatura	93
8.2	Seznam tabulek.....	96
8.3	Seznam obrázků.....	98
8.4	Seznam veličin.....	101
8.5	Seznam použitých zkratk	102

1 ÚVOD

Ekologie je v České republice (ČR) a potažmo i celé Evropské unii stále více a více diskutované téma. Společnost se snaží co nejvíce přiblížit k trvale udržitelnému hospodářství, třídí odpad, postupně přechází na obnovitelné zdroje energie, rozvíjí trh s elektrickými auty a obnovuje ekologickou funkci krajiny. Z pohledu obnovy krajiny se na našem území snažíme postupnými kroky navrátit krajinu k původnímu rázu z počátku 20. století. Pomocí nástrojů pozemkových úprav rozdělit nekonečné lány zemědělské půdy, podpořit vznik biokoridorů a obnovu vymizelých mokřadů. Pomocí revitalizačních toků podpořit přirozenou tvorbu koryta, biodiverzitu a ekosystémové služby. Vzhledem k velké míře regulace našich toků, ale také k našemu geografickému rozložení však veškerá voda z naší krajiny odtéká, i proto je potřeba se dobrému ekologickému stavu vodních toků důkladně věnovat. Stále však máme co dohánět, neb například odnos půdy vlivem eroze doposud není na tak nízké úrovni, jaká je pro naši krajinu přirozená.

Starat se o dobrou kondici půdy je i v našem zájmu, nejde jen o vznešenou myšlenku, jak být lepšími lidskými bytostmi. Většina takto odplavené hmoty se dostane do toků, kde následně zanáší přehradu, tedy konstrukce, které nás chrání před záplavami a pomáhají nám zvládat sucho. Vysoký obsah nerozpustných látek ve vodě navíc přispívá k postupné devastaci říčního ekosystému. Řeky jsou pro naši planetu žíly roznášející vodu místo krve. Z těchto a mnoha dalších důvodů je starost o naše toky zcela nepostradatelná, a proto by pravidelný monitoring plavenin měl být jedním z úkolů pro správce povodí a Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ).

Existuje mnoho různých způsobů, jak plaveniny, tedy látky unášené v suspenzi, měřit, a nedá se obecně říct, jaký způsob je ten nejlepší. V rámci této práce byly plaveniny měřeny a následně vyhodnocovány ve čtyřech různých vodoměrných profílech na území povodí Moravy dle oficiální rakouské metodické příručky *Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes* [1]. Každý stát světa má však své vlastní unikátní postupy, kterými k měření přistupuje, proto tato práce popisuje a srovnává i některé vybrané základní kroky při měření plavenin s postupy několika dalších států. V rámci korekce dat naměřených sondou jsou navíc aplikovány inovativní způsoby čištění a filtrace zaznamenaných hodnot, mezi které patří i užití umělých neuronových sítí (UNS). Pro zajištění korektnosti výstupů jsou výsledky porovnány s měřeními ČHMÚ, který je největším hráčem na poli měření plavenin na území ČR.

2 CÍL PRÁCE

Hlavním cílem této diplomové práce je vyhodnotit bilanci plavenin, tedy nerozpuštěných látek unášených v suspenzi, v instalovaných vodoměrných profilech Hevlín/Dyje, Přibice/Jihlava, Znojmo/Dyje a Židlochovice/Svratka. Měření a následné vyhodnocení plavenin je provedeno dle oficiální rakouské metodické příručky *Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes* [1]. Práce je navíc rozšířena o vlastní metody zpracování a filtrace surových dat naměřených optickou sondou, například pomocí UNS. Vyhodnocovány jsou záznamy měření od roku 2019 do roku 2022. Hlavními výstupy jsou množství plavenin v tunách v jednotlivých profilech.

3 SROVNÁNÍ VYBRANÝCH POSTUPŮ Z METOD MĚŘENÍ PLAVENIN V ČR A VE SVĚTĚ

Tato kapitola popisuje vybrané základní kroky při odhadu bilance plavenin napříč několika státy světa. Vyjma Rakouska, se kterým jsou postupy srovnávány, jsou v této kapitole sepsány metody užívané v ČR a ve Spojených státech amerických, ve kterých měření plavenin zajišťuje státní podnik United States Geological Survey (USGS). Tato práce rozebírá jen několik základních kroků, neboť porovnání kompletního procesu by vystačilo na samostatnou knihu. Jedná se o odběry vzorků plavenin, ať už odběry manuální či strojní, a následnou laboratorní analýzu vzorků.

3.1 IN SITU ODBĚRY VZORKŮ

3.1.1 Metody odběrů vzorků v ČR

Na území ČR provádí pravidelné měření plavenin například podniky Povodí nebo Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., avšak nejvýznamnější autoritou v otázce měření plavenin je bezpochyby ČHMÚ. Tato kapitola popisuje metody odběrů plavenin na našem území, které oficiálně či experimentálně využívá ČHMÚ.

3.1.1.1 Manuální odběr vzorků

Manuální odběry vzorků představují nejtradičnější způsob měření plavenin. Principem je ruční odběr vzorků pomocí batometru, viz Obr. 1, nebo odběrné láhve, viz Obr. 2, a jejich následné laboratorní vyhodnocení. K dnešnímu dni se tyto metody používají například ke kalibraci sond. Výsledkem odběru je lokální koncentrace suspendovaných látek.



Obr. 1. Batometr US P-61-A1 [2]

Vzorky odebírají dobrovolní pozorovatelé, a to nejčastěji pomocí polyetylenové láhve o objemu 1 litr. Láhev je upevněná na manipulační, častokrát teleskopické tyči, a je opatřena uzávěrem s otvory nebo uzávěrem s přívodní a odvodňovací trubicí po vzoru původního Batometru. Vše je na Obr. 2. [3]



Obr. 2. *Ruční vzorkování: vlevo láhev s uzávěrem s otvory, uprostřed láhev s odvzdušňovací trubicí, vpravo ukázka ručního vzorkování [4][5]*

Vzorek o objemu 1 litr je odebírán ve zvolené reprezentativní svislici metodou integrace, jejímž principem je ponoření vzorkovače pod hladinu vody a jeho následné pohybování po svislici směrem ke dnu, nikoliv však až na dno, a zpět k hladině až do naplnění láhve. Po celou dobu odběru musí být vzorkovač v takové poloze, aby odběrná trubice či odběrné otvory byly natočeny proti směru proudu vody a aby odvzdušňovací trubice byla nahoře. Z důvodu unikání vzduchu z odvzdušňovací trubice se v průběhu odběru objevují na hladině vzduchové bubliny. Absence bublin na hladině je indikátorem toho, že došlo k naplnění láhve. Po ukončení odběru se odšroubuje odběrný uzávěr a vodu je potřeba po částech přelít do předpřipravené láhve zvané vzorkovnice. Je důležité, aby při přelévání nedošlo ke ztrátě materiálu usazením ve vzorkovači, proto je mezi sléváním vhodné láhev protřepat. Naplněná vzorkovnice je uzavřena víčkem a popsána (název profilu, identifikační číslo profilu, datum a hodina odběru). Vzorkovnice jsou uloženy do přepravní bedny, která se umísťuje ideálně do tmy a chladu. Následuje převoz do laboratoře. [3]

Odběr je nejčastěji prováděn jednou denně, avšak v odůvodněných případech, například při vzestupu vodního stavu nebo při jarním tání, je doporučeno provádět dodatečné odběry. Průvodním dokumentem ručně odebraných vzorků je *Protokol o ručním odběru vzorku plavenin*, který obsahuje všechny zásadní informace. Protokol vyplňují pozorovatelé průběžně, neboť vyplněný a podepsaný musí být k dispozici již při svozu vzorků ze stanice. Ukázka vyplněného protokolu je na Obr. 3, jedná se o protokol z odběru plavenin ve vodoměrném profilu Ivančice ze dne 23. 11. 2023. [3]

Matrice	Plaveniny	Profil	Ivančice (CHMI_1187)
Datum odběru	23.11.2023 12:30	Tok	Jihlava
Subjekt	ČHMÚ - Praha	Vzorkař	Petr Zahradka, Štěpán Jeřábek

Místo odběru

Souřadnice místa odběru : 16.39665287139862 / 49.095324234601236 (WGS84)

Popis místa odběru : v chatové osadě, nad stanicí

Měření v terénu

Teplota vzduchu	Teplota vody	pH vody	Zákal (NTU)	Rychlost proudění
5 °C	6.4 °C	7.66	8.34	0.2 m/s
Počasí	Ledové jevy	Stav vody	Pach senzoricky	Ropné látky
Oblačno	Volná řeka	Normalní	Slabý	

Odběr

Typ odběru: Odstředěný	
Čas začátku odběru: 23.11.2023 10:45	Stav vodoměru na začátku: 179.7m ³
Čas konce odběru: 23.11.2023 12:30	Stav vodoměru na konci: 181.4m ³
Délka čerpání: 1 hod. 45 min.	Čerpáno celkem: 1.7m ³

Vzorek Id. PLO_CHMI_1187_2023_4_Lp_1

Vzorkovnice: Laboratoř - plast	Hmotnost: 49g
Konzervace - Transport/Skladování: Mražení / Mražení	
Místo a datum uložení: ČHMÚ - Praha / 30.11.2023 08:00	
Aktuální umístění vzorku: - Laboratoř; Povádí Labe - Hradec Králové; Převzal : Ing. Král, 01.12.2023 11:00; Hmotnost : 49g	

Obr. 3. Ukázka odběrového protokolu, vodoměrný profil Ivančice dne 23. 11. 2023 [6]

3.1.1.2 Automatický odběr vzorků

Odběr spočívá v užití automatického mechanismu, tzv. sampleru, který v pravidelných intervalech sbírá vzorky z jednoho bodu v profilu. V ČR je velmi často využíváno například zařízení ISCO 6812-FR. Principem je čerpání vody z toku přes sací hadici do předpřipravených vzorkovnic, jež jsou umístěny v manipulačním koši. Odebírán je vzorek vody o objemu 0,8 až 1 litr. Sampler se navíc chová jako chladicí zařízení a udržuje nízkou vnitřní teplotu, aby nedošlo k chemickým a biologickým pochodům uvnitř odebraných vzorků, jenž by mohly významně změnit jejich vlastnosti. Cyklus vzorkování je limitován kapacitou koše, který pojme pouze 24 lahví. Sampler používaný ČHMÚ ve vodoměrném profilu Židlochovice je na Obr. 4. [3]



Obr. 4. *Sampler 6712-FR v Židlochovicích (vlevo), samplerem odebrané vzorky (vpravo)*

Vzorkování je řízeno dvoudílným programem rozděleným na části A a B. Pro vzorkování řízené částí A programu je vyčleněno celkem 22 lahví. Sampler odebírá denní slévaný vzorek složený ze dvou dílčích podílů, každý o objemu přibližně 500 ml, odebraných v 6:00 a v 18:00. Vzorkování řízené částí B programu je nepravidelné a aktivuje se manuálně zasláním SMS. Všechna automatická odběrová zařízení totiž umožňují mimořádné okamžité odběry vzorků plavenin na dálku zasláním zprávy na telefonní číslo odběrné stanice. Toho je využíváno především v době extrémních srážkoodtokových situací (období jarních či zimních oblev, vytrvalých srážek atp.). Informace o datu a času odebraných vzorků prostřednictvím SMS jsou dostupné v prohlížeči měřených dat na serveru stanic a současně jsou evidovány ve výpisu programu automatického vzorkovače. Pro tyto mimořádné odběry jsou v koši vyčleněny dvě láhve, vzorkovnice č. 23 a 24. [3]

Odběry vzorků samplerem probíhají nejdéle ve 22denních cyklech. Pravidelná výměna lahví je naprosto nezbytná, aby nedocházelo k narušení pravidelných intervalů vzorkování. Režim odběru vzorku (tj. datum, čas a množství vzorku) je kompletně řízen a zaznamenáván programem sampleru. Zápis o průběhu cyklu vzorkování je eventuálně možné zobrazit na displeji řídicí jednotky vzorkovače. Průvodním dokumentem odebraných vzorků je protokol o odběru vzorků plavenin automatickým samplerem. [3]

Již nepoužívaná metoda

Ještě před nástupem samplerů byl využíván systém přečerpávání odebraných vzorků do polohovatelné nádoby zavěšené na stěně uvnitř měrné stanice. Tento systém byl v minulosti využíván například v Židlochovicích, viz Obr. 5. Od tohoto mechanismu se upustilo z důvodu neuspokojivé spolehlivosti měření, neboť měl tendenci zkreslovat koncentrace při každém odběru vzorku. Nevhodné byly i rozdílné průměry jednotlivých částí přívodního potrubí.



Obr. 5. Již nepoužívaný systém automatického odebírání vzorků plavenin v Židlochovicích

3.1.1.3 Kontrolní odběry

Kontrolní vzorky se provádí z důvodu zpřesňování informací o režimu plavenin a současně ověřují práci měřitele. Do laboratoří jsou předány společně s ostatními odebranými vzorky. Na stanicích s manuálními odběry se kontrolní odběry provádí nejméně jedenkrát měsíčně, a to při svozu vzorků. Zároveň se doporučuje odebrat kontrolní vzorek i při návštěvě stanic v době mimořádných průtokových situací. Vzorky jsou označeny datem, časem a typem odběru a následně zaznamenány do protokolu o ručním odběru. Ve stanicích s automatickým odběrem vzorků se provádí odběr kontrolních ručních a současně i automatických vzorků při každé výměně vzorkovnic na konci cyklu automatického vzorkovače. Odběr samplerem se provádí, pokud to hydrologické podmínky dovolí, po očištění sací hadice umístěné v toku. Vzorky jsou následně označeny datem, časem a typem odběru a zapsány do protokolu o automatickém odběru. [3]

3.1.1.4 Speciální způsoby odběrů vzorků

Odstředování mobilním zařízením

Pro chemickou analýzu plavenin je potřeba velkého množství vzorků, do laboratoře by proto bylo potřeba převézt až hektolitry vody. Místo toho je využíváno mobilní odstředivky, kde zařízení je nainstalováno do automobilu povětšinou terénního typu,

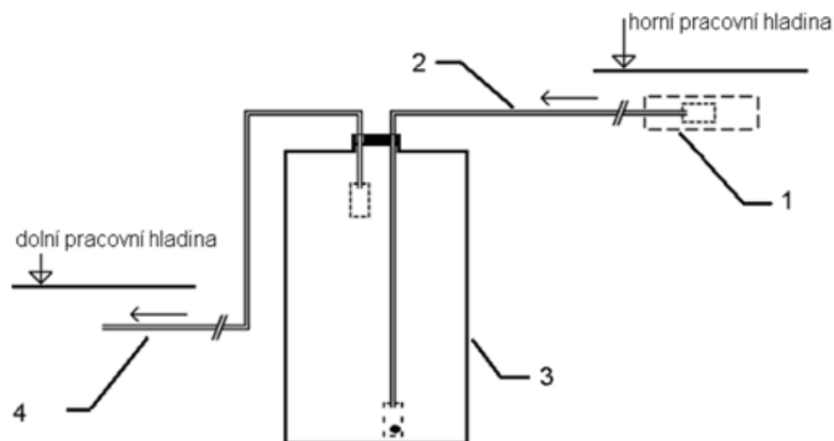
ukázka na Obr. 6. Zařízení přímo na místě odseparuje pevné částice pomocí odstřeďování, čímž se eliminuje nutnost převážet velká kvanta odebraných vzorků. Mechanismus zvládne zpracovat až 800 litrů vody za hodinu. Odběr se provádí zhruba čtyřikrát ročně. [5]



Obr. 6. Mobilní odstředivka: vlevo automobil s nainstalovanou odstředivkou, vpravo nainstalovaná odstředivka [5]

Detritový kontinuální vzorkovač

Jedná se o zařízení umožňující odebírat vzorky plavenin v drobných tocích, konkrétně při průtocích již okolo 0,2 l/min. Vzorkovač odvádí proudící vodu do sedimentačního prostoru, kde vlivem snížení rychlosti proudění dochází k sedimentaci částic. Schéma je na Obr. 7. Při obvyklých koncentracích plavenin vykazuje vzorkovač dobrou funkci při expozičních dobách do 14 dnů. Průtok vzorkovačem lze regulovat podle množství plavenin ve vzorkovaném toku. ČHMÚ provozuje pravidelné měření plavenin na významných tocích většího charakteru, tento vzorkovač tedy nepatří k oficiálně využívaným metodám měření plavenin. [7]

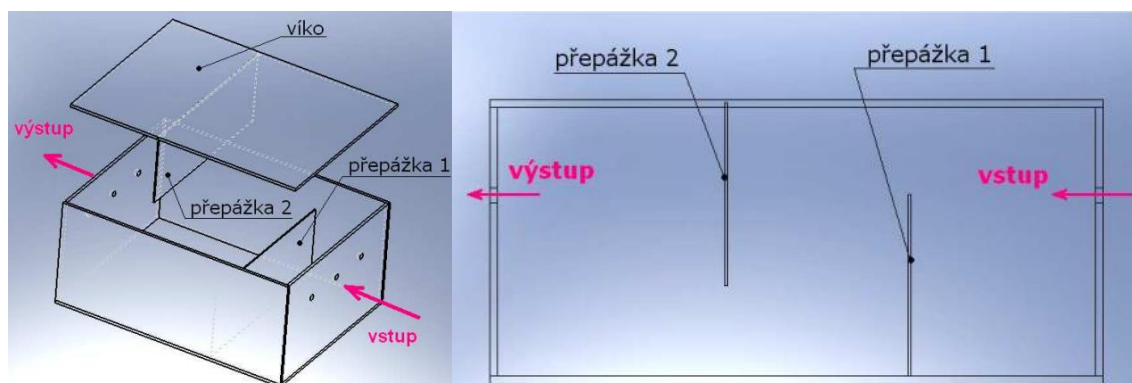


Obr. 7. Schéma detritového kontinuálního vzorkovače: 1 – sací koš umístěný do vodního toku, 2 – přívodní flexibilní potrubí, 3 – tělo se sedimentačním prostorem, 4 – odtokové flexibilní potrubí; horní hladina znázorňuje místo uložení sacího koše ve výše položené části toku a dolní hladina znázorňuje ústí odpadního potrubí v níže položené části toku s velkým spádem [7]

Integrální vzorkovač

Jde o prototyp navrhnutý pro řeky s velkým průtokem a celoročně vysokým stavem vody, například Rýn. Většina říčních úseků v ČR vyžadujících sledování plavenin nemá v průběhu roku dostatečně vysoký stav vody. Během roku 2008 proběhly odběry plavenin v celkem deseti profilech na řekách Svratka, Jihlava a Dyje. Průměrná doba expozice vzorkovače v říčním toku byla 33 dní. Po testování se jako nejvhodnější ukázalo uložit vzorkovač přímo na dno koryta tak, aby stěna se vstupními otvory byla kolmá na směr proudění vody a celé zařízení bylo ponořeno v rozmezí 200–500 mm pod hladinu. Vzorkovač je upevněn ocelovými lany o průměru 4 mm v plastovém pouzdře a zavěšen na expanzní kotvy o průměru 10 mm. Kotvy jsou navrtány do zpevněného břehu koryta, příbřežních hornin nebo do vodohospodářských konstrukcí. Při instalaci je kladen důraz na zavěšení vzorkovače takovým způsobem, aby nemohl být proudem převrácen nebo otočen. [8]

Vzorkovač funguje na skutečnosti, že po vstupu vody do zařízení skrz malé otvory dojde vlivem náhlého rozšíření ke zpomalení rychlosti proudění, viz Obr. 8. Přepážky ve vzorkovači se navíc chovají jako bariéry a podporují vznik vírů. Kombinace těchto jevů umožňuje sedimentaci částicím, které by se jinak v řece neusadily a voda by je odnášela dál. Sedimenty se akumulují na dně vzorkovače. Po uplynutí expoziční doby se zařízení vytáhne z koryta a sedimenty se dopraví do laboratoře. Jedná se pouze o prototyp, nejde o oficiální způsob měření plavenin, který by využívalo ČHMÚ. [8]

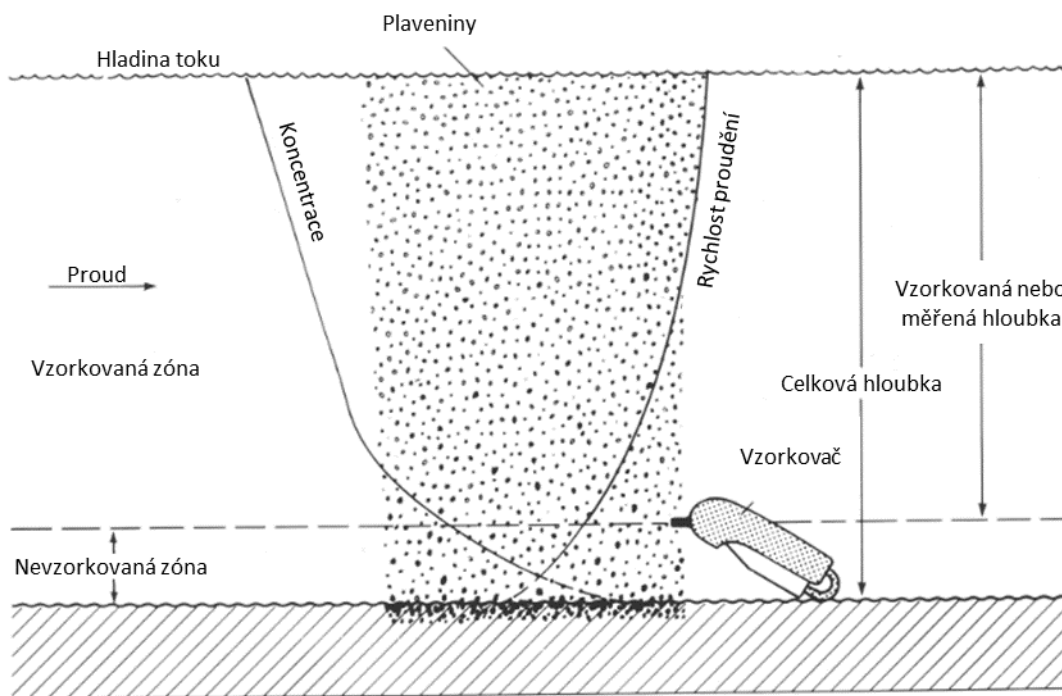


Obr. 8. Schémata integrálního vzorkovače: vlevo základní uspořádání, vpravo vnitřní řešení [8]

3.1.2 Metody odběrů vzorků dle americké USGS

3.1.2.1 Manuální odběr vzorků

Američané rozlišují při vzorkování suspendovaných látek dvě základní zóny na odběrové vertikále, viz Obr. 9. Toto rozdělení je nutné z důvodu konstrukce vzorkovačů, které zmenšují efektivní hloubku vzorkování. Odběr vzorků v celé hloubce není možný, protože umístění vstupní trysky vzhledem ke dnu vzorkovače brání průchodu trysky zónou v blízkosti dna. Tato zóna se, opačně od vzorkované zóny, označuje jako nevzorkovaná zóna a je charakteristická vyšší koncentrací hmoty, hrubšími částicemi a menší rychlostí proudění vody. [9]



Obr. 9. Vzorkovaná a nevzorkovaná zóna v odběrové vertikále s ohledem na rychlost proudění a koncentraci suspendovaných látek [9]

Vzorkovače užívané USGS

USGS disponuje širokým sortimentem oficiálních vzorkovačů, viz Tab. 1, z nichž každý je optimalizován pro specifické podmínky a prostředí. Výběr vhodného zařízení je tedy naprosto zásadním úkonem při odběru vzorků. Obr. 10 obsahuje nejen vzorkovače plavenin, ale i vzorkovače dnových splavenin, dnového materiálu a vzorkovače kvality vody. Velikosti, objemy a rychlosti jsou uvedeny v poměrně nepraktických číslech, důvodem je konverze z imperiálního systému na systém metrický. Všechny vzorkovače jsou pojmenovány dle typu, účelu a roku výroby daného zařízení:

- US – série Spojených států amerických,
- D – hloubková integrace,
- P – bodová integrace,
- H – ruční manipulace,
- BL – dnové splaveniny,
- BM – dnový materiál,
- SA – sedimentový analyzátor,
- 00 (číslice) – rok výroby. [10]

Tab. 1. Parametry vzorkovačů užívaných USGS [10]

Označení vzorkovače	Vnitřní průměr vstupní trysky [mm]	Velikost nádoby [l]	Max. hloubka [m]	Min. rychlost [m/s]	Max. rychlost [m/s]	Nevzorkovaná zóna [cm]	Váha [kg]
US DH-48	6,35	0,47	2,74	0,46	2,71	8,89	1,82
US DH-59	4,76	0,47	4,57	0,46	1,52	11,43	10,00
US DH-59	6,35	0,47	2,74	0,46	1,52	11,43	10,00
US DH-76	4,76; 6,35	0,95	4,57	0,46	2,01	8,13	11,36
US DH-81	4,76	1	2,74	0,61	1,89	10,16	0,45
US DH-81	6,35	1	2,74	0,46	2,32	10,16	0,45
US DH-81	7,94	1	2,74	0,61	2,13	10,16	0,45
US DH-95	4,76	1	4,57	0,64	1,89	12,19	13,18
US DH-95	6,35	1	4,57	0,52	2,13	12,19	13,18
US DH-95	7,94	1	4,57	0,64	2,26	12,19	13,18
US DH-2	4,76	1	10,67	0,61	1,83	8,89	13,64
US DH-2	6,35	1	6,10	0,61	1,83	8,89	13,64
US DH-2	7,94	1	3,96	0,61	1,83	8,89	13,64
US D-74	4,76	0,47/0,95	4,57	0,46	2,01	10,41	28,18
US D-74	6,35	0,47/0,95	2,74/4,57	0,46	2,01	10,41	28,18
US D-74AL	4,76	0,47/0,95	4,57	0,46	1,80	10,41	19,09
US D-74AL	6,35	0,47/0,95	2,74/4,57	0,46	1,80	10,41	19,09
US D-95	4,76	1	4,57	0,52	1,89	12,19	29,09
US D-95	6,35	1	4,57	0,61	2,04	12,19	29,09
US D-95	7,94	1	4,57	0,61	2,04	12,19	29,09
US D-96	4,76	3	33,53	0,61	3,81	10,16	59,99
US D-96	6,35	3	18,29	0,61	3,81	10,16	59,99
US D-96	7,94	3	11,89	0,61	3,81	10,16	59,99
US D-96A1	4,76	3	33,53	0,61	1,83	10,16	36,36
US D-96A1	6,35	3	18,29	0,61	1,83	10,16	36,36
US D-96A1	7,94	3	11,89	0,61	1,83	10,16	36,36
US D-99	4,76	6	67,06	1,07	4,57	24,13	124,99
US D-99	6,35	6	36,58	0,91	4,57	24,13	124,99
US D-99	7,94	6	23,77	0,91	4,57	24,13	124,99
US P-61A1	4,76	0,47/0,95	54,86/36,58	0,46	3,05	10,92	47,72
US P-63	4,76	0,47/0,95	54,86/36,58	0,46	4,57	14,99	90,90
US P-72	4,76	0,47/0,95	21,95/15,55	0,46	1,62	10,90	18,63

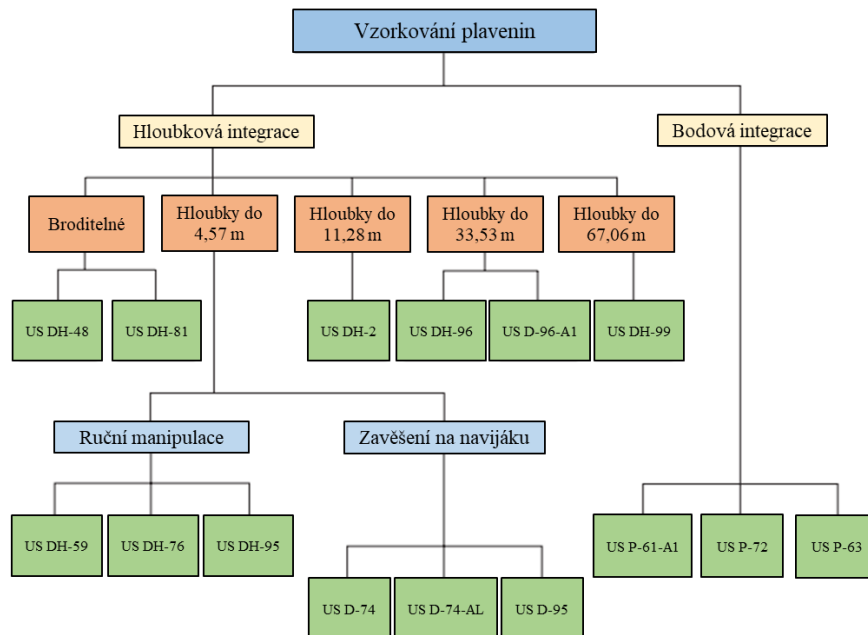
Konstrukce všech vzorkovačů plavenin musí splňovat celkem šest základních podmínek:

1. Zařízení musí být izokinetické.
2. Tryska musí být tak blízko ke dnu, jak jen je to možné.
3. Je nutné minimalizovat narušení proudu vody, a to zejména u trysky.

4. Vzorkovač musí být adaptibilní na podporu zařízení, která se již používají pro měření proudu.
5. Zařízení musí být co nejjednodušší a co nejvíce bezúdržbové.
6. Vzorkovač musí umožňovat umístění lahví o velikostech standardně užívaných v Americe (pinty, kvarty, litry). [9]

Zařízení jsou konstruována ve verzích pro bodovou integraci nebo pro hloubkovou integraci. Vzorkovač s hloubkovou integrací je navržen tak, aby izokineticky a kontinuálně akumuloval reprezentativní vzorek z vertikálního proudu, mezitím co vertikálou prochází rovnoměrnou rychlostí. Zařízení shromažďuje a akumuluje vzorek vážený rychlostí nebo průtokem, zatímco je spuštěn na dno toku a vyzdvižen zpět na hladinu. Bodově integrující vzorkovač používá elektricky aktivovaný ventil, který umožňuje operátorovi izokineticky vzorkovat body nebo části řešené vertikály. Pro příčné profily o hloubce menší než 9,14 m lze celou hloubku proměřit v jednom směru najednou, a to otevřením ventilu a integrací buď od povrchu ke dnu nebo naopak. Průřezy hlubší než 9,14 m lze integrovat v segmentech o délce 9,14 m nebo méně, konkrétně shromažďováním párů integrovaných vzorků vzniklých integrací směrem dolů a odpovídající integrací směrem nahoru, a to do samostatných nádobek. [9]

Vzorkovače s bodovou integrací jsou všestrannější než jednodušší typy s hloubkovou integrací. Mohou být použity k odběru vzorku plavenin představujícího střední koncentraci plavenin v kterémkoli bodě od hladiny toku až do jednotek centimetrů od lože, stejně jako k integraci v určitém rozsahu hloubky. Tyto vzorkovače byly navrženy pro hloubkovou integraci proudů příliš hlubokých nebo rychlých, aby mohly být vzorkovány v kontinuální okružní integraci. Při hloubkové integraci může vzorkování začít v jakékoli hloubce a pokračovat buď nahoru nebo dolů od tohoto počátečního bodu přes maximální vertikální vzdálenost 9,14 m. Výběr vhodného vzorkovače lze provést s pomocí vývojového diagramu na Obr. 10. [9]

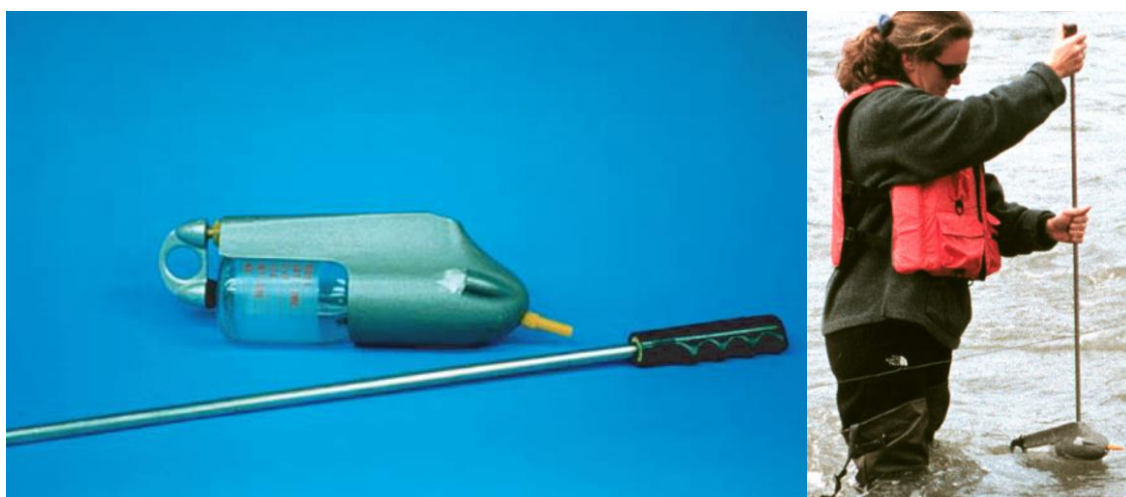


Obr. 10. Vývojový diagram pro výběr zařízení používaných USGS k odběru vzorků plavenin [10]

Vzorkovače US DH-48

Tato kapitola popisuje jeden z užívaných vzorkovačů. Informace o ostatních zařízeních lze nalézt v práci *A Guide to the Proper Selection and Use of Federally Approved Sediment and Water-Quality Samplers*, případně v jednotlivých manuálech každého vzorkovače [10].

Nejstarším, avšak stále používaným, oficiálním vzorkovačem je US DH-48. Zařízení je na Obr. 11. Jedná se o lehký, ručně manipulovatelný vzorkovač suspendovaných látek užívaný v broditelných tocích vyvinutý již v roce 1948. Jde o izokinetický vzorkovač, tedy že voda i sediment vstupují do trysky stejnou rychlostí, jako je rychlost proudu řeky. Vzorkovač je vyroben z hliníku, váží asi 1,82 kg a je přibližně 25,4 cm dlouhý. Jako nádoba na vzorky se používá téměř 0,5 l láhev na mléko. Nádoba je připevněna a izolována pryžovým těsněním, a to ručně ovládanou pružinovou svorkou na zadní straně vzorkovače. Mosazná sací tryska o vnitřním průměru asi 6,35 mm vyčnívá vodorovně z těla vzorkovače. Výstupek na boku vzorkovače, který směřuje k zadní části vzorkovače, slouží k umístění výfukového otvoru, jenž umožňuje únik vzduchu z láhve, zatímco se plní vzorkem. Manipulační tyč o průměru 1,27 cm se našroubuje do horní části těla vzorkovače a umožňuje tak jeho připevnění. K tyči je možné přidat prodlužovací nástavce v délkách od 30,5 do 91,5 cm. Pomocí nástavců lze vzorkovač použít z lodí nebo z nízkého mostu. Nevzorkovaná zóna je asi 8,9 cm. Vzorkovač lze použít při rychlostech proudu od 0,46 do 2,71 m/s. [11]



Obr. 11. Vzorkovač US DH-48 (vlevo), ukázka správného postoje při odebrání vzorků zařízením US DH-48 (vpravo) [11]

Před odběrem vzorků je vhodné změřit nebo co nejpřesněji odhadnout rychlost proudu vody v toku. Přibližný čas potřebný k naplnění nádoby lze vidět v Tab. 2. Následuje stanovení rychlosti průchodu, čehož dosáhneme pomocí diagramů. Diagramy, detailnější popis vzorkovače, návod k sestavení a návod k používání je obsažen v manuálu *Sampling with the US DH-48 depth-integrating suspended-sediment sampler*. Manuál obsahuje dokonce i popis správného postoje při odebrání vzorků, viz Obr. 11. [11]

Tab. 2. Přibližná doba plnění vzorkovače US DH-48 [11]

v [m/s]	t [s]	v [m/s]	t [s]
0,30	41	0,98	13
0,37	34	1,04	12
0,43	29	1,10	11
0,49	26	1,22	10
0,55	23	1,46	9
0,61	20	1,58	8
0,67	19	1,77	7
0,73	17	2,07	6
0,79	16	2,32	5
0,85	15	2,74	4
0,91	14		

Metody ručních odběrů

USGS provádí ruční měření plavenin třemi základními způsoby, konkrétně v jednom bodě, na jedné vertikále nebo na více vertikálách.

Metoda o jedné vertikále

Cílem je odběr vzorku z jediné reprezentativní vertikály, který představuje střední koncentraci suspendovaných látek v příčném profilu. Tato metoda se dále dělí na čtyři typy, a to dle podmínek proudění a velikosti částic přepravovaných částic:

1. Nízká rychlost proudu ($v < 0,61$ m/s), v suspenzi je přepravováno málo nebo žádný písek.
2. Vysoká rychlost proudu ($0,61 < v < 3,66$ m/s), hloubky jsou menší než 4,57 m.
3. Vysoká rychlost proudu ($0,61 < v < 3,66$ m/s), hloubky jsou větší než 4,57 m.
4. Velmi vysoká rychlost proudu ($v > 3,66$ m/s). [9]

Speciální je čtvrtý typ měření, ve kterém je z důvodu velkých rychlostí proudu nezbytné provést odběr pouze povrchový nebo ponorný do mírné hloubky. K tomuto typu se uchylujeme v případech, když jsou rychlosti příliš vysoké na to, aby bylo možné použít hloubkové nebo bodové integrační vzorkovače, nebo když hmota unášená proudem činí normální odběr vzorků nebezpečným nebo nemožným. [9]

Metoda o více vertikálách

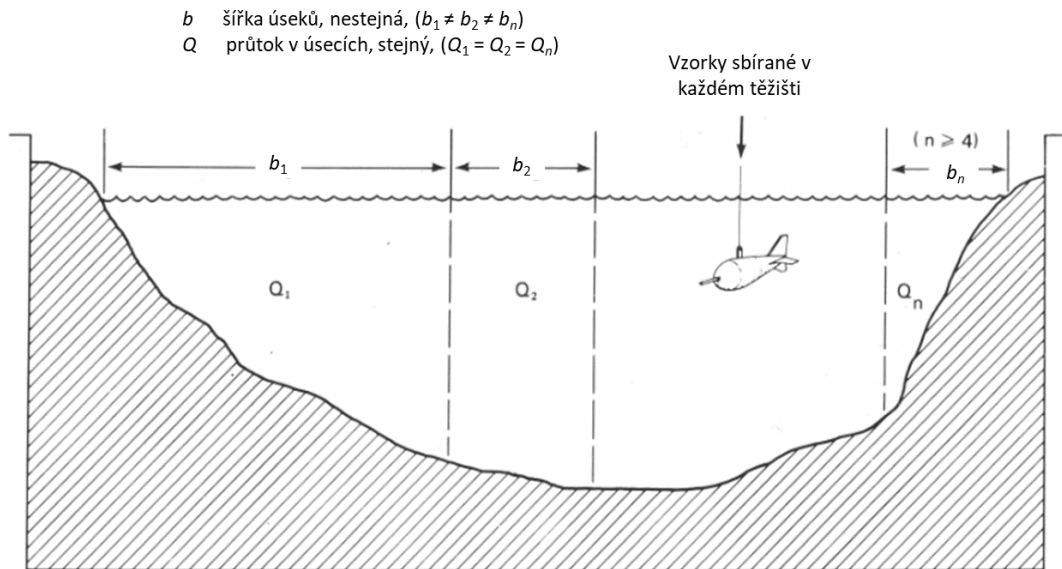
Přesnějším způsobem při analýze příčného profilu je měření ve více vertikálách. Američané užívají dva základní integrační přístupy:

- a) metoda stejných průtoků – Equal-Discharge-Increment (EDI),
- b) metoda stejných šířek – Equal-Width-Increment (EWI). [9]

Ad a) Metoda EDI

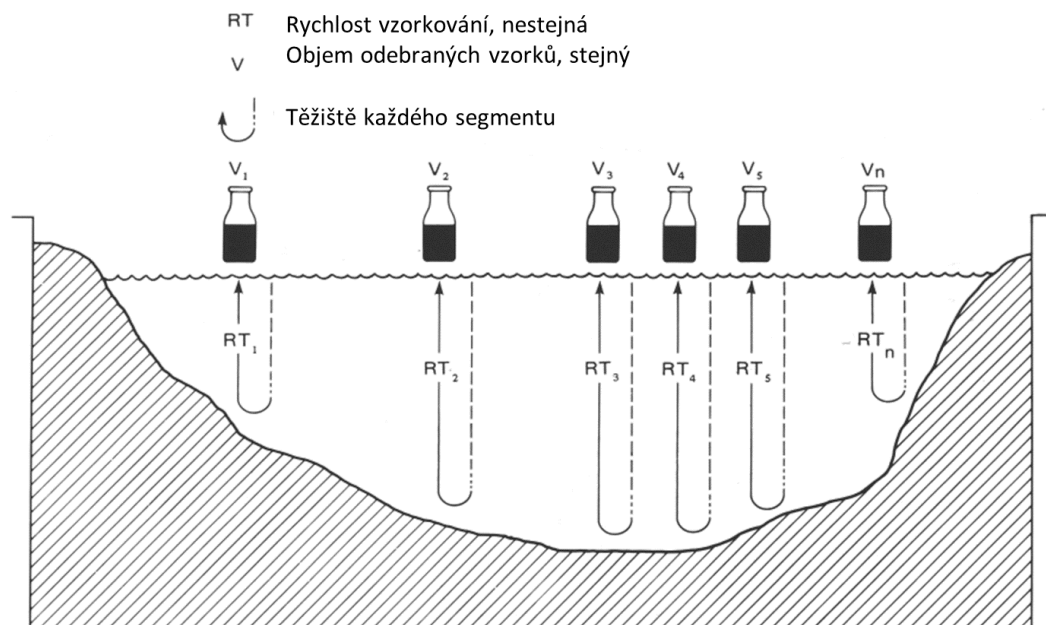
Při metodě EDI je příčný profil rozdělen na úseky se stejným průtokem, viz Obr. 12. Vzorky jsou pak odebírány na vertikálách, které procházejí těžištěm těchto segmentů.

Metoda EDI vyžaduje určité znalosti o rozložení proudění v příčném profilu toku, a to na základě dlouhodobého záznamu průtoku nebo měření průtoku provedeného bezprostředně před výběrem vzorkovacích vertikál. Pokud lze takové znalosti získat, může metoda EDI ve srovnání s metodou EWI ušetřit čas a práci. Ukázka odběrového protokolu je viditelná na Obr. 14. [9]



Obr. 12. Schéma integrovaného vzorkování metodou EDI [9]

Do měření vstupuje veličina rychlost vzorkování RT [m/s], která představuje rychlost, po kterou je vzorkovačem pohybováno po vertikále. Objem odebraných vzorků je při metodě EDI ve všech vertikálách identický, RT je pro všechny vertikály rozdílná. Vše je graficky znázorněno na Obr. 13. [9]



Obr. 13. Rychlosti plnění vzhledem k objemu odebraných vzorků, metoda EDI [9]

P-285-P (May 1971) UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR GEOLOGICAL SURVEY WATER RESOURCES DIVISION
 DISCHARGE MEASUREMENT NOTES
 Sta. No. 14301000
Nehalem River near Foss, Oregon
 Date July 12, 1982 Party Oster and Fuhrer
 Width 160 Area 152 Vol. 110 C. H. 1.92 Ditch 166
 Method 6 No. sec. 21 C. H. change 0 in 1.5 in. Sup. Rod
 Method conf. 1 Her. angle conf. 1 Susp. coef. 1 Meter No. 1909
 Meas. No. _____ Comp. by _____ Checked by _____
 GAGE READINGS

Time	Recorder	Inade	Outside
10:48	1.91	1.92	1.89
11:30	5.14	5.17	
12:00	Fin. Sh		
12:20	1.92		

 Type of meter _____ Date rated 5-16-64 for rod, other _____
 Meter _____ ft. above bottom of weir. _____
 Spin before meas. _____ after _____
 Meas. plus _____ % diff. from rating _____
 Wading, cable, etc. boat, upstr., downstr., side _____
 bridge _____ feet, mile, above, below _____
 weir, and _____ above riffle _____
 Check-bar, found _____ at _____
 changed to _____ at _____
 Correct _____
 Levels obtained _____
 Measurement rated excellent (95% good (85%), fair (80%), poor (over 80%), based on following conditions: Cross section grave!
 Flow uniform Weather clear
 Other _____ Air _____^{°F} _____
 Cages _____ Record removed _____
 Observer _____
 Control Gravel riffle 100 ft. downstream and clear
 Remarks _____
 G. H. of zero flow 19-10 = 0.9 ft.

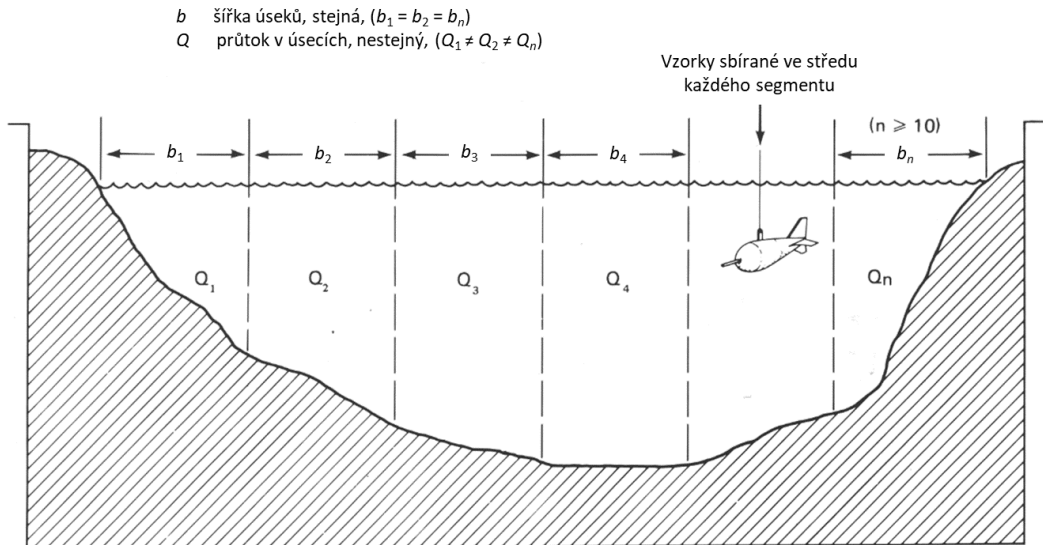
Rise at	Discharge	Area	Advance for bed angle etc.	VELOCITY		Time	Re-obs. times	Depth	Width	Dist. from initial point
				At	Mean					
0	0	0								
10	0	0								
20	0	0								
30	0	0								
40	0	0								
50	0	0								
60	0	0								
70	0	0								
80	0	0								
90	0	0								
100	0	0								
110	0	0								
120	0	0								
130	0	0								
140	0	0								
150	0	0								
160	0	0								
170	0	0								
180	0	0								
190	0	0								
200	0	0								
210	0	0								
220	0	0								
230	0	0								
240	0	0								
250	0	0								
260	0	0								
270	0	0								
280	0	0								
290	0	0								
300	0	0								
310	0	0								
320	0	0								
330	0	0								
340	0	0								
350	0	0								
360	0	0								
370	0	0								
380	0	0								
390	0	0								
400	0	0								
410	0	0								
420	0	0								
430	0	0								
440	0	0								
450	0	0								
460	0	0								
470	0	0								
480	0	0								
490	0	0								
500	0	0								
510	0	0								
520	0	0								
530	0	0								
540	0	0								
550	0	0								
560	0	0								
570	0	0								
580	0	0								
590	0	0								
600	0	0								
610	0	0								
620	0	0								
630	0	0								
640	0	0								
650	0	0								
660	0	0								
670	0	0								
680	0	0								
690	0	0								
700	0	0								
710	0	0								
720	0	0								
730	0	0								
740	0	0								
750	0	0								

Obr. 14. Ukázkový odběrový protokol, řeka Nehalem, Oregon [9]

Ad b) Metoda EWI

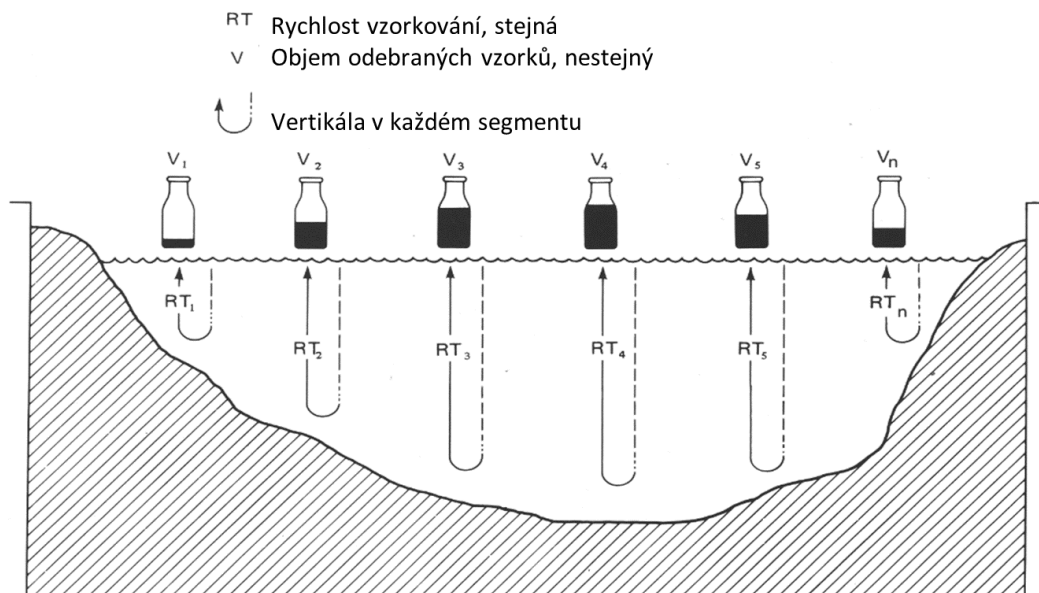
Měření suspendovaných látek metodou EWI vyžaduje vzorky o objemu úměrné velikosti k velikosti průtoku vody, respektive rychlosti vzorkování, v každé z rovnoměrně rozmístěných vertikál v příčném řezu. Vzdálenost mezi vertikálami je tedy v metodě EWI stejná pro celý profil. Tato vzdálenost, v kombinaci se vzorkováním stejnou rychlostí na všech vertikálách, poskytuje hrubý objem vzorku úměrný celkovému průtoku. Schéma je na Obr. 15. [9]

Tato metoda se nejčastěji používá v mělkých, broditelných tocích nebo tocích s pískovým podložím, kde rozdělení průtoku vody v průřezu není stabilní. Dále se hodí do toků, kde se přítokový tok zcela nesmísil s tokem hlavním. Počet svislic potřebných při měření metodou EWI závisí na rozložení koncentrace a průtoku v příčném řezu v době odběru vzorků. Dále se také odvíjí od požadované přesnosti výsledků. U mnoha toků je k určení požadovaného počtu vertikál potřeba jak statistického přístupu, tak zkušeností. Obecně lze předpokládat, že toky širší než 1,52 m by měly být rozděleny minimálně 10 vertikálami. Pro toky o šířce menší než 1,52 m by mělo být použito co nejvíce svislic vzdálených minimálně 7,62 cm. Pro všechny toky, s výjimkou těch, které jsou velmi široké a mělké, postačuje maximálně 20 vertikál. [9]



Obr. 15. Schéma integrovaného vzorkování metodou EWI [9]

Objem odebraných vzorků je při metodě EWI ve všech vertikálách rozdílný, RT je pro všechny vertikály totožná, viz Obr. 16.



Obr. 16. Objem odebraných vzorků vzhledem k rychlosti plnění, metoda EWI [9]

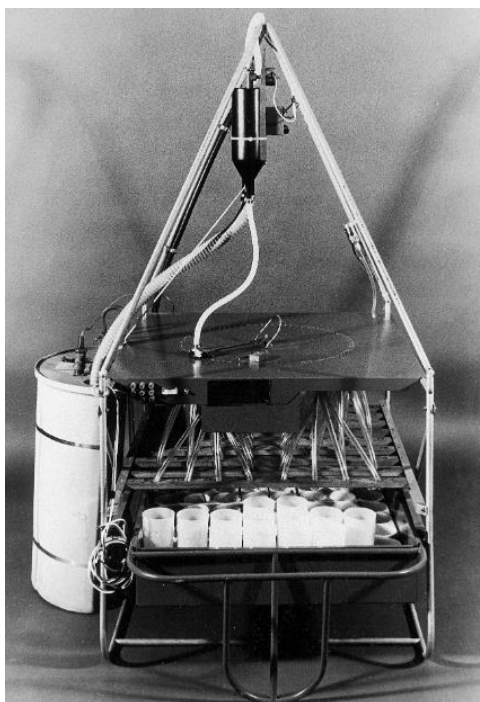
Bodová metoda

Jedná se spíše o doplňkové měření, mnohdy je kombinováno s metodami EDI a EWI. Vzorek je odebrán z jediného bodu v příčném řezu, můžeme však odebrat více bodů, čímž lze vytvořit síť bodů napříč příčným profilem. Vzorek je povoleno odebrat pomocí bodového integračního vzorkovače, výběr zařízení provádíme například skrz Obr. 10. Data získaná touto metodou lze použít k definování distribuce plavenin v jedné vertikále, ve vertikálním či horizontálním rozložení příčného řezu nebo ke zjištění střední koncentrace suspendovaných látek v celém příčném profilu. [9]

3.1.2.2 Automatické odběry vzorků

Samplery se hodí především na místa, která vyžadují časté shromažďování suspendovaných látek přímo na místě. Dále jsou vhodné také tam, kde umístění, podmínky průtoku, frekvence sběru nebo provozní náklady mohou činit sběr vzorků manuálními metodami nepraktický. K dnešnímu dni používaný a velmi oblíbený sampler je US PS-69, vyfoceno na Obr. 17. Všechny vzorkovače se skládají z:

1. Čerpadla sloužícího k čerpání vzorku plavenin z proudu a v některých případech k zajištění zpětného proplachu, který vyčistí potrubí vzorkovače před nebo po každém vzorkovacím cyklu.
2. Kontejneru držícího lahve se vzorky v poloze pro plnění.
3. Systému distribuce vzorků, jenž přesměruje čerpaný vzorek do správné láhve.
4. Aktivačního systému spouštějícího a zastavujícího cyklus odběru vzorků, a to buď v určitém pravidelném časovém intervalu, nebo v reakci na nárůst či pokles průtoku.
5. Sacího systému odebírajícího vzorky z určitého bodu v příčném profilu. [9]



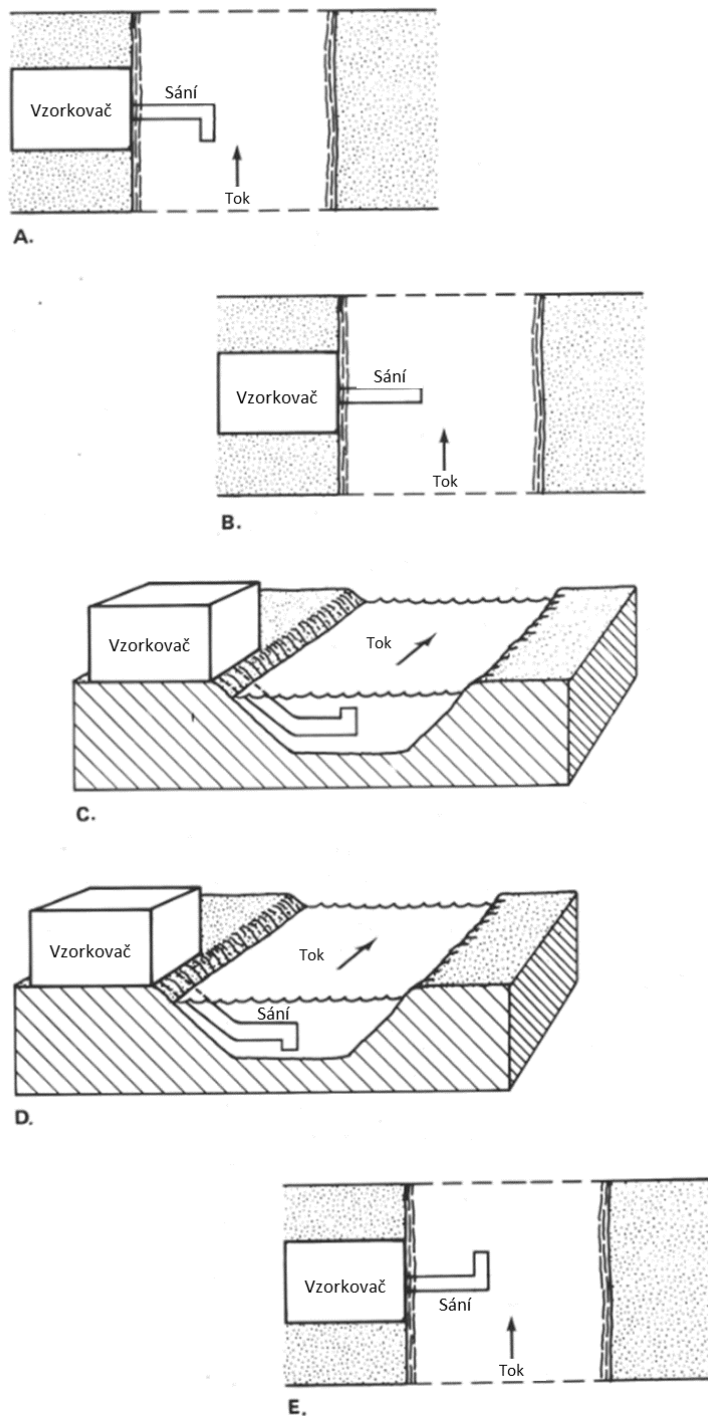
Obr. 17. Sampler US PS-69 [9]

Kombinace zmíněný komponentů by navíc měla být sestavena tak, aby splňovala sedmnáct základních pravidel stanovených pro automatické vzorkovače:

1. Odběr vzorků je izokinetický.
2. Vzorek plavenin by měl být dodáván z proudu do nádoby na vzorky beze změny koncentrace plavenin a distribuce velikosti částic.
3. Je zabráněno kontaminaci vzorku způsobené přenosem sedimentu v systému mezi obdobími odběru vzorků.
4. Vzorkovač by měl být schopen odebrat vzorek, když se koncentrace blíží hodnotě 50 000 mg/l a průměr částic dosáhne 0,25 mm.
5. Objem nádoby na vzorky je větší než 350 ml.
6. Vnitřní průměr sací trubice by měl být 9,53 nebo 19,05 mm.
7. Střední rychlost v potrubí vzorkovače by měla překročit rychlost pádu největší odebrané částice.
8. Vzorkovač je schopen vertikálního čerpání do výšky alespoň 10,67 m.
9. Vzorkovač by měl být schopen odebrat přiměřený počet vzorků.
10. Zařízení je chráněno proti mrazu, znečištění prachem a odpařování vzorků.
11. Kontejner na vzorky je konstruován tak, aby se dal snadno vyjmout a přepravit jako celek.
12. Cyklus odběru vzorků by měl být zahájen časovačem nebo změnou stupně.
13. Mělo by být umožněno zaznamenat datum a čas odběru vzorků.
14. Provoz je umožněn pomocí stejnosměrného bateriového napájení nebo 110 V střídavého napájení.
15. Hmotnost vzorkovače by neměla přesáhnout 45,36 kg.
16. Velikost vzorkovače by neměla přesáhnout 0,9 m na šířku nebo 2,0 m na výšku.
17. Vzorkovač by měl zabírat maximálně 0,84 m² plochy. [9]

Je potřeba mít na paměti, že vzorky odebrané samplery jsou odebírány pouze z jednoho místa toku. I když je snaha zajistit, aby vzorky odpovídaly průměrné koncentraci plavenin pro celý příčný profil, ve skutečnosti k tomu dochází jen zřídka. Pokud však existuje stabilní vztah mezi koncentrací v místě vzorku a střední koncentrací v příčném průřezu, lze vzorek považovat za reprezentativní pro celý příčný profil. Samplery navíc nesbírají vzorky izokineticky, jak jim hned první pravidlo pro automatické vzorkovače doporučuje. [9]

Orientace sacího potrubí automatického vzorkovače může drasticky ovlivnit účinnost vzorkování. Jak je vidět na Obr. 18, existuje pět základních způsobů, jak může být přírodní potrubí orientováno. Z těchto pěti orientací je vhodné se vyhnout verzím A, C a D, a to kvůli velkým chybám při vzorkování a problémům se sběrem odpadu. Orientace B je nejběžněji používanou alternativou, avšak její velkou nevýhodou je, že písčité částice nemusí být vhodně odebrány. Jako nejlepší se ukazuje orientace s označením E. [9][12]



Obr. 18. Příklady orientace sání sampleru: *A – směřující přímo proti proudu, B – horizontálně k toku, C – vertikální s otvorem nahoru, D – vertikální s otvorem dolů, E – směřující přímo po proudu* [9]

3.1.2.3 Odběry vzorků v moři

Jakožto přímořský stát provozují Spojené státy americké měření suspendované hmoty i v oceánech. Při odběrech vzorků lze suspendované látky opět vzorkovat ručně nebo strojně.

V případě ručních odběrů se používají jednoduché, ale spolehlivé lapače, které mohou používat pouze operátoři brodící se ve vodě v mělkých zónách. Měření lze provádět simultánně v mnoha bodech a stanicích. Jako vzorkovač mohou posloužit přenosné pasti sestávající z dlouhých obdélníkových pytlů z polyesterového síta namontovaného na stojanu, viz Obr. 19. Během intervalu vzorkování (5 až 10 minut) obsluhuje lapač obsluha stojící po proudu. Použití lapače je omezeno na příbojové zóny s výškou vln do asi 0,5 m a hloubky vody kolem 1 m. Hmotnost shromážděná každým lapačem udává lokální průměrnou koncentraci v daném čase. Stanovení koeficientu zachycení je velmi problematické, proto se zjišťují spíše relativní než absolutní koncentrace. K odstranění náhodných výkyvů je zapotřebí mnoha vzorků na jednom místě. [13]



Obr. 19. Ruční odběr vzorků v oceánu [13]

3.1.3 Srovnání s rakouskou metodikou

V případě ručních odběrů slouží v ČR i v Rakousku jako vzorkovač nejčastěji univerzální izokinetické zařízení v podobě polyethylenové láhve o objemu 1 litr připevněné na teleskopické tyči. Američané disponují značně větším sortimentem vzorkovačů, z nichž každý je vhodný do specifických podmínek. USGS má takto bohatý seznam nejspíše z důvodu obrovské škály typů toků, které se na jejich rozsáhlém území vyskytují. Americké metody ručních odběrů vzorků jsou komplexní, vytríbené a mohou posloužit jako inspirace celému světu.

K rakouské metodice má nejbližší přístup ČHMÚ, všechny tři státy však využívají jiných postupů a mají v oblibě odlišné metody. USGS i ČHMÚ měří koncentrace plavenin především přímými metodami, tedy odběry, zatímco v Rakousku jsou velmi oblíbené měření optickými sondami v kombinaci s ručními odběry. ČHMÚ má silnou

sít' automatických samplerů, naopak USGS ke dnešnímu dni stále velmi spoléhá na ruční odběry. Američané však při ručních odběrech využívají především integračního vzorkování, kdežto v Rakousku se hojně užívá vícebodová metoda.

3.2 LABORATORNÍ ANALÝZA

3.2.1 Metody laboratorní analýzy v ČR

Laboratorní stanovení koncentrací plavenin ve vodě se provádí filtrací filtrem ze skleněných vláken, a to dle dle ČSN EN 872 *Stanovení nerozpuštěných látek – Metoda filtrace filtrem ze skleněných vláken*. Postup je následovný:

1. „Vzorky se temperují na teplotu laboratoře.
2. Zjistí se, zda filtry splňují požadovaná kritéria (neobsahují žádná pojiva; musí být kruhové s průměrem shodným s průměrem filtračního zařízení; jejich hmotnost na celkovou plochu musí být mezi 50 g/m² až 100 g/m²; snížení hmotnosti filtru při slepém stanovení musí být menší nebo rovné 0,017 mg/cm²).
3. Filtr se ponechá v blízkosti vah do ustavení rovnováhy s vlhkostí vzduchu. Potom se zváží s přesností na 0,1 mg. Musí se zabránit znečištění filtrů prachem, například uložením do exsikátoru.
4. Filtry se umístí do filtračního zařízení hladkou plochou dolů a zařízení se připojí ke zdroji podtlaku (nebo přetlaku).
5. Vzorek ve vzorkovnici se důkladně protřepe a vhodný objem se ihned naráz přejeje do odměrného válce. Jestliže byl vzorek umístěn ve zcela naplněné láhvi, promísí se přeléváním mezi dvěma láhvemi. Druhá láhev musí být suchá a čistá. Objem vzorku se volí tak, aby hmotnost sušiny na filtru dosahovala optimální rozsah stanovení, tj. 5 mg až 50 mg. Objem vzorku by však neměl být větší než 1 litr. Aby byl výsledek platný, musí být hmotnost sušiny větší než 2 mg. Objem vzorku v odměrném válci se odečítá s přesností 2 % nebo lepší. Objemy vzorku menší než 25 ml se musí odvažovat.
6. Vzorek se zfiltruje, odměrný válec se vypláchne asi 20 ml destilované vody a tato dávka se použije k propláchnutí filtru. Vnitřní stěny filtračního zařízení se opláchnou dalšími 20 ml destilované vody. Obsahuje-li vzorek více než 1 000 mg/l rozpuštěných látek, opakuje se promývání filtru třikrát pokaždé s 50 ml destilované vody. Musí být promyt i okraj filtru.
7. Podtlak (nebo přetlak) ve filtračním zařízení se uvolní tehdy, až je filtr téměř suchý. Filtr se opatrně vyjme ze zařízení pinzetou s plochými okraji. Pokud je to nutné, je možné filtr i přeložit. Filtr se umístí na podložku a suší se v sušárně při 105 °C ± 2 °C po dobu nejméně 1 h, nejvýše však 14 h až 16 h. Potom se filtr vyjme ze sušárny, ponechá v blízkosti vah do ustanovení rovnováhy s vlhkostí vzduchu a zváží se.“ [3][14]

Koncentrace je zjištěna odečtením hmotnosti filtru před filtrací v miligramech od hmotnosti filtru po filtraci v miligramech, vynásobením tisícem a vydělením objemu vzorku v mililitrech. [14]

3.2.2 Metody laboratorní analýzy dle americké USGS

Americké USGS zjišťuje koncentraci suspendovaných látek v odebraných vzorcích dvěma základními metodami, a to metodou filtrační nebo metodou evaporační.

3.2.2.1 Filtrační metoda

Většina vody bez sedimentu ve vzorkovnici je s opatrností dekantována, aby nedošlo k narušení nebo odstranění sedimentu. Zkumavka ve tvaru písmene „J“ a vakuový systém se používají k odsávání supernatantní vody (voda nad sedimentem) shora, pryč od sedimentu. Dbáme na to, aby se láhev nenaklonila, což by mohlo narušit sediment. Rychlost dekantace by neměla překročit 1 až 1,5 l/min. Popsaný kelímek obsahující sediment se umístí do držáku, filtr se navlhčí deionizovanou vodou a k usazení filtru se použije odsávání. Identifikační číslo kelímku se porovná s identifikačním číslem nádoby na vzorku, aby se zajistila shoda. Veškerý sediment se z nádoby na vzorky vymyje deionizovanou vodou do příslušného kelímku. Dbáme na to, aby se během přenosu nerozlil žádný vzorek. Kelímky se umístí do konvekční pece a suší se při teplotě $103\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ po dobu minimálně 3 hodin. Kelímky se následně umístí do exsikátoru, kde se chladí po dobu alespoň 3 hodin. Všechna zbylá hmota je následně zvážena. Koncentraci v mg/l stanovuje počítačový program. [15]

3.2.2.2 Evaporační metoda

Metoda odpařování se používá, pokud je zřejmé, že vzorek obsahuje velké množství sedimentu, které by bylo obtížné filtrovat v kelímku. Směs vody a sedimentu se nalije do odpařovací misky a vzorek se vysuší a zváží. V případě potřeby se odebere a analyzuje vzorek rozpuštěných pevných látek před analýzou odpařováním. Údaje o vzorku na pracovním listu jsou porovnány s údaji napsanými na vzorku a s hodnotou táry láhve. Chyby se zaznamenávají do pracovního listu a opravují se pomocí možnosti editace koncentračního programu. Identifikační číslo misky je porovnáno s identifikačním číslem nádoby od vzorku, aby byla zajištěna shoda. Veškerý sediment se vymyje z láhve do misky pomocí deionizované vody. Používáme misku dostatečného objemu, aby se zabránilo rozlití při jejím následném přenášení do horkovzdušné trouby. Aby se předešlo jakékoli ztrátě sedimentu varem, miska se suší při teplotě 85 až 95 °C, dokud se všechna viditelná voda neodpaří. Po vymizení veškeré viditelné vody se vzorky suší dalších 14 hodin při $103\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$. Nádoby se poté chladí v exsikátoru po dobu minimálně 3 hodin. Všechna zbylá hmota je následně zvážena. Koncentraci v mg/l stanovuje počítačový program. [15]

3.2.3 Srovnání s rakouskou metodikou

Všechny tři státy používají v nějaké formě filtrační metodu. USGS stanovuje koncentraci plavenin v odebraných vzorcích metodou filtrace nebo metodou evaporace. ČHMÚ zjišťuje koncentraci filtrací, a to filtrem ze skleněných vláken. Rakouská metodika doporučuje tlakovou filtraci nebo vakuovou filtraci.

4 METODICKÝ POSTUP

Tato kapitola obsahuje hrubý metodický návod pro vyhodnocení bilance plavenin ve vodoměrných profilech, kde je využívána kombinovaná metoda měření, tedy nepřímé měření sondou, v našem případě optickou sondou, doplněné o přímé ruční měření, konkrétně měření vícebodovou metodou v kombinaci s měřením zařízením acoustic Doppler current profiler (ADCP). Tento postup byl následně aplikován na všechny čtyři řešené vodoměrné profily. Veškeré vyhodnocování probíhalo v souladu s rakouskou metodickou příručkou *Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes* [1]. Postupy jsou detailněji rozebírány v předchozí, bakalářské práci, která popisuje i samotné způsoby měření plavenin *Odhad bilance plavenin ve vybraném vodoměrném profilu toku* [16]. Vyhodnocení bylo navíc doplněno vlastními postupy čištění dat, jež, mimo jiné, spočívaly v použití programovacího prostředí MATLAB a aplikaci UNS.

4.1 METODY KOREKCE ZÁZNAMŮ SONDY

Jak již bylo zmíněno, mimo samotné vyhodnocení bilance plavenin ve vybraných vodoměrných profilech je v této práci kladen důraz na inovativní způsoby zpracování a filtrace surových dat zaznamenaných sondou. Toto čištění dat je nutné z důvodu nedokonalého měření sond zapříčiněného jejich citlivostí na znečištění, což následně způsobuje zkreslení výsledků. Znečištění vede k neúměrným lokálním nárůstům, propadům nebo dokonce úplným absencím naměřených hodnot. Na všech čtyřech profilech byly implementovány celkem čtyři různé přístupy čištění dat.

4.1.1 Metoda bez korekce dat

První metoda je určena spíše k srovnávání, neboť v tomto přístupu nejsou data vyčištěna žádným způsobem. Při porovnání s ostatními metodami bude tento postup ukazovat, k jak velkým rozdílům bude napříč výsledky docházet při absenci jakéhokoliv začištění dat. Odpoví nám tedy na otázku, jestli je opravdu nutné korekci dat naměřených sondou provádět a zda dojde k značnému odchýlení od výsledků vzniklých ze zkorigovaných záznamů.

4.1.2 Metoda korekce dat pomocí filtrace

Tento přístup spočívá v zavedení jednoduchého filtru, který vymaže všechny chybějící, neúměrně vysoké a příliš nízké hodnoty vzniklé při podílu hodnot naměřených sondou s_s a průtoku vody Q . Data naměřená sondou jsou vydělena odpovídajícími průtoky a následně jsou odfiltrovány veškeré hodnoty o velikosti méně než 0,1 a více než 10,0. Rozsah filtru byl stanoven expertním odhadem a je identický pro všechny čtyři řešené profily.

V metodě filtrace však musíme mít na paměti, že při odfiltrování části měření již nemůžeme mluvit o celistvosti období, a to především pokud chceme vyhodnocovat celé dny, měsíce či roky, neboť hodnoty nejsou vymazávány z konkrétního úseku, nýbrž napříč celým hydrogramem. Tato problematika byla vyřešena jednoduchým dopočítáním pomocí přímé úměrnosti.

4.1.3 Metoda korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění

Třetí metoda představuje nejběžnější způsob čištění dat, který spočívá ve vyhlazení a doplnění záznamu zákalu, případně úplnému odstranění velmi poškozených segmentů.

Vyhlazení spočívalo v implementaci jednoduché funkce zahlazující ojedinělé imperfekce, tedy neúměrně vysoké a neúměrně propadlé hodnoty, které však trvají maximálně několik desetiminutových intervalů, ve kterých sonda hodnoty zaznamenává.

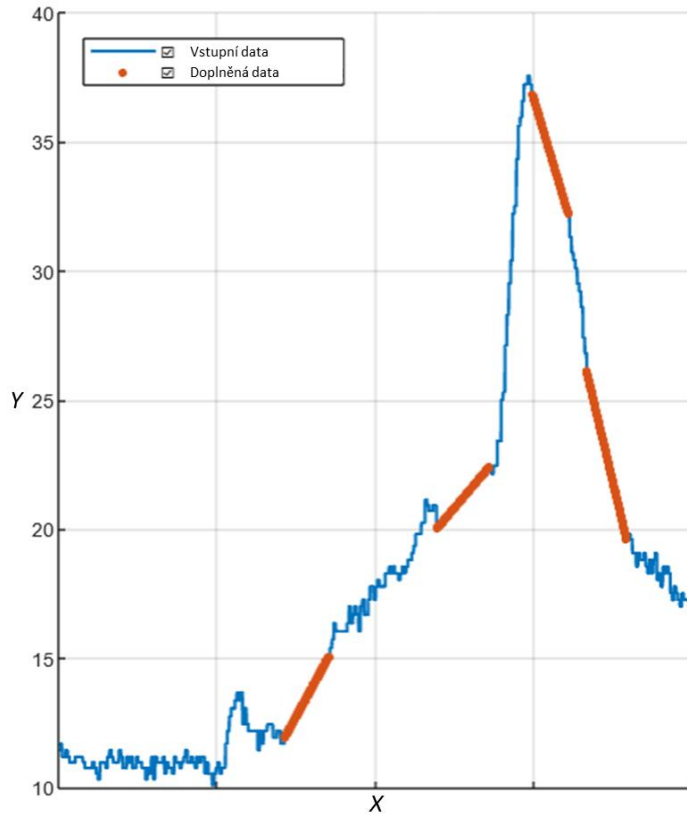
Na více poškozené části, tedy takové, kdy poškození trvá v rámci stovek záznamů a více, byla použita regresní analýza. Ta vychází ze skutečnosti, že zákal je funkcí průtoku vody, respektive že za malého průtoku odnáší vodní tok malé množství suspendovaných látek, zatímco za vysokých průtoků odnáší voda velké množství hmoty. Z celého hydrogramu se vybere skupina momentů, kdy průběh záznamů sondy nejvíce odpovídá naměřeným průtokům vody. Jejich vzájemná souvztažnost se následně využije pro přepočítání poškozených a doplnění chybějících částí hydrogramu v časech, kdy sonda neměřila dostatečně korektně. Jediným úskalím může být výběr správných trendů, které nejpřesněji vyjadřují vzájemné vztahy obou veličin. Jako špatná volba se nejeví kombinace lineárních a exponenciálních trendů, neboť při povodních rostou obsahy plavenin značným způsobem. To je však potřeba provádět jen velmi obezřetně, neboť exponenciální trend může snadno hodnoty příliš podhodnotit nebo nadhodnotit.

Legitimním způsobem čištění dat je i umazání poškozených segmentů hydrogramu, a to především v případech, kdy je nevhodně zaznamenán i průtok vody. Pak je však nutné dávat si pozor na problematiku zmíněnou již v metodě užívající filtraci, tedy že může dojít k necelistvosti řešeného období.

4.1.4 Metoda korekce dat pomocí UNS

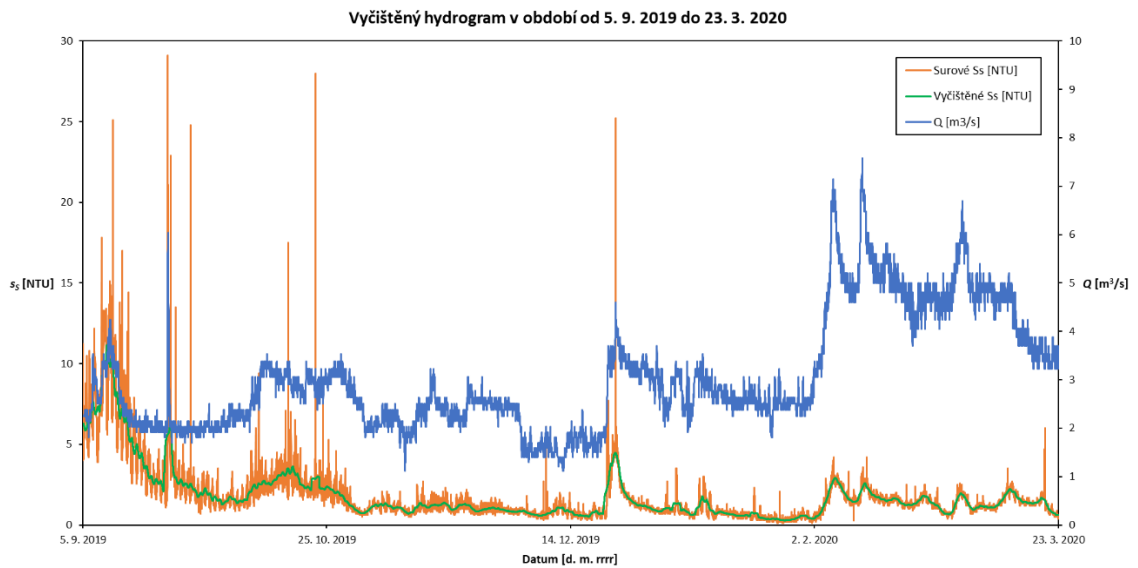
Poslední postup funguje na stejném principu jako metoda korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění, úkony však probíhají v programovacím prostředí MATLAB.

K vyhlazení a částečnému doplnění chybějících hodnot v hydrogramu posloužily funkce *Clean Missing Data* a *Smooth Data*, v překladu „vyčistit chybějící data“ a „vyhladit data“. Obě jsou součástí nadřazené funkce *Data Cleaner*, česky „čistič dat“. První funkce doplňuje všechny chybějící hodnoty, pouze však ty, které jsou úplně absentní, nikoli nulové. Doplnění je provedeno pomocí lineární interpolace, a to dle standardních ukazatelů. Ukázka je zobrazena na Obr. 20, kde osa X představuje časovou řadu a osa Y je záznam zákalu.



Obr. 20. Ukázka doplnění hodnot funkcí *Clean Missing Data*

Druhá funkce slouží k odstranění šumu, tedy k vyhlazení neadekvátně vysokých a neadekvátně propadlých hodnot, jež se vyskytují ojediněle, případně v krátkých intervalech. Proces probíhá pomocí metody *Moving mean*, v překladu „pohyblivý průměr“. Míra zahlázení je stanovena „zahlazovacím faktorem“, jehož hodnotu určujeme expertním odhadem. Velikost faktoru se v našich případech pohybuje od 0,1 do 0,55. Ukázka vyhlazení dat je na Obr. 21. Jedná se o část hydrogramu v obci Příbice.



Obr. 21. Ukázka vyhlazení dat funkcí *Smooth Data*

Posledním krokem je doplnění a nahrazení větších segmentů hydrogramu, které jsou nadměru poškozeny. Toho bylo dosaženo pomocí UNS.

UNS jsou výpočetní modely spadající pod obor strojového učení. Vzorem pro jejich fungování jsou biologické mozky. Tyto sítě jsou složeny z propojených uzlů zvaných neurony, které se shlukují do vrstev. UNS mají vstupní vrstvu, která přijímá data, výstupní vrstvu, která generuje odpovědi nebo predikce, a často také jednu nebo více skrytých vrstev neuronů. Skryté vrstvy neuronů zpracovávají vstupní informace a postupně extrahují složitější vzory a vlastnosti dat, což umožňuje neuronovým sítím naučit se reprezentovat a generalizovat informace pro řešení různých úloh, včetně klasifikace, predikce, rozpoznávání vzorů a dalších úloh v oblasti umělé inteligence a strojového učení. Jedním ze zásadních úkolů při tvorbě UNS je právě stanovení optimálního počtu vrstev skrytých neuronů, protože příliš velký počet vrstev často vede k přetrénování, při kterém si síť až moc dobře zapamatovává trénovací data a ztrácí schopnost generalizace nových dat. Naopak příliš malý počet vrstev může vést k podtrénování, tedy k nedostatečnému modelování dat a nedostačující schopnosti sítě naučit se reprezentovat složité vztahy v datech. [17]

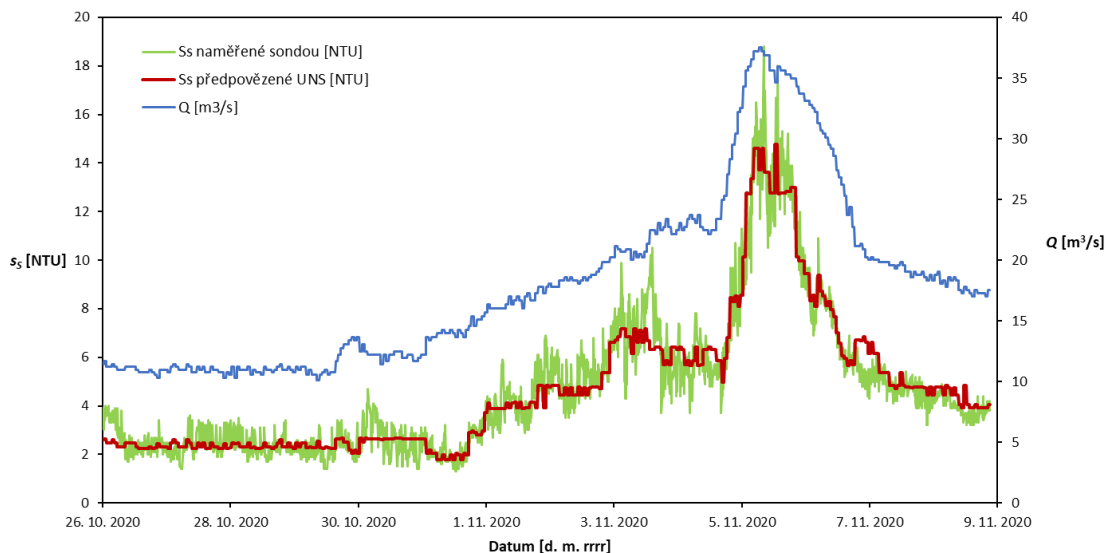
S UNS lze pracovat v různých počítačových programech, v našem případě bylo využito prostředí MATLAB, konkrétně funkce *Neural Net Fitting*. UNS je potřeba nejprve tzv. natrénovat, tedy umožnit jí, aby se s daty seznámila a naučila se rozpoznávat vzorce jejich chování. K tomu je potřeba síti poskytnout data, dle kterých se toto vše může naučit. Tato data jsou rozdělena do dvou skupin, a to *Predictors*, tedy prediktory, a *Responses*, tedy odezvy. *Predictors* byly v našem případě záznamy průtoků Q , *Responses* byly odpovídající záznamy sondy s_s . Data byla rozdělena dle klasické struktury 70/15/15, tudíž 70 % dat bylo použito jako data tréninková, 15 % bylo použito jako validační data a 15 % bylo použito jako testovací data. Trénování probíhalo pomocí Levenberg-Marquardtova algoritmu s užitím sigmoidní funkce. Spolehlivost natrénování byla kvantifikována pomocí střední kvadratické chyby.

Jak již bylo zmíněno, stanovení vhodného počtu skrytých neuronů je naprosto zásadní pro natrénování funkční UNS. Počet byl stanoven dle jednoduchého vzorce, který doporučuje vícero autorů:

$$N_H = 0,5 (N_I + N_O) + \sqrt{N_T}, \quad (1)$$

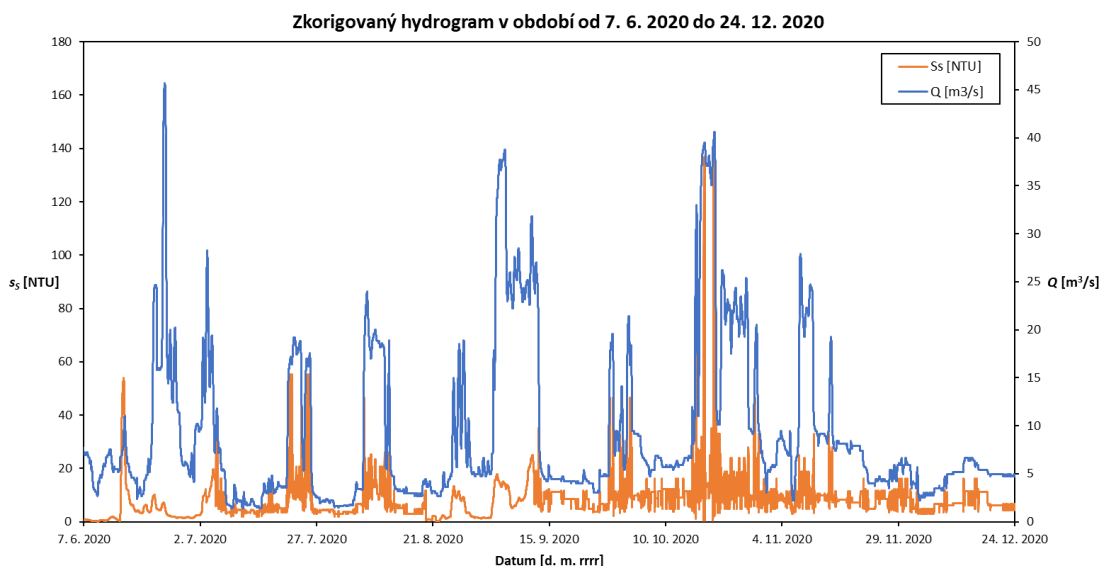
kde N_H [-] je počet skrytých neuronů, N_I [-] je počet vstupních neuronů, N_O [-] je počet výstupních neuronů a N_T [-] je počet tréninkových dat. [18]

Ukázka predikce pomocí UNS je na Obr. 22. Jedná se o malou část dat naměřených v obci Příbice. Nutno však podotknout, že nejde o poškozený, ba naopak o velmi odpovídající segment s příkladným průběhem. Obrázek byl vytvořen v rámci pokusu práce s UNS, tato síť nebyla využita v rámci celého hydrogramu, protože byla natrénována z jen velmi omezeného počtu vstupních dat, tedy nebyla by zcela reprezentativní pro celý záznam. Jedná se pouze o ukázkový příklad, jak přesně dokáže dobře natrénovaná síť predikovat.



Obr. 22. Ukázka predikce průběhu plavenin pomocí UNS

Trénování UNS reálně využité k predikci v řešených vodoměrných profilech proběhlo s využitím již přefiltrovaných dat z metody filtrace. Důvodem byla snaha poskytnut síti co největší objem relativně kvalitních dat. Vstupy vedly k vcelku uspokojivým výsledkům natrénování, nutno však zmínit, že výstupní hodnoty samy o sobě obsahovaly šum, tedy byly kolísavé. To je patrné na Obr. 23., kde lze vidět část již zkorigovaného hydrogramu v obci Hevlín, ve které bylo potřeba značného doplnění hodnot. Data predikovaná pomocí UNS lze z důvodu jejich volatility snadno odlišit od původních, již vyhlazených hodnot, protože předpovězená data nebyla dále vyhlazována.



Obr. 23. Část zkorigovaného hydrogramu v obci Hevlín, ve které byla využita predikce hodnot pomocí UNS

4.1.4.1 Testování UNS

Při tvorbě UNS proběhl ve vodoměrném profilu Hevlín experiment spočívající v natrénování celkem tří různých sítí. Jedna síť obsahovala ideální počet skrytých neuronů stanovený dle vzorce (1), ta sloužila jako hlavní a s její pomocí byl celý hydrogram následně zkorigován. Druhá síť byla stvořena z násobně menšího počtu skrytých neuronů, zatímco třetí síť obsahovala naopak větší počet skrytých neuronů. Tento experiment proběhl za účelem otestování, jak velmi ovlivní velikost vrstvy skrytých neuronů schopnost UNS predikovat.

4.2 ANALÝZA ÚSPĚŠNOSTI FILTRACE DAT

Následuje kvantifikace úspěšnosti korekce dat. Ta byla do postupu zařazena z důvodu aplikace vícero způsobů čištění dat, z nichž každý produkuje jiné výsledky. Analýza využívá již zmíněnou skutečnost, že zákal je funkcí průtoku. Rozbor spočívá v jednoduché regresní analýze, respektive zjištění korelace všech hodnot průtoku vody Q se zkorigovanými hodnotami s_s . K vystižení souvztažnosti byl využit lineární trend.

4.3 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ DISTRIBUCE KONCENTRACE SUSPENDOVANÝCH LÁTEK V PŘÍČNÉM PROFILU

Jak již bylo zmíněno, distribuce koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu byla zjišťována vícebodovou metodou odběrů v kombinaci s měřením zařízením ADCP. Vyhodnocení odběrů vícebodovou metodou probíhá v laboratorním prostředí a závěrem jsou koncentrace suspendovaných látek v odběrových bodech. Měření zařízením ADCP poskytuje kromě koncentrace suspendovaných látek napříč profilem také rychlostní pole řešeného profilu. Intenzity zpětně rozptýlených ozvěn vyslaných ADCP zařízením se přepočítávají sonarovou rovnicí, kterou blíže vysvětluje například článek *Estimation of suspended sediment concentrations with ADCP in Danube River* [19].

Výsledkem vyhodnocení je transport suspendované hmoty v příčném profilu Q_s . Stanovujeme jej dle vzorce:

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

kde Q_s [g/s] je transport suspendované hmoty v příčném profilu, s_0 [mg/l] je koncentrace suspendovaných látek, v [m/s] je rychlost proudění, t_w [m] je hloubka vody, h [m] je výška nade dnem a b [m] je vzdálenost od referenčního bodu, respektive spolupůsobící šířka. [1]

Detailní postup vyhodnocení měření distribuce koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu včetně práce s vyhodnocovacím listem je sepsán v bakalářské práci.

4.4 STŘEDNÍ KONCENTRACE SUSPENDOVANÝCH LÁTEK V PŘÍČNÉM PROFILU

V tomto kroku začínáme výpočtem střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu s_m . Ta je podílem transportu suspendované hmoty v příčném profilu a průtoku vody:

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

kde s_m [mg/l] je střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu, Q_s [g/s] je transport suspendované hmoty v příčném profilu a Q [m³/s] je průtok vody. [1]

Následuje zjištění korelace mezi střední koncentrací suspendovaných látek v příčném profilu s_m a lokálně měřenou koncentrací suspendovaných látek v blízkosti sondy s_k . Tuto závislost je následně nutné využít k přepočítání lokálního měření sondy na koncentraci suspendovaných látek v celém příčném profilu, neboť obsah plavenin se napříč profilem mění, tedy pouhé užití hodnot naměřených sondou v jejím bezprostředním okolí by vedlo k nepřesným výsledkům. Tento krok lze provést dvěma způsoby, konkrétně podílovou metodou nebo metodou využívající regresní analýzu. V našem případě byly využity obě metody. Oba způsoby následně vytváří separátní výsledky. [1]

4.4.1 Přepočet podílem

Tímto postupem zjišťujeme poměrem obou hodnot jejich vzájemnou souvislost. Výsledkem je reálné číslo, které představuje koeficient příčného profilu. Výsledným číslem násobíme každou hodnotu naměřenou sondou s_s . Výpočet koeficientu provádíme dle vzorce:

$$k_{pi} = \frac{s_m}{s_k}, \quad (4)$$

kde k_{pi} [-] je dílčí koeficient příčného profilu, s_m [mg/l] je střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu a s_k [mg/l] je lokálně měřená koncentrace v blízkosti sondy. Koeficient příčného profilu k_p získáváme zprůměrováním všech dílčích koeficientů příčného profilu k_{pi} . [1]

4.4.2 Přepočet regresní analýzou

Jak již název napovídá, tento přepočet spočívá v užití regresních rovnic, případně podobných statistických metod. Regresí zjišťujeme závislost lokálně měřené koncentrace v blízkosti sondy s_k na střední koncentraci suspendovaných látek v příčném profilu s_m . Rovnicí vzniklou výběrem ideálního trendu přepočítáváme veškeré s_s , tedy hodnoty naměřené sondou. [1]

4.5 KALIBRACE SONDY

Použité optické sondy nezaznamenávají obsah plavenin, ale měří zákal v náhradních, nefelometrických jednotkách zvaných Nephelometric Turbidity Units (NTU). Tyto jednotky se však svou hodnotou neshodují s námi požadovanými jednotkami mg/l, proto je nutná tzv. mokrá kalibrace, jejíž princip spočívá v ručním odběru kalibračních vzorků v bezprostřední blízkosti sondy s_k a současným zapsáním hodnot naměřených sondou s_s v momentě ručního odběru. Při dostatečném množství dat zjišťujeme korelaci obou hodnot, díky níž dokážeme veškeré sondou naměřené hodnoty s_s [NTU] přepočítat na zkalibrované hodnoty s_z [mg/l]. Ke zjištění korelace a následnému přepočtu byla v našich případech užita regresní analýza zkoumající závislost s_k na s_s . [1]

4.6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

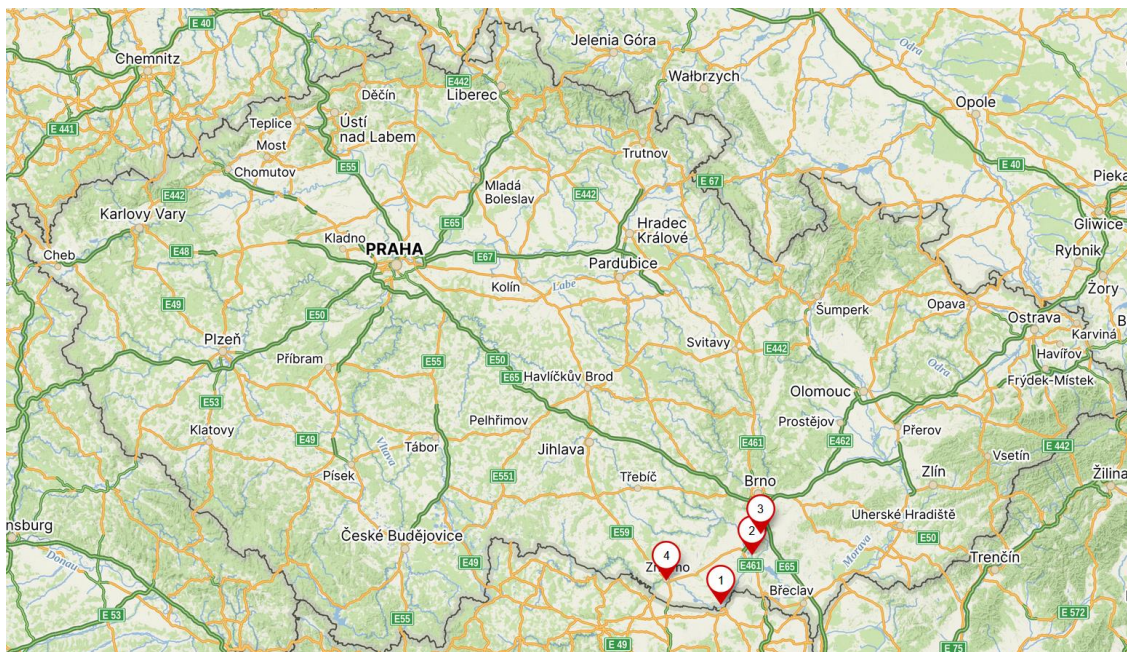
Vynásobením časových řad průtoku vody Q [m^3/s] a zkalibrovaných záznamů sondy s_z [mg/l] dostáváme transport suspendované hmoty v příčném profilu Q_s [g/s], který následně převádíme na jednotky kg/s. Integrováním tohoto transportního hydrogramu v čase lze pro libovolné období určit množství plavenin $V_{s,m}$ [t]. Toho dosáhneme převodem Q_s z jednotek kg/s na jednotky t/min a následným vynásobením intervalem sondy, který je u námi použitých sond deset minut. Vydělením množství plavenin plochou povodí dostáváme odnos materiálu z daného povodí $A_{s,m}$ [t/km²]. [1]

V našem případě byly pro všechny výsledky zpracovávány i statistické charakteristiky, a to střední hodnota transportu suspendované hmoty v příčném profilu $\mu(Q_s)$, disperze $D(Q_s)$, směrodatná odchylka $\sigma(Q_s)$, koeficient variace $C_v(Q_s)$ a koeficient asymetrie $C_s(Q_s)$. Statistické charakteristiky jsou vypočítány pouze pro celé období, nikoliv pro dílčí části.

5 PRAKTICKÁ APLIKACE

5.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O LOKALITÁCH

Řešeny jsou čtyři vodoměrné profily na území Moravy, všechny jsou vyznačeny na Obr. 24. Jedná se o profily na Jihlavě, Svatce a Dyji.



Obr. 24. Základní mapa ČR s vyznačením vodoměrných profilů: 1 – Hevlín, 2 – Přibice, 3 – Židlochovice, 4 – Znojmo [20]

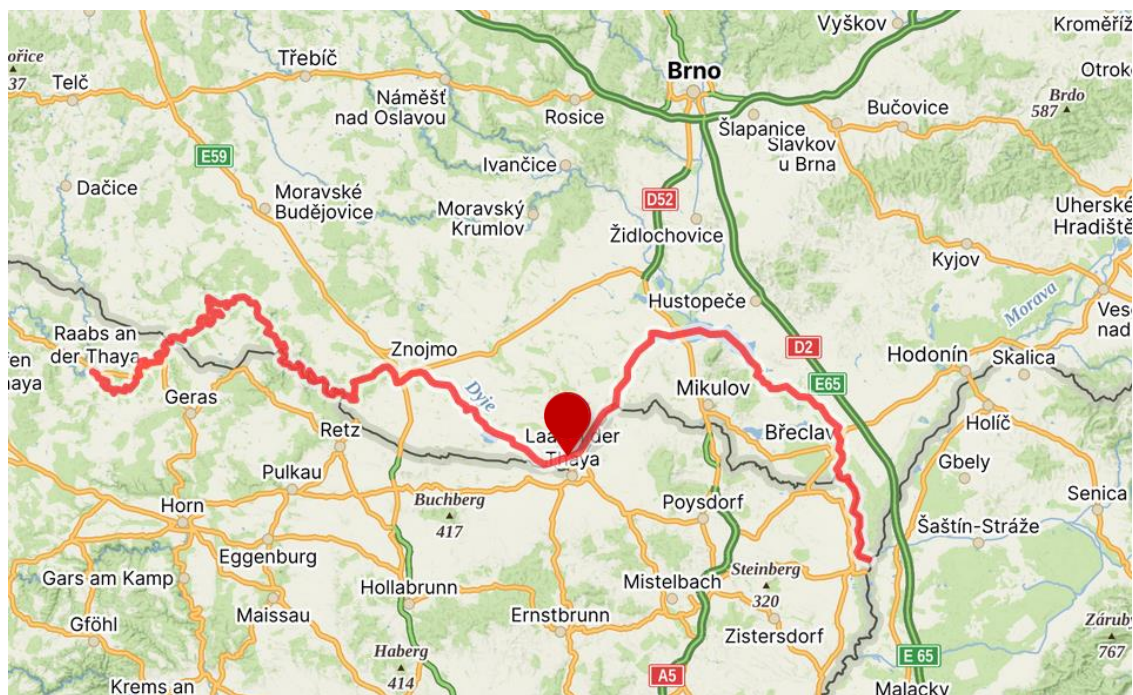
5.1.1 Hevlín

5.1.1.1 Popis řešené oblasti

Obec se nachází v okrese Znojmo, Jihomoravský kraj. Hevlín leží na hranicích s Rakouskem ve stejnojmenném katastrálním území (KÚ). Na ploše o velikosti 26,94 km² žilo k roku 2023 celkem 1 424 obyvatel. Umístění obce je patrné z Obr. 24. [21][22]

5.1.1.2 Hydrologie

Hevlínem protéká řeka Dyje. Tento tok vzniká spojením Rakouské Dyje, pramenící u obce Schweiggersu, a Moravské Dyje, pramenící u Panenského Rozsívka. Tyto toky se slévají na rakouském území u obce Raabs a do ČR se vrací pod obcí Podhradí. V prostoru střední nádrže vodního díla Nové Mlýny se Dyje střetává s řekami Jihlavou a Svatkou. Dyje se následně vlévá do Moravy pod Lanžhotem. Jedná se o řeku dlouhou 311 km, jejíž absolutní spád toku je 506 m. Průběh řeky a umístění vodoměrného profilu jsou vyobrazeny na Obr. 25. [23]



Obr. 25. Základní mapa s vyznačením řeky Dyje a vodoměrného profilu Hevlín [24]

Hlásný profil Hevlín se nachází na 81,550. km říčního toku a náleží mu 3 124,72 km² plochy povodí, což odpovídá 23 % celkové plochy povodí Dyje. Nula vodočtu je 175,700 m n. m. a průměrný roční stav odpovídá 50 cm. Profil se nachází na levém břehu řeky, asi 20 m nad mostem, který vede k rakouským hranicím. Velikost průměrného ročního průtoku Q_a a N-letých průtoků Q_N lze vidět v Tab. 3. [25]

Tab. 3. Hydrologické údaje o hlásném profilu Hevlín [25]

Q_a	8,9	[m ³ /s]
Q_1	70	[m ³ /s]
Q_5	138	[m ³ /s]
Q_{10}	170	[m ³ /s]
Q_{50}	247	[m ³ /s]
Q_{100}	282	[m ³ /s]

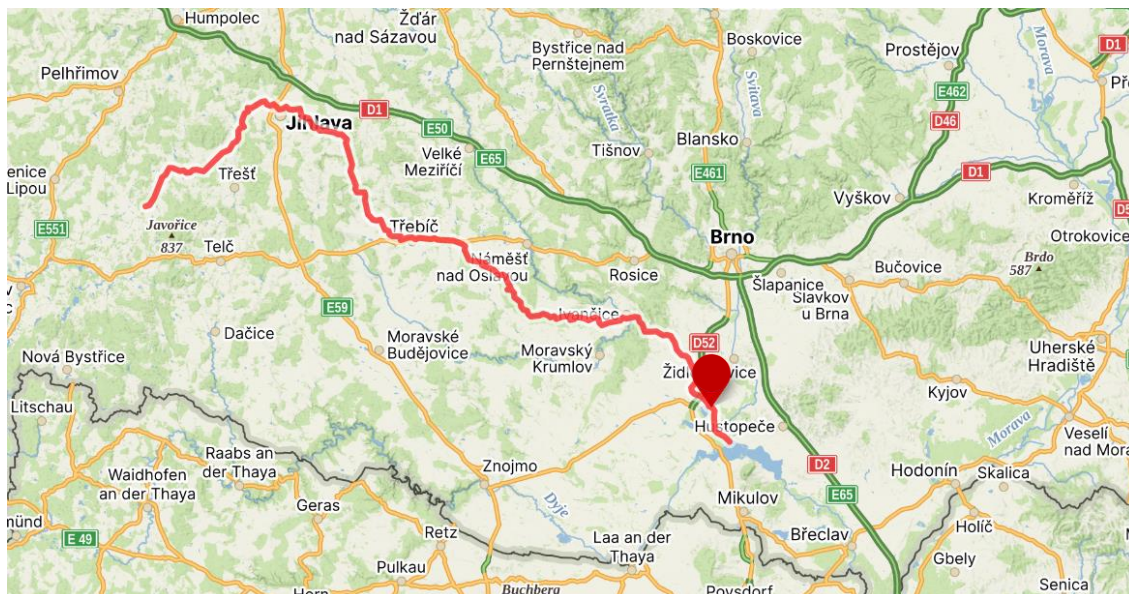
5.1.2 Přibice

5.1.2.1 Popis řešené oblasti

Obec Přibice se rozprostírá v okrese Brno-venkov, v Jihomoravském kraji asi 30 km od Brna. K roku 2023 zde žilo 1 072 obyvatel, a to na ploše o rozloze 7,39 km². KÚ nese název Přibice. Umístění obce je zvýrazněno na Obr. 24. [21][22]

5.1.2.2 Hydrologie

Přibicemi protéká tok Jihlava, jež pramení u obce Jihlávka na Českomoravské vysočině. Dále pokračuje směrem k Třebíči, Ivančicím, a nakonec ústí do řeky Svatky u vodní nádrže Věstonice. Celková délka toku je 184 km, plocha povodí odpovídá 2 998 km². Vodoměrný profil Přibice a průběh řeky Jihlavy jsou zvýrazněny na Obr. 26. [23]



Obr. 26. Základní mapa s vyznačením řeky Jihlavy a vodoměrného profilu Přibice [26]

Hlásný profil Přibice se nachází na 7,460. km říčního toku. Plocha povodí náležící tomuto profilu je 2 787,34 km², což odpovídá 94 % celkové plochy povodí řeky Jihlavy. Nula vodočtu je 172,270 m n. m., průměrný roční stav odpovídá 82 cm. Hlásný profil je umístěn na levém břehu toku, asi 200 pod silničním mostem. Hodnoty průměrného ročního průtoku Q_a a N-letých průtoků Q_N lze spatřit v Tab. 4. [27]

Tab. 4. Hydrologické údaje o hlásném profilu Přibice [27]

Q_a	12	[m ³ /s]
Q_1	101	[m ³ /s]
Q_5	185	[m ³ /s]
Q_{10}	224	[m ³ /s]
Q_{50}	320	[m ³ /s]
Q_{100}	365	[m ³ /s]

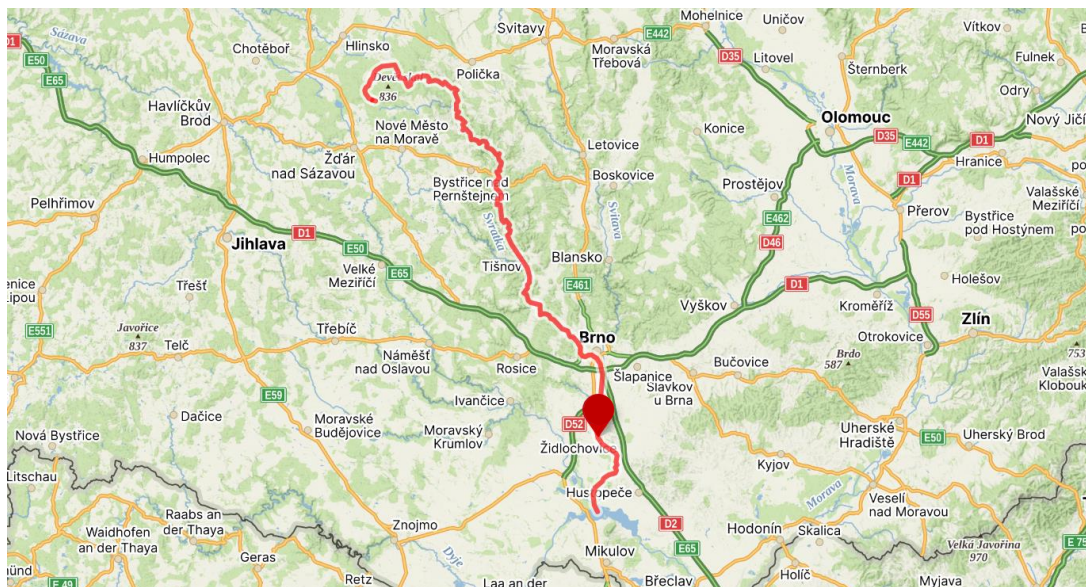
5.1.3 Židlochovice

5.1.3.1 Popis řešené oblasti

Židlochovice jsou situovány 18 km jižně od Brna, v okrese Brno-venkov, v Jihomoravském kraji, viz Obr. 24. KÚ nesoucí stejný název má rozlohu 5,93 km² a k roku 2023 zde žilo 3 702 obyvatel. [21][22]

5.1.3.2 Hydrologie

Židlochovice leží na řece Svratce. Svratka pramení severně od Žďáru nad Sázavou u obce Cikháj, přesněji na jihozápadním úbočí Žákovy hory ve výšce 823 m n.m. Plocha povodí odpovídá 4 115 km². Tok nakonec ústí do řeky Dyje, a to ve střední nádrži vodního díla Nové Mlýny. Svratka a vodoměrný profil jsou na Obr. 27. [23]



Obr. 27. Základní mapa s vyznačením řeky Svratky a vodoměrného profilu Židlochovice [28]

Hlásný profil Židlochovice leží na 22,950. km říčního toku a náleží mu 3 938,12 km² plochy povodí, což představuje 98 % celkové plochy povodí toku. Nula vodočtu je 177,89 m n. m. a průměrný roční stav je 79 cm. Profil je umístěn na pravém břehu, 50 m pod mostem. Průměrný roční průtok Q_a a N-leté průtoky Q_N jsou v Tab. 5. [29]

Tab. 5. Hydrologické údaje o hlásném profilu Přibice [29]

Q_a	14	[m ³ /s]
Q_1	85	[m ³ /s]
Q_5	164	[m ³ /s]
Q_{10}	208	[m ³ /s]
Q_{50}	335	[m ³ /s]
Q_{100}	400	[m ³ /s]

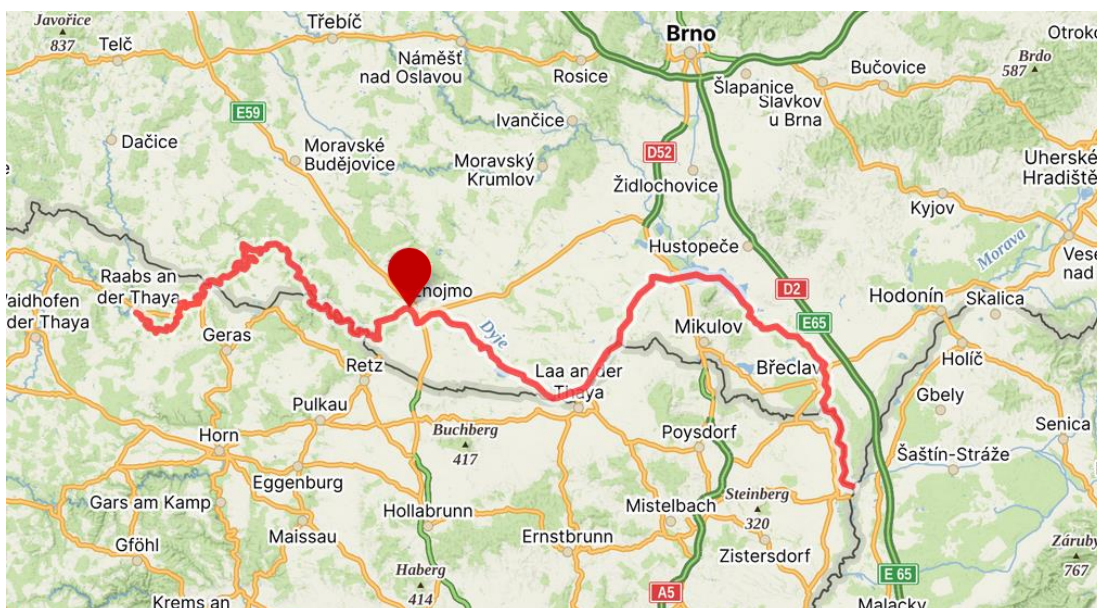
5.1.4 Znojmo

5.1.4.1 Popis řešené oblasti

Jedná se o obec ležící ve stejnojmenném KÚ a ve stejnojmenném okrese. Znojmo se rozprostírá v Jihomoravském kraji, jihozápadně od Brna, nedaleko od rakouských hranic. Má rozlohu 65,90 km² a k roku 2023 zde žilo 34 146 obyvatel. Umístění obce je zvýrazněno na Obr. 24. [21][22]

5.1.4.2 Hydrologie

Znojmem protéká řeka Dyje, bližší informace o toku poskytuje kapitola 5.1.1.2, průběh řeky a umístění vodoměrného profilu Znojmo jsou patrné z Obr. 28.



Obr. 28. Základní mapa s vyznačením řeky Dyje a vodoměrného profilu Znojmo [24]

Hlásný profil Znojmo je umístěn na 119,59. km říčního toku a náleží mu 2500,279 km² plochy povodí, to představuje 18 % celkové plochy povodí řeky Dyje. Nula vodočtu je 210,24 m n. m., průměrný roční stav odpovídá 85 cm. Profil je umístěn na levém břehu toku, asi 200 m pod vyrovnávací zadržní Znojmo. Velikost průměrného ročního průtoku Q_a a N-letých průtoků Q_N lze vidět v Tab. 6. [30]

Tab. 6. Hydrologické údaje o hlásném profilu Znojmo [30]

Q_a	9,17	[m ³ /s]
Q_1	69	[m ³ /s]
Q_5	127	[m ³ /s]
Q_{10}	157	[m ³ /s]
Q_{50}	240	[m ³ /s]
Q_{100}	280	[m ³ /s]

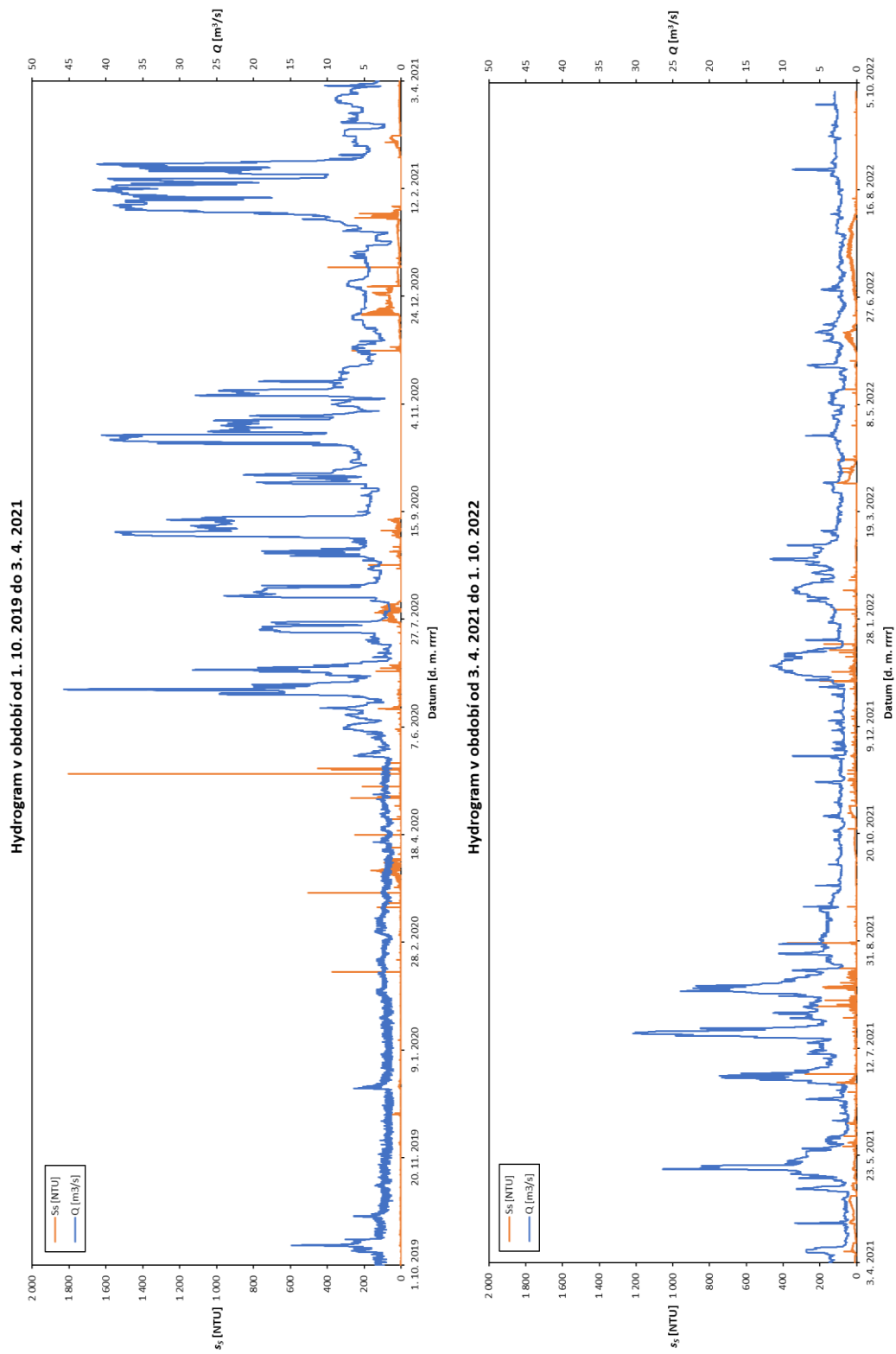
5.2 VODOMĚRNÝ PROFIL HEVLÍN

5.2.1 Korekce záznamu sondy

Pro vodoměrný profil Hevlín jsou k dispozici data od 1. 10. 2019 do 1. 10. 2022, tedy přesně tři roky, respektive 1 096 dní. Sonda měří kontinuálně co deset minut, což vytváří záznam o celkovém počtu 157 824 hodnot.

5.2.1.1 Metoda bez korekce dat

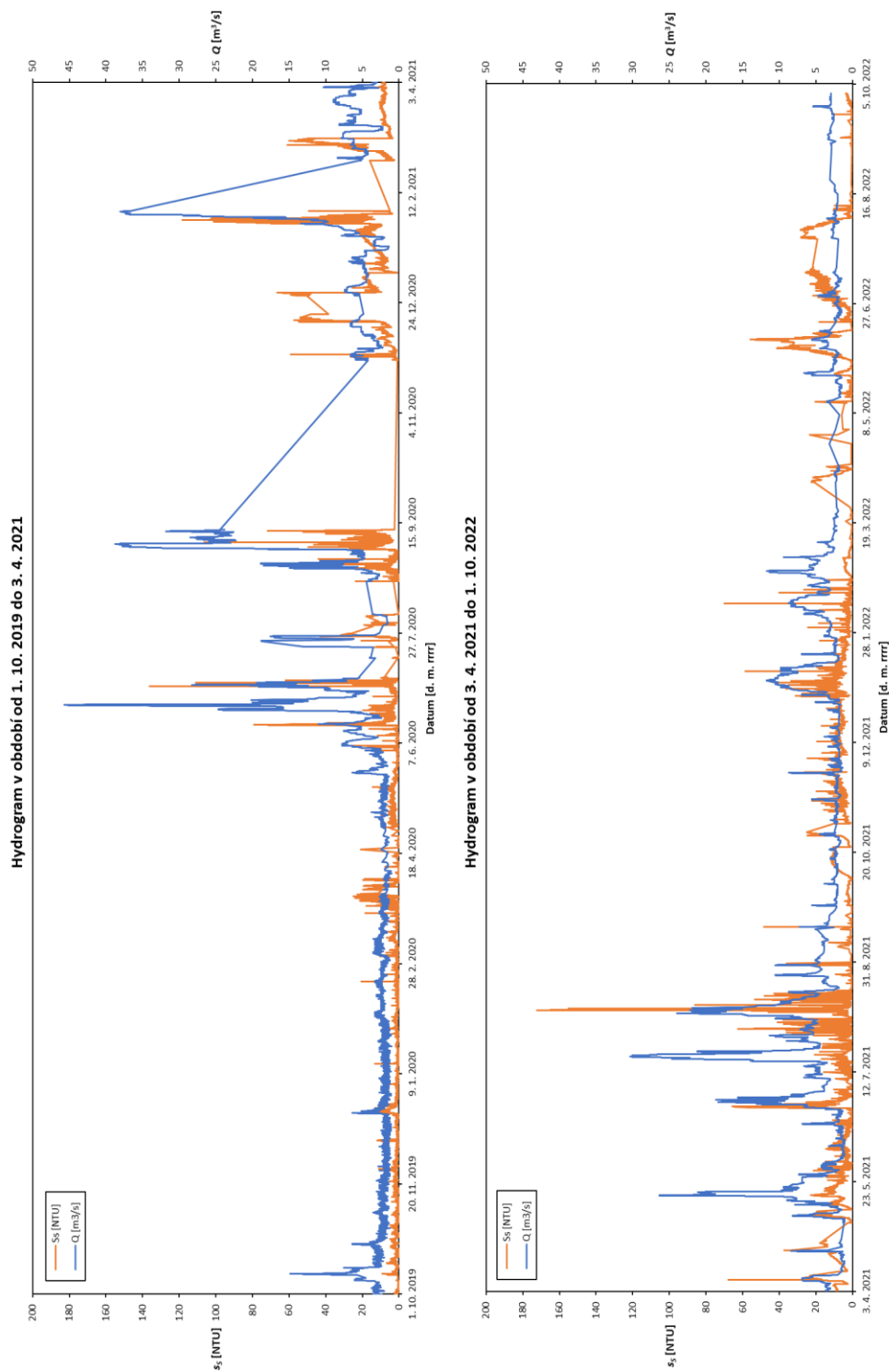
Hydrogram v obci Hevlín vzniklý metodou bez korekce dat je zobrazen v Obr. 29.



Obr. 29. Hydrogram vzniklý metodou bez korekce dat, vodoměrný profil Hevlín

5.2.1.2 Metoda korekce dat pomocí filtrace

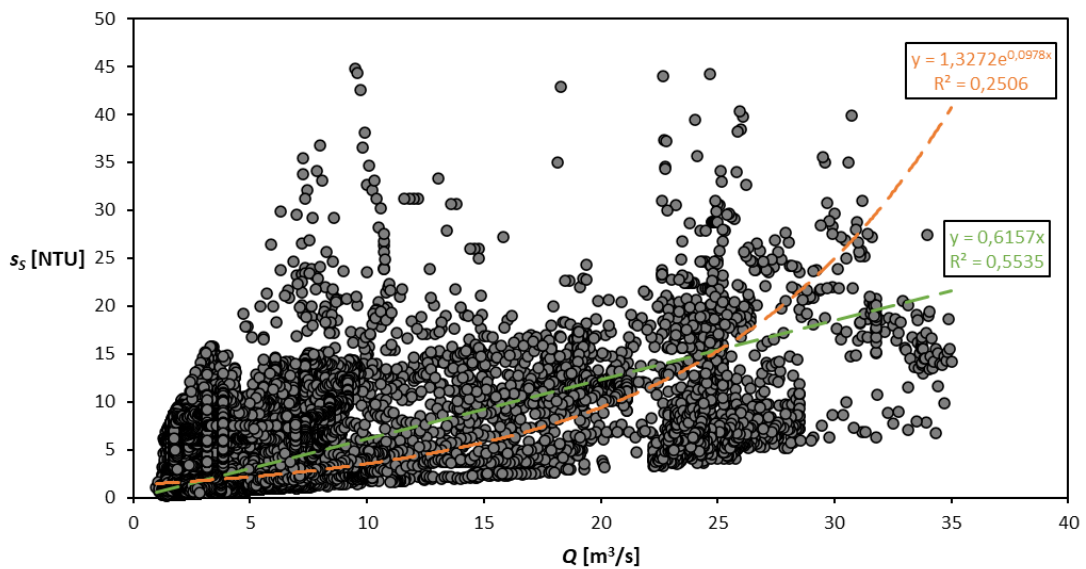
Z původního počtu 157 824 záznamů zůstalo po filtraci 97 600 hodnot. Hydrogram v obci Hevlín vzniklý metodou korekce dat pomocí filtrace je zobrazen v Obr. 30.



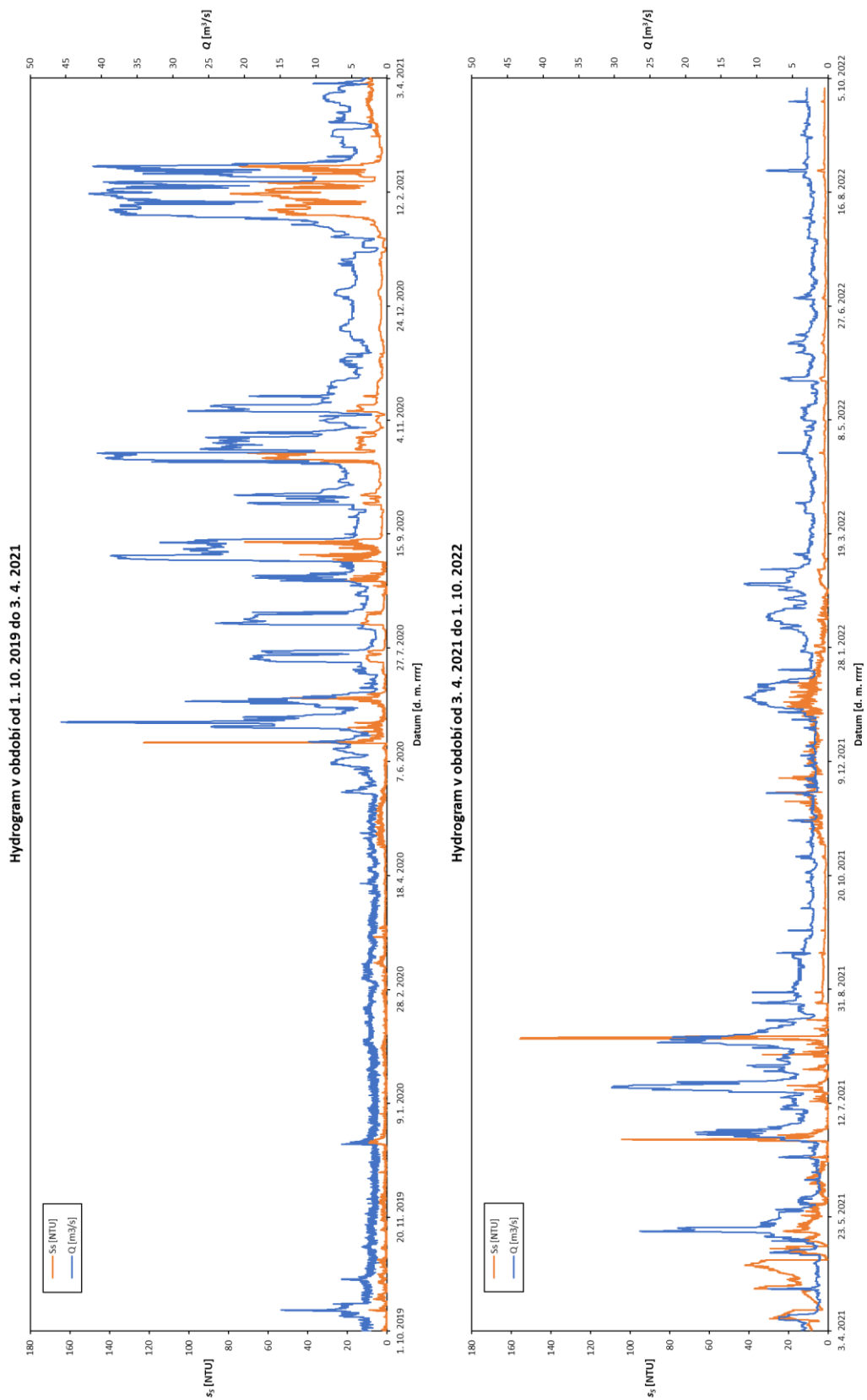
Obr. 30. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí filtrace, vodoměrný profil Hevlín

5.2.1.3 Metoda korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění

Po vzoru kapitoly 4.1.3 byla na záznam sondy implementována jednoduchá funkce vyhlazující neúměrně vysoké a neúměrně propadlé hodnoty. Dále bylo z celého hydrogramu vybráno celkem 41 826 momentů, kdy průběh záznamu sondy nejvíce odpovídal naměřenému průtoku vody. Jejich vzájemná souvztažnost byla následně použita pro přepočítání poškozených a doplnění chybějících částí hydrogramu v těch momentech, kdy sonda neměřila dostatečně korektně. Do velikosti průtoku 25 m³/s byl využit trend lineární, nad tuto hodnotu byl použit trend exponenciální. Průběh trendů je patrný z Obr. 31. Nedošlo k umazání žádné části záznamu. Hydrogram v obci Hevlín vzniklý metodou korekce dat vyhlazením a doplněním je na Obr. 32.



Obr. 31. Korelace mezi vybranými hodnotami s_s a odpovídajícími Q ve vodoměrném profilu Hevlín



Obr. 32. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění, vodoměrný profil Hevlín

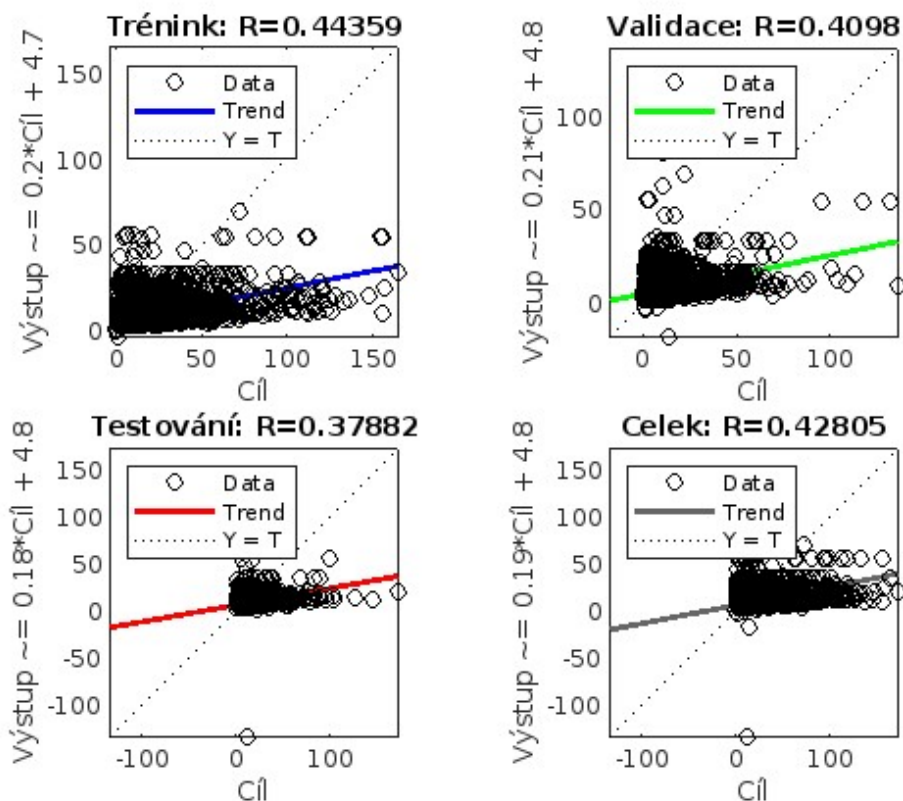
5.2.1.4 Metoda korekce dat pomocí UNS

Čištění probíhalo dle kapitoly 4.1.4. V Hevlíně nebyla funkcí *Clean Missing Data* doplněna žádná data. Pro vyhlazení záznamu užitím funkce *Smooth Data* byl zvolen vyhlazovací faktor o hodnotě 0,25. Počet skrytých neuronů počítá Tab. 7.

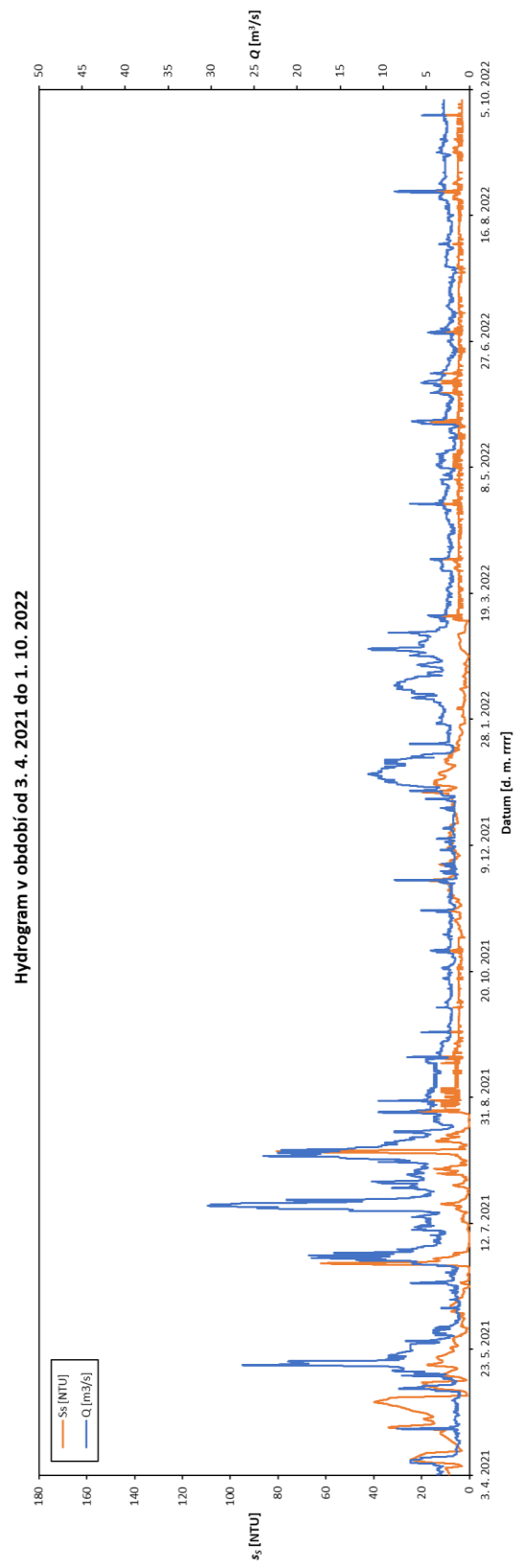
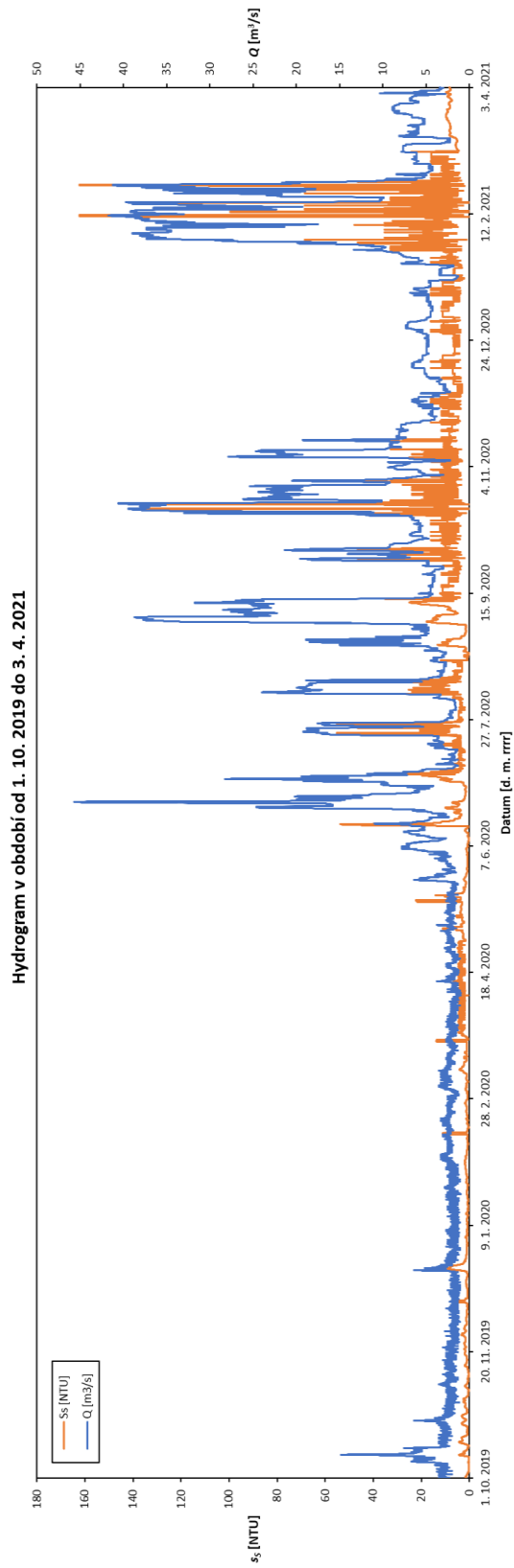
Tab. 7. Výpočet počtu skrytých neuronů v UNS vytvořené pro obec Hevlín

N_I	1	[-]
N_O	1	[-]
N_T	68 320	[-]
N_H	262	[-]

Po natrénování UNS byla její celková spolehlivost téměř $R = 0,43$. Takováto spolehlivost není perfektní, avšak stále se jedná o použitelnou síť. Spolehlivost lze pozorovat na Obr. 33. Hydrogram v obci Hevlín vzniklý metodou korekce dat užitím UNS je na Obr. 34.



Obr. 33. Spolehlivost natrénované UNS vytvořené pro vodoměrný profil Hevlín

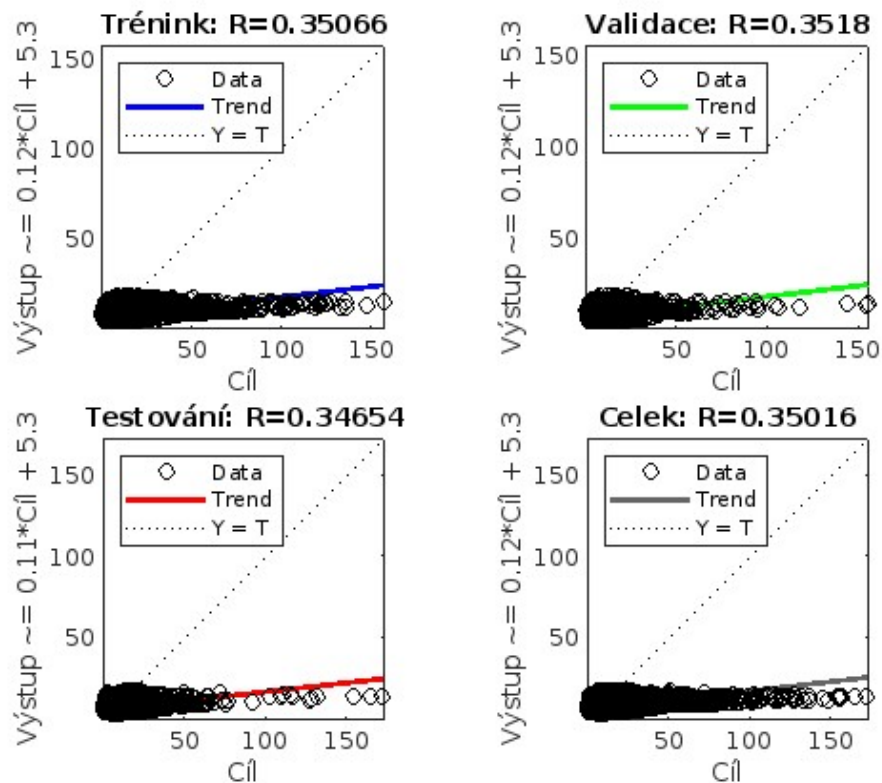


Obr. 34. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí UNS, vodoměrný profil Hevlín

Testování UNS

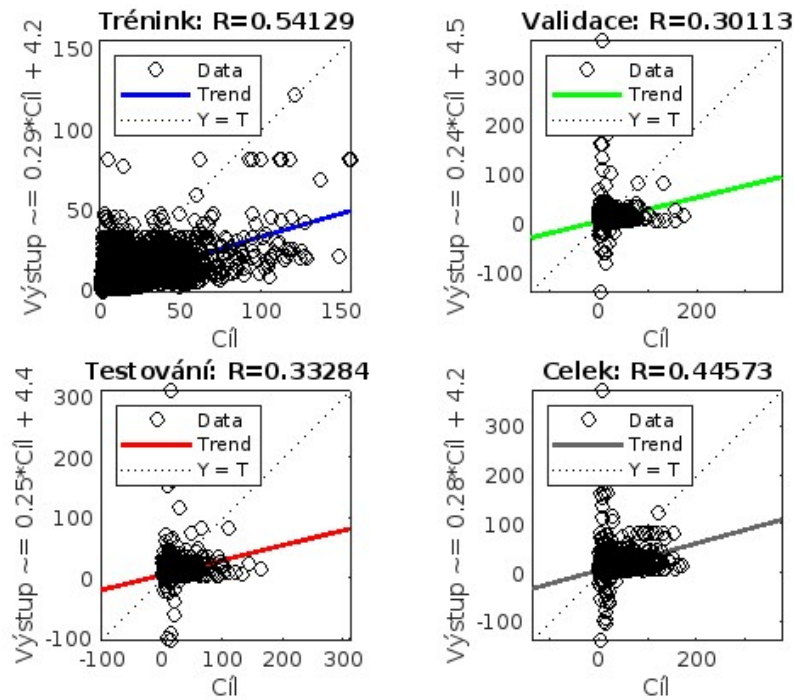
Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.1.4.1, ve vodoměrném profilu Hevlín proběhl experiment spočívající v natrénování dalších dvou UNS, z nichž jedna byla vytvořena z menšího počtu skrytých neuronů, než kolik doporučuje rovnice (1), a druhá byla naopak vytvořena z většího než doporučeného počtu skrytých neuronů. Všechny tři sítě byly následně podrobeny testu. Test spočíval ve vybrání zásadně nepoškozeného segmentu hydrogramu, pro který budou s pomocí všech tří natrénovaných sítí vymodelovány umělé záznamy zákalu. Porovnání těchto tří predikcí s reálným měřením sondy nám může objasnit důležitost stanovení vhodného počtu skrytých neuronů. Rovněž nám může pomoci pochopit, jak velký rozdíl může do predikce dat přinést modelace s jiným než ideálním počtem skrytých neuronů.

První testovací síť byla sestavena z pouhých 10 skrytých neuronů, tedy dá se u ní očekávat podtrénovanost, respektive neschopnost dobře vystihovat závislosti mezi daty. Na Obr. 35 jde vidět, že už její samotná spolehlivost dosahuje horších výsledků než síť s ideálním počtem skrytých neuronů na Obr. 33.



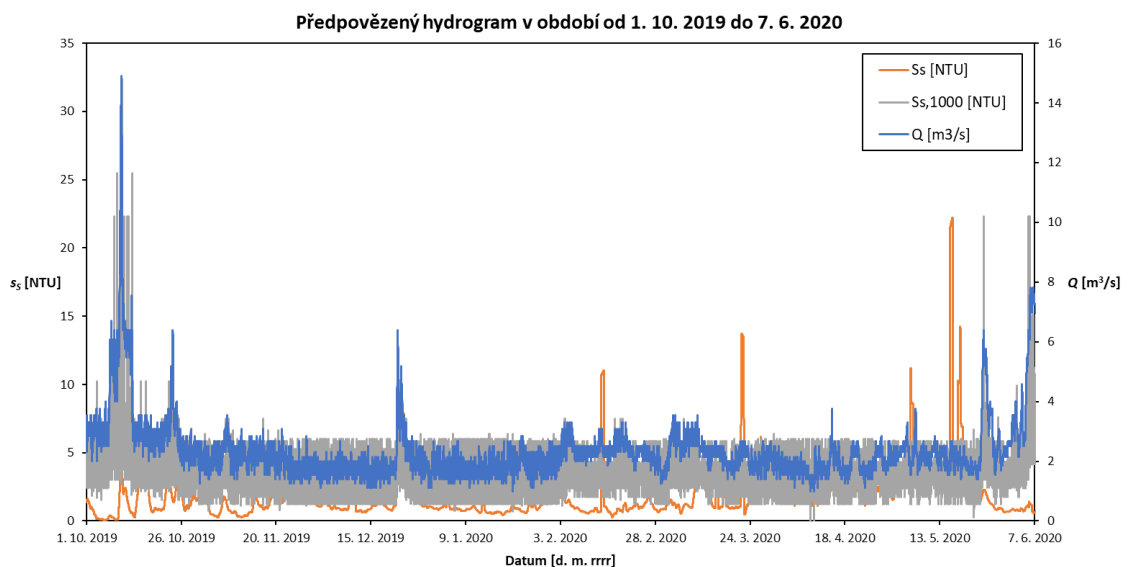
Obr. 35. Spolehlivost testovací UNS složené z 10 skrytých neuronů, vytvořeno pro vodoměrný profil Hevlín

Druhá síť je sestavena z masivní vrstvy celkem 1 000 skrytých neuronů, tedy skoro čtyřnásobku doporučeného počtu. Jak je vidět na Obr. 36, celková spolehlivost se oproti Obr. 33 mírně zvětšila, dílčí spolehlivosti jsou však svými hodnotami značně roztroušené po větší části spektra, zatímco jednotlivé spolehlivosti vzorové sítě jsou konzistentnější. Navíc samotná délka trénování této sítě pak byla kvůli její robustnosti výrazně delší.



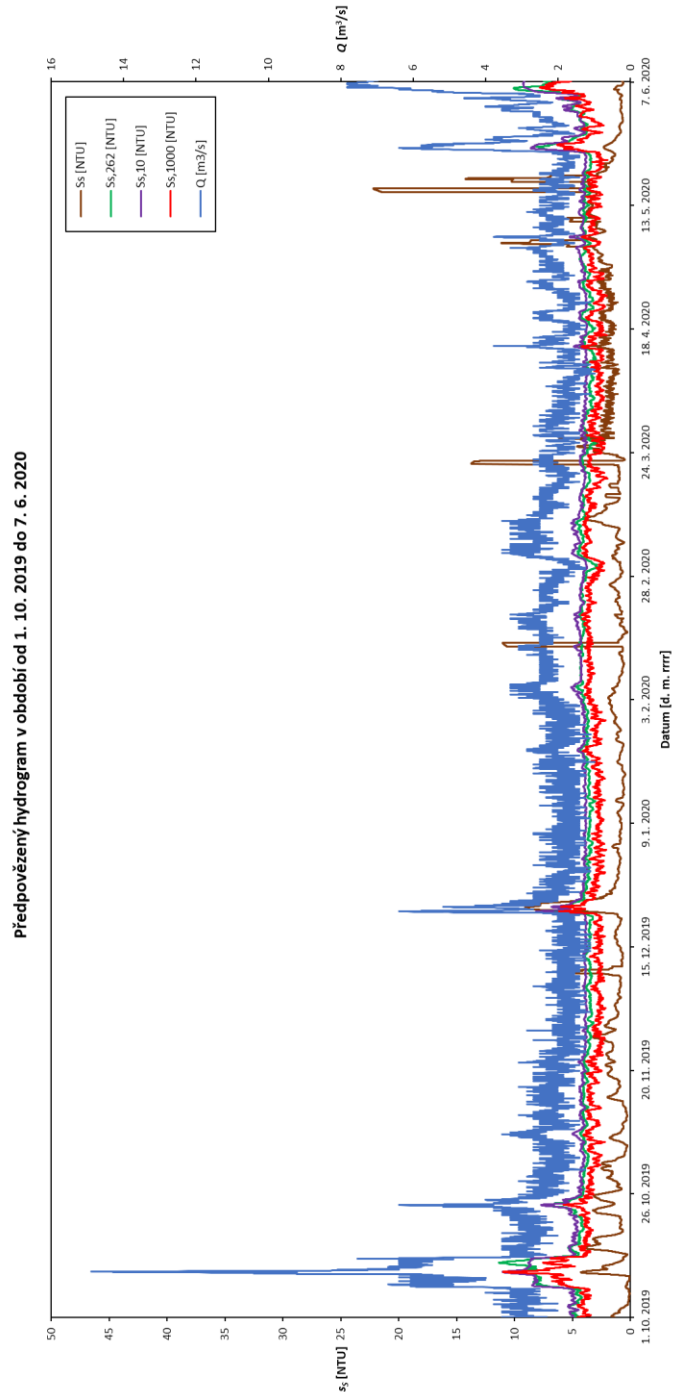
Obr. 36. Spolehlivost testovací UNS složené z 1 000 skrytých neuronů, vytvořeno pro vodoměrný profil Hevlín

Předem nutno zmínit, že predikovaná data musela být v prostředí MATLAB funkcí *Smooth Data* vyhlazena, protože všechna obsahovala velmi výrazné množství šumu. S čím větším množstvím skrytých neuronů byla síť natrénována, tím větší byl i následný šum. Kolísavost předpovězených hodnot byla u poslední UNS tak vysoká, že data překrývala všechna ostatní a graf se tak stal téměř nečitelným, viz Obr. 37, který z predikcí obsahuje pouze nevyhlazený záznam $s_{s,1000}$. Veličina $s_{s,1000}$ představuje předpověď síť natrénované s celkovým počtem 1 000 skrytých neuronů.



Obr. 37. Nevyhlazená predikce UNS složené z 1 000 skrytých neuronů, vodoměrný profil Hevlín

Test je na Obr. 38 ve formě celkem pěti různých křivek. Modrá křivka již tradičně představuje průtok vody Q , hnědá křivka je funkcí *Smooth Data* vyhlazený záznam sondy s_s . Následují tři predikce zákalu; $s_{s,10}$ je předpověď UNS s 10 skrytými neurony, $s_{s,262}$ je predikce UNS s 262 skrytými neurony, tedy sítě vzorové, a $s_{s,1000}$ je předpověď UNS s 1 000 skrytými neurony. Všechny tři predikce mají v testovaném období relativně podobný průběh, pouze $s_{s,1000}$ obecně předpovídá hodnoty o zanedbatelně menší velikosti. Jejich největším rozdílem však byly zmíněné kolísavosti, které nutně musely být vyhlazeny. Míra šumu přímo odpovídala počtu skrytých neuronů.

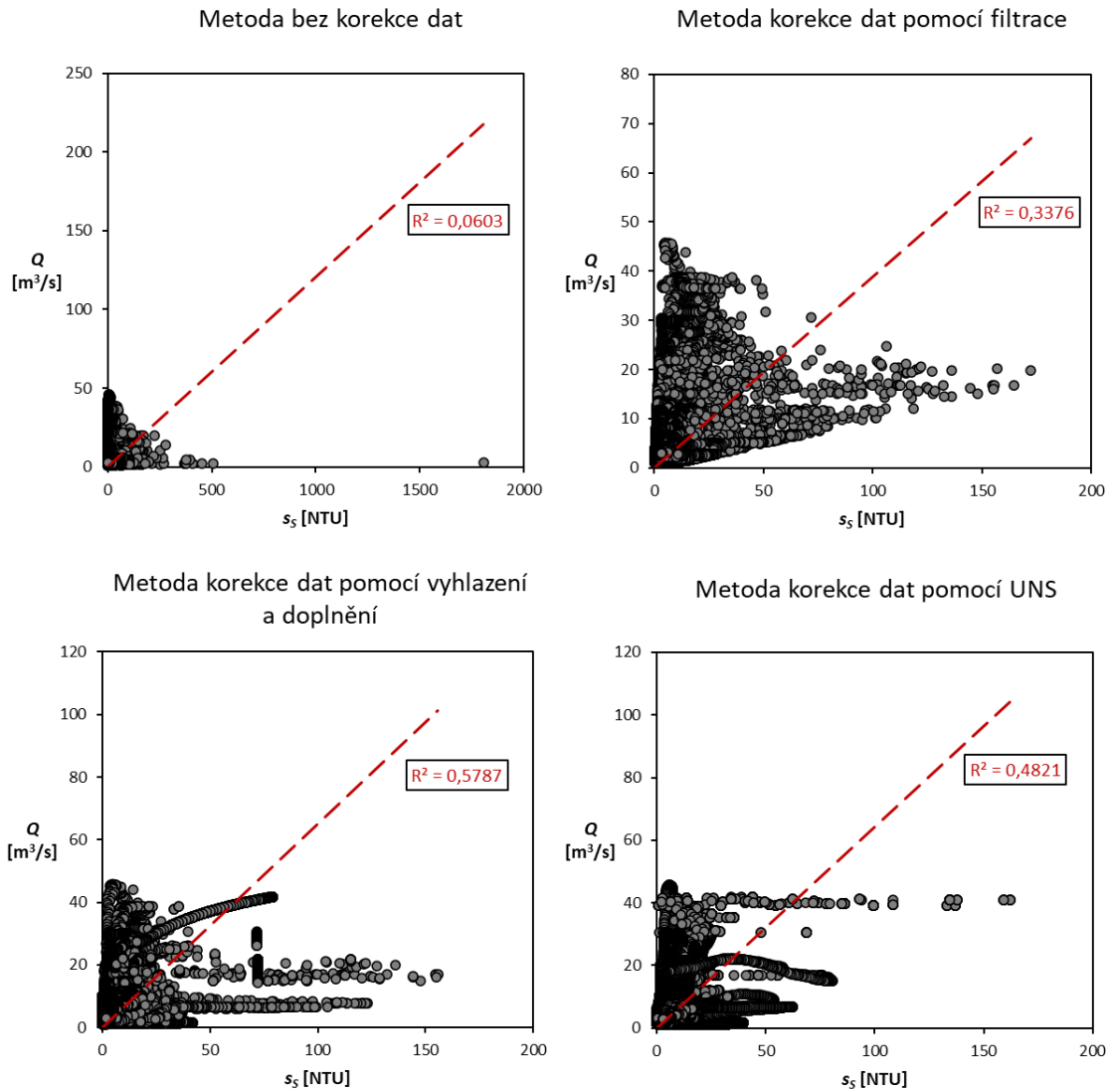


Obr. 38. Test predikce tří různých UNS, vodoměrný profil Hevlín

5.2.2 Analýza úspěšnosti výsledků filtrace dat

Po vzoru kapitoly 4.2 byla všechna zaznamenaná a následně zkorigovaná data podrobena analýze spolehlivosti. Analýza vychází z korelace průtoku vody se zákalem, a to z důvodu jejich tendence růst i klesat společně. Nutno však podotknout, že se jedná pouze o hrubý rozbor.

Ke kvantifikaci spolehlivosti byl využit lineární trend. Dle očekávání je nejhorší spolehlivost výsledků při čištění záznamu sondy metodou bez korekce dat, naopak největší spolehlivosti dosáhla metoda korekce dat vyhlazením a doplněním, viz Obr. 39.



Obr. 39. Analýza úspěšnosti korekce dat ve vodoměrném profilu Hevlín

5.2.3 Střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu

Ve vodoměrném profilu Hevlín byly provedeny čtyři měření příčného profilu. Po jejich vyhodnocení dle kapitoly 4.3 je potřeba zjistit střední koncentraci suspendovaných látek v příčném profilu.

5.2.3.1 Přepočítání podílem

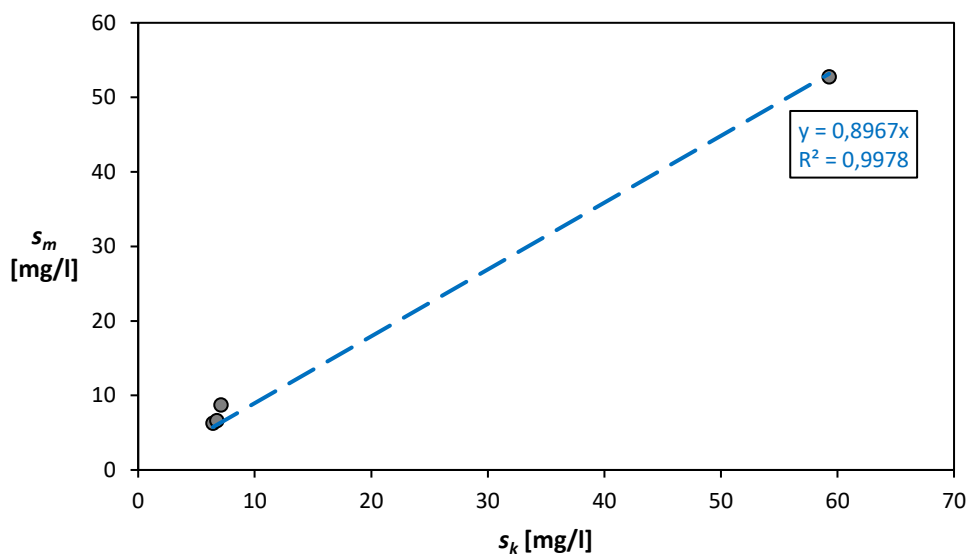
Koeficient příčného profilu k_p je vypočítán v Tab. 8, kde Q je průtok vody, s_m je střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu, s_k je lokálně měřená koncentrace suspendovaných látek v bezprostřední blízkosti sondy a k_{pi} je dílčí hodnota koeficientu příčného profilu, která odpovídá konkrétnímu měření příčného profilu. Písmeno i představuje dílčí krok.

Tab. 8. Výpočet koeficientu příčného profilu pro profil Hevlín

i	Q	s_m	s_k	k_{pi}
	[m ³ /s]	[mg/l]	[mg/l]	[-]
1	23	52,7	59,28	0,89
2	3,928	6,3	6,41	0,98
3	1,223	8,7	7,10	1,23
4	2,57	6,6	6,75	0,98
k_p [-] =				1,02

5.2.3.2 Přepočítání regresní analýzou

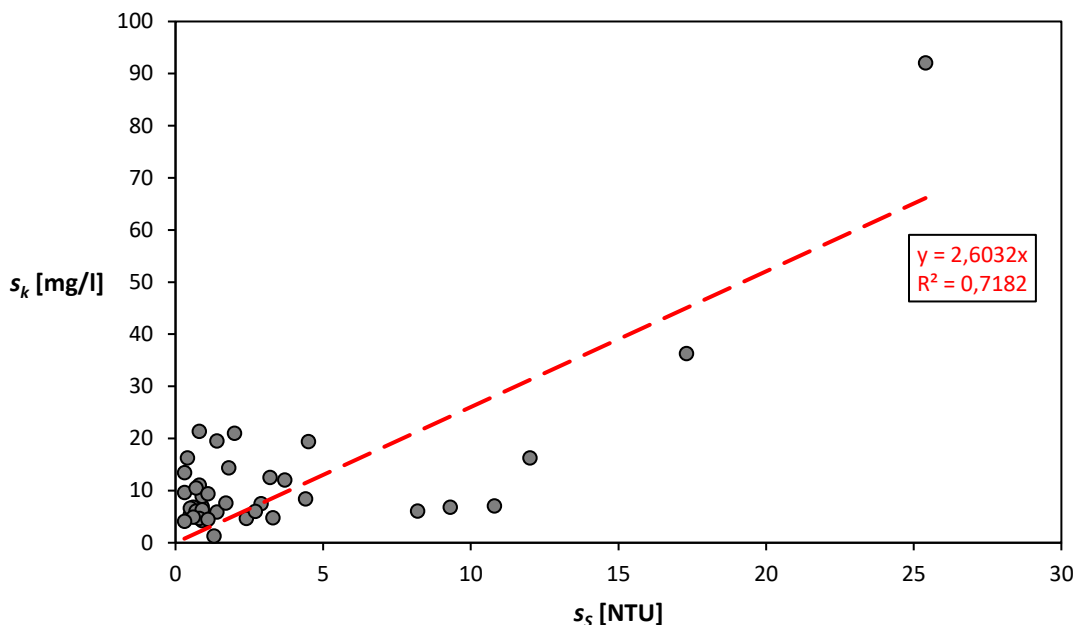
V případě obce Hevlín byl využit lineární trend, neboť dosahoval vynikajících výsledků a nejlépe vystihoval závislost v řešeném území. Výsledek je patrný z Obr. 40



Obr. 40. Analýza závislosti s_m na s_k , vodoměrný profil Hevlín

5.2.4 Kalibrace sondy

Kalibrace proběhla pomocí regresní analýzy, a to ze závislosti koncentrace suspendovaných látek ručně odebraných v blízkosti sondy s_k na záznamu ze sondy s_s . Využit byl lineární trend, protože dosahoval uspokojivých výsledků. Výsledný graf lze vidět na Obr. 41. Regresní rovnice je následně užita pro přepočítání všech hodnot naměřených sondou.



Obr. 41. Kalibrace sondy v obci Hevlín

5.2.5 Vyhodnocení výsledků ve vodoměrném profilu Hevlín

Výsledky jsou vyhodnoceny pro celé období, tedy od 1. 10. 2019 do 1. 10. 2022, a pro celé roky, které se v řešeném období vyskytují, tudíž rok 2020 a rok 2021. Všechny čtyři použité metody čištění dat naměřených sondou produkují jiné výsledky.

5.2.5.1 Výsledky metody bez korekce dat

Výsledky jsou patrné z Tab. 9, kde Q_s je transport suspendované hmoty v příčném profilu, $V_{S,m}$ je množství plavenin, $A_{S,m}$ je odnos materiálu z povodí a $Q_{S,m}$ je průměrné množství plavenin, které proteče profilem za jeden rok. Pro všechny výsledky jsou zpracovány i statistické charakteristiky, a to střední hodnota transportu suspendované hmoty v příčném profilu $\mu(Q_s)$, disperze $D(Q_s)$, směrodatná odchylka $\sigma(Q_s)$, koeficient variace $C_v(Q_s)$ a koeficient asymetrie $C_s(Q_s)$. Statistické charakteristiky jsou v Tab. 10.

Tab. 9. Výsledky metody bez korekce dat ve vodoměrném profilu Hevlín

i	Veličina	Kalibrace sondy lineárním trendem	
		Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]
Celé období	Q_s [kg/s]	13 936	12 251
	$V_{S,m}$ [t]	8 362	7 350
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	2,68	2,35
	$Q_{S,m}$ [t/r]	2 785	2 448
2020	Q_s [kg/s]	5 302	4 661
	$V_{S,m}$ [t]	3 181	2 796
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	1,02	0,89

<i>i</i>	Veličina	Kalibrace sondy lineárním trendem	
		Přepoččet poměrem [t]	Přepoččet rovnicí [t]
2021	Q_s [kg/s]	6 141	5 399
	$V_{S,m}$ [t]	3 685	3 239
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	1,18	1,04

Tab. 10. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Hevlín při výpočtu metodou bez korekce dat

$\mu(Q_s)$	2 616	[t/r]
$D(Q_s)$	56 694	[(t/r) ²]
$\sigma(Q_s)$	238	[t/r]
$C_v(Q_s)$	0,09	[-]
$C_s(Q_s)$	3,7E-15	[-]

5.2.5.2 Výsledky metody korekce dat pomocí filtrace

Všechny výsledky jsou zobrazeny v Tab. 11. V této metodě přibývá jedna hodnota, a tou je $V'_{S,m}$, která představuje množství plavenin přepočítané na celý rok. Statistické charakteristiky jsou vypsány v Tab. 12.

Tab. 11. Výsledky metody korekce dat pomocí filtrace ve vodoměrném profilu Hevlín

<i>i</i>	Veličina	Kalibrace sondy lineárním trendem	
		Přepoččet poměrem [t]	Přepoččet rovnicí [t]
Celé období	Q_s [kg/s]	9 669	8 500
	$V_{S,m}$ [t]	5 801	5 100
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	1,86	1,63
	$Q_{S,m}$ [t/r]	3 124	2 746
2020	Q_s [kg/s]	2 825	2 483
	$V_{S,m}$ [t]	1 695	1 490
	$V'_{S,m}$ [t]	3 114	2 737
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	1,00	0,88
2021	Q_s [kg/s]	5 480	4 818
	$V_{S,m}$ [t]	3 288	2 891
	$V'_{S,m}$ [t]	4 485	3 943
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	1,44	1,26

Tab. 12. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Hevlín při výpočtu metodou korekce dat pomocí filtrace

$\mu(Q_s)$	2 935	[t/r]
$D(Q_s)$	71 364	[(t/r) ²]
$\sigma(Q_s)$	267	[t/r]
$C_v(Q_s)$	0,09	[-]
$C_s(Q_s)$	1,9E-15	[-]

5.2.5.3 Výsledky metody korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění

Výsledky jsou shrnuty v Tab. 13. Statistické charakteristiky vypočtené metodou korekce záznamu sondy vyhlazením a doplněním jsou sepsány v Tab. 14.

Tab. 13. Výsledky metody korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění ve vodoměrném profilu Hevlín

<i>i</i>	Veličina	Kalibrace sondy lineárním trendem	
		Přepočten poměrem [t]	Přepočten rovnicí [t]
Celé období	Q_s [kg/s]	24 819	21 818
	$V_{S,m}$ [t]	14 891	13 091
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	4,77	4,19
	$Q_{S,m}$ [t/r]	4 959	4 360
2020	Q_s [kg/s]	8 148	7 163
	$V_{S,m}$ [t]	4 889	4 298
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	1,56	1,38
2021	Q_s [kg/s]	15 493	13 620
	$V_{S,m}$ [t]	9 296	8 172
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	2,97	2,62

Tab. 14. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Hevlín při výpočtu metodou korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění

$\mu(Q_s)$	4 659	[t/r]
$D(Q_s)$	179 820	[(t/r) ²]
$\sigma(Q_s)$	424	[t/r]
$C_v(Q_s)$	0,09	[-]
$C_s(Q_s)$	5,5E-15	[-]

5.2.5.4 Výsledky metody korekce dat pomocí UNS

Výsledky získané korekcí dat metodou užívající UNS jsou shrnuty v Tab. 15. Statistické charakteristiky jsou vypsány v Tab. 16.

Tab. 15. Výsledky metody korekce dat pomocí UNS ve vodoměrném profilu Hevlín

<i>i</i>	Veličina	Kalibrace sondy lineárním trendem	
		Přepoččet poměrem [t]	Přepoččet rovnicí [t]
Celé období	Q_s [kg/s]	20 849	18 328
	$V_{S,m}$ [t]	12 509	10 997
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	4,00	3,52
	$Q_{S,m}$ [t/r]	4 166	3 662
2020	Q_s [kg/s]	8 054	7 080
	$V_{S,m}$ [t]	4 832	4 248
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	1,55	1,36
2021	Q_s [kg/s]	11 019	9 686
	$V_{S,m}$ [t]	6 611	5 812
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	2,12	1,86

Tab. 16. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Hevlín při výpočtu metodou korekce dat pomocí UNS

$\mu(Q_s)$	3 914	[t/r]
$D(Q_s)$	126 893	[(t/r) ²]
$\sigma(Q_s)$	356	[t/r]
$C_v(Q_s)$	0,09	[-]
$C_s(Q_s)$	1,9E-15	[-]

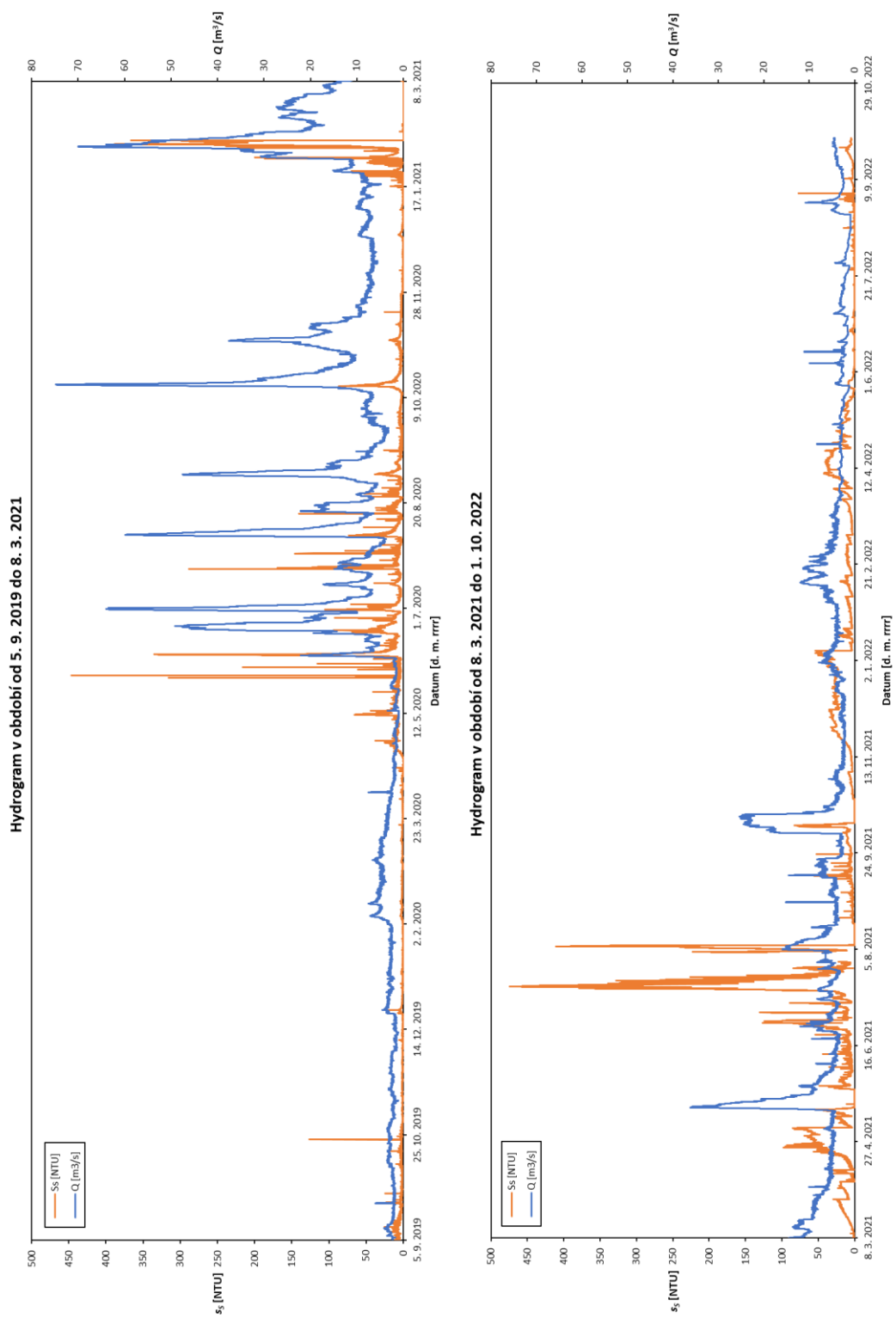
5.3 VODOMĚRNÝ PROFIL PŘIBICE

5.3.1 Korekce záznamu sondy

V Přibicích byly vyhodnocovány data od 5. 9. 2019 do 1. 10. 2022, což odpovídá 1 121,52 dnům, to je 3,07 let. Záznam čítá celkem 161 499 hodnot.

5.3.1.1 Metoda bez korekce dat

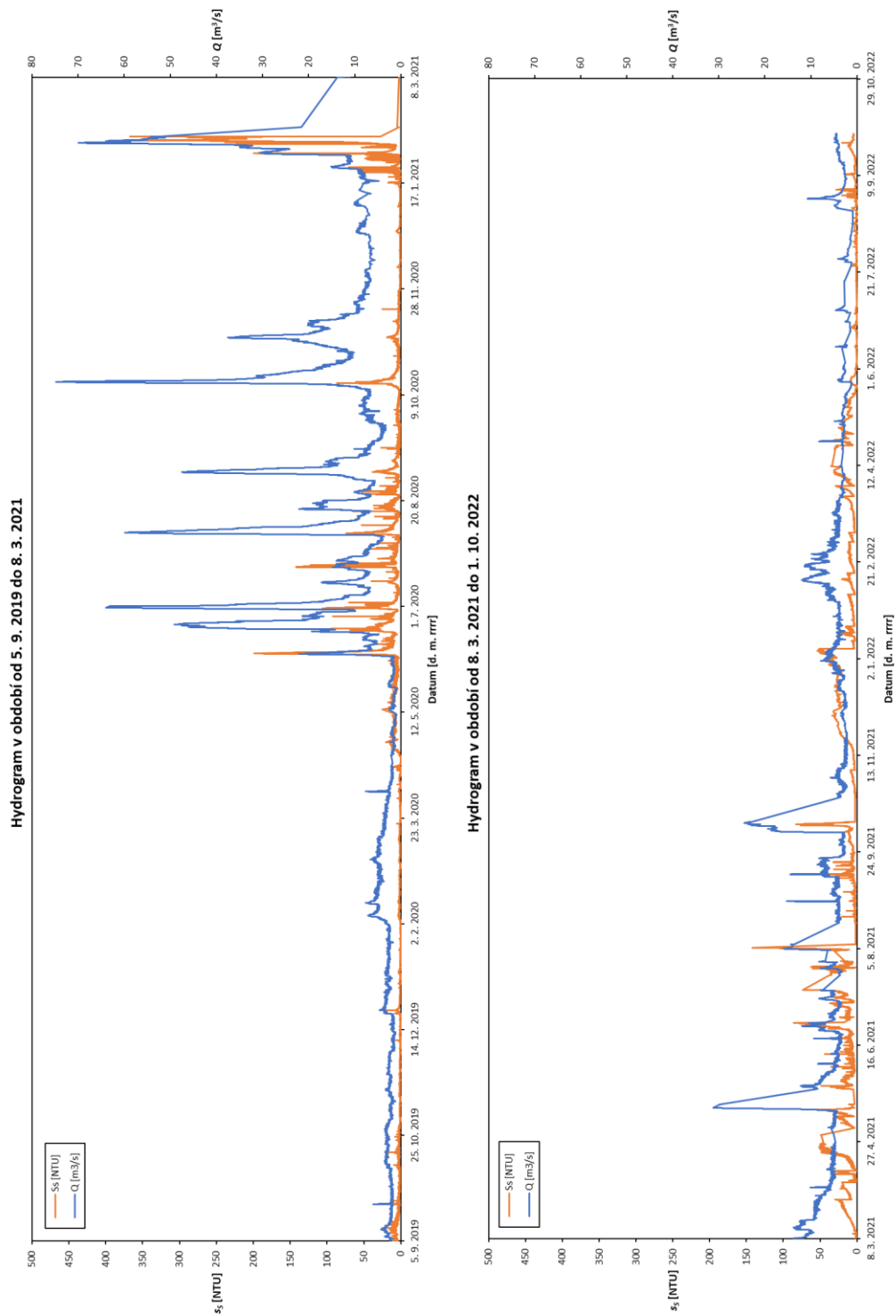
Hydrogram v obci Přibice vzniklý metodou bez korekce dat je zobrazen v Obr. 42.



Obr. 42. Hydrogram vzniklý metodou bez korekce dat, vodoměrný profil Přibice

5.3.1.2 Metoda korekce dat pomocí filtrace

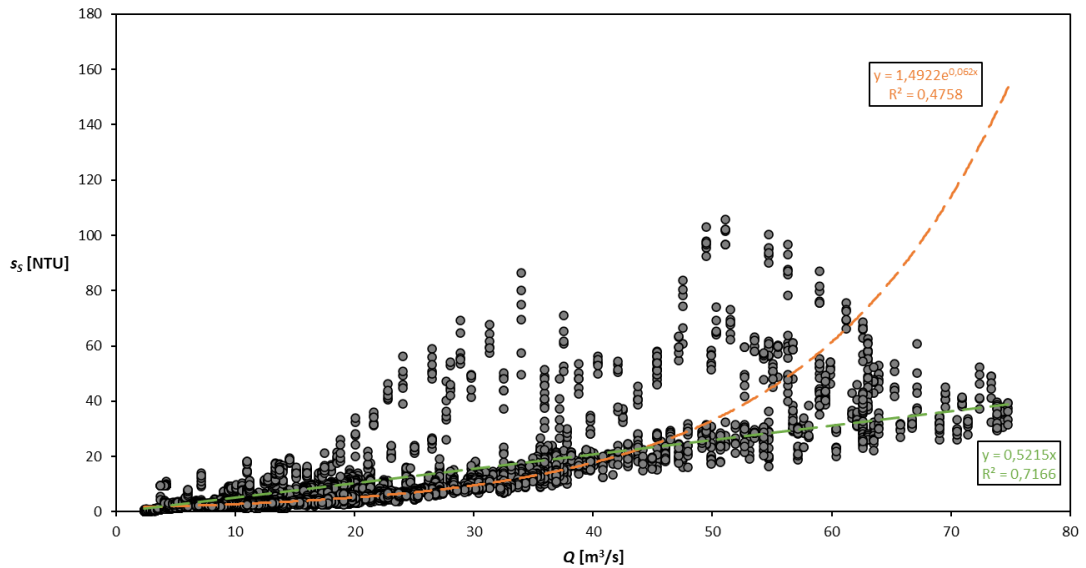
Hydrogram v obci Přibice vzniklý metodou korekce dat pomocí filtrace je na Obr. 43. Po zavedení filtru zbylo v záznamu 126 678 hodnot z původního počtu 161 499 hodnot.



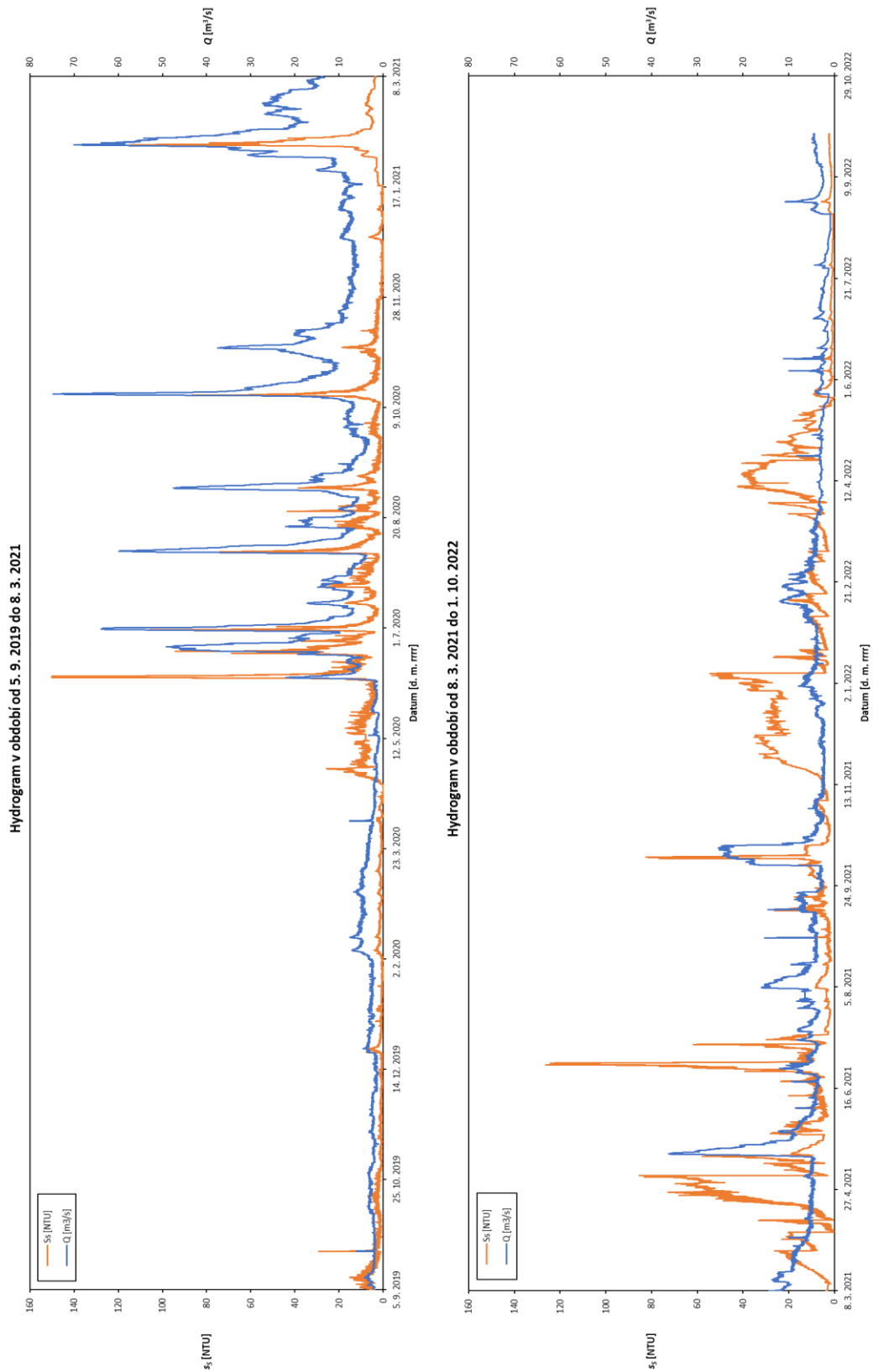
Obr. 43. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí filtrace, vodoměrný profil Přibice

5.3.1.3 Metoda korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění

Regresní analýza byla zpracována z celkem 10 403 těch nejvíce odpovídajících záznamů. Do velikosti průtoku $46 \text{ m}^3/\text{s}$ byl využit trend lineární, nad tuto hodnotu byl použit trend exponenciální. Průběh trendů je patrný z Obr. 44. Nedošlo k odstranění žádné části hydrogramu, záznam sondy byl opět vyhlazen jednoduchou funkcí. Hydrogram v obci Příbice vzniklý metodou korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění je na Obr. 45.



Obr. 44. Korelace mezi vybranými hodnotami s_s a odpovídajícími Q ve vodoměrném profilu Příbice



Obr. 45. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění, vodoměrný profil Příbice

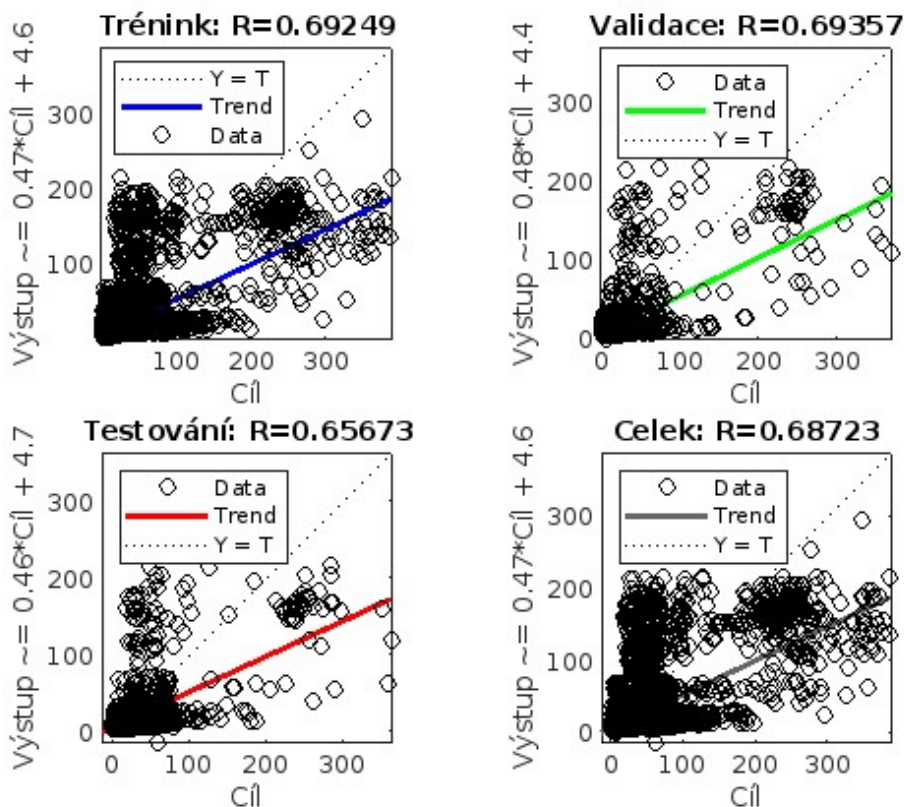
5.3.1.4 Metoda korekce dat pomocí UNS

V Příbících bylo pomocí funkce *Clean Missing Data* doplněno celkem 747 hodnot. Pro vyhlazení užitím funkce *Smooth Data* byl zvolen vyhlazovací faktor o velikosti 0,1. Počet skrytých neuronů počítá Tab. 17.

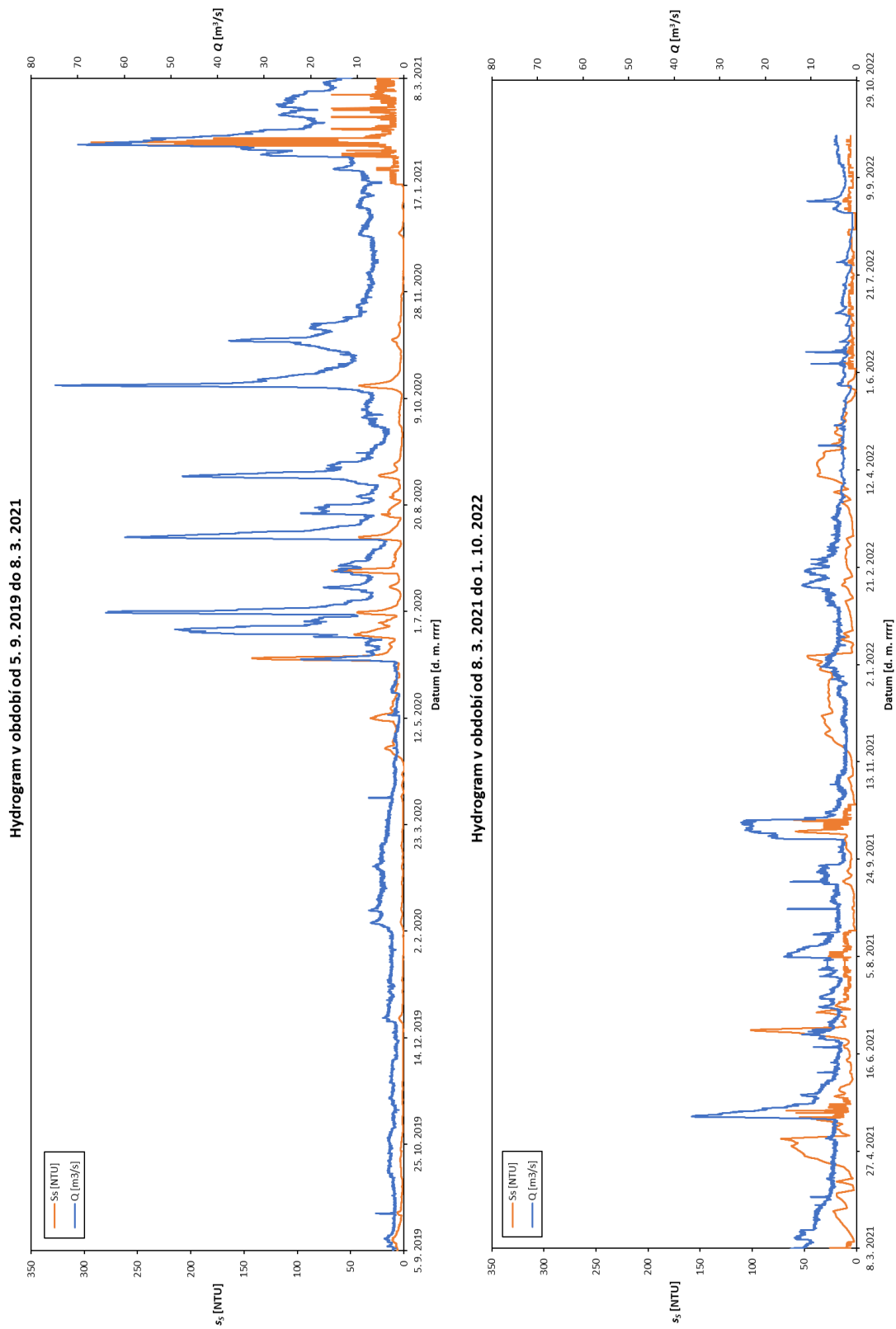
Tab. 17. Výpočet počtu skrytých neuronů v UNS vytvořené pro obec Příbice

N_I	1	[-]
N_O	1	[-]
N_T	88 675	[-]
N_H	299	[-]

Na Obr. 46 lze vidět, že celková spolehlivost natrénované sítě byla téměř $R = 0,69$, tedy jedná se o uspokojivý výsledek. Hydrogram v obci Příbice vzniklý metodou korekce dat užitím UNS je na Obr. 47.



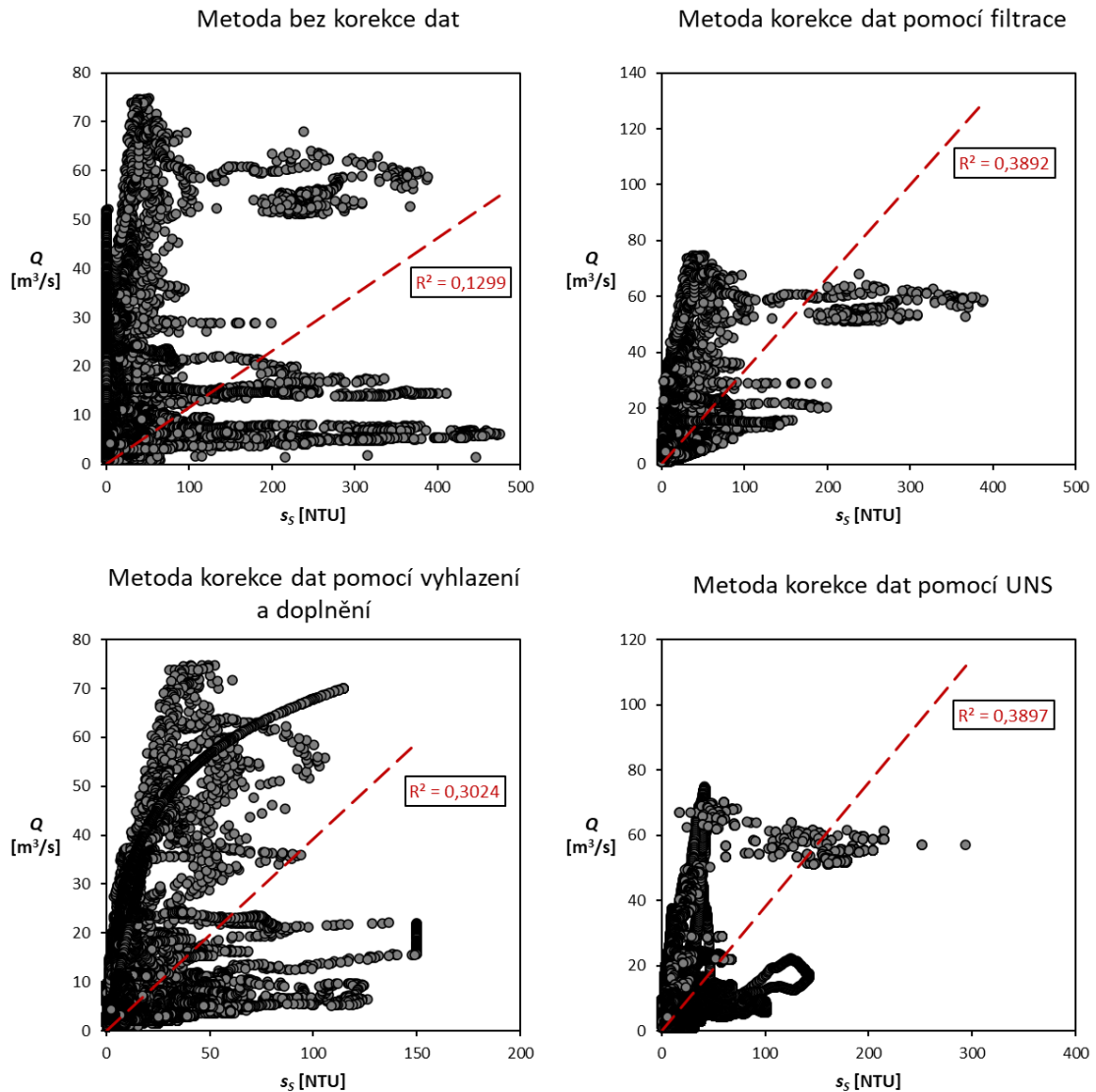
Obr. 46. Spolehlivost natrénované UNS vytvořené pro vodoměrný profil Příbice



Obr. 47. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí UNS, vodoměrný profil Příbice

5.3.2 Analýza úspěšnosti výsledků filtrace dat

Ke kvantifikaci úspěšnosti byl znovu využit lineární trend. V Obr. 48 lze vidět, že metoda bez korekce dat má opět nejmenší spolehlivost, nejlepší výsledky však tentokrát produkuje metoda korekce dat pomocí UNS a korekce pomocí filtrace.



Obr. 48. Analýza úspěšnosti korekce dat ve vodoměrném profilu Přibice

5.3.3 Střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu

Ve vodoměrném profilu Přibice bylo provedeno dohromady pět měření příčného profilu. Po vyhodnocení dle rovnice (2) je střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu opět řešena dvěma způsoby, tedy podílem a regresní analýzou.

5.3.3.1 Přepočítání podílem

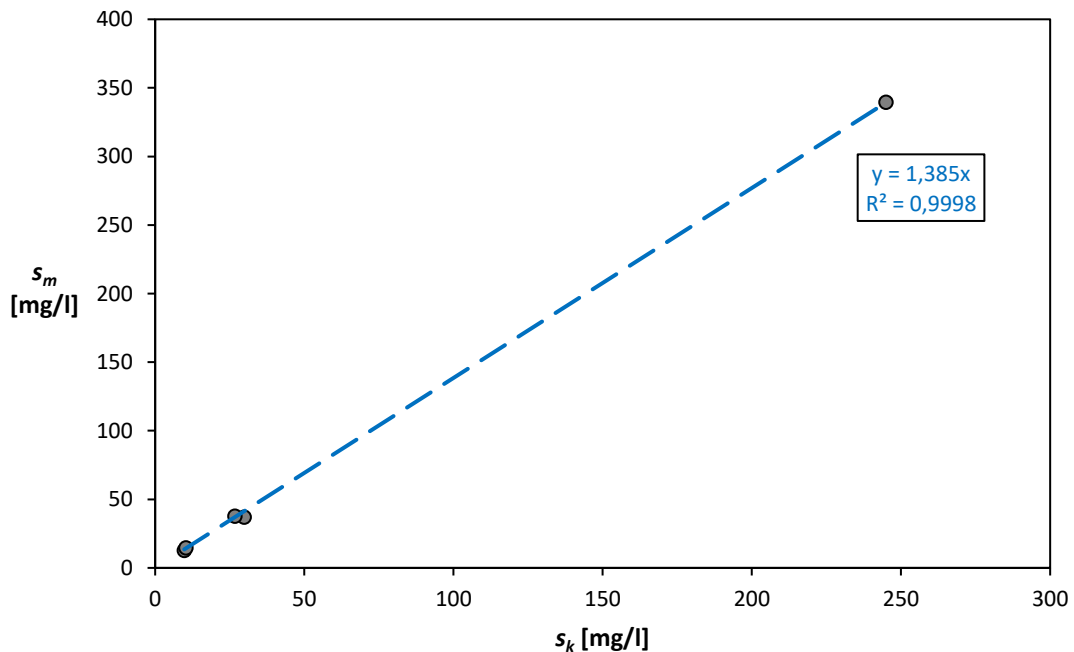
Koeficient příčného profilu k_p pro obec Přibice je vypočítán v Tab. 18.

Tab. 18. Výpočet koeficientu příčného profilu pro profil Přibice

	Q	s_m	s_k	k_{pi}
	[m ³ /s]	[mg/l]	[mg/l]	[-]
1	4,583	37,1	29,79	1,25
2	9,88	339,6	244,92	1,39
3	3,33	12,8	9,75	1,32
4	5,94	14,7	10,29	1,42
5	2,741	37,7	26,66	1,41
			k_p [-] =	1,36

5.3.3.2 Přepočet regresní analýzou

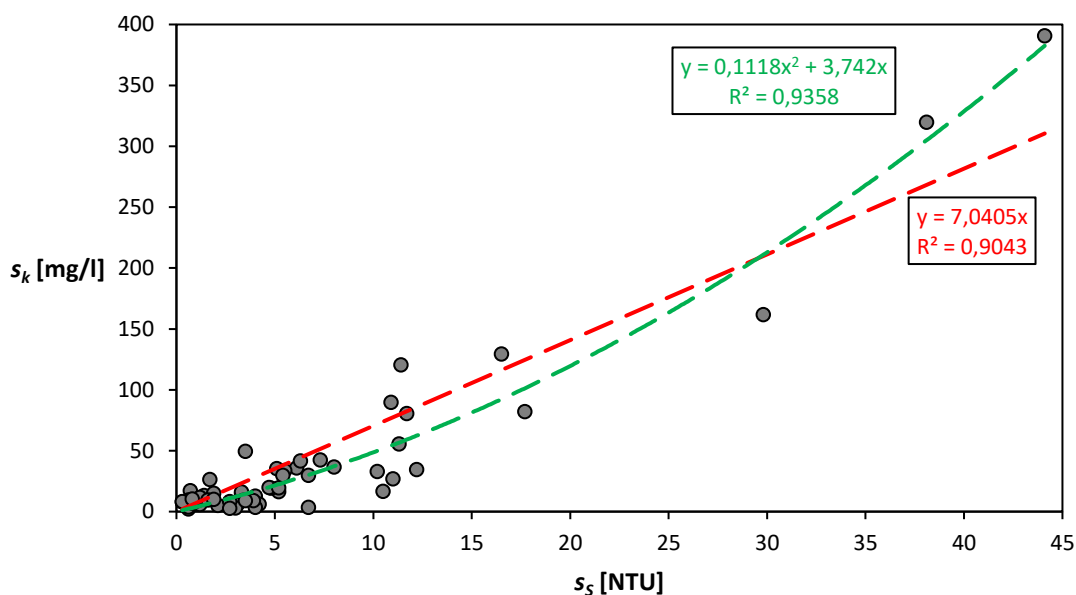
Při přepočtu pomocí regresní analýzy byl znovu využit trend lineární, protože dosahoval vynikajících výsledků, viz Obr. 49.



Obr. 49. Analýza závislosti s_m na s_k , vodoměrný profil Přibice

5.3.4 Kalibrace sondy

Kalibrace sondy opět proběhla regresní analýzou, konkrétně polynomickým trendem druhého stupně a trendem lineárním, protože oba trendy dosahovaly velmi kvalitních výsledků. Vše lze vidět na Obr. 50. Oba trendy následně produkují vlastní výsledky.



Obr. 50. Kalibrace sondy v obci Přibice

5.3.5 Vyhodnocení výsledků ve vodoměrném profilu Přibice

Výsledky jsou vyhodnoceny pro celé období, tudíž od 5. 9. 2019 do 1. 10. 2022, a opět i pro celé roky, které se v řešeném období vyskytují, tedy rok 2020 a rok 2021.

5.3.5.1 Výsledky metody bez korekce dat

Výsledky jsou shrnuty v Tab. 19, statistické charakteristiky vypočtené metodou bez korekce dat jsou sepsány v Tab. 20.

Tab. 19. Výsledky metody bez korekce dat ve vodoměrném profilu Přibice

i	Veličina	Kalibrace sondy lineárním trendem		Kalibrace sondy polynomičným trendem	
		Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]	Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]
Celé období	Q_s [kg/s]	184 821	188 561	623 390	646 852
	$V_{S,m}$ [t]	110 892	113 137	374 034	388 111
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	39,78	40,59	134,19	139,24
	$Q_{S,m}$ [t/r]	36 090	36 821	121 730	126 311
2020	Q_s [kg/s]	55 385	56 506	85 937	88 843
	$V_{S,m}$ [t]	33 231	33 904	51 562	53 306
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	11,92	12,16	18,50	19,12
2021	Q_s [kg/s]	116 702	119 064	525 349	545 549
	$V_{S,m}$ [t]	70 021	71 438	315 209	327 330
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	25,12	25,63	113,09	117,43

Tab. 20. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Přibice při výpočtu metodou bez korekce dat

$\mu(Q_s)$	80 238	[t/r]
$D(Q_s)$	2 559 471 243	[(t/r) ²]
$\sigma(Q_s)$	50 591	[t/r]
$C_v(Q_s)$	0,63	[-]
$C_s(Q_s)$	3,5E-03	[-]

5.3.5.2 Výsledky metody korekce dat pomocí filtrace

Výsledky dosažené metodu korekce dat pomocí filtrace jsou v Tab. 21. Statistické charakteristiky jsou k vidění v Tab. 22.

Tab. 21. Výsledky metody korekce dat pomocí filtrace ve vodoměrném profilu Přibice

<i>i</i>	Veličina	Kalibrace sondy lineárním trendem		Kalibrace sondy polynomickým trendem	
		Přepočten poměrem [t]	Přepočten rovnicí [t]	Přepočten poměrem [t]	Přepočten rovnicí [t]
Celé období	Q_s [kg/s]	146 878	149 851	419 093	434 617
	$V_{S,m}$ [t]	88 127	89 911	251 456	260 770
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	31,62	32,26	90,21	93,56
	$Q_{S,m}$ [t/r]	36 565	37 305	104 332	108 196
2020	Q_s [kg/s]	51 827	52 875	66 792	68 955
	$V_{S,m}$ [t]	31 096	31 725	40 075	41 373
	$V'_{S,m}$ [t]	34 422	35 118	44 361	45 798
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	12,35	12,60	15,92	16,43
2021	Q_s [kg/s]	84 180	85 884	342 636	355 722
	$V_{S,m}$ [t]	50 508	51 530	205 582	213 433
	$V'_{S,m}$ [t]	76 720	78 273	312 271	324 198
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	27,52	28,08	112,03	116,31

Tab. 22. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Přibice při výpočtu metodou korekce dat pomocí filtrace

$\mu(Q_s)$	71 599	[t/r]
$D(Q_s)$	1 604 755 308	[(t/r) ²]
$\sigma(Q_s)$	40 059	[t/r]
$C_v(Q_s)$	0,56	[-]
$C_s(Q_s)$	3,9E-03	[-]

5.3.5.3 Výsledky metody korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění

Výsledky a statistické charakteristiky získané metodou korigující data vyhlazením a doplněním jsou obsaženy v Tab. 23 a Tab. 24.

Tab. 23. Výsledky metody korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění ve vodoměrném profilu Přibice

<i>i</i>	Veličina	Kalibrace sondy lineárním trendem		Kalibrace sondy polynomickým trendem	
		Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]	Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]
Celé období	Q_s [kg/s]	126 785	129 351	163 022	168 296
	$V_{S,m}$ [t]	76 071	77 611	97 813	100 978
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	27,29	27,84	35,09	36,23
	$Q_{S,m}$ [t/r]	24 757	25 258	31 833	32 863
2020	Q_s [kg/s]	51 852	52 902	68 281	70 504
	$V_{S,m}$ [t]	31 111	31 741	40 969	42 302
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	11,16	11,39	14,70	15,18
2021	Q_s [kg/s]	62 310	63 571	82 803	85 505
	$V_{S,m}$ [t]	37 386	38 142	49 682	51 303
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	13,41	13,68	17,82	18,41

Tab. 24. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Přibice při výpočtu metodou korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění

$\mu(Q_s)$	28 678	[t/r]
$D(Q_s)$	18 179 258	[(t/r) ²]
$\sigma(Q_s)$	4 264	[t/r]
$C_v(Q_s)$	0,15	[-]
$C_s(Q_s)$	0,02	[-]

5.3.5.4 Výsledky metody korekce dat pomocí UNS

Výsledky a statistické charakteristiky po vyčištění dat metodou užívající UNS jsou shrnuty v Tab. 25 a Tab. 26.

Tab. 25. Výsledky metody korekce dat pomocí UNS ve vodoměrném profilu Přibice

<i>i</i>	Veličina	Kalibrace sondy lineárním trendem		Kalibrace sondy polynomičným trendem	
		Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]	Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]
Celé období	Q_s [kg/s]	168 585	171 997	295 963	306 215
	$V_{S,m}$ [t]	101 151	103 198	177 578	183 729
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	36,29	37,02	63,71	65,92
	$Q_{S,m}$ [t/r]	32 920	33 586	57 793	59 795
2020	Q_s [kg/s]	53 370	54 450	67 191	69 353
	$V_{S,m}$ [t]	32 022	32 670	40 315	41 612
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	11,49	11,72	14,46	14,93
2021	Q_s [kg/s]	100 843	102 884	215 779	223 496
	$V_{S,m}$ [t]	60 506	61 731	129 468	134 097
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	21,71	22,15	46,45	48,11

Tab. 26. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Přibice při výpočtu metodou korekce dat pomocí UNS

$\mu(Q_s)$	46 023	[t/r]
$D(Q_s)$	218 190 384	[(t/r) ²]
$\sigma(Q_s)$	14 771	[t/r]
$C_v(Q_s)$	0,32	[-]
$C_s(Q_s)$	0,01	[-]

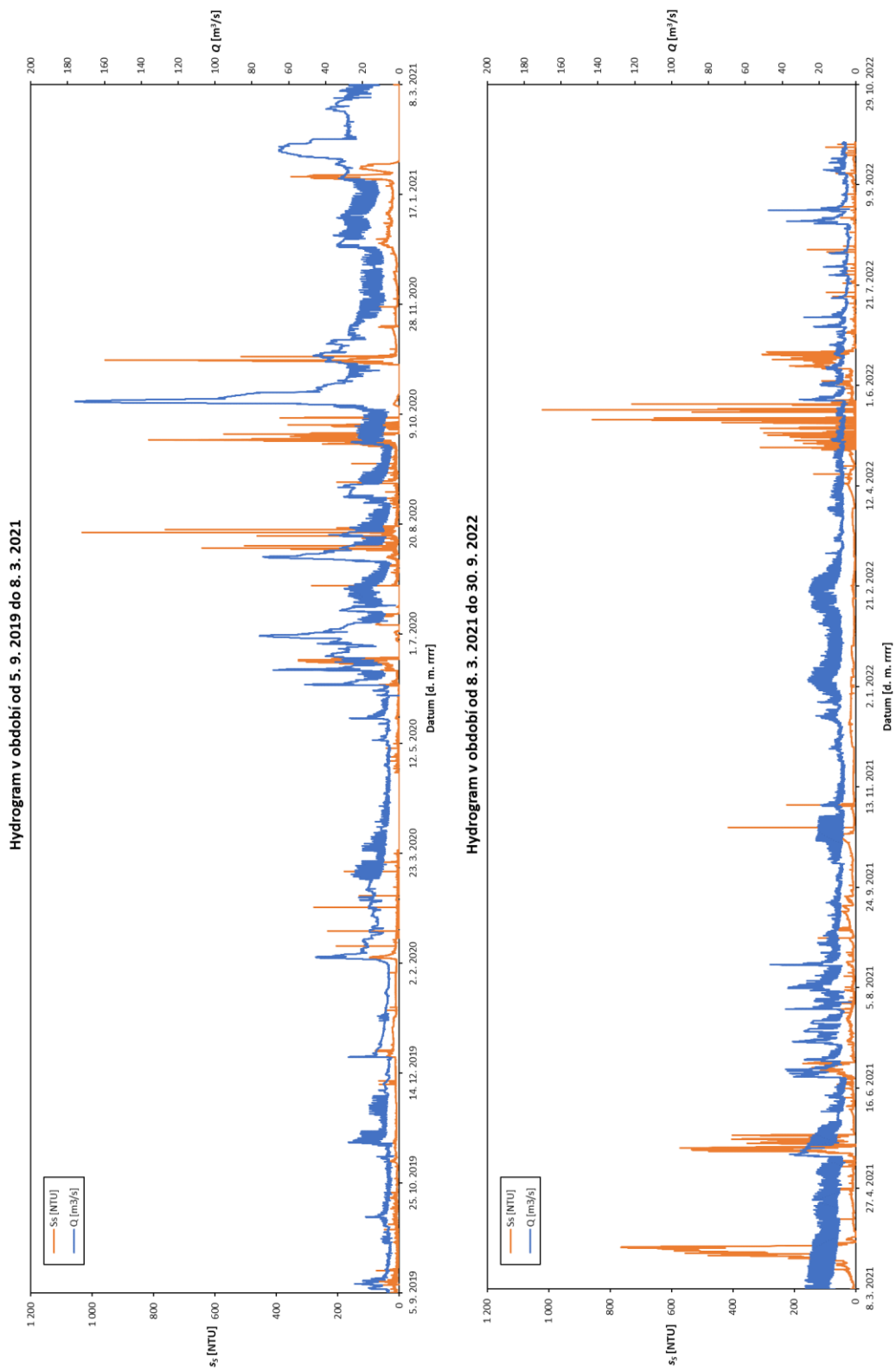
5.4 VODOMĚRNÝ PROFIL ŽIDLOCHOVICE

5.4.1 Korekce záznamu sondy

V obci Židlochovice byl k dispozici záznam od 5. 9. 2019 do 30. 9. 2022, to je 1 121,35 dní, respektive 3,07 let. Záznam je tvořen celkem 161 474 hodnotami.

5.4.1.1 Metoda bez korekce dat

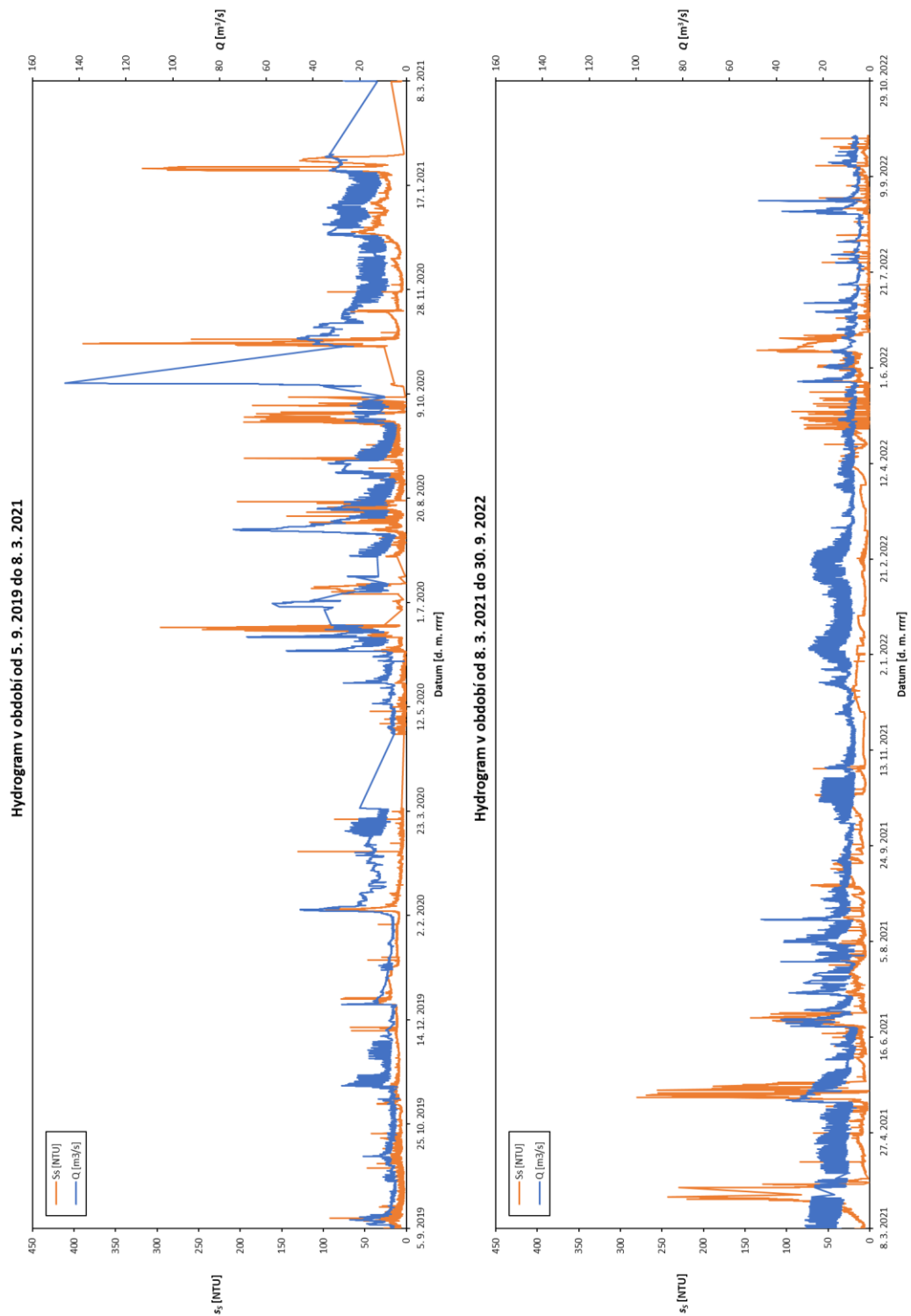
Hydrogram v obci Židlochovice vzniklý metodou bez korekce dat je na Obr. 51.



Obr. 51. Hydrogram vzniklý metodou bez korekce dat, vodoměrný profil Židlochovice

5.4.1.2 Metoda korekce dat pomocí filtrace

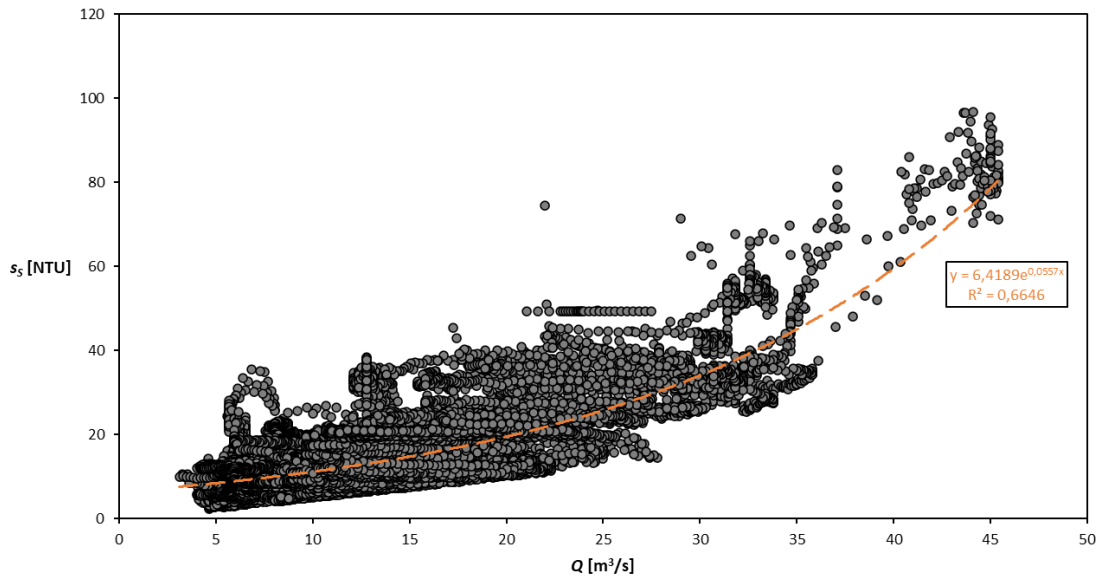
Hydrogram v obci Židlochovice po vyčištění dat metodou korekce užitím filtrace je na Obr. 52. Po zavedení filtru zbylo v záznamu celkem 137 390 hodnot.



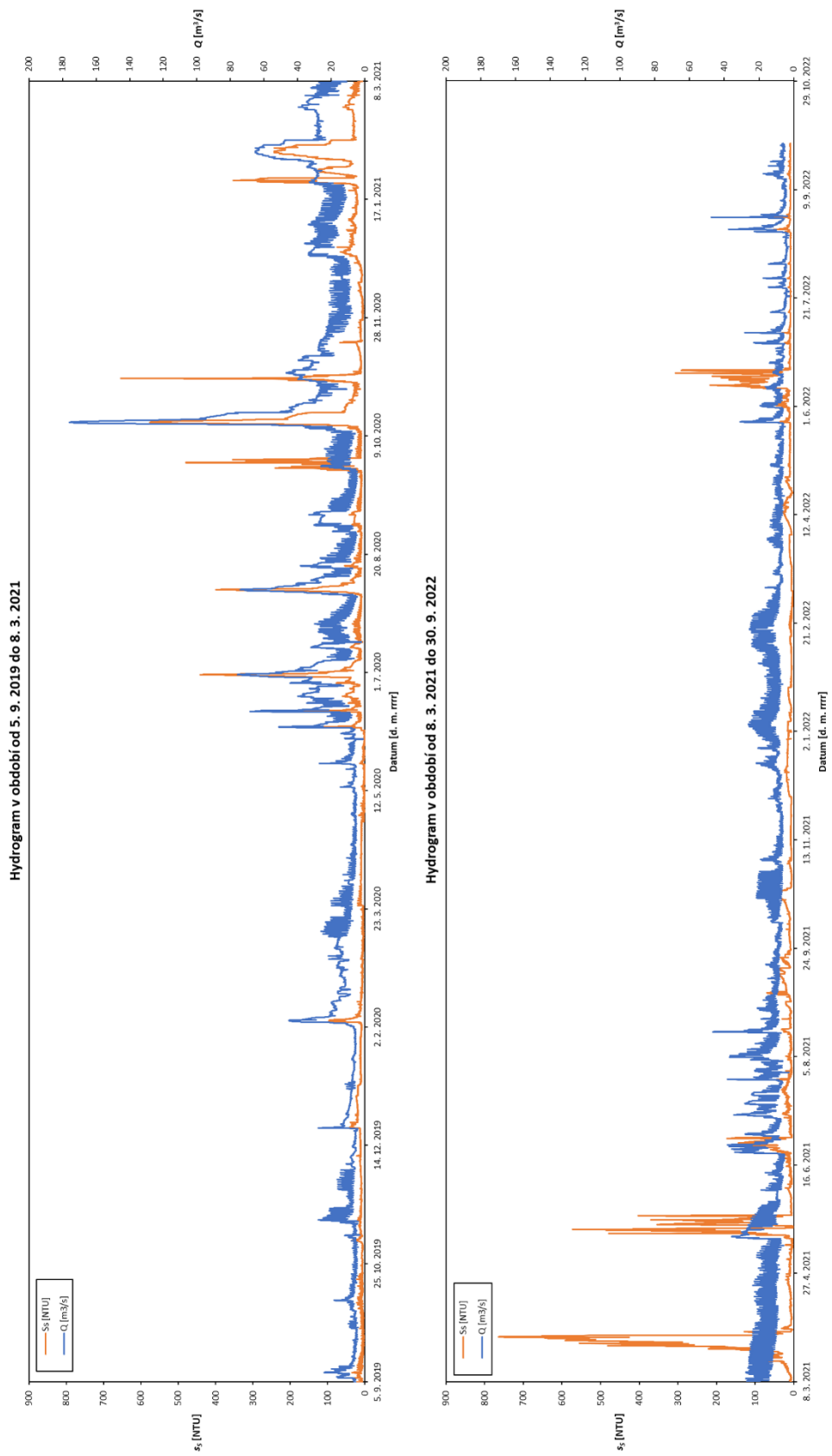
Obr. 52. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí filtrace, vodoměrný profil Židlochovice

5.4.1.3 Metoda korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění

Vyhlazení s_s opět proběhlo užitím jednoduché vyhlazovací funkce. K doplnění a nahrazení poškozených segmentů hydrogramu byla zase využita regresní analýza. Korekce proběhla užitím exponenciálního trendu vytvořeného z celkem 30 304 záznamů, kdy s_s a Q nejvíce korelovali, viz Obr. 53. Žádná část hydrogramu nebyla odstraněna. Zkorigovaný záznam je vykreslen na Obr. 54.



Obr. 53. Korelace mezi vybranými hodnotami s_s a odpovídajícími Q ve vodoměrném profilu Židlochovice



Obr. 54. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí vyhlazení doplnění, vodoměrný profil Židlochovice

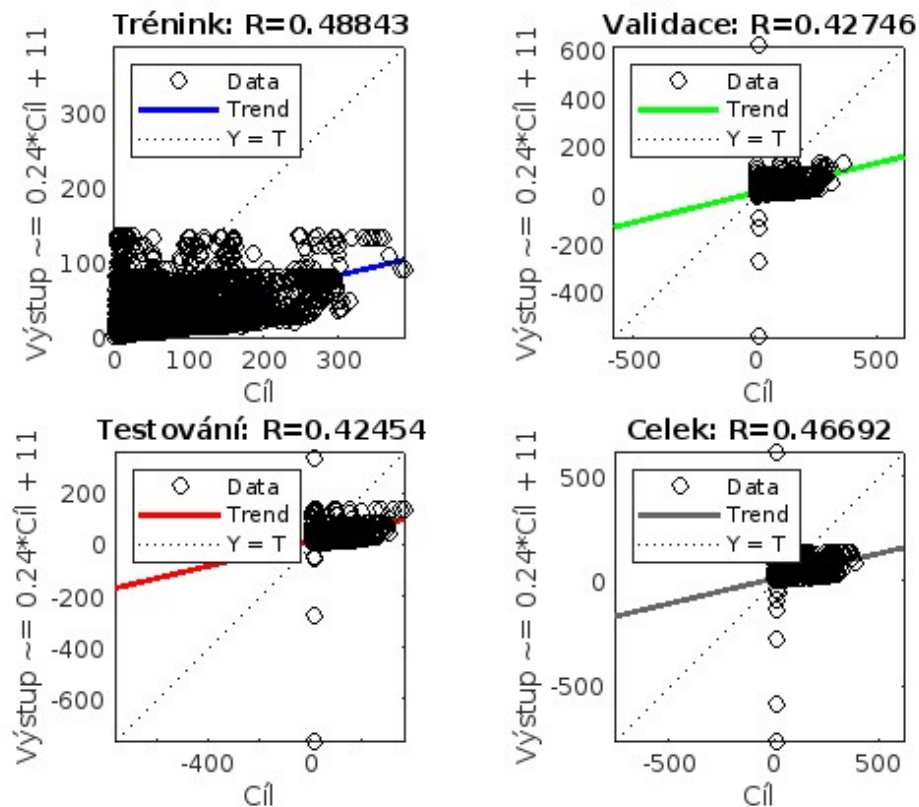
5.4.1.4 Metoda korekce dat pomocí UNS

Funkce *Clean Missing Data* doplnila do záznamu přesně 5 397 chybějících hodnot. Pro vyhlazení záznamu užitím funkce *Smooth Data* byl zvolen vyhlazovací faktor o velikosti 0,1. Počet skrytých neuronů je vypočítán v Tab. 27.

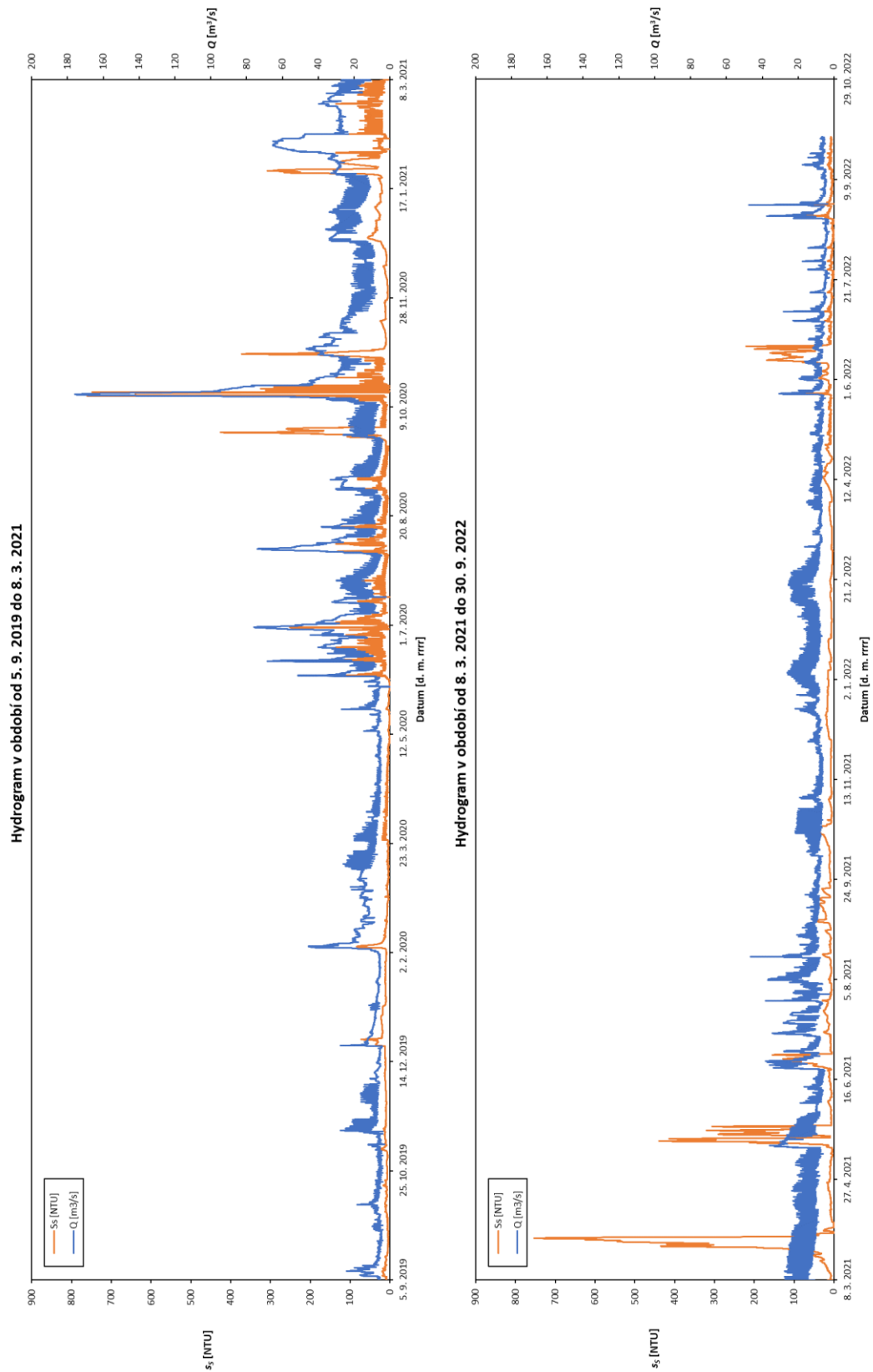
Tab. 27. Výpočet počtu skrytých neuronů v UNS vytvořené pro obec Židlochovice

N_I	1	[-]
N_O	1	[-]
N_T	96 173	[-]
N_H	311	[-]

Po natrénování UNS byla její celková spolehlivost R více než 0,46, viz Obr. 55, což je stále použitelná síť. Hydrogram v obci Židlochovice po korekci s_s metodou užívající UNS je na Obr. 56.



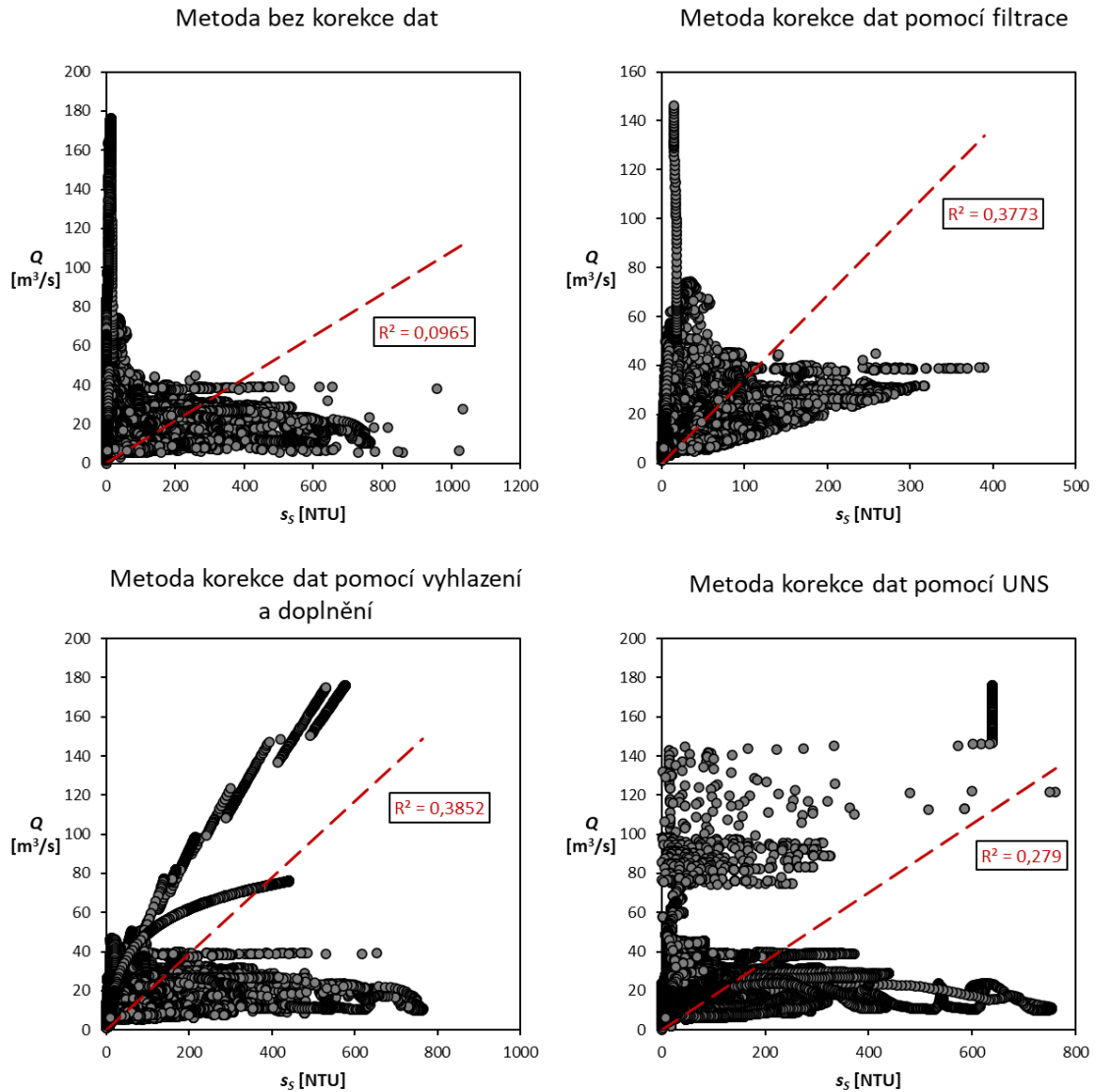
Obr. 55. Spolehlivost natrénované UNS vytvořené pro vodoměrný profil Židlochovice



Obr. 56. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí UNS, vodoměrný profil Židlochovice

5.4.2 Analýza úspěšnosti výsledků filtrace dat

Jak je patrné z Obr. 57, ve vodoměrném profilu Židlochovice projevily největší spolehlivost záznamy vyčištěné metodou užívající vyhlazení a doplnění a metodou korekce pomocí filtrace. Nejhorší spolehlivosti dosáhl opět záznam vzniklý metodou bez korekce dat.



Obr. 57. Analýza úspěšnosti korekce dat ve vodoměrném profilu Židlochovice

5.4.3 Střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu

Dle vzorce (2) byly vyhodnoceny všechny čtyři provedené měření příčného profilu. Následuje výpočet střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu.

5.4.3.1 Přepočítání podílem

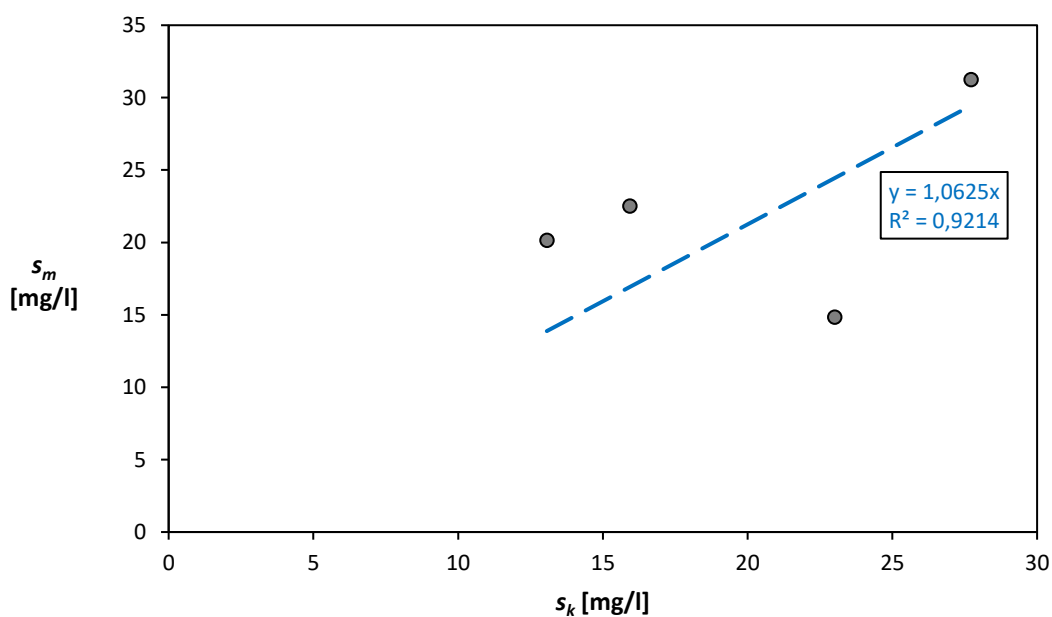
Koeficient příčného profilu pro obec Židlochovice vyšel 1,18. Výpočet je proveden v Tab. 28

Tab. 28. Výpočet koeficientu příčného profilu pro profil Židlochovice

i	Q	s_m	s_k	k_{pi}
	[m ³ /s]	[mg/l]	[mg/l]	[-]
1	8,55	22,5	15,93	1,41
2	11,79	31,2	27,71	1,13
3	6,473	14,8	23,01	0,65
4	4,37	20,1	13,06	1,54
			$k_p [-] =$	1,18

5.4.3.2 Přepočítání regresní analýzou

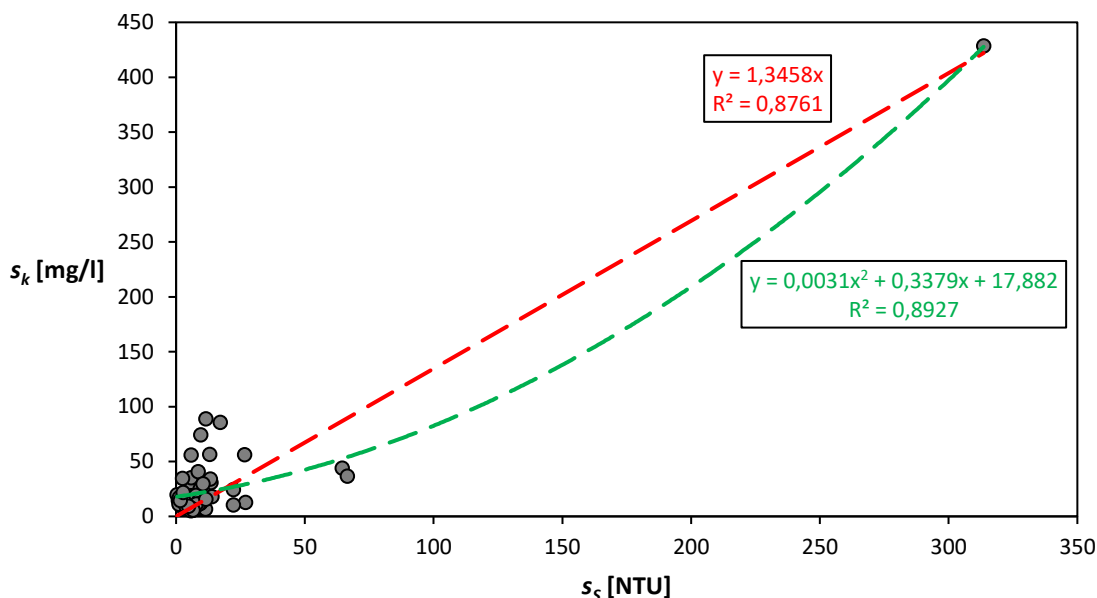
V tomto kroku byl, jak je patrné z Obr. 58, znovu zvolen lineární trend.



Obr. 58. Analýza závislosti s_m na s_k , vodoměrný profil Židlochovice

5.4.4 Kalibrace sondy

Pro kalibraci sondy byly využity lineární trend a polynomický trend druhého stupně, protože oba dosahovaly vysokých spolehlivostí, viz Obr. 59. Oba trendy následně vytváří vlastní, separátní výsledky.



Obr. 59. Kalibrace sondy v obci Židlochovice

5.4.5 Vyhodnocení výsledků ve vodoměrném profilu Židlochovice

Výsledky byly vyhodnoceny jednak pro celé období, od 5. 9. 2019 do 30. 9. 2022, jednak pro celé dílčí roky 2020 a 2021.

5.4.5.1 Výsledky metody bez korekce dat

Výsledky získané metodou bez korekce dat jsou v Tab. 29, statistické charakteristiky jsou v Tab. 30.

Tab. 29. Výsledky metody bez korekce dat ve vodoměrném profilu Židlochovice

i	Veličina	Kalibrace sondy lineárním trendem		Kalibrace sondy polynomickým trendem	
		Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]	Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]
Celé období	Q_s [kg/s]	76 928	69 150	95 225	86 460
	$V_{S,m}$ [t]	46 157	41 490	57 135	51 876
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	11,72	10,54	14,51	13,17
	$Q_{S,m}$ [t/r]	15 024	13 505	18 597	16 886
2020	Q_s [kg/s]	25 837	23 224	31 451	29 169
	$V_{S,m}$ [t]	15 502	13 935	18 871	17 502
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	3,94	3,54	4,79	4,44
2021	Q_s [kg/s]	41 924	37 685	51 116	45 131
	$V_{S,m}$ [t]	25 154	22 611	30 669	27 079
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	6,39	5,74	7,79	6,88

Tab. 30. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Židlochovice při výpočtu metodou bez korekce dat

$\mu(Q_s)$	16 003	[t/r]
$D(Q_s)$	4 903 000	[(t/r) ²]
$\sigma(Q_s)$	2 214	[t/r]
$C_v(Q_s)$	0,14	[-]
$C_s(Q_s)$	0,05	[-]

5.4.5.2 Výsledky metody korekce dat pomocí filtrace

Výsledky dosažené čištěním dat metodu užívající filtraci jsou v Tab. 31, statistické charakteristiky jsou v Tab. 32.

Tab. 31. Výsledky metody korekce dat pomocí filtrace ve vodoměrném profilu Židlochovice

<i>i</i>	Veličina	Kalibrace sondy lineárním trendem		Kalibrace sondy polynomickým trendem	
		Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]	Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]
Celé období	Q_s [kg/s]	53 313	47 922	54 333	51 021
	$V_{S,m}$ [t]	31 988	28 753	32 600	30 613
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	8,12	7,30	8,28	7,77
	$Q_{S,m}$ [t/r]	12 237	11 000	12 471	11 711
2020	Q_s [kg/s]	20 356	18 298	20 050	18 771
	$V_{S,m}$ [t]	12 214	10 979	12 030	11 263
	$V'_{S,m}$ [t]	16 682	14 996	16 431	15 384
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	4,24	3,81	3,05	2,86
2021	Q_s [kg/s]	25 610	23 021	23 436	21 662
	$V_{S,m}$ [t]	15 366	13 812	14 062	12 997
	$V'_{S,m}$ [t]	17 739	15 945	16 233	15 004
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	4,50	4,05	3,57	3,30

Tab. 32. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Židlochovice při výpočtu metodou korekce dat pomocí filtrace

$\mu(Q_s)$	11 855	[t/r]
$D(Q_s)$	425 952	[(t/r) ²]
$\sigma(Q_s)$	653	[t/r]
$C_v(Q_s)$	0,06	[-]
$C_s(Q_s)$	-0,41	[-]

5.4.5.3 Výsledky metody korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění

Výsledky a statistické charakteristiky získané korekcí dat vyhlazením a doplněním jsou obsaženy v Tab. 33 a v Tab. 34.

Tab. 33. Výsledky metody korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění ve vodoměrném profilu Židlochovice

<i>i</i>	Veličina	Kalibrace sondy lineárním trendem		Kalibrace sondy polynomickým trendem	
		Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]	Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]
Celé období	Q_s [kg/s]	170 602	153 353	187 597	163 235
	$V_{S,m}$ [t]	102 361	92 012	112 558	97 941
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	25,99	23,36	28,58	24,87
	$Q_{S,m}$ [t/r]	33 319	29 950	36 638	31 880
2020	Q_s [kg/s]	93 912	84 417	108 910	93 310
	$V_{S,m}$ [t]	56 347	50 650	65 346	55 986
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	14,31	12,86	16,59	14,22
2021	Q_s [kg/s]	66 254	59 555	66 022	57 731
	$V_{S,m}$ [t]	39 752	35 733	39 613	34 638
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	10,09	9,07	10,06	8,80

Tab. 34. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Židlochovice při výpočtu metodou korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění

$\mu(Q_s)$	32 947	[t/r]
$D(Q_s)$	7 960 526	[(t/r) ²]
$\sigma(Q_s)$	2 821	[t/r]
$C_v(Q_s)$	0,09	[-]
$C_s(Q_s)$	0,33	[-]

5.4.5.4 Výsledky metody korekce dat pomocí UNS

Výsledky a statistické charakteristiky po vyčištění dat metodou užívající UNS jsou shrnuty v Tab. 35 a v Tab. 36.

Tab. 35. Výsledky metody korekce dat pomocí UNS ve vodoměrném profilu Židlochovice

<i>i</i>	Veličina	Kalibrace sondy lineárním trendem		Kalibrace sondy polynomickým trendem	
		Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]	Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]
Celé období	Q_s [kg/s]	136 971	123 122	167 688	146 380
	$V_{S,m}$ [t]	82 183	73 873	100 613	87 828
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	20,87	18,76	25,55	22,30
	$Q_{S,m}$ [t/r]	26 751	24 046	32 750	28 588
2020	Q_s [kg/s]	74 973	67 393	101 345	86 765
	$V_{S,m}$ [t]	44 984	40 436	60 807	52 059
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	11,42	10,27	15,44	13,22
2021	Q_s [kg/s]	51 715	46 486	53 765	47 495
	$V_{S,m}$ [t]	31 029	27 892	32 259	28 497
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	7,88	7,08	8,19	7,24

Tab. 36. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Židlochovice při výpočtu metodou korekce dat pomocí UNS

$\mu(Q_s)$	28 034	[t/r]
$D(Q_s)$	13 365 092	[(t/r) ²]
$\sigma(Q_s)$	3 656	[t/r]
$C_v(Q_s)$	0,13	[-]
$C_s(Q_s)$	0,27	[-]

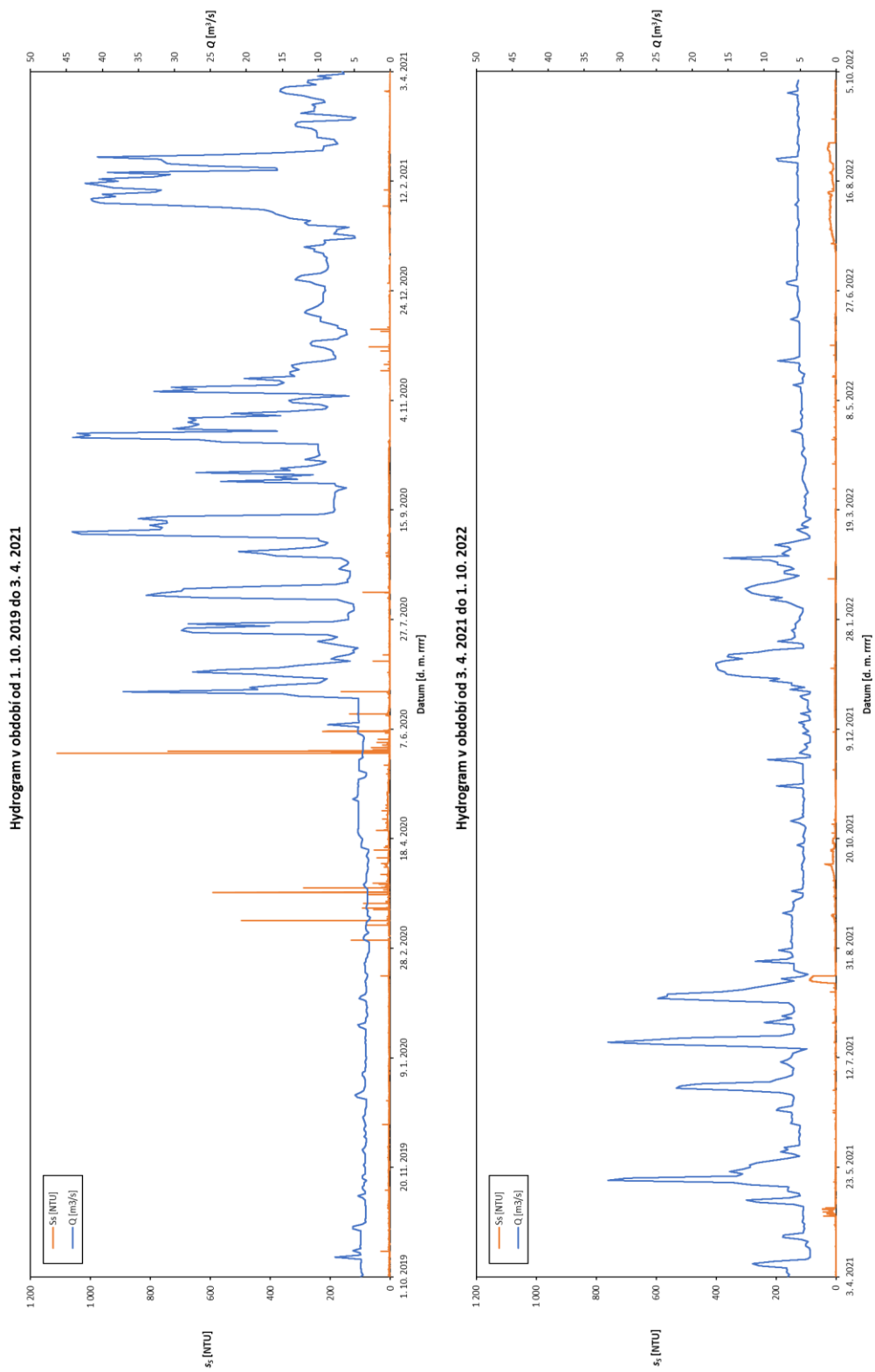
5.5 VODOMĚRNÝ PROFIL ZNOJMO

5.5.1 Korekce záznamu sondy

Pro vodoměrný profil Znojmo jsou k dispozici data od 1. 10. 2019 do 1. 10. 2022, tedy přesně tři roky neboli 1 096 dní. Řešený záznam obsahuje celkem 157 826 hodnot.

5.5.1.1 Metoda bez korekce dat

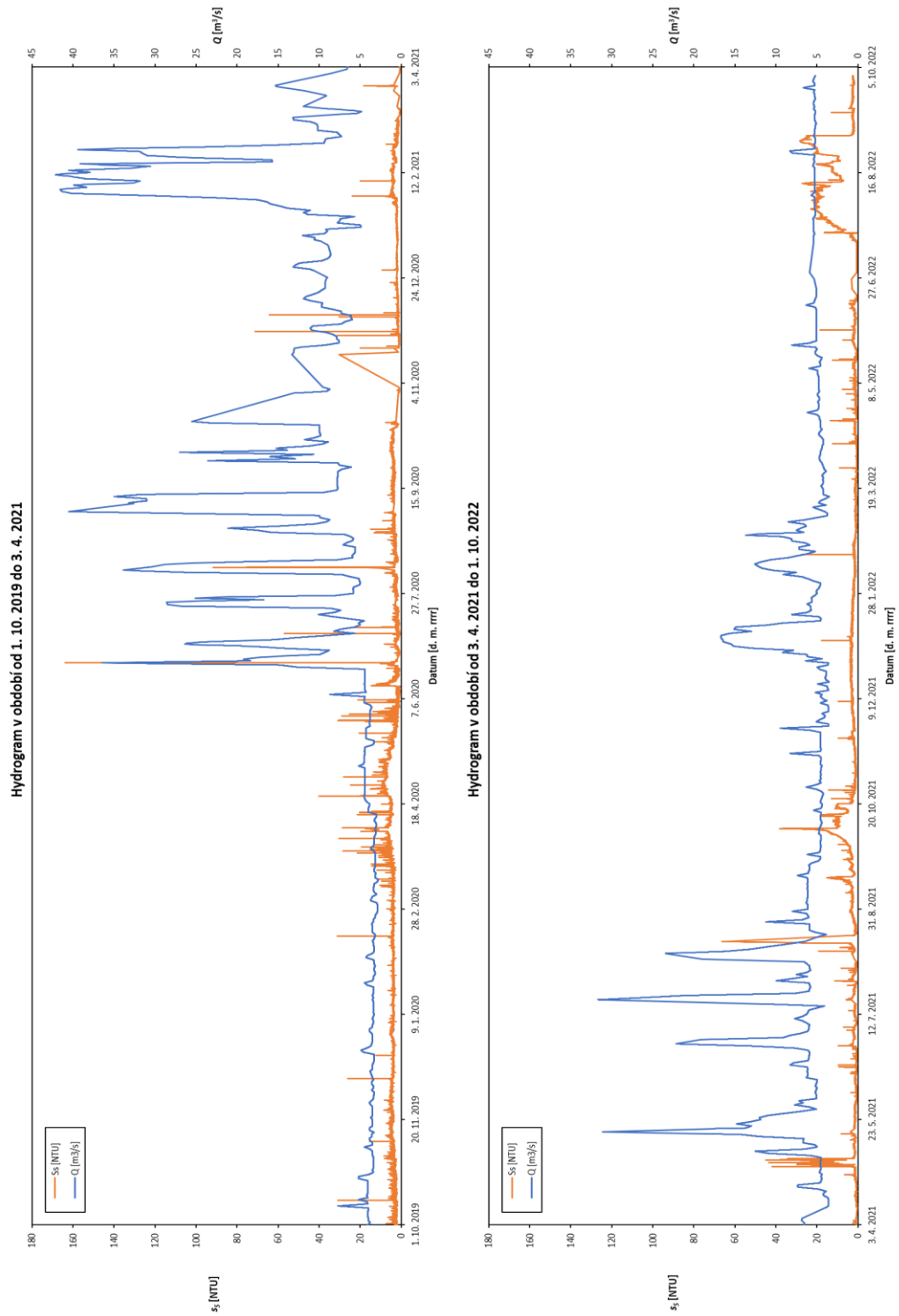
Hydrogram v obci Znojmo vzniklý metodou bez korekce dat je zobrazen v Obr. 60.



Obr. 60. Hydrogram vzniklý metodou bez korekce dat, vodoměrný profil Znojmo

5.5.1.2 Metoda korekce dat pomocí filtrace

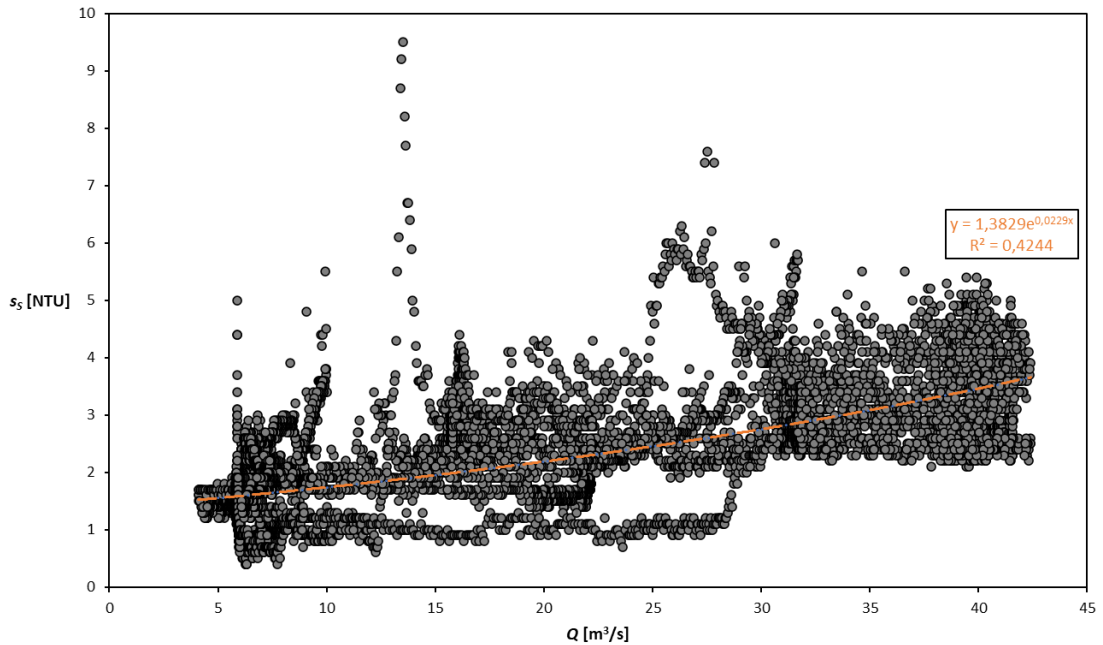
Z původního počtu 157 826 záznamů zůstalo po filtraci celkem 132 139 hodnot. Hydrogram v obci Znojmo vzniklý metodou užívající filtraci je zobrazen v Obr. 61.



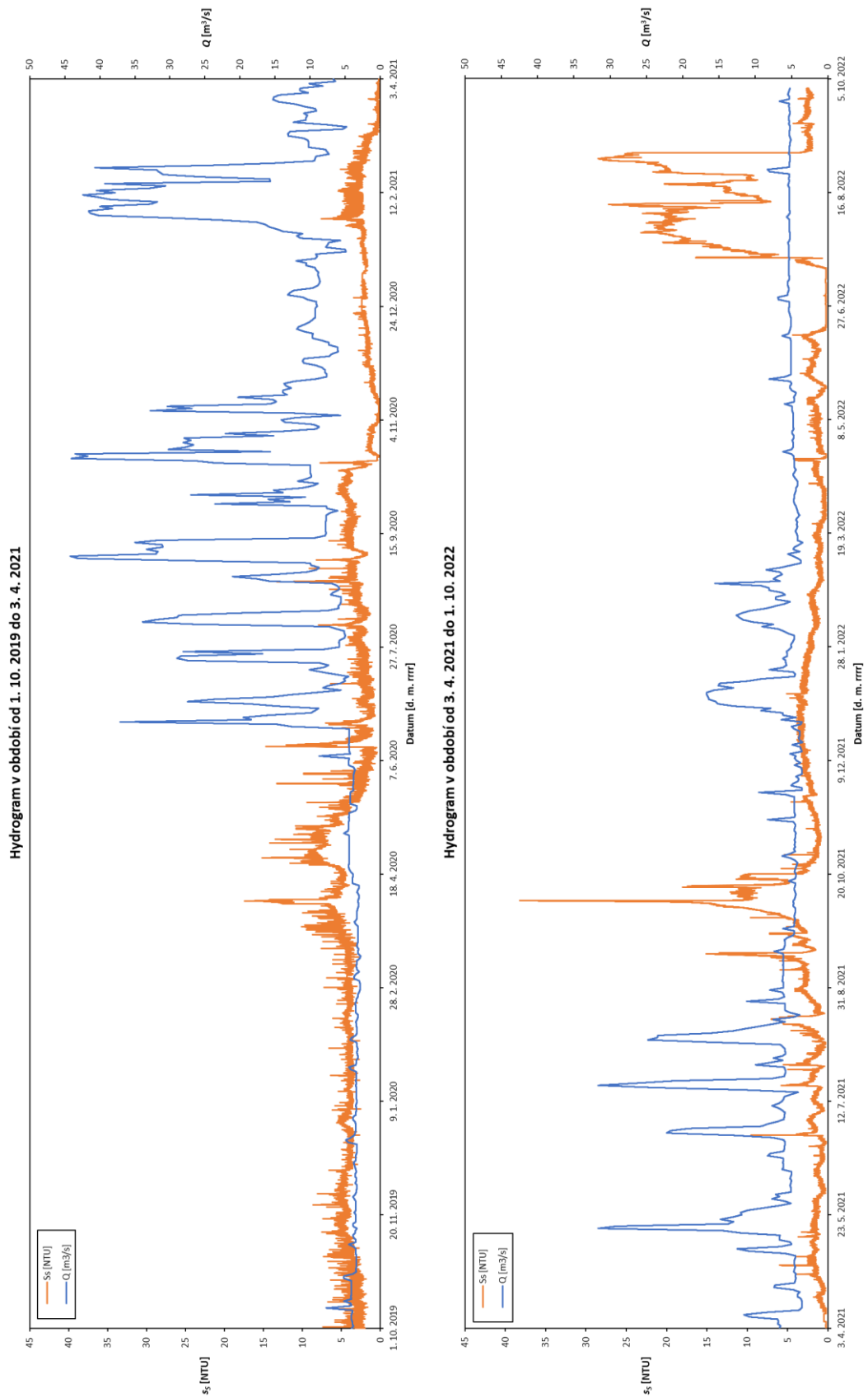
Obr. 61. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí filtrace, vodoměrný profil Znojmo

5.5.1.3 Metoda korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění

Vyhlazení s_s proběhlo užitím jednoduché vyhlazovací funkce. Žádná část hydrogramu nebyla odstraněna. K doplnění a nahrazení poškozených částí záznamu byla opět využita regresní analýza. Korekce proběhla užitím exponenciálního trendu vytvořeného z celkem 9 671 záznamů, kdy s_s a Q nejvíce korelovali. Trend je vidět na Obr. 62, zkorigovaný záznam je vykreslen na Obr. 63.



Obr. 62. Korelace mezi vybranými hodnotami s_s a odpovídajícími Q ve vodoměrném profilu Znojmo



Obr. 63. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění, vodoměrný profil Znojmo

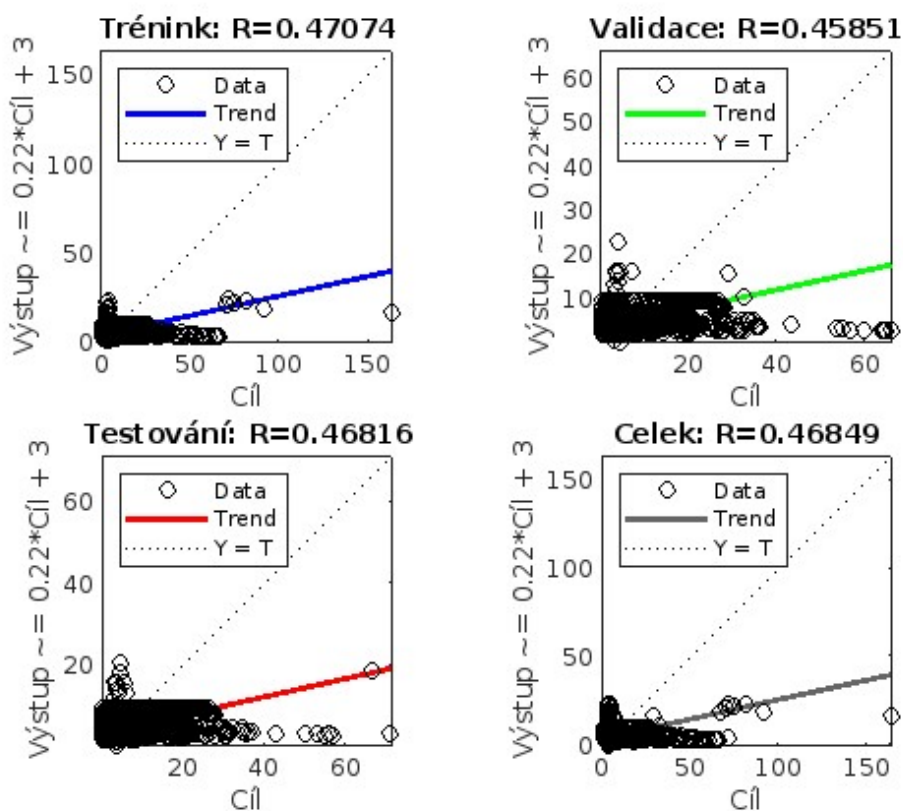
5.5.1.4 Metoda korekce dat pomocí UNS

Ve vodoměrném profilu Znojmo bylo pomocí funkce *Clean Missing Data* doplněno přesně 1 643 hodnot. Pro vyhlazení záznamu užitím funkce *Smooth Data* byl zvolen vyhlazovací faktor o hodnotě 0,55. Počet skrytých neuronů je spočítán v Tab. 37.

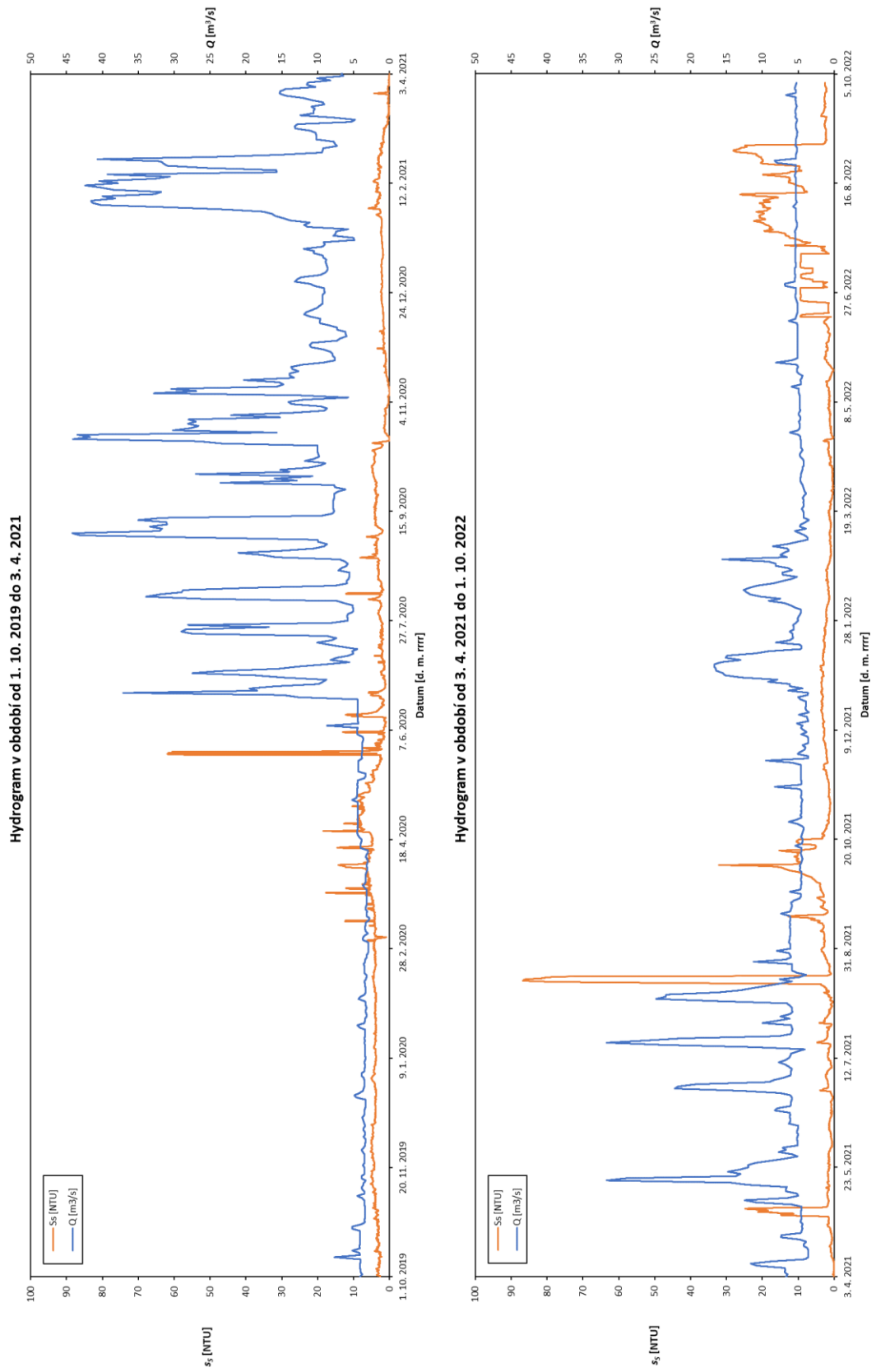
Tab. 37. Výpočet počtu skrytých neuronů v UNS vytvořené pro obec Znojmo

N_I	1	[-]
N_O	1	[-]
N_T	92 497	[-]
N_H	305	[-]

Jak lze vidět na Obr. 64, po natrénování UNS byla její celková spolehlivost R téměř 0,47. Takováto spolehlivost není perfektní, avšak stále se jedná o použitelnou síť. Hydrogram v obci Znojmo vzniklý metodou korekce dat pomocí UNS je na Obr. 65.



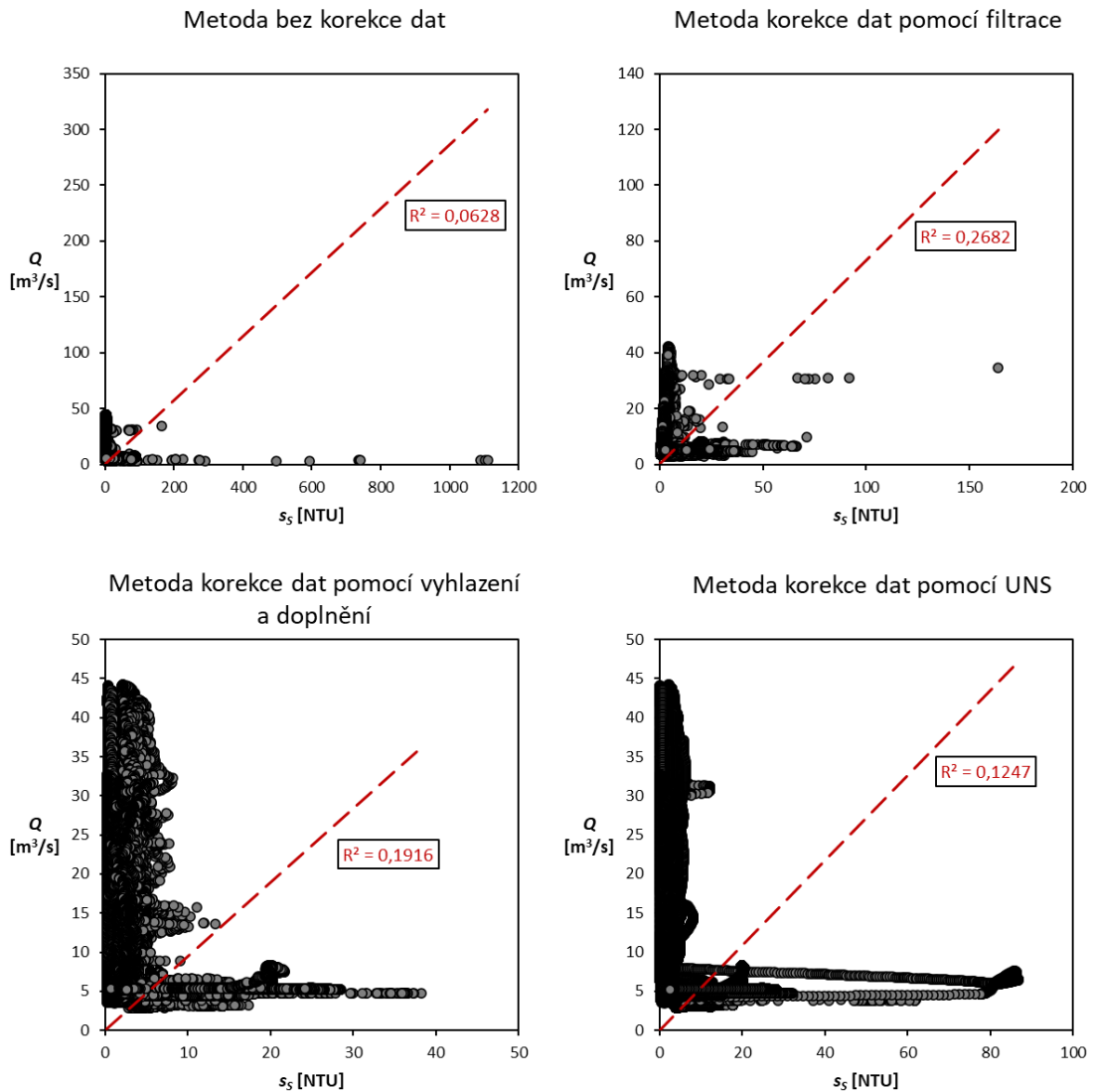
Obr. 64. Spolehlivost natrénované UNS vytvořené pro vodoměrný profil Znojmo



Obr. 65. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí UNS, vodoměrný profil Znojmo

5.5.2 Analýza úspěšnosti výsledků filtrace dat

Žádná z metod čištění dat nedosahovala při analýze ukázkových výsledků. Jak je vidět na Obr. 66, nejhůře dopadla již tradičně metoda bez korekce dat, naopak nejlépe dopadla metoda korekce dat pomocí filtrace. Znojemský profil patří k těm méně ukázkovým.



Obr. 66. Analýza úspěšnosti korekce dat ve vodoměrném profilu Znojmo

5.5.3 Střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu

Ve vodoměrném profilu Znojmo byly ke dni vyhodnocování provedeny pouze tři měření příčného profilu. Po jejich vyhodnocení dle vzorce (2) byla střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu opět řešena podílovou metodou a metodou regresní analýzou.

5.5.3.1 Přepočít podílem

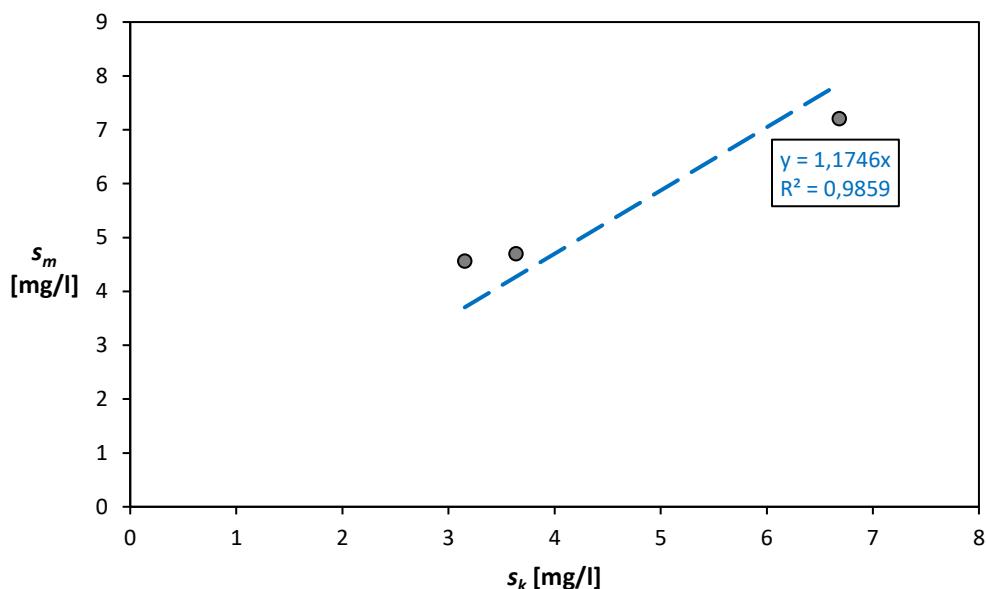
Koeficient příčného profilu k_p pro vodoměrný profil Znojmo dosahuje hodnoty 1,27, viz Tab. 38.

Tab. 38. Výpočet koeficientu příčného profilu pro profil Znojmo

i	Q	s_m	s_k	k_{pi}
	[m ³ /s]	[mg/l]	[mg/l]	[-]
1	3,87	4,6	3,15	1,45
2	4,213	4,7	3,64	1,29
3	4,36	7,2	6,68	1,08
k_p [-] =				1,27

5.5.3.2 Přepočít regresní analýzou

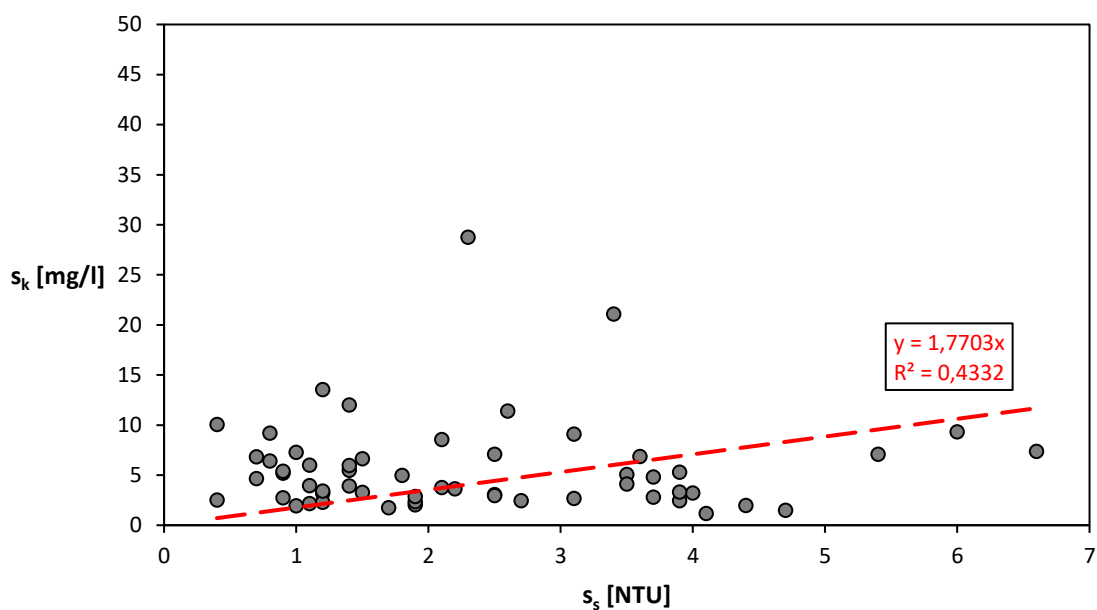
Při řešení střední koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu pomocí regresní analýzy byl opět využit trend lineární. Průběh trendu je na Obr. 67.



Obr. 67. Analýza závislosti s_m na s_k , vodoměrný profil Znojmo

5.5.4 Kalibrace sondy

Jak je vidět na Obr. 68, kalibrace sondy ve vodoměrném profilu Znojmo proběhla lineárním trendem.



Obr. 68. Kalibrace sondy v obci Znojmo

5.5.5 Vyhodnocení výsledků ve vodoměrném profilu Znojmo

Výsledky byly znovu vyhodnocovány pro celé období, od 1. 10. 2019 do 1. 10. 2022, i pro celé dílčí roky, tedy roky 2020 a 2021.

5.5.5.1 Výsledky metody bez korekce dat

Výsledky jsou sepsány v Tab. 39, statistické charakteristiky vypočtené metodou bez korekce dat jsou vyhodnoceny v Tab. 40.

Tab. 39. Výsledky metody bez korekce dat ve vodoměrném profilu Znojmo

<i>i</i>	Veličina	Kalibrace sondy lineárním trendem	
		Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]
Celé období	Q_s [kg/s]	8 828	8 144
	$V_{S,m}$ [t]	5 297	4 886
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	2,12	1,95
	$Q_{S,m}$ [t/r]	1 764	1 627
2020	Q_s [kg/s]	3 095	2 856
	$V_{S,m}$ [t]	1 857	1 713
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	0,74	0,69
2021	Q_s [kg/s]	3 169	2 924
	$V_{S,m}$ [t]	1 902	1 754
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	0,76	0,70

Tab. 40. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Znojmo při výpočtu metodou bez korekce dat

$\mu(Q_s)$	1 696	[t/r]
$D(Q_s)$	9 325	[(t/r) ²]
$\sigma(Q_s)$	96,57	[t/r]
$C_v(Q_s)$	0,06	[-]
$C_s(Q_s)$	0	[-]

5.5.5.2 Výsledky metody korekce dat pomocí filtrace

Výsledky dosažené korekcí dat filtrační metodou jsou v Tab. 41. Statistické charakteristiky jsou sepsány v Tab. 42.

Tab. 41. Výsledky metody korekce dat pomocí filtrace ve vodoměrném profilu Znojmo

<i>i</i>	Veličina	Kalibrace sondy lineárním trendem	
		Přepočten poměrem [t]	Přepočten rovnicí [t]
Celé období	Q_s [kg/s]	7 067	6 520
	$V_{S,m}$ [t]	4 240	3 912
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	1,70	1,56
	$Q_{S,m}$ [t/r]	1 687	1 556
2020	Q_s [kg/s]	2 482	2 290
	$V_{S,m}$ [t]	1 489	1 374
	$V'_{S,m}$ [t]	1 781	1 643
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	0,71	0,66
2021	Q_s [kg/s]	2 038	1 880
	$V_{S,m}$ [t]	1 223	1 128
	$V'_{S,m}$ [t]	1 552	1 431
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	0,62	0,57

Tab. 42. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Znojmo při výpočtu metodou korekce dat pomocí filtrace

$\mu(Q_s)$	1 621	[t/r]
$D(Q_s)$	8 526	[(t/r) ²]
$\sigma(Q_s)$	92,34	[t/r]
$C_v(Q_s)$	0,06	[-]
$C_s(Q_s)$	-5,9E-15	[-]

5.5.5.3 Výsledky metody korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění

Výsledky a statistické charakteristiky získané metodou korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění jsou v Tab. 43 a Tab. 44.

Tab. 43. Výsledky metody korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění ve vodoměrném profilu Znojmo

<i>i</i>	Veličina	Kalibrace sondy lineárním trendem	
		Přepočten poměrem [t]	Přepočten rovnicí [t]
Celé období	Q_s [kg/s]	8 168	7 535
	$V_{S,m}$ [t]	4 901	4 521
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	1,96	1,81
	$Q_{S,m}$ [t/r]	1 632	1 506
2020	Q_s [kg/s]	2 977	2 746
	$V_{S,m}$ [t]	1 786	1 648
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	0,71	0,66
2021	Q_s [kg/s]	2 623	2 420
	$V_{S,m}$ [t]	1 574	1 452
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	0,63	0,58

Tab. 44. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Znojmo při výpočtu metodou korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění

$\mu(Q_s)$	1 569	[t/r]
$D(Q_s)$	7 983	[(t/r) ²]
$\sigma(Q_s)$	89,35	[t/r]
$C_v(Q_s)$	0,06	[-]
$C_s(Q_s)$	0	[-]

5.5.5.4 Výsledky metody korekce dat pomocí UNS

Výsledky a statistické charakteristiky po vyčištění dat metodou používající UNS jsou shrnuty v Tab. 45 a Tab. 46.

Tab. 45. Výsledky metody korekce dat pomocí UNS ve vodoměrném profilu Znojmo

<i>i</i>	Veličina	Kalibrace sondy lineárním trendem	
		Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]
Celé období	Q_s [kg/s]	9 233	8 518
	$V_{S,m}$ [t]	5 540	5 111
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	2,22	2,04
	$Q_{S,m}$ [t/r]	1 845	1 702
2020	Q_s [kg/s]	3 133	2 890
	$V_{S,m}$ [t]	1 880	1 734
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	0,75	0,69
2021	Q_s [kg/s]	3 200	2 952
	$V_{S,m}$ [t]	1 920	1 771
	$A_{S,m}$ [t/km ²]	0,77	0,71

Tab. 46. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Znojmo při výpočtu metodou korekce dat pomocí UNS

$\mu(Q_s)$	1 773	[t/r]
$D(Q_s)$	10 200	[(t/r) ²]
$\sigma(Q_s)$	101	[t/r]
$C_v(Q_s)$	0,06	[-]
$C_s(Q_s)$	0	[-]

6 SHRNUÍ VÝSLEDKŮ A SROVNÁNÍ S VÝSLEDKY Z ČHMÚ

Byť bylo zpracování a následné vyhodnocení všech dat v souladu s dříve zmíněnou oficiální rakouskou metodickou příručkou, dostali jsme poměrně velké množství výstupů, jejichž korektnost je žádoucí si potvrdit. Po provedení analýzy úspěšnosti filtrace dat, popsané v kapitole 4.2, je vhodné všechny výstupy porovnat s hodnotami, které ve svých ročenkách pravidelně publikuje ČHMÚ. Je však důležité upozornit, že v otázce bilance plavenin v tocích mluvíme pouze o odhadech, nikoliv o naprosto přesných výsledcích. I přes dodržování společných zásad je celý proces velmi citlivý a ovlivněný samotnou instalací sondy, umístěním, chráněním sondy a servisní údržbou. To ovlivňuje i samotnou filtraci záznamů sondy, která je silně individuální. Navíc, jak je patrné z celé kapitoly 3, principy metod měření ČHMÚ jsou mírně odlišné od metod námi používaných, tedy zákonitě musí produkovat rozličné výsledky. Při srovnání nám tedy půjde především o řádovou shodu výsledků.

Jednotlivé metody čištění dat jsou pro zvýšení přehlednosti tabulek v nadcházejících subkapitolách označeny dle prvních čtyř písmen abecedy:

- A – metoda bez korekce dat,
- B – metoda korekce dat pomocí filtrace,
- C – metoda korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění,
- D – metoda korekce dat pomocí UNS.

6.1 VODOMĚRNÝ PROFIL HEVLÍN

ČHMÚ neprovozuje ve vodoměrném profilu Hevlín pravidelné měření plavenin, nejbližší měrná stanice je v Jevišovce. Zatímco Hevlín leží na 81,55. km, Jevišovka stojí na cirká 70. km [25][31]. Hevlín se nachází asi 11,55 km výše po toku a příčinná plocha povodí je tudíž menší, lze zde tedy očekávat menší tok plavenin. Plochu povodí řeky Dyje, náležící k vodoměrnému profilu Jevišovka, se bohužel nepodařilo dohledat. Jak je vidět v Tab. 47, průtoky plavenin jsou opravdu menší; v Jevišovce protéklo oba roky okolo 10 000 t/r, kdežto v Hevlíně to bylo v jednotkách tisíců tun. Objemy plavenin tedy naznačují, že naše měření i vyhodnocení byly korektní. Dlouhodobý průměrný roční průtok plavenin (od roku 1995 do roku 2020) byl v Jevišovce k roku 2022 celkem 13 517 t/r, průměrný roční průtok $Q_{S,m}$ se v Hevlíně v námi řešeném období pohyboval od 2 448 do 4 959 t/r [32].

Tab. 47. Srovnání výsledků s ČHMÚ, vodoměrný profil Hevlín [33][34]

Rok	Metoda korekce dat	Kalibrace sondy lineárním trendem		Data ČHMÚ v Jevišovce [t]
		Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]	
2020	A	3 181	2 796	9 156
	B	3 114	2 737	
	C	4 889	4 298	
	D	4 832	4 248	

Rok	Metoda korekce dat	Kalibrace sondy lineárním trendem		Data ČHMÚ v Jevišovce [t]
		Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]	
2021	A	3 685	3 239	13 647
	B	4 485	3 943	
	C	9 296	8 172	
	D	6 611	5 812	

6.2 VODOMĚRNÝ PROFIL PŘIBICE

V obci Přibice neprovádí ČHMÚ pravidelné měření plavenin, nejbližším porovnávacím místem je vodoměrný profil Ivančice. Přibicím náleží 94 % plochy povodí, kdežto k Ivančicím patří 86 % celkové plochy povodí, tedy v Přibicích lze očekávat větší průtoky plavenin [27][35]. Jak je patrné z Tab. 48, pro rok 2020 je tato podmínka opravdu splněna, výsledky jsou o 50,4 až 157,9 % procent větší. Oficiální odtoky plavenin pro vodoměrný profil Ivančice v roce 2021 bohužel zveřejněny nebyly. Je důležité si povšimnout, že výsledky získané kalibrací sondy pomocí polynomického trendu jsou výrazně vyšší. Dlouhodobý průměrný roční průtok plavenin (roky 2000 až 2020) odpovídal v Ivančicích k roku 2022 celkem 14 976 t/r, průměrný roční průtok $Q_{s,m}$ se v obci Přibice v námi řešeném období pohyboval od 24 757 do 126 311 t/r [32].

Tab. 48. Srovnání výsledků s ČHMÚ, vodoměrný profil Přibice [33]

Rok	Metoda korekce dat	Kalibrace sondy lineárním trendem		Kalibrace sondy polynomickým trendem		Data ČHMÚ v Ivančicích [t]
		Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]	Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]	
2020	A	33 231	33 904	51 562	53 306	20 671
	B	31 096	31 725	40 075	41 373	
	C	31 111	31 741	40 969	42 302	
	D	32 022	32 670	40 315	41 612	
2021	A	70 021	71 438	315 209	327 330	/
	B	50 508	51 530	205 582	213 433	
	C	37 386	38 142	49 682	51 303	
	D	60 506	61 731	129 468	134 097	

6.3 VODOMĚRNÝ PROFIL ŽIDLOCHOVICE

Židlochovice jsou jediným řešeným vodoměrným profilem, ve kterém provádí pravidelné měření plavenin i ČHMÚ. K hodnotám zveřejněným pro rok 2020 se z našich výstupů nejvíce přibližují výsledky získané metodou korekce dat pomocí UNS, zatímco pro rok 2021 se nejvíce blíží výsledky získané metodou korekce dat pomocí filtrace, viz Tab. 49. Dlouhodobý průměrný roční průtok plavenin (roky 1995-2020) stanovil ČHMÚ k roku 2022 na celkem 33 015 t/r, průměrný roční průtok $Q_{s,m}$ se v námi řešeném období pohyboval od 11 000 do 36 638 t/r [32].

Tab. 49. Srovnání výsledků s ČHMÚ, vodoměrný profil Židlochovice [33][34]

Rok	Metoda korekce dat	Kalibrace sondy lineárním trendem		Kalibrace sondy polynomickým trendem		Data ČHMÚ v Židlochovicích [t]
		Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]	Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]	
2020	A	15 502	13 935	18 871	17 502	41 500
	B	16 682	14 996	16 431	15 384	
	C	56 347	50 650	65 346	55 986	
	D	44 984	40 436	60 807	52 059	
2021	A	25 154	22 611	30 669	27 079	14 707
	B	17 739	15 945	16 233	15 004	
	C	39 752	35 733	39 613	34 638	
	D	31 029	27 892	32 259	28 497	

6.4 VODOMĚRNÝ PROFIL ZNOJMO

Situace ve Znojmě je totožná jako v Hevlíně, tedy ČHMÚ zde neprovádí pravidelné měření plavenin, avšak nejbližším srovnávacím profilem je Jevišovka. Znojemský profil se nachází na 119,59. km říčního toku, tudíž ještě blíže k prameni než Hevlín, proto ve Znojmě můžeme očekávat menší hodnoty než v Hevlíně [30]. V Tab. 50 jde vidět, že výsledky jsou opravdu ještě nižší. Zatímco v Hevlíně protéklo oba roky více než 2 000 t plavenin, ve Znojmě indikují všechny metody čištění dat na to, že oba roky protéklo méně než 2 000 t plavenin. Průtoky plavenin jsou v Jevišovce oproti Znojmu přibližně pětinasobné až šestinasobné. průměrný roční průtok $Q_{S,m}$ se v námi řešeném období pohyboval od 1 506 do 1 845 t/r.

Tab. 50. Srovnání výsledků s ČHMÚ, vodoměrný profil Znojmo [33][34]

Rok	Metoda korekce dat	Kalibrace sondy lineárním trendem		Data ČHMÚ v Jevišovce [t]
		Přepočet poměrem [t]	Přepočet rovnicí [t]	
2020	A	1 857	1 713	9 156
	B	1 781	1 643	
	C	1 786	1 648	
	D	1 880	1 734	
2021	A	1 902	1 754	13 647
	B	1 552	1 431	
	C	1 574	1 452	
	D	1 920	1 771	

7 ZÁVĚR

Diplomová práce přiblížila rozdíly způsobů odběrů vzorků plavenin a laboratorního vyhodnocování koncentrace plavenin mezi několika státy světa, respektive srovnala převzatý rakouský přístup s českými metodami a metodami ze Spojených států amerických. Bylo poukázáno na to, že zatímco rakouská metoda měří plaveniny převážně nepřímými metodami (pomocí sond) a odběry jsou pro ně doplňkový nástroj, americká i česká metoda stále velmi spoléhají na přímé metody odběru, tedy především metody přímo vyžadující odběry vzorků. V ČR jsou velmi oblíbené automatizované odběry pomocí samplerů, kdežto ve Spojených státech amerických je do dnešního dne velmi využíváno odběrů ručních. Tomu odpovídá i bohatá škála typů vzorkovačů.

Veškeré měření a vyhodnocování ve všech čtyřech vodoměrných profilech bylo prováděno dle příručky *Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes*, při korekci dat naměřených sondou však byly navíc aplikovány celkem čtyři různé způsoby korekce dat [1]. Metoda bez korekce dat spočívala v nulové úpravě záznamu a sloužila jako srovnávací. Při metodě korekce dat pomocí filtrace byl zaveden jednoduchý filtr, který vymazával všechny chybějící, neúměrně vysoké a příliš nízké hodnoty. V metodě korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění byla nejprve aplikována jednoduchá funkce zajišťující vyhlazení neúměrně vysokých a neúměrně nízkých hodnot. Následovalo přepočítání a nahrazení silně poškozených částí hydrogramu pomocí regresních rovnic.

Čtvrtý postup, metoda korekce dat pomocí UNS, spočíval v korekci záznamu sondy v prostředí MATLAB. Pomocí funkcí *Clean Missing Data* a *Smooth Data* byl záznam vyhlazen a doplněn o chybějící hodnoty. Natrénováním a následným užitím UNS byly zkorigovány nadměru poškozené části hydrogramu. Jednalo se o stejné segmenty, které byly upravovány i v metodě vyhlazení a doplnění. V metodě UNS jsme však narazili na problém, že všechna data vymodelována pomocí UNS obsahovala značné množství šumu. Příčinu lze hledat ve dvou skutečnostech. Prvním faktem je, že trénovací data nebyla vyhlazena, tedy je zde předpoklad, že síť úmyslně predikuje s šumem, protože si „myslí“, že je to žádoucí. Data predikovaná pomocí UNS, například na Obr. 23, lze z důvodu jejich volatility snadno odlišit od původních, již vyhlazených hodnot, protože předpovězená data nebyla dále vyhlazována. Druhým faktem je, že síti bylo poskytnuto značné množství dat, jejichž korelace není vždy na vynikající úrovni, což může síti komplikovat předpovědi. Jako reálná se jeví i kombinace obou zmíněných skutečností. Do budoucna lze doporučit výběr menší skupiny lépe korelujících dat, následované jejich vyhlazením a až následným použitím k trénování UNS. K děláním konkrétních závěrů je však potřeba hlubšího zkoumání.

Ve vodoměrném profilu Hevlín byl navíc proveden experiment, který spočíval v natrénování celkem tří různých UNS. První síť obsahovala ideální počet skrytých neuronů stanovený dle vzorce (1), druhá síť byla vymodelována z mnohem menšího počtu skrytých neuronů, naopak třetí síť obsahovala přibližně čtyřnásobně větší než doporučený počet skrytých neuronů. Sítě byly následně využity k predikci zákalu v segmentu hydrogramu, ve kterém bylo možné predikce srovnat s odpovídajícím záznamem sondy. Všechny tři predikce měly v testovaném období relativně podobný průběh, avšak jejich největším rozdílem byla volatility predikovaných dat, které nutně musely být vyhlazeny, protože se graf stal kvůli velkému šumu nečitelným. Míra šumu rostla s počtem skrytých neuronů.

U všech výsledků byla poté provedena analýza úspěšnosti korekce dat naměřených sondou, která potvrdila, že výsledky získané metodou bez korekce dat jsou opravdu ty nejméně přesné. V Hevlíně obstála metoda korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění, v Příbících dosáhly nejlepších výsledků metody užívající filtraci a UNS. V Židlochovicích vyšly nejlépe metoda korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění a korekce pomocí filtrace, ve Znojmě dosáhla nejlepších výsledků metoda korekce pomocí filtrace.

Všechny výstupy byly následně porovnány s výsledky prezentovanými ČHMÚ. Jediným ze čtyř profilů, kde provádí pravidelné měření plavenin i ČHMÚ, jsou Židlochovice, proto ve všech ostatních profilech bylo nutné výsledky porovnávat s jiným, nejbližší ležícím profilem. V případě Hevlínu a Znojma to je Jevišovka, pro Příbice to jsou Ivančice.

Hevlín i Znojmo byly srovnávány s Jevišovkou, která představuje nejbližší vodoměrný profil, kde ČHMÚ provádí pravidelné měření plavenin. Plochu povodí náležící Jevišovce se bohužel nepodařilo dohledat. Vodoměrný profil Jevišovka leží na přibližně 70. km říčního toku řeky Dyje, Hevlín se nachází na 81,55. km a Znojmo stojí na 119,59. km [25][30][31]. Největší objemy plavenin tedy lze očekávat v Jevišovce, méně v Hevlíně a nejméně ve Znojmě. Tento předpoklad byl opravdu splněn. Zatímco Jevišovkou protéklo dle ČHMÚ 9 156 t plavenin v roce 2020 a 13 647 t v roce 2021, v Hevlíně protéklo dle našich výpočtů od 2 737 do 4 889 t v roce 2020 a něco mezi 3 239 a 7 296 t v roce 2021 [33][34]. Ve Znojmě pak řeka v roce 2020 přepravila od 1 643 do 1 880 t plavenin a v roce 2021 jich přepravila od 1 431 do 1 920 t, vše je v Tab. 47 a Tab. 50.

Nejbližším srovnávacím vodoměrným profilem pro Příbice jsou Ivančice. Příbickým náleží 94 % plochy povodí, kdežto k Ivančicím náleží 86 % celkové plochy povodí, v Příbících tedy můžeme očekávat větší průtoky plavenin [27][35]. Pro rok 2020 je tato podmínka opravdu splněna, jak je patrné z Tab. 48, výsledky jsou o 50,4 až 157,9 % procent větší. Zatímco Ivančicemi protéklo dle ČHMÚ v roce 2020 celkem 20 671 t plavenin, dle našich odhadů protéklo Příbícemi v roce 2020 něco mezi 31 096 a 53 306 t plavenin [33]. V roce 2021 proplulo v Příbících od 37 386 do 327 330 t plavenin, tento rok však nemůžeme nijak srovnat, protože ČHMÚ nevydalo informaci o bilanci plavenin ve vodoměrném profilu Ivančice pro rok 2021.

Židlochovice jsou jediným ze čtyř řešených vodoměrných profilů, kde provádí pravidelné měření plavenin i ČHMÚ. Dle ČHMÚ protéklo Židlochovicemi 41 500 t plavenin v roce 2020 a 14 707 t plavenin v roce 2021 [33][34]. Dle našich výpočtů protéklo Židlochovicemi něco mezi 13 935 a 65 346 t v roce 2020 a něco mezi 15 004 a 39 752 t v roce 2021.

Srovnání s bilancemi plavenin publikovanými ČHMÚ indikuje, že naše měření i vyhodnocení bylo korektní a že jsme dosáhli reálných výstupů, neboť se naše výsledky řádově shodují s výsledky ČHMÚ. Pomocí analýzy spolehlivosti korekce dat pak lze vyvodit, které z výsledků jsou ty nejvíce odpovídající. Obecně lze konstatovat, že měření bylo úspěšné a že práce přichází s výsledky, které můžeme považovat za reprezentativní.

8 SEZNAMY

8.1 LITERATURA

- [1] HABERSACK H., HAIMANN M., KERSCHBAUMSTEINE W., LALK P. *Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes*, Wien, 2017.
- [2] FEDERAL INTERAGENCY SEDIMENTATION PROJECT. *Operator's Manual for the US P-61-A1 Point-Integrating Suspended-Sediment Sampler*. 14 s.
- [3] HALÍŘOVÁ J. *Pozorování režimu plavenin*. Interní předpis Českého hydrometeorologického ústavu. 27. února 2020. Revidována verze ze dne 1. června 2023.
- [4] HALÍŘOVÁ J., STIERAND P. Výsledky pozorování režimu plavenin v povodí Labe. Český hydrometeorologický ústav, 2014. Rožnovský, J., Litschmann, T., Středa, T., Středová, H., (eds): *Extrémy oběhu vody v krajině*. Mikulov, 8. – 9.4. 2014, ISBN 978-80-87577-30-1.
- [5] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Pevné matrice jako součást vodního ekosystému*. Plakát. Online. Dostupné z: <https://info.chmi.cz/postery/>. [cit. 2023-12-22].
- [6] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Kompletní odběrový protokol matrice Plaveniny, profil Ivančice, 23. 11. 2023*. Správa odběrových protokolů ČHMÚ. Online. Dostupné z: https://hydro.chmi.cz/odbp/op_outputprotocol.php?seq=2003885828. [cit. 2023-12-24].
- [7] SIMON O., FRICOVÁ K. Kontinuální vzorkovač plavenin nové konstrukce. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2009, 51(2), s. 15-17. ISSN 0322-8916. Dostupné také z: https://www.vtei.cz/wp-content/uploads/2015/08/vtei_2009_2.pdf. [cit. 2023-12-25].
- [8] FRANČŮ E., GERŠL M. *Vzorkování plavenin v menších tocích*. Česká geologická služba, 2009. Projekt SP/1b7/156/07 Ministerstva životního prostředí.
- [9] EDWARDS T. K., GLYSSON G. D. *Field Methods for Measurement of Fluvial Sediment: U.S. Geological Survey Techniques of Water Resources Investigations*. 1999. Kniha 3, kapitola C2, 89 s. ISBN 0-607-89738-4.
- [10] DAVIS B. E. *A Guide to the Proper Selection and Use of Federally Approved Sediment and Water-Quality Samplers*. Reston, Virginie, 2005. U.S. Geological Survey, Open File Report 2005-1087. 20 s.
- [11] FEDERAL INTERAGENCY SEDIMENTATION PROJECT. *Sampling with the US DH-48 Depth-Integrating Suspended-Sediment Sampler*. 12 s.
- [12] WINTERSTEIN T. A., STEFAN H. E. *Suspended-sediment sampling in flowing water—Laboratory study of the effects of nozzle orientation, withdrawal rate and particle size*. Minneapolis, Minnesota, 1983. 97 s.

Minneapolis, University of Minnesota, St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory External Memorandum M-168.

- [13] KRAUS N. C. Application of Portable Traps for Obtaining Point Measurements of Sediment Transport Rates in the Surf Zones. *Journal of Coastal Research*. 1987, 3(2). s. 139-152.
- [14] ČSN EN 872. *Jakost vod – Stanovení nerozpuštěných látek – Metoda filtrace filtrem ze skleněných vláken*. Praha, 2005. Český normalizační institut. 12 s. Třídící znak 757349.
- [15] SHREVE E. A., DOWNS A. C. *Quality-Assurance Plan for the Analysis of Fluvial Sediment by the U.S. Geological Survey Kentucky Water Science Center Sediment Laboratory*. Reston, Virginie, 2005. U.S. Geological Survey Open-File Report 2005-1230, 28 s.
- [16] PRIESNER R. *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.
- [17] OPENAI. (2023). *ChatGPT 3.5*. Verze ze dne 15. prosince 2023. Online. Dostupné z: <https://chat.openai.com/>. [cit. 2023-12-15].
- [18] ATIK K., AKTAŞ A., DENIZ E. Performance parameters estimation of MAC by using artificial neural network. *Expert Systems with Applications*. 2010, 37(7), s. 5436-5442. ISSN 0957-4174. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.02.070. Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417410001090>. [cit. 2023-12-15].
- [19] BARANYA S., JÓZSA J. Estimation of Suspended Sediment Concentrations with ADCP in Danube River. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 2013, 61(3), s. 232-240. ISSN 0042-790X. eISSN 1338-4333 DOI: doi:10.2478/johh-2013-0030. Dostupné také z: <https://sciencedirect.com/science/article/pii/S0042790X13000030>. [cit. 2023-12-12].
- [20] MAPY.CZ. *Základní mapa České republiky*. Seznam.cz, 2023. Online. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?l=0&x=15.4050060&y=49.8932308&z=8>. [cit. 2024-01-05].
- [21] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Počet obyvatel v obcích – k 1. 1. 2023*. Praha. 23. května 2023. Online. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-k-112023>. [cit. 2023-12-07].
- [22] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Malý lexikon obcí České republiky – 2017*. Praha. 15. prosince 2017. Online. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/maly-lexikon-obci-ceske-republiky-2017>. [cit. 2023-12-07].
- [23] POVODÍ MORAVY. *Významné řeky*. Online. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/o-podniku/vyznamne-vodni-toky/>. [cit. 2023-12-08].

- [24] MAPY.CZ. *Základní mapa s vyznačením řeky Dyje*. Seznam.cz, 2023. Online. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?!=0&source=osm&id=143109918&ds=2&x=16.2653097&y=48.8695733&z=9>. [cit. 2023-12-08].
- [25] DIGITÁLNÍ POVODŇOVÝ PLÁN ČR. *Povodňový plán obce Hevlín. Hlásný profil A 363. Hevlín*. Ministerstvo životního prostředí, 2023. Online. Dostupné z: https://dpp.hydrosoft.cz/hvmap.dll?IFRAME=1&GEN=LST&LOGO=594032&MAP=hlas_prof&TS=hlas_prof&QY=C%5B OBJ_SEQ%5DE11022762. [cit. 2023-12-08].
- [26] MAPY.CZ. *Základní mapa s vyznačením řeky Jihlavy*. Seznam.cz, 2023. Online. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?!=0&source=osm&id=1017106943&ds=1&x=15.9846159&y=49.1135577&z=9>. [cit. 2023-12-10].
- [27] DIGITÁLNÍ POVODŇOVÝ PLÁN ČR. *Povodňový plán České republiky. Hlásný profil A 398. Přibice*. Ministerstvo životního prostředí, 2023. Online. Dostupné z: [https://webmap.dppcr.cz/dpp_cr/dppcr.dll?IFRAME=1&GEN=LST&LOGO=\\$CZ0&MAP=hlas_prof&TS=hlas_prof&QY=C%5B OBJ_SEQ%5DE11022772](https://webmap.dppcr.cz/dpp_cr/dppcr.dll?IFRAME=1&GEN=LST&LOGO=$CZ0&MAP=hlas_prof&TS=hlas_prof&QY=C%5B OBJ_SEQ%5DE11022772). [cit. 2023-12-10].
- [28] MAPY.CZ. *Základní mapa s vyznačením řeky Svatky*. Seznam.cz, 2023. Online. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?!=0&source=osm&id=1017106942&ds=1&x=16.5255518&y=49.3294098&z=9>. [cit. 2023-12-17].
- [29] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Evidenční list hlásného profilu č.383. Židlochovice*. Online. Dostupné z: <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=307151>. [cit. 2023-12-17].
- [30] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Evidenční list hlásného profilu č.362. Znojmo*. Online. Dostupné z: <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=307203>. [cit. 2023-12-19].
- [31] VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T.G.MASARYKA, VEŘEJNÁ VÝZKUMNÁ INSTITUCE. *Mapa VH a ochrana vod. Hydroekologický informační systém VÚV TGM, v.v.i., 2023*. Online. Dostupné z: <https://heis.vuv.cz/>. [cit. 2023-12-20].
- [32] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Hydrologická ročenka České republiky 2022*. Praha, 2023. 250 s. Český hydrometeorologický ústav. ISBN 978-80-7653-061-4.
- [33] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Hydrologická ročenka České republiky 2020*. Praha, 2021. 276 s. Český hydrometeorologický ústav. ISBN 978-80-7653-030-0.
- [34] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Hydrologická ročenka České republiky 2021*. Praha, 2022. 300 s. Český hydrometeorologický ústav. ISBN 978-80-7653-049-2.

- [35] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Evidenční list hlásného profilu č.397. Ivančice.* Online. Dostupné z: <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=307003>. [cit. 2032-12-22].

8.2 SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Parametry vzorkovačů užívaných USGS [10]	11
Tab. 2. Přibližná doba plnění vzorkovače US DH-48 [11]	14
Tab. 3. Hydrologické údaje o hlásném profilu Hevlín [25]	33
Tab. 4. Hydrologické údaje o hlásném profilu Přibice [27].....	34
Tab. 5. Hydrologické údaje o hlásném profilu Přibice [29].....	35
Tab. 6. Hydrologické údaje o hlásném profilu Znojmo [30]	36
Tab. 7. Výpočet počtu skrytých neuronů v UNS vytvořené pro obec Hevlín	41
Tab. 8. Výpočet koeficientu příčného profilu pro profil Hevlín	47
Tab. 9. Výsledky metody bez korekce dat ve vodoměrném profilu Hevlín	48
Tab. 10. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Hevlín při výpočtu metodou bez korekce dat	49
Tab. 11. Výsledky metody korekce dat pomocí filtrace ve vodoměrném profilu Hevlín	49
Tab. 12. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Hevlín při výpočtu metodou korekce dat pomocí filtrace.....	50
Tab. 13. Výsledky metody korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění ve vodoměrném profilu Hevlín.....	50
Tab. 14. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Hevlín při výpočtu metodou korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění.....	50
Tab. 15. Výsledky metody korekce dat pomocí UNS ve vodoměrném profilu Hevlín .	51
Tab. 16. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Hevlín při výpočtu metodou korekce dat pomocí UNS	51
Tab. 17. Výpočet počtu skrytých neuronů v UNS vytvořené pro obec Přibice	56
Tab. 18. Výpočet koeficientu příčného profilu pro profil Přibice.....	59
Tab. 19. Výsledky metody bez korekce dat ve vodoměrném profilu Přibice	60
Tab. 20. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Přibice při výpočtu metodou bez korekce dat	61
Tab. 21. Výsledky metody korekce dat pomocí filtrace ve vodoměrném profilu Přibice	61
Tab. 22. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Přibice při výpočtu metodou korekce dat pomocí filtrace.....	61

Tab. 23. Výsledky metody korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění ve vodoměrném profilu Přibice	62
Tab. 24. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Přibice při výpočtu metodou korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění.....	62
Tab. 25. Výsledky metody korekce dat pomocí UNS ve vodoměrném profilu Přibice.	63
Tab. 26. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Přibice při výpočtu metodou korekce dat pomocí UNS	63
Tab. 27. Výpočet počtu skrytých neuronů v UNS vytvořené pro obec Židlochovice ...	68
Tab. 28. Výpočet koeficientu příčného profilu pro profil Židlochovice.....	71
Tab. 29. Výsledky metody bez korekce dat ve vodoměrném profilu Židlochovice	72
Tab. 30. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Židlochovice při výpočtu metodou bez korekce dat	73
Tab. 31. Výsledky metody korekce dat pomocí filtrace ve vodoměrném profilu Židlochovice	73
Tab. 32. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Židlochovice při výpočtu metodou korekce dat pomocí filtrace.....	73
Tab. 33. Výsledky metody korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění ve vodoměrném profilu Židlochovice	74
Tab. 34. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Židlochovice při výpočtu metodou korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění.....	74
Tab. 35. Výsledky metody korekce dat pomocí UNS ve vodoměrném profilu Židlochovice	75
Tab. 36. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Židlochovice při výpočtu metodou korekce dat pomocí UNS	75
Tab. 37. Výpočet počtu skrytých neuronů v UNS vytvořené pro obec Znojmo.....	80
Tab. 38. Výpočet koeficientu příčného profilu pro profil Znojmo	83
Tab. 39. Výsledky metody bez korekce dat ve vodoměrném profilu Znojmo.....	84
Tab. 40. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Znojmo při výpočtu metodou bez korekce dat	85
Tab. 41. Výsledky metody korekce dat pomocí filtrace ve vodoměrném profilu Znojmo	85
Tab. 42. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Znojmo při výpočtu metodou korekce dat pomocí filtrace.....	85
Tab. 43. Výsledky metody korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění ve vodoměrném profilu Znojmo	86
Tab. 44. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Znojmo při výpočtu metodou korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění.....	86
Tab. 45. Výsledky metody korekce dat pomocí UNS ve vodoměrném profilu Znojmo	87

Tab. 46. Statistické charakteristiky ve vodoměrném profilu Znojmo při výpočtu metodou korekce dat pomocí UNS	87
Tab. 47. Srovnání výsledků s ČHMÚ, vodoměrný profil Hevlín [33][34].....	88
Tab. 48. Srovnání výsledků s ČHMÚ, vodoměrný profil Příbice [33]	89
Tab. 49. Srovnání výsledků s ČHMÚ, vodoměrný profil Židlochovice [33][34].....	90
Tab. 50. Srovnání výsledků s ČHMÚ, vodoměrný profil Znojmo [33][34]	90

8.3 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Batometr US P-61-A1 [2]	3
Obr. 2. Ruční vzorkování: vlevo láhev s uzávěrem s otvory, uprostřed láhev s odvodušňovací trubicí, vpravo ukázka ručního vzorkování [4][5]	4
Obr. 3. Ukázka odběrového protokolu, vodoměrný profil Ivančice dne 23. 11. 2023 [6]	5
Obr. 4. Sampler 6712-FR v Židlochovicích (vlevo), samplerem odebrané vzorky (vpravo).....	6
Obr. 5. Již nepoužívaný systém automatického odebírání vzorků plavenin v Židlochovicích	7
Obr. 6. Mobilní odstředivka: vlevo automobil s nainstalovanou odstředivkou, vpravo nainstalovaná odstředivka [5]	8
Obr. 7. Schéma detritového kontinuální vzorkovače: 1 – sací koš umístěný do vodního toku, 2 – přívodní flexibilní potrubí, 3 – tělo se sedimentačním prostorem, 4 – odtokové flexibilní potrubí; horní hladina znázorňuje místo uložení sacího koše ve výše položené části toku a dolní hladina znázorňuje ústí odpadního potrubí v níže položené části toku s velkým spádem [7]	8
Obr. 8. Schémata integrálního vzorkovače: vlevo základní uspořádání, vpravo vnitřní řešení [8]	9
Obr. 9. Vzorkovaná a nevzorkovaná zóna v odběrové vertikále s ohledem na rychlost proudění a koncentraci suspendovaných látek [9]	10
Obr. 10. Vývojový diagram pro výběr zařízení používaných USGS k odběru vzorků plavenin [10]	12
Obr. 11. Vzorkovač US DH-48 (vlevo), ukázka správného postoje při odebírání vzorků zařízením US DH-48 (vpravo) [11]	13
Obr. 12. Schéma integrovaného vzorkování metodou EDI [9]	15
Obr. 13. Rychlosti plnění vzhledem k objemu odebraných vzorků, metoda EDI [9]....	15
Obr. 14. Ukázkový odběrový protokol, řeka Nehalem, Oregon [9]	16
Obr. 15. Schéma integrovaného vzorkování metodou EW1 [9].....	17
Obr. 16. Objem odebraných vzorků vzhledem k rychlosti plnění, metoda EW1 [9]	17

Obr. 17. Sampler US PS-69 [9]	18
Obr. 18. Příklady orientace sání sampleru: A – směřující přímo proti proudu, B – horizontálně k toku, C – vertikální s otvorem nahoru, D – vertikální s otvorem dolů, E – směřující přímo po proudu [9]	20
Obr. 19. Ruční odběr vzorků v oceánu [13].....	21
Obr. 20. Ukázka doplnění hodnot funkcí Clean Missing Data	26
Obr. 21. Ukázka vyhlazení dat funkcí Smooth Data	26
Obr. 22. Ukázka predikce průběhu plavenin pomocí UNS	28
Obr. 23. Část zkorigovaného hydrogramu v obci Hevlín, ve které byla využita predikce hodnot pomocí UNS	28
Obr. 24. Základní mapa ČR s vyznačením vodoměrných profilů: 1 – Hevlín, 2 – Příbice, 3 – Židlochovice, 4 – Znojmo [20].....	32
Obr. 25. Základní mapa s vyznačením řeky Dyje a vodoměrného profilu Hevlín [24]	33
Obr. 26. Základní mapa s vyznačením řeky Jihlavy a vodoměrného profilu Příbice [26]	34
Obr. 27. Základní mapa s vyznačením řeky Svatky a vodoměrného profilu Židlochovice [28].....	35
Obr. 28. Základní mapa s vyznačením řeky Dyje a vodoměrného profilu Znojmo [24]	36
Obr. 29. Hydrogram vzniklý metodou bez korekce dat, vodoměrný profil Hevlín.....	37
Obr. 30. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí filtrace, vodoměrný profil Hevlín.....	38
Obr. 31. Korelace mezi vybranými hodnotami s_s a odpovídajícími Q ve vodoměrném profilu Hevlín.....	39
Obr. 32. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění, vodoměrný profil Hevlín	40
Obr. 33. Spolehlivost natrénované UNS vytvořené pro vodoměrný profil Hevlín	41
Obr. 34. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí UNS, vodoměrný profil Hevlín.....	42
Obr. 35. Spolehlivost testovací UNS složené z 10 skrytých neuronů, vytvořeno pro vodoměrný profil Hevlín	43
Obr. 36. Spolehlivost testovací UNS složené z 1 000 skrytých neuronů, vytvořeno pro vodoměrný profil Hevlín	44
Obr. 37. Nevyhlazená predikce UNS složené z 1 000 skrytých neuronů, vodoměrný profil Hevlín.....	44
Obr. 38. Test predikce tří různých UNS, vodoměrný profil Hevlín	45
Obr. 39. Analýza úspěšnosti korekce dat ve vodoměrném profilu Hevlín	46
Obr. 40. Analýza závislosti s_m na s_k , vodoměrný profil Hevlín.....	47

Obr. 41. Kalibrace sondy v obci Hevlín	48
Obr. 42. Hydrogram vzniklý metodou bez korekce dat, vodoměrný profil Příbice	52
Obr. 43. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí filtrace, vodoměrný profil Příbice	53
Obr. 44. Korelace mezi vybranými hodnotami s_s a odpovídajícími Q ve vodoměrném profilu Příbice	54
Obr. 45. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění, vodoměrný profil Příbice	55
Obr. 46. Spolehlivost natrénované UNS vytvořené pro vodoměrný profil Příbice	56
Obr. 47. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí UNS, vodoměrný profil Příbice	57
Obr. 48. Analýza úspěšnosti korekce dat ve vodoměrném profilu Příbice.....	58
Obr. 49. Analýza závislosti s_m na s_k , vodoměrný profil Příbice	59
Obr. 50. Kalibrace sondy v obci Příbice	60
Obr. 51. Hydrogram vzniklý metodou bez korekce dat, vodoměrný profil Židlochovice	64
Obr. 52. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí filtrace, vodoměrný profil Židlochovice	65
Obr. 53. Korelace mezi vybranými hodnotami s_s a odpovídajícími Q ve vodoměrném profilu Židlochovice	66
Obr. 54. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí vyhlazení doplnění, vodoměrný profil Židlochovice	67
Obr. 55. Spolehlivost natrénované UNS vytvořené pro vodoměrný profil Židlochovice	68
Obr. 56. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí UNS, vodoměrný profil Židlochovice	69
Obr. 57. Analýza úspěšnosti korekce dat ve vodoměrném profilu Židlochovice	70
Obr. 58. Analýza závislosti s_m na s_k , vodoměrný profil Židlochovice	71
Obr. 59. Kalibrace sondy v obci Židlochovice	72
Obr. 60. Hydrogram vzniklý metodou bez korekce dat, vodoměrný profil Znojmo	76
Obr. 61. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí filtrace, vodoměrný profil Znojmo.....	77
Obr. 62. Korelace mezi vybranými hodnotami s_s a odpovídajícími Q ve vodoměrném profilu Znojmo	78
Obr. 63. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí vyhlazení a doplnění, vodoměrný profil Znojmo.....	79
Obr. 64. Spolehlivost natrénované UNS vytvořené pro vodoměrný profil Znojmo.....	80

Obr. 65. Hydrogram vzniklý metodou korekce dat pomocí UNS, vodoměrný profil Znojmo.....	81
Obr. 66. Analýza úspěšnosti korekce dat ve vodoměrném profilu Znojmo	82
Obr. 67. Analýza závislost s_m na s_k , vodoměrný profil Znojmo	83
Obr. 68. Kalibrace sondy v obci Znojmo.....	84

8.4 SEZNAM VELIČIN

Označení	Název veličiny	Jednotka
$\mu(Q_s)$	střední hodnota transport suspendované hmoty,	[t/r]
$\sigma(Q_s)$	směrodatná odchylka,	[t/r]
$A_{S,m}$	odnos materiálu z povodí,	[t/km ²]
b	vzdálenost od referenčního bodu/spolupůsobící šířka,	[m]
$C_v(Q_s)$	koeficient variace,	[-]
$C_s(Q_s)$	koeficient asymetrie,	[-]
$D(Q_s)$	disperze,	[(t/r) ²]
h	výška nade dnem,	[m]
i	dílčí krok,	[-]
k_p	koeficient příčného profilu,	[-]
k_{pi}	dílčí koeficient příčného profilu,	[-]
N_H	počet skrytých neuronů,	[-]
N_I	počet vstupních neuronů,	[-]
N_O	počet výstupních neuronů,	[-]
N_T	počet tréninkových dat,	[-]
Q	průtok vody,	[m ³ /s]
Q_a	průměrný roční průtok,	[m ³ /s]
Q_N	N-letý průtok,	[m ³ /s]
Q_s	transport suspendované hmoty v příčném profilu,	[g/s, kg/s]
$Q_{S,m}$	průměrné roční množství plavenin,	[t/r]
R	spolehlivost,	[-]
RT	rychlost vzorkování,	[m/s]
s_0	koncentrace suspendovaných látek,	[mg/l]
s_k	koncentrace suspendovaných látek v blízkosti sondy,	[mg/l]
s_m	střední koncentrace suspendovaných látek,	[mg/l]

s_s	záznam sondy,	[NTU]
$s_{s,10}$	predikce zákalu UNS s 10 skrytými neurony,	[NTU]
$s_{s,262}$	predikce zákalu UNS s 262 skrytými neurony,	[NTU]
$s_{s,1000}$	predikce zákalu UNS s 1 000 skrytými neurony,	[NTU]
s_z	záznam sondy po kalibraci,	[mg/l]
t	doba trvání,	[s]
t_w	hloubka vody,	[m]
V	objem vzorku,	[l]
v	rychlost proudění,	[m/s]
$V'_{s,m}$	množství plavenin přepočtené na celý rok,	[t]
$V_{s,m}$	množství plavenin.	[t]

8.5 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ADCP	acoustic Doppler current profiler,
ANN	artificial neural network,
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav,
ČSN EN	Česká verze evropské normy,
EDI	Equal-Width-Increment,
EWI	Equal-Discharge-Increment,
KÚ	katastrální území,
NTU	Nephelometric Turbidity Units,
SEDECO	Sediments a ekosystémové služby ve vzájemném působení s povodněmi a suchem v pohraniční oblasti AT-CZ/Sediments, ecosystem services and interrelation with floods and droughts in the AT-CZ border region,
SMS	Short message service,
UNS	umělá neuronová síť,
USGS	United States Geological Survey.