

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky

**HODNOCENÍ PŘESNOSTI SONARU DEEPER
CHIRP+ PRO BATYMETRICKÉ MAPOVÁNÍ**

Bakalářská práce

Jindřich HORÁK

Vedoucí práce RNDr. Jakub MIŘIJOVSKÝ, Ph.D.

Olomouc 2021

Geoinformatika a geografie

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá možnostmi zhodnocení přesnosti sonaru Deeper Smart Sonar CHIRP+ pro batymetrické mapování, pro které není primárně určen. Práce si klade za cíl jednak vyjádřit, do jaké míry je daný sonar v měření hloubek schopný obstát v konkurenci s geodetickými metodami a jednak jak se liší měření různými paprsky sonaru mezi sebou.

Za tímto účelem byly zpracovány tři případové studie, ve kterých v různých podmínkách (na tekoucí řece, na klidné hladině přímo z vody a na klidné hladině z lodi) proběhlo sonarové a většinou i geodetické (jako referenční) měření hloubek, či právě zaměření hloubky více nastaveními sonaru – všemi třemi paprsky.

Po zpracování dat ze všech přístrojů byly vytvořeny výstupy skládající se převážně z různých porovnávacích profilů a doplňujících statistických údajů a testů. Kromě profilů vznikly i dvě mapy rozdílových rastrů hloubek.

Výsledkem práce je posouzení, zda lze považovat přesnost sonaru v různých podmínkách a nastaveních podle provedených případových studií za dostatečnou.

KLÍČOVÁ SLOVA

sonar; batymetrie; testování statistických hypotéz; přesnost; GIS

Počet stran práce: 48

Počet příloh: 22 (z toho 2 volné a 20 vázaných)

ANOTATION

This bachelor thesis deals with the options of evaluation of accuracy of Deeper Smart Sonar CHIRP+ sonar for bathymetric mapping, which is not the primary function of this device. Thesis aims to express an extent to which is this sonar able to compete with other geodetic methods and how the measurements of different sonar beams differ from one another.

For this purpose, three different case studies were prepared, each having different conditions: a flowing river; a calm water with measurements directly from the water, and a calm water with measurements from a boat. Under each of these conditions a sonar (and in most cases a referential geodetic) depth measurements, or just a depth measurement with different sonar settings on all three beams were performed.

After processing data from all devices, the results show mostly different comparison profiles as well as additional statistics data and tests. In addition, two maps showing a raster value differences were also created.

The conclusion of this thesis is an assessment, whether the accuracy of the sonar under different conditions and different settings can be considered sufficient.

KEYWORDS

sonar; bathymetry; statistical hypothesis testing, accuracy, GIS

Number of pages: 48

Number of appendixes: 22

Prohlašuji, že

- bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

- jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo,

- beru na vědomí, že Univerzita Palackého v Olomouci (dále UP Olomouc) má právo nevydělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užívat (§ 35 odst. 3),

- souhlasím, aby jeden výtisk bakalářské práce byl uložen v Knihovně UP k prezenčnímu nahlédnutí,

- souhlasím, že údaje o mé bakalářské práci budou zveřejněny ve Studijním informačním systému UP,

- v případě zájmu UP Olomouc uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít výsledky a výstupy mé bakalářské práce v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,

- použít výsledky a výstupy mé bakalářské práce nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem UP Olomouc, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly UP Olomouc na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Olomouci dne

Jindřich HORÁK

Děkuji vedoucímu práce RNDr. Jakubu Miřijovskému, Ph.D. za podněty, nápady, cenné rady, připomínky, a především za čas, který mi byl při vypracování práce ochoten věnovat. Dále děkuji Mgr. Karlu Macků, Ph.D. za rady ohledně použití statistických ukazatelů, testů a dalších souvisejících údajů v této práci a rovněž RNDr. Janu Brusovi, Ph.D. za rady týkající se interpolací reliéfu.

Za zapůjčené přístroje děkuji opět vedoucímu práce a též i celé Katedře geoinformatiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci.

Nakonec, ale rozhodně ne nejméně, bych chtěl poděkovat své rodině za obrovskou a neustálou podporu v celém studiu.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Jindřich HORÁK
Osobní číslo: R18245
Studijní program: B1301 Geografie
Studijní obor: Geoinformatika a geografie
Téma práce: Hodnocení přesnosti sonaru Deeper CHIRP+ pro batymetrické mapování
Zadávací katedra: Katedra geoinformatiky

Zásady pro vypracování

Cílem práce je otestovat levné sonarové zařízení Deeper CHIRP+ pro batymetrické mapování na tekoucích a stojatých plochách různého druhu. Pro ověření budou vypracovány tři případové studie jejichž výsledkem budou profily nebo 3D modely dna. Po stanovení kritérií bude testována zejména zahrnovat a) ověření použití různých paprsků na přesnost; b) stanovení limitních parametrů měření; c) přesnost bude srovnána s geodetickým měřením a s měřením druhým sonarem z vyšší cenové kategorie. Student se pokusí vytvořit platformu pro pevné umístění sonaru, která bude využita při tažení za lodí.

Celá práce (text, přílohy, výstupy, zdrojová a vytvořená data) se odevzdá v digitální podobě na paměťovém nosiči (CD, DVD, SD karta, flash disk). Text práce s vybranými přílohami bude odevzdán ve dvou svázaných výtiscích na sekretariát katedry. O diplomové práci student vytvoří webovou stránku v souladu s pravidly dostupnými na stránkách katedry. Práce bude zpracována podle zásad dle Voženílek (2002) a závazné šablony pro diplomové práce na KGI. Povinnou přílohou práce bude poster formátu A2.

Rozsah pracovní zprávy: max. 50 stran
Rozsah grafických prací: dle potřeby
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam doporučené literatury:

Pavelka, K. (2002). Fotogrammetrie 10, 2. přeprac. vyd. Praha: FSv ČVUT, 198 s.
Misra, P., & Enge, P. (2006). Global Positioning System: Signals, Measurements and Performance Second Edition. Lincoln, MA: Ganga-Jamuna Press.
Rapant, P.: Družicové polohové systémy. VŠB-TU Ostrava, 2002. 200 str.
Hauf, M. et al. (1989): Geodézie, Praha
Technická dokumentace k jednotlivým programům a přístrojům
Voženílek, V. (2002): Diplomové práce z geoinformatiky. Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc, UP, 61 s.

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Jakub Miřijovský, Ph.D.
Katedra geoinformatiky

Datum zadání bakalářské práce: 6. května 2020
Termín odevzdání bakalářské práce: 6. května 2021

UNIVERZITA PALACKÉHO
Přírodovědecká fakulta
Masarykova 25
782 02 Olomouc

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projekt, ústředního či ústředního významu)

Učební číslo:	20202	Jméno a příjmení:	
Číslo zadání:	2141	Titul:	
Číslo práce:		Pracovní úvazek:	
Pracovní úvazek:		Pracovní úvazek:	
Pracovní úvazek:		Pracovní úvazek:	

Obsah práce

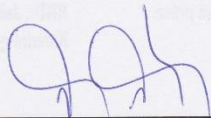
Práce je určena pro studenty bakalářského studijního programu Přírodovědné základy (PZ) v oboru Přírodovědné základy (PZ) a je součástí ústředního projektu. Práce je určena pro studenty bakalářského studijního programu Přírodovědné základy (PZ) v oboru Přírodovědné základy (PZ) a je součástí ústředního projektu. Práce je určena pro studenty bakalářského studijního programu Přírodovědné základy (PZ) v oboru Přírodovědné základy (PZ) a je součástí ústředního projektu. Práce je určena pro studenty bakalářského studijního programu Přírodovědné základy (PZ) v oboru Přírodovědné základy (PZ) a je součástí ústředního projektu.

Práce je určena pro studenty bakalářského studijního programu Přírodovědné základy (PZ) v oboru Přírodovědné základy (PZ) a je součástí ústředního projektu. Práce je určena pro studenty bakalářského studijního programu Přírodovědné základy (PZ) v oboru Přírodovědné základy (PZ) a je součástí ústředního projektu.

Práce je určena pro studenty bakalářského studijního programu Přírodovědné základy (PZ) v oboru Přírodovědné základy (PZ) a je součástí ústředního projektu. Práce je určena pro studenty bakalářského studijního programu Přírodovědné základy (PZ) v oboru Přírodovědné základy (PZ) a je součástí ústředního projektu.

Práce je určena pro studenty bakalářského studijního programu Přírodovědné základy (PZ) v oboru Přírodovědné základy (PZ) a je součástí ústředního projektu. Práce je určena pro studenty bakalářského studijního programu Přírodovědné základy (PZ) v oboru Přírodovědné základy (PZ) a je součástí ústředního projektu. Práce je určena pro studenty bakalářského studijního programu Přírodovědné základy (PZ) v oboru Přírodovědné základy (PZ) a je součástí ústředního projektu.

LS.



doc. RNDr. Martin Kubala, Ph.D.
děkan

prof. RNDr. Vít Voženílek, CSc.
vedoucí katedry

V Olomouci dne 7. září 2020

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 CÍLE PRÁCE.....	11
2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ.....	12
3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	15
3.1 Batymetrie.....	15
3.2 Sonary.....	15
3.2.1 Jednopaprscitý sonar	16
3.2.2 Mnohopaprscitý sonar.....	16
3.2.3 Boční sonar	17
3.2.4 Výložníkový systém	17
3.2.5 Parasound	18
3.2.6 Acoustic Doppler current profiler (ADCP)	18
3.3 Práce zabývající se řešenou problematikou	19
4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ	22
4.1 Přístroje.....	23
4.2 Terénní práce	24
4.2.1 Případová studie řeka Morava.....	25
4.2.2 Případová studie Opatovický a Velký písňík I	26
4.2.3 Případová studie Velký písňík II.....	26
4.3 Zpracování dat.....	27
4.3.1 Sonar.....	27
4.3.2 Totální stanice	30
4.3.3 GPS	31
4.4 Tvorba výstupů.....	32
4.4.1 Případová studie řeka Morava.....	33
4.4.2 Případová studie Opatovický a Velký písňík I	35
4.4.3 Případová studie Velký písňík II.....	43
5 VÝSLEDKY	51
5.1 Případová studie řeka Morava	51
5.2 Případová studie Opatovický a Velký písňík I.....	51
5.3 Případová studie Velký písňík II	52
6 DISKUZE	54
7 ZÁVĚR	56
POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
PŘÍLOHY	

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
3D	trojdimenzionální, trojrozměrný
ANOVA	Analysis of Variance
CSV	comma separated values
ČSÚ	Český statistický úřad
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DPZ	dálkový průzkum Země
EBK	Empirical Bayesian Kriging
GIS	geografický informační systém
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
CHKO	chráněná krajinná oblast
ID	identifikační číslo
IDW	Inverse Distance Weighting
KSTP	Katedra statistiky a pravděpodobnosti Fakulty informatiky a statistiky Vysoké školy ekonomické v Praze
LIDAR	Light Detection and Ranging
NDWI	Normalized Difference Water Index
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PrF	Přírodovědecká fakulta
RMSE	Root Mean Square Error
RTK	Real Time Kinematic
UP	Univerzita Palackého v Olomouci
UTC	Koordinovaný světový čas
WAAS	Wide Area Augmentation System
WHOI	Woods Hole Oceanographic Institution
ZÚ	Zeměměřický úřad

ÚVOD

Zabývat se batymetrií a podmořskou topografií – měřeními hloubek a zjišťováním vlastností povrchu dna nejen u moří a světových oceánů, ale i u sladkovodních vodních ploch a toků je stejně důležité jako zabývat se topografií pozemskou, zaměřenou převážně na zkoumání reliéfu zemského povrchu kontinentů. Detailní mapy mořského dna jsou důležité například pro pokládání podmořských kabelů či potrubí, správné řízení rybolovů a zároveň ochranu ryb, neboť podmořské hory jsou místa, kde se často udržuje bohatý a rozmanitý život. Členité mořské dno navíc ovlivňuje chování mořských proudů, ale i vertikální výměnu vody (Amos, 2020). U sladkovodních vod se batymetrické průzkumy využívají jednak pro samotné zjišťování hloubek toků a nádrží, dále pro studie ohledně kvality vody – například mapování biologických úniků, nebo též pro výzkumy při povodních (Boldt, 2021).

Ovšem provedení všech výše zmíněných studií na profesionální a přesné úrovni vyžaduje složitá a pro malé organizace či jednotlivce velmi nákladná a na obsluhu složitá zařízení (Sánchez-Carnero a kol., 2012). Existují i varianty levnější, ovšem pro jednotlivce stále příliš složité. Na základě těchto skutečností vyvstala motivace zjistit, zda i relativně cenově dostupné a na ovládání jednoduché zařízení, které není primárně pro přesné určování hloubek a tvorbu batymetrie určeno, bude schopno zaměřovat hloubky s dostatečnou přesností ve srovnání s metodami přesnými.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je otestovat levné sonarové zařízení Deeper CHIRP+ pro batymetrické mapování na tekoucích a stojatých plochách různého druhu. Toto testování proběhne ve třech případových studiích, jejichž výsledkem budou profily nebo 3D modely dna. Tyto případové studie ověří vliv použití různých paprsků sonaru na jeho přesnost a jeho přesnost bude srovnána s geodetickým měřením, které bude bráno jako referenční.

Jedna případová studie bude zaměřena na použití sonaru na tekoucí vodní ploše (řece), kde bude naměřen její příčný a podélný profil v části jejího toku. Sonarové měření zde bude srovnáno s měřením totální stanicí.

Další případová studie se zaměří na vodní plochu s co nejvíce klidnou hladinou, kde bude autorem práce přímo z vody opět naměřeno několik profilů a zároveň alespoň část vodní plochy bude zmapována plošně. Zde použitá geodetická metoda ke srovnání bude přesná poloha získaná GNSS přijímačem, konkrétně metodou RTK GPS.

Ve třetí případové studii se z lodi, ale opět na klidné hladině vodní plochy, provede porovnání mezi všemi třemi paprsky sonaru, bude zjištěno, nakolik a zda významně se liší změřená hloubka podle toho, jakým paprskem byla změřena a hodnoty kterého paprsku nejvíce kolísají v průběhu měření daným paprskem.

Výsledky práce umožní získat povědomí o tom, nakolik sonar z levnější cenové kategorie, který není primárně určen pro přesná batymetrická mapování, obstojí před různými variantami tohoto úkolu. Pokud bude jeho přesnost uspokojivá, dal by se využívat jako relativně levná, jednoduchá a rychlá alternativa k profesionálním řešením při zjišťování hloubek vodních útvarů – ať už tekoucích či stojatých.

2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

Nejprve po obdržení zadání bakalářské práce byla provedena rešerše řešené problematiky. Zpracovány byly především zahraniční články zabývající se použitím sonaru a vytváření různých druhů batymetrie – například článek od Dosta a Mannaertse (2005), který kromě jiného popisuje i následné zpracování naměřených dat v GIS ještě s pomocí dat DPZ. Dále byla prostudována diplomová práce Kristýny Zedníčkové (2020) z Katedry geoinformatiky PřF UP, která ve své práci kromě jiného použila tentýž sonar, který je ústředním tématem i této práce a například stanovila, který režim sonaru je nejpřesnější a je tím pádem nejlepší k využití pro získávání batymetrie.

Před samotným provedením praktické části byla navržena podoba jednotlivých případových studií – jak a kdy zhruba proběhnou a co konkrétně v nich bude realizováno. Podle těchto návrhů byly případové studie postupně prováděny. Postup většinou spočíval v zaměření bodů sonarem a ihned i geodetickou metodou, která byla poté brána jako referenční.

Již po dokončení první případové studie začalo prvotní zpracování dat, aby byly co nejdříve k dispozici první výsledky. Zpracování bylo nejvíce zaměřeno na sonarová data, neboť jejich zpracování zahrnovalo nejvíce kroků. Nejprve byl unixový čas převeden na datum a čas ve svých přirozených formátech. Poté byl rozdělen seznam záznamů na jednotlivá měření, aby za tato měření byla později vypočítána průměrná hloubka, nebo byl seznam rozdělen podle času měření tak, aby bylo poznat, kdy a jakým paprskem sonaru bylo měřeno.

Po zpracování dat byly tvořeny výstupy. Většina výstupů je v podobě grafů zobrazujících průběh měnící se hloubky dna v určité vzdálenosti či čase. U těchto grafů musely právě být vypočítány vzdálenosti či časové rozdíly mezi body. Součástí tvorby výstupů byly rovněž výpočty různých statistických ukazatelů, které byly vhodné stanoveny, či bylo použito statistické testování hypotéz.

Jakmile byly vytvořeny výstupy i s vhodnými statistickými ukazateli, byly na jejich základě odvozovány výsledky práce.

Na závěr byl dopracován text práce, byly vyhotoveny webové stránky, a nakonec i poster.

Použité metody

Na počátku řešení proběhla rešerše současného stavu problematiky. Po navržení případových studií byla jedna po druhé provedena. Byla pořízena sonarová data a ve většině případů k nim i data geodetická, která sloužila jako referenční. Zde tedy byly použity metody měření s danými přístroji (viz dále) – zaznamenávání hloubky sonarem, určování polohy totální stanicí a metoda RTK GPS pro určení polohy GNSS přijímačem. Na pořízená data byly aplikovány metody zpracování dat vedoucí k možnosti porovnání sonarových dat s referenčními. Většina výstupů je ve formě grafů zobrazujících určitým způsobem hloubku. Vyhodnocení přesnosti je na základě různých statistických ukazatelů či testů hypotéz. Například byla použita metoda analýzy rozptylu, což je statistický test, kterým bylo ověřováno, jestli se významně liší měření různými paprsky použitého sonaru. Při vytváření výsledných map z plošného mapování byla několikrát použita metoda interpolace reliéfu, dále rastrová kalkulačka pro odečítání povrchů od sebe, čímž byly získány výsledné rozdílové rastry.

Použitá data

Veškerá data, se kterými bylo v práci operováno, jsou daty primárními, tedy všechna byla pořízena autorem přímo pro tuto práci. Jelikož je cílem ověřit přesnost daného

sonaru, samozřejmě přímo ním musela být provedena všechna naplánovaná měření. Měření geodetickými metodami, které sloužilo k sonarovému jako referenční bylo pořizováno současně se sonarovým měřením, či těsně po něm, aby oba typy měření zachycovaly co nejvíce podobnou situaci zájmového dna vodních ploch/toků. Byla tedy pořízena sonarová data, která vedla k sestavení (a vždy i k porovnání právě s geodetickým měřením) částečného příčného profilu vodního toku, podélného profilu části vodního toku, několika příčných profilům na klidných vodních plochách a dvou map (rozdílových rastrů hloubek mezi sonarovým a geodetickým digitálním modelem reliéfu). Další sonarová data byla naměřena ve třetí případové studii, která už ale nebyla zaměřena na porovnání s geodetickou metodou, nýbrž na porovnání všech paprsků sonaru mezi sebou.

Při tvorbě náhledových map zobrazujících místa, kde případové studie proběhly, byla jako podklad použita **Základní mapa České republiky** od Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK) jako Web Map Service (WMS služba) a polygonová vektorová data krajů, okresů, obcí a vodních ploch a dále bodová vektorová data obcí. Tato data byla získána z digitální vektorové geografické databáze České republiky **ArcČR® 500** verze 3.3, která je poskytována v měřítku 1 : 500 000 ve spolupráci společnosti ARCDATA PRAHA, s.r.o., Zeměměřického úřadu (ZÚ) a Českého statistického úřadu (ČSÚ).

Použité přístroje jsou sonar **Deeper Smart Sonar CHIRP+**, totální stanice **Trimble S3 Robotic** a GNSS přijímač **Trimble R4 GNSS System**.

Použité programy

Veškeré nastavení i průběh měření sonaru se ovládá pomocí aplikace pro chytré mobilní telefony **Fish Deeper**, která je dostupná pro operační systémy iOS, Android i Harmony OS (nový operační systém v telefonech značky Huawei). Po ukončení měření lze z této aplikace nahrát data do internetového cloudového úložiště totožného jména. Při práci byla aplikace použita ve verzi 1.11.1 a 1.11.2 v operačním systému Android verze 10.

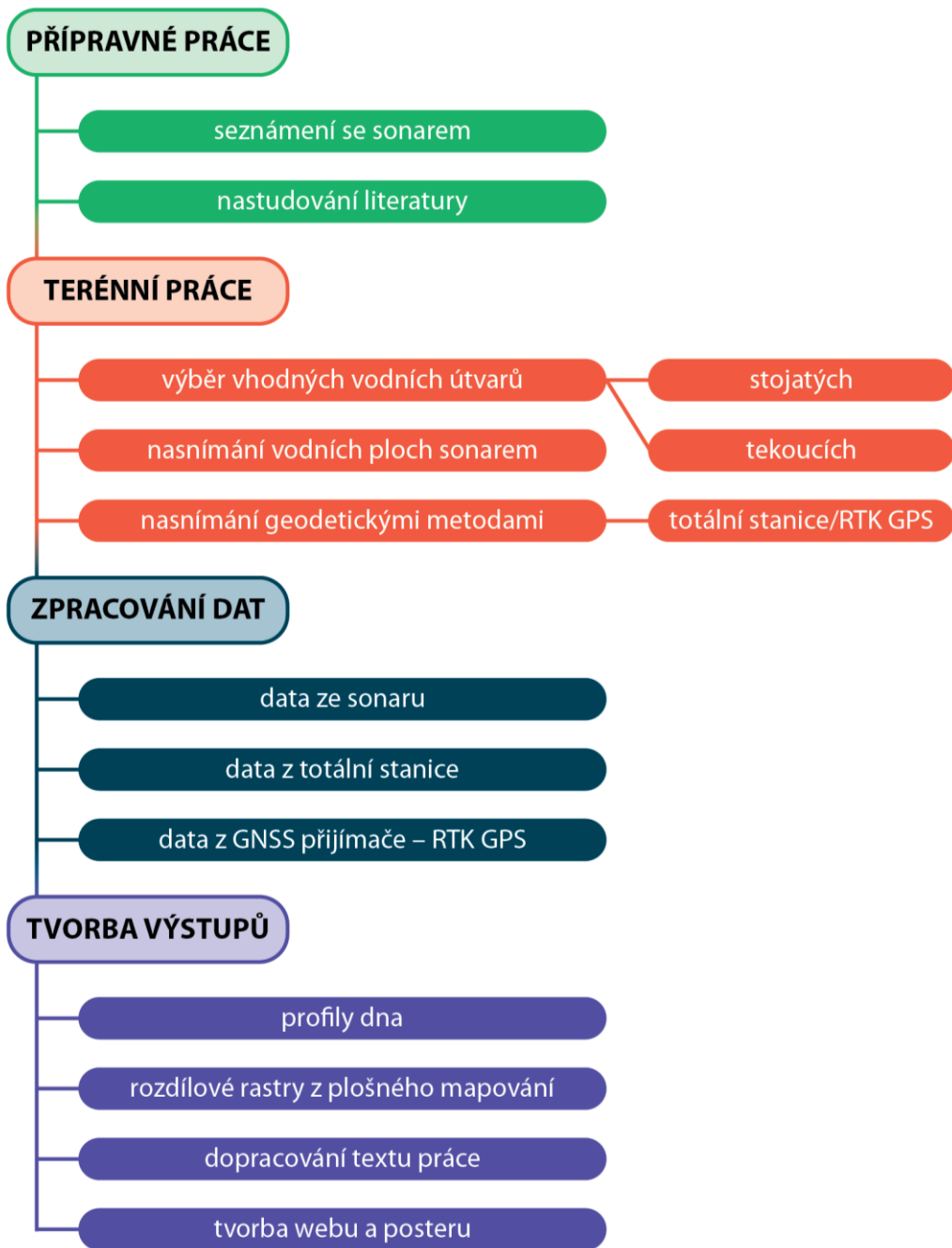
Použitá totální stanice i GNSS přijímač od americké společnosti Trimble využívají pro měření své programové vybavení s názvem **Trimble Access**, které je na GNSS přijímači ve verzi 2015.00. V tomto programu byly nastaveny všechny náležitosti měření, které zde i proběhlo a data byla nakonec exportována do formátu CSV.

Zpracování stažených dat z cloudového úložiště a tvorba většiny výstupů proběhla v prostředí tabulkového procesoru **Microsoft Excel**, který je součástí balíku kancelářských aplikací Microsoft 365 (dříve Office 365).

Pro počítání průměrů z mnoha záznamů jednotlivých dílčích měření pomocí nástroje *Dissolve* byl využit geografický informační systém **ArcGIS Pro** ve verzi 2.5.0. Program byl ale především využit pro zpracování plošného mapování, kdy v něm proběhly procesy jako interpolace povrchů, jejich vzájemné odečtení či tvorba vrstevnic do map. Ještě byly v tomto programu rovněž zpracovány náhledové mapy míst provedení případových studií.

Postup zpracování

Postup zpracování je patrný z grafického znázornění (obr. 1).



Obr. 1 Postup zpracování.

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Tato kapitola je zaměřena jednak na rozpracování teorie a používaných technik ohledně řešené problematiky a jednak nabízí pohled na některé práce, které se zabývaly řešenou problematikou či příbuznými tematikami.

3.1 Batymetrie

Batymetrie je vědní disciplínou, která zkoumá dno vodních ploch, ať už se jedná o oceány, řeky, potoky či jezera. Termín „batymetrie“ původně znamenal relativní měření hloubky oceánu vzhledem k mořské hladině, ale postupem času se vyvinul až do „podmořské topografie“. Stejně jako topografické mapy zobrazují trojrozměrné prvky (reliéf) na pevnině, batymetrické mapy znázorňují povrch ležící pod vodou. Změny v mořském dně mohou být vyobrazeny barvami a izoliniemi, které se ve spojitosti s hloubkou vody nazývají izobáty či hloubnice (NOAA, 2018).

Zpočátku se batymetrie zaměřovala čistě na oceánská měření, zájem batymetricky mapovat i sladkovodní vodní plochy se začal projevovat až v posledních sto letech. Vývojem též samozřejmě prošly i metody samotného měření hloubky. Jedna z prvních primitivních metod spočívala v použití provazu se závažím, kdy tento provaz byl vržen do vody a z předem připravených značek na provaze byla zjištěna hloubka v daném místě. Postupem času došlo k využívání geodetických metod a při nedávných i současných výzkumech jsou používány globální družicové polohové systémy (GNSS) spolu se sonary, které tvoří husté sítě bodů o přesných souřadnicích včetně nadmořské výšky (souřadnice Z). Z těchto bodů jsou poté interpolovány digitální modely povrchu (Steinberg, 2009).

Ačkoli je možno tradiční batymetrii – loď, sonarové technologie a GNSS – získávat přesná bodová a liniová měření hloubky, je tato metoda omezena vysokými provozními náklady, neefektivitou a obtížností použití v mělkých vodách. Na druhou stranu metody měření hloubky dálkovým průzkumem Země nabízí flexibilnější, efektivnější a méně finančně náročné mapování rozsáhlých oblastí. Příkladem nezobrazovací metody dálkového průzkumu Země využitelné pro batymetrické mapování je laserové skenování (LIDAR – Light Detection and Ranging). Tato technika je schopna vytvářet přesná batymetrická data na neznečištěných vodách o maximální hloubce až 70 m (Gao, 2009).

3.2 Sonary

Sonar (z anglického Sound Navigation and Ranging) je technologie, která využívá pulzy akustických (zvukových) vln. Tyto pulzy jsou vysílány směrem dolů – ke dnu, kde se odrazí zpět. Odraz je zachycen sonarem, který spočítá, v jaké hloubce se objekt (dno) nachází a ihned je vyslán další pulz (Deeper, 2020).

Existují dva základní typy sonarů – pasivní a aktivní. *Pasivní* sonary jsou zařízení, která de facto jen „poslouchají“ a zaznamenávají zvuky (zvukové pulzy) vysílané ostatními objekty ve vodě. Mohou být využívány k zachycování seismické aktivity, detekci lodí, ponorek, vodních živočichů či čehokoliv, co vydává pod vodou zvuk. Oproti tomu *aktivní* sonary jsou přístroje, které vysílají zvukové vlny specifických frekvencí a registrují echa svých vyslaných vln, které byly odrazeny od vzdálených objektů (dna) ve vodě. Aktivní sonary jsou využívány pro batymetrická měření (SeaBeam, 2000).

3.2.1 Jednopaprscitý sonar

Základem sonarového měření je jednopaprscitý sonar neboli echolot, který využívá jediný paprsek ve tvaru kuželu (Novák a kol., 2017). Většina sonarů nabízí možnost řídit rozsah kuželu zvukové vlny změnou frekvence skenovacího paprsku. Pro různé situace se mohou více či méně hodit jiné skenovací paprsky. Použití *širokého* paprsku (úhel 40° až 60°) pro skenování je vhodné pro rychlejší skenování větších oblastí a získání souhrnných informací o struktuře dna a hloubce, ale přesnost a detail budou nižší. *Široký* paprsek je ideální ve vodách s menší hloubkou, neboť kužel pokryje větší oblast, čím hlouběji sonar skenuje. Použití *úzkého* paprsku (úhel 10° až 20°) přinese přesnější údaje, ale pokryje menší oblast. *Úzký* paprsek je vhodný v hlubších vodách, poněvadž se kužel nerozšíří až příliš (Deeper, 2020).

Jednopaprscité sonary jsou určeny pro měření z pohybující se lodi. Zaznamenané hloubky mohou být zkombinovány s polohou pro vytváření batymetrických map (mořského) dna (SeaBeam, 2000).

Nevýhodou tohoto zařízení je, že při použití nevhodného paprsku mohou vznikat tzv. mrtvé zóny – pokud se zvukové vlny odrazí od výše položeného povrchu dna, vše pod touto úrovní zůstane nerozlišitelné – vznikne mrtvá zóna (obr. 2) (Novák a kol., 2017).



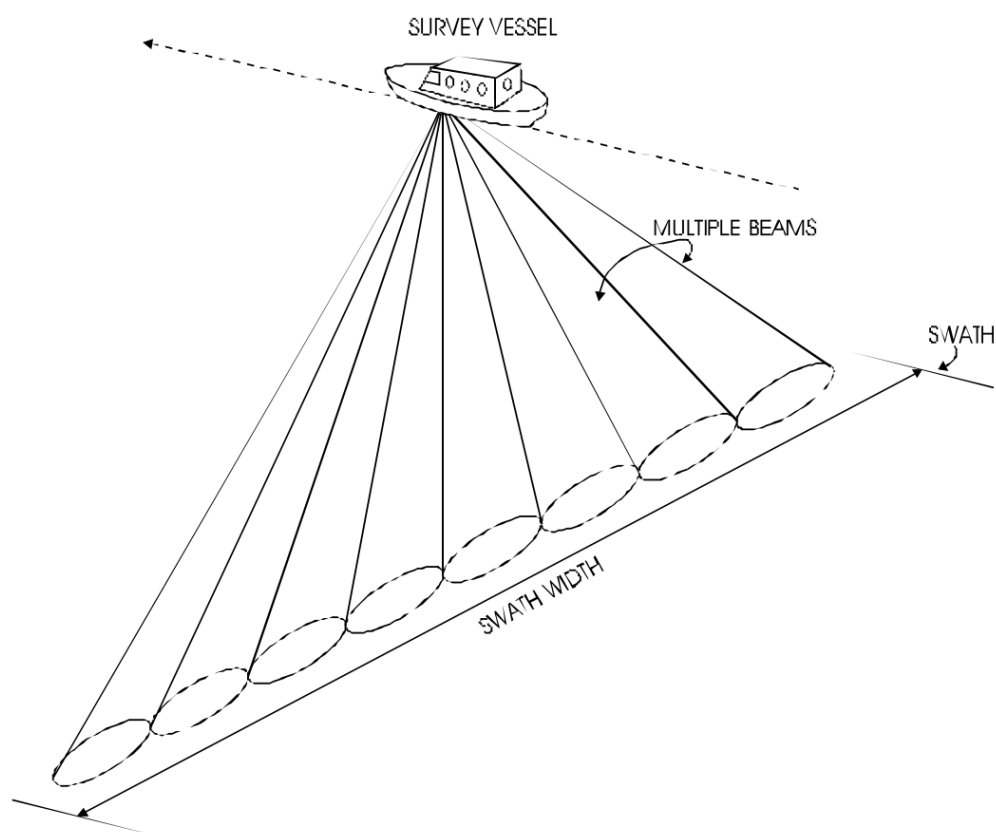
Obr. 2 Znárodnění úzkého a širokého paprsku a mrtvé zóny (Deeper, 2020).

3.2.2 Mnohopaprscitý sonar

Mnohopaprscitý sonar umožňuje mapování mnohem větší lokality (více lokalit) najednou než jednopaprscitý echolot (Novák a kol., 2017). Vysílá více paprsků dopadajících na dno tak, že tvoří pás bodů kolmý na směr plavby lodi, na které je tento sonar umístěn (obr. 3) (SeaBeam, 2000). Mapovaná oblast se nazývá pokos (anglicky swath) a maximální úhel záběru povrchu dna může dosahovat až 120° (Novák a kol., 2017).

Na rozdíl od jednopaprscitého sonaru poskytuje mnohopaprscitý sonar data zdánlivě spojitá. Jde sice o velmi husté bodové mračno mnoha diskretních měření, které je ale natolik husté, že je možné jej považovat za spojitou plochu (Knap a kol., 2018).

Jelikož jsou mnohopaprscité sonary mnohem složitější zařízení než echoloty, jejich cena může být až několikanásobná. Přesto tato cena je více než kompenzována úsporami spojenými se zkrácenou provozní dobou lodi. Proto tyto systémy nacházejí největší využití hlavně při zkoumání hlubokých oceánů, kde je čas provozu lodě drahý. (SeaBeam, 2000).



Obr. 3 Schéma fungování mnohopaprscitého sonaru (SeaBeam, 2000).

3.2.3 Boční sonar

Boční sonar se liší od ostatních typů tím, že není určen k měření hloubky, nýbrž k získávání informací o složení dna. Tento systém využívá toho, že rozdílné látky odrážejí a pohlcují zvuk rozdílně. Kovy nebo čerstvé sopečné horniny odrážejí zvukové pulzy velmi dobře, zatímco jíla a jemné naplavené sedimenty mají schopnost odrážet zvuk mnohem nižší. Čím silnější je odraz zvukové vlny, tím silnější je i echo, které sonar přijímá. Podle toho, jak je echo silné, lze určovat složení dna (SeaBeam, 2000).

Spojením dat o látkovém složení dna zjištěných bočním sonarem s daty o hloubce z mnohopaprscitého sonaru jsou získány podrobné informace o charakteristice dna (SeaBeam, 2000).

3.2.4 Výložníkový systém

Jedním ze speciálních systémů měření hloubky je výložníkový systém. Jedná se o použití několika sonarů najednou a zvláštní je hlavně jejich umístění. Sonary jsou

umístěny na dvou postranních ramenech – výložnicích – vyměřovací lodi. V České republice provozuje Povodí Vltavy, státní podnik, vyměřovací loď jménem Valentýna II. Tato loď dlouhá 31,45 m, široká 9 m, s ponorem 0,9 až 1,1 m slouží k měření hloubek vodních toků, ke kontrolám toku po povodních a k vyhledávání překážek na vodních cestách. Technologii (ultrazvukovou aparaturu MD 300) a programové vybavení pro měření zajistila v roce 1999 finská společnost Meridata Ltd. Lohja. Určení přesné polohy (odchylna pouze 0,25 m) lodi v prostoru (souřadnice X a Y) obstarává systém GPS – dva přijímače na břehu a jeden na lodi. Souřadnice Z je měřena radiolimnigrafy – měří výšku hladiny. Pro dodržení přesnosti měření je systém doplněn o inklinometr (koriguje chyby vzniklé náklonem lodi) a gyrokompas (pro navigaci lodě při měření) (Pokorná a kol., 2006; Povodí Vltavy s. p., 2013).

3.2.5 Parasound

Sonary používané pro zkoumání (mořského) dna včetně mnohopaprskových sonarů umožňují získávat informace o hloubce a tvaru dna a o objektech na něm ležících. Navzdory jejich vysokému rozlišení není možné nimi získat informace o rozvrstvení sedimentů či o předmětech zahrabaných ve dně (Kozaczka a kol., 2010). Na rozdíl právě od systému parasound. Jde o metodu měření mocnosti sedimentu, která využívá různou sílu odrazu zvukového paprsku od různých druhů usazenin. Lze ji též česky nazvat *profilování pod úrovní dna* (anglicky *sub-bottom profiling*). Zvukový paprsek o nižší frekvenci pronikne do sedimentu hlouběji, ovšem za cenu nižšího rozlišení dat. Naopak vyšší frekvence zvukového paprsku pronikne pouze do menších hloubek sedimentu, ale výsledná data jsou ve vyšším rozlišení. (Novák a kol., 2017). Fungování tohoto systému je založeno na vyslání dvou primárních rovnoběžných vysokofrekvenčních signálů, jejichž frekvence se při vysokém akustickém tlaku mírně liší (např. 100 a 95 kHz). Kvůli vysokému tlaku je šíření zvuku nelineární. Vyšší amplitudy zvuku se pohybují rychleji než nižší amplitudy zvuku, což má za následek, že vznikají sekundární signály o frekvenci rovné rozdílu primárních emitovaných signálů (např. 100 – 95 = 5 kHz) (Saleh a Rabah, 2019).

Hlavní výhody parametrického akustického systému spočívají v malé šířce paprsku při nízkých frekvencích, v možnosti proniknout hluboko do dna při vysokém rozlišení jednotlivých vrstev sedimentů a objektů ve dně a v přesném měření hloubky vysokofrekvenčním signálem (Kozaczka a kol., 2010).

3.2.6 Acoustic Doppler current profiler (ADCP)

Acoustic Doppler current profiler často zkracovaný jako ADCP a v češtině nazývaný také jako akustický průtokoměr (ČSN EN ISO 772, 2012) je přístroj užívaný k měření rychlosti proudění vodního toku napříč celým vodním sloupcem. ADCP upevněný ke dnu je schopen měřit ve stejném časovém intervalu rychlost proudění u dna i u hladiny. Když je ADCP umístěn horizontálně na vodním toku (na mostním pilíři, na břehu), pak ním lze měřit profil proudění vodního toku. Připevňuje se též zesponu na plující loď, kde provádí kontinuální měření proudění během plavby (WHOI, 2020).

ADCP měří vodní proudění pomocí zvuku, využívá principu Dopplerova jevu (WHOI, 2020). Dopplerův jev je popisován takto: Když se zdroj zvukového vlnění přibližuje k pozorovateli, čas mezi jednotlivými vlnami je kratší, což způsobuje nárůst frekvence vln. Když se zdroj zvukového vlnění naopak vzdaluje od pozorovatele, čas mezi vlnami je delší, to vede k poklesu frekvence zvukových vln (Průsis a Průsis, 2020). ADCP tedy vysílá zvukové vlny o stálé a neměnné frekvenci. Vlny se šíří tekoucí vodou a jsou odrazeny

rozptýlenými částicemi. V důsledku Dopplerova jevu mají zvukové vlny odražené od částice vzdalující se od přístroje při svém návratu mírně nižší frekvenci. A částice přibližující se k přístroji odrážejí vlny s mírně vyšší frekvencí. Rozdíl mezi odeslanou a přijatou frekvencí se nazývá Dopplerův posun. Pomocí Dopplerova posunu ADCP spočítá, jak rychle se daná částice – a tím i okolní tekoucí voda – pohybuje. Díky tomu, že odražené vlny od vzdálenějších částic se do přístroje vrací delší dobu než od bližších částic, může přístroj zaznamenávat čas, jak dlouho trvá každé vlně její návrat, může pro každou vlnou zvlášť počítat Dopplerův posun, a tím zjišťovat rychlost proudění vodního toku v mnoha různých hloubkách najednou – při každém vyslání zvukových vln (WHOI, 2020).

Mezi nevýhody lze zařadit, že když přístroj vyšle zvukové vlny o vysoké frekvenci, získá přesná data, ale tyto vlny se nedostanou do větší hloubky. Vlny o nízké frekvenci se dostanou hluboko, ale zase nepřinášejí data s velkou přesností. Je tedy nevyhnutelné najít kompromis mezi vzdáleností, do které bude přístroj měřit, a požadovanou přesností. Další nevýhodou je možné snížení přesnosti ve velmi čistých vodách. Jelikož ADCP měří rychlost pohybujících se rozptýlených částic, a ne vody samotné, může mít problém poskytovat spolehlivá data ve velmi čistých vodách, ve kterých je minimum těchto částic (WHOI, 2020).

3.3 Práce zabývající se řešenou problematikou

Práci s názvem *Bathymetric Mapping for Lake Hardibo in Northeast Ethiopia Using Sonar* zabývající se batymetrickým mapováním za použití sonaru a současného zaznamenávání GPS souřadnic provedl na etiopském sladkovodním jezeře Ardidbo (Hardibo) Yesuf a kol. (2012). Z důvodu absence jakéhokoli bodu s dříve přesně změřenou nadmořskou výškou hladiny jezera byla nejprve změřena tato nadmořská výška ručním GPS přístrojem. Před samotným získáváním dat byl sonar upevněn na loď, byl nastaven správný souřadnicový systém a projekce a také byl synchronizován GPS čas s časem v interních hodinách sonaru. Při provádění průzkumu se motorem poháněná loď pohybovala po předem stanovených liniích rychlostí maximálně 5 km/h. Zaměřeny byly také souřadnice nulové hloubky podél linie pobřeží rovněž pomocí ručního GPS přístroje. Tento rozměr či rozsah jezera vykreslený pomocí souřadnic nulové hloubky byl ještě zkontrolován, a nakonec potvrzen podle digitalizovaných satelitních snímků o rozlišení 5 m, které byly pořízeny družicí SPOT-5 v roce 2007. Získaná data byla očištěna od duplikátů a zjevných chybných měření a souřadnice Z byly označeny jako záporné, aby skutečně vyjadřovaly hloubku a nikoli výšku nad povrchem – nad nadmořskou výškou hladiny jezera. Naměřená bodová data o všech souřadnicích (X, Y, Z) vstupovala do různých interpolačních metod, za účelem vytvoření digitálního modelu. U použitých interpolačních metod – *Kriging*, *Inverse Distance to a Power*, *Natural Neighbour*, *Nearest Neighbour* a *Triangulation with Linear Interpolation* – byla ověřena přesnost křížovou validací a ačkoli všechny metody přinášely velmi dobré výsledky, hodnota koeficientu determinace R^2 byla nejvyšší u poslední zmíněné metody, tudíž tato byla vybrána jako nejvhodnější pro interpolování dat. Ze získaného digitálního modelu reliéfu byly sestaveny výsledné batymetrické mapy – jedna nebarevná, která zobrazuje hloubku pomocí izobát (hloubnic) a druhá, na níž je hloubka vyjádřena znázorněním ve 3D spolu s použitím barevné stupnice pro různé hloubky.

Dost a Mannaerts (2005) ve svém článku *Generation of lake bathymetry using SONAR, satellite imagery and GIS* popsali, jak provést batymetrické mapování s relativně běžně dostupnými, přenosnými a levnými technologiemi. Zmiňují, že tento postup se samozřejmě odrazí v přesnosti, která bude nižší. V jejich mapování, které provedli

na jezeře Tana v Etiopii a na jezeře Turawskie v Polsku, byl použit sonar Garmin Fishfinder 250 C, který umí vysílat paprsky o úhlech 45 ° nebo 12 ° a schopen je měřit od 60 cm hloubky. Jako GNSS přijímač byl kvůli nízkým nákladům, námořním aplikacím a podpoře systému WAAS zvolen přístroj Garmin GPSMAP® 76 S. Jeho horizontální přesnost se pohybuje v rozmezí <3 (při použití systému WAAS) až přibližně 11,9 m. Sonar měří neustále (spojitě), zatímco GNSS přijímač ukládá záznamy v časových či vzdálenostních intervalech. Obě tato zařízení jsou propojena kabely a naměřená data z obou zařízení jsou ukládána do GNSS přijímače. Celá aparatura byla připevněna k lodi bylo provedeno měření. Autoři zde dodávají, že optimální vzor měření je vždy ovlivněn řadou omezení, a to zejména dostupným rozpočtem, časem, dostupným vybavením, a hloubkou a topografií dna. Po optimálně naplánované trase se započtením všech těchto omezení by se poté měla pohybovat loď s měřicí aparaturou. Vzhledem k tomu, že použitý sonar dokáže měřit až od 60 cm hloubky, vznikla při jejich měření hluchá zóna mezi touto hloubkou a pobřežní linií. Jakmile bylo měření dokončeno, získaná data byla stažena z GNSS přijímače a nahrána do prostředí programu ArcGIS, kde z nich byla vytvořena bodová vrstva nástrojem *Create Feature Class from XY Table*. Hloubková data byla vypočtena odečtením naměřené hloubky od změřené nadmořské výšky hladiny. Nakonec byla ještě odstraněna zjevně chybová data. Pobřežní linie byla získána z dat dálkového průzkumu Země (DPZ). Z DPZ lze získat pobřežní linii dvěma způsoby. Buď digitalizací ze snímku nebo z indexových snímků. Autoři zde použili index NDWI, pomocí něhož byla na snímku zvýrazněna vodní plocha. Po reklasifikaci snímku tak, aby zůstala zachována pouze vodní plocha, byl tento převeden z rastrové podoby do vektorové, nejdříve do polygonu vodní plochy, z nějž byla získána pobřežní linie, která byla ještě převedena do bodové vrstvy, kdy tyto body byly nakonec sloučeny s naměřenými daty o hloubce. K dostatečné kvalitě takto získané pobřežní linie je důležitá kvalita snímků DPZ. Před interpolací povrchu z bodových dat byla datová sada náhodně rozdělena na dvě poloviny, kdy z jedné poloviny byl interpolován povrch a druhá posloužila ke křížové validaci. Z interpolačních metod byly použity *Inverse distance weighting (IDW)*, *Kriging*, *Sibsonova interpolace* (metoda přirozeného souseda), *Spline* a *Trend*. Nejnižší chybovosti bylo dosaženo při použití metody přirozeného souseda. Po interpolaci byl výsledný reliéf vodní plochy získán použitím masky – dříve připravený polygon vodní plochy ze snímku DPZ. Autoři svou metodologii popisují jako vhodnou k rychlému batymetrickému průzkumu a tvorbě batymetrických map za nízkou cenu. Její snadné použití, pokud jde o sběr a analýzu dat a přenositelnost požadovaného vybavení, ji dělá vhodnou pro analýzu batymetrie jezer.

Franck Magron (2008) v článku *Bathymetric Mapping Using a Combination of Sonar Data and Satellite Imagery* rozvinul nový způsob, jak vytvořit podrobnou batymetrickou mapu za použití dat z jednopaprscitého sonaru, dat naměřených metodou RTK GPS na hranách útesu ohraničujícího lagunu a z družicového snímku družice QuickBird v laguně Aitutaki se stejnojmenným ostrovem spadajícím pod stát Cookovy ostrovy v Tichém oceánu. V této laguně se nachází rovněž mnoho malých korálových plošin nacházejících se ne hluboko pod hladinou (do jednoho metru hloubky), které jsou patrné na družicovém snímku družice Quickbird (rozlišení 2,4 m) a bylo by velmi nákladné provádět měření batymetrie kolem těchto plošin pouze za použití sonaru, navíc pohyb s lodí kolem nich by mohl být nebezpečný. Sonarové snímání hloubky spolu se zaznamenáváním polohy metodou RTK GPS bylo tedy provedeno pouze základní a nikoli nijak detailní, pouze v několika oblastech. Několik bodů bylo též zaměřeno pouze metodou RTK GPS na zmíněných korálových plošinách pod hladinou. Satelitní snímek byl rektifikován, aby se shodoval s daty naměřenými metodou RTK GPS. Rovněž byly

provedeny atmosférické korekce, k odstranění nežádoucích efektů atmosféry. Dostupnost rektifikovaného snímku a sonarových dat z několika oblastí laguny umožní stanovit vztah mezi barvou na snímku a naměřenou hloubkou v daném místě a tento vztah využít k vytvoření batymetrické mapy celé laguny. K vymodelování hloubky z různých barev v celé laguně byla využita perceptronová síť (umělá neuronová síť) tak, že nejprve se neuronová síť natrénovala na datech naměřených sonarem spojených s odpovídajícími barvami na družicovém snímku a takto vzniklý model byl aplikován na celý snímek. Umělá neuronová síť dokázala predikovat hloubku s průměrnou chybou menší než jeden metr (vychází z ověření křížovou validací). Po aplikaci na celý snímek byla získána batymetrická mapa celé laguny.

Zedníčková (2020) se ve své diplomové práci zabývala monitoringem a analýzou vybraných fluviálních forem v CHKO Litovelské Pomoraví. Mimo jiné pomocí sonaru Deeper Smart Sonar CHIRP+ a totální stanice Trimble S3 Robotic zaměřila několik příčných profilů řeky Moravy v oblasti Kenického meandru. Totální stanice byla použita k zaměření profilu tam, kam bylo možné vstoupit, či se tam nacházelo jen minimální množství vody. V částech koryta, kde již nebylo bezpečné projít, byly změřeny hlubší profily právě sonarem. Měření sonarem neprobíhalo kontinuálně v průběhu celé hluboké části koryta, nýbrž byl sonar upevněn na tenkém laně nataženém přes koryto, kdy vždy měřil 30 sekund na jednom místě, pak bylo měření přerušeno, sonar na laně byl posunut o jeden metr dále, kde opět proběhlo třicetisekundové měření hloubky. Před samotným měřením v zájmové lokalitě podrobila autorka zmíněný sonar ověřování přesnosti. Toto ověřování přesnosti bylo provedeno na zatopené pískovně Poděbrady umístěné severně od Olomouce. Jedno místo bylo vždy zaměřeno GPS přijímačem a poté dvěma módy sonaru – *Boat* a *Onshore GPS*. Poněvadž sonar měří pouze hloubku, zatímco GPS přijímač měří rovnou nadmořskou výšku, byla pro možnost srovnání zaměřena GPS přijímačem též nadmořská výška hladiny, od které byla odčítána sonarem naměřená hloubka. Z hlediska použitých módů sonaru vyšel k GPS hodnotám jako přesnější režim *Boat*, kdy průměrný rozdíl činil -1,59 cm. Z pohledu RMSE (střední kvadratické chyby) též mód *Boat* vyšel jako lepší, a sice s chybou 2,7 cm. Použitý GPS přijímač Trimble R4 má ve vertikálním směru při metodě RTK přesnost 15 mm + 1 ppm RMS (Trimble, 2013). Na základě tohoto ověření přesnosti byl pro měření příčných profilů v Kenickém meandru autorkou použit mód sonaru *Boat*.

4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

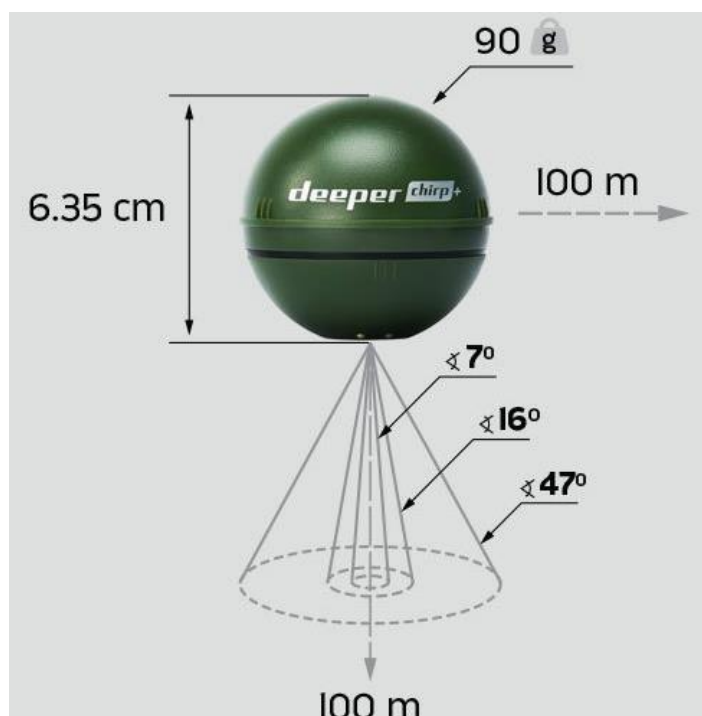
V práci byly zpracovány tři případové studie, kdy každá byla zaměřena částečně jiným způsobem. První proběhla na tekoucí vodě – konkrétně na řece Moravě nedaleko města Olomouc – v CHKO Litovelské Pomoraví v blízkosti Přírodní památky Kurfürstovo rameno (obr. 4). Pomocí sonaru a totální stanice byla zaměřena část příčného profilu a podélný profil. Druhá případová studie, zaměřená na měření na klidné hladině, byla rozdělena na měření bodů pro profily a pro plošné mapování. Měření pro profily bylo provedeno na Velkém písňiku – vodní ploše vzniklé po zatopení lomu dříve používaného k těžbě šterkopísku ležící asi pět kilometrů východně od města Přelouč. Na vybrané části pobřeží Velkého písňiku zde proběhlo za použití sonaru a RTK GPS zaměření bodů pro příčné profily. Body pro plošné mapování byly zaměřeny na Opatovickém písňiku, který je rovněž vodní plochou vzniklou po ukončení těžby šterkopísku a nalézá se jižně od Hradce Králové. Opět bylo použito sonaru a RTK GPS. Konečně třetí studie byla zpracována opět na Velkém písňiku u Přelouče. Studie byla provedena tak, že za použití lodi bylo zaměřeno několik bodů všemi třemi paprsky sonaru a tato měření byla porovnána.



Obr. 4 Místo provedení první případové studie.

4.1 Přístroje

Při práci v terénu bylo použito několik přístrojů. Ve všech třech případových studiích byl samozřejmě využit **sonar Deeper Smart Sonar CHIRP+** (obr. 5), který je i sám vybaven GPS přijímačem. Tento sonar pracuje na základě technologie CHIRP (Compressed High Intensity Radiated Pulse), neboli v češtině komprimovaný vysoce intenzivní vyzařovaný impuls, což znamená, že sonar vysílá nepřetržitý tok frekvencí od nízkých po vysoké. Díky této technologii poskytuje sonar přesné hodnoty i v mělké vodě – už 15 cm pod hladinou – ovšem dokáže určit hloubku až do 100 m. Udávaná frekvence skenování dosahuje až 15 pulsů za sekundu. Tento sonar není primárně určen pro měření hloubky za účelem zjišťování batymetrie vodních těles, nýbrž má sloužit pro rybáře, kterým má pomoci nalézt lokality bohaté na výskyt ryb k chytání. K hledání ryb, ale i k měření hloubek lze využít tři typy paprsků: úzký úhel (7°), střední úhel (16°) a široký úhel (47°). Dále poskytuje sonar uživateli čtyři různé režimy snímání: standardní (Standard), lov na dírkách (Ice Fishing), lov ze člunu (Boat) a lov ze břehu s GPS (Onshore GPS) (Deeper, 2021a).



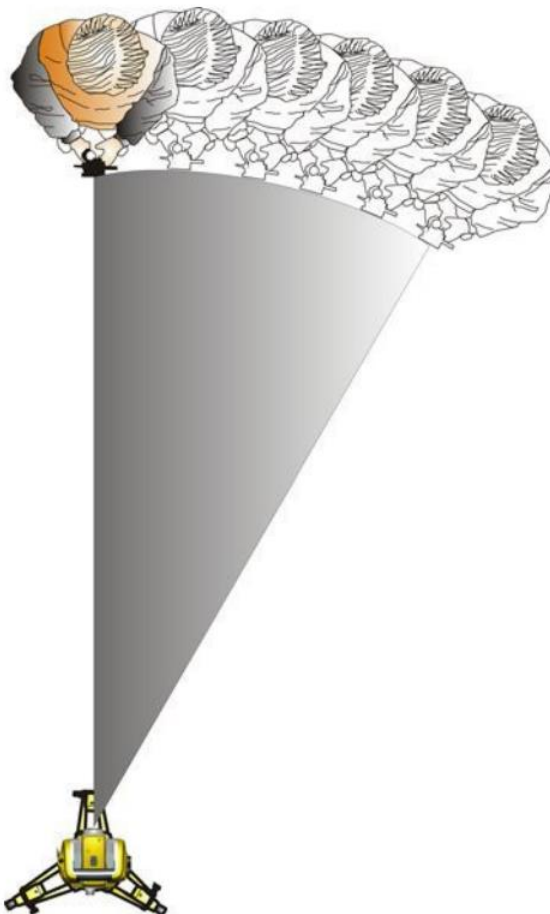
Obr. 5 Technické údaje sonaru Deeper Smart Sonar CHIRP+ (Deeper, 2021a).

Měření sonarem probíhá tak, že se položí na vodní hladinu, tím se automaticky zapne, na chytrém mobilním telefonu uživatel spustí aplikaci *Fish Deeper* a v ní je možné se přes Wi-Fi propojit se sonarem. Uživatel v aplikaci dále zvolí režim snímání a typ paprsku a může zahájit zaznamenávání. Prostřednictvím obrazovky mobilního telefonu může poté uživatel sledovat, jak snímání probíhá, jaká je aktuálně měřená hloubka, jaký je reliéf dna a mimo jiné i procento nabití sonaru i mobilního telefonu. Naměřená data lze synchronizovat do stejnojmenného internetového cloudového úložiště, odkud je možné si je ve formátu *.csv stáhnout, ale pouze pokud byl použit režim snímání Boat či Onshore GPS.

Sám výrobce na svých internetových stránkách pro batymetrická mapování doporučuje použití středního či širokého paprsku, neboť měření hloubek úzkým

paprskem může poskytovat nepřesné hodnoty, jestliže bude sonar ve vodě nestabilní (Deeper, 2021c).

V první případové studii byla ke srovnání k sonarovému měření hloubky použita **totální stanice Trimble S3 Robotic**, která je mimo jiné vybavena technologií *Tracker* umožňující ovládat servomechanismus dálkově tak, že totální stanice stále sleduje odrazový hranol (obr. 6) (Trimble, 2010).



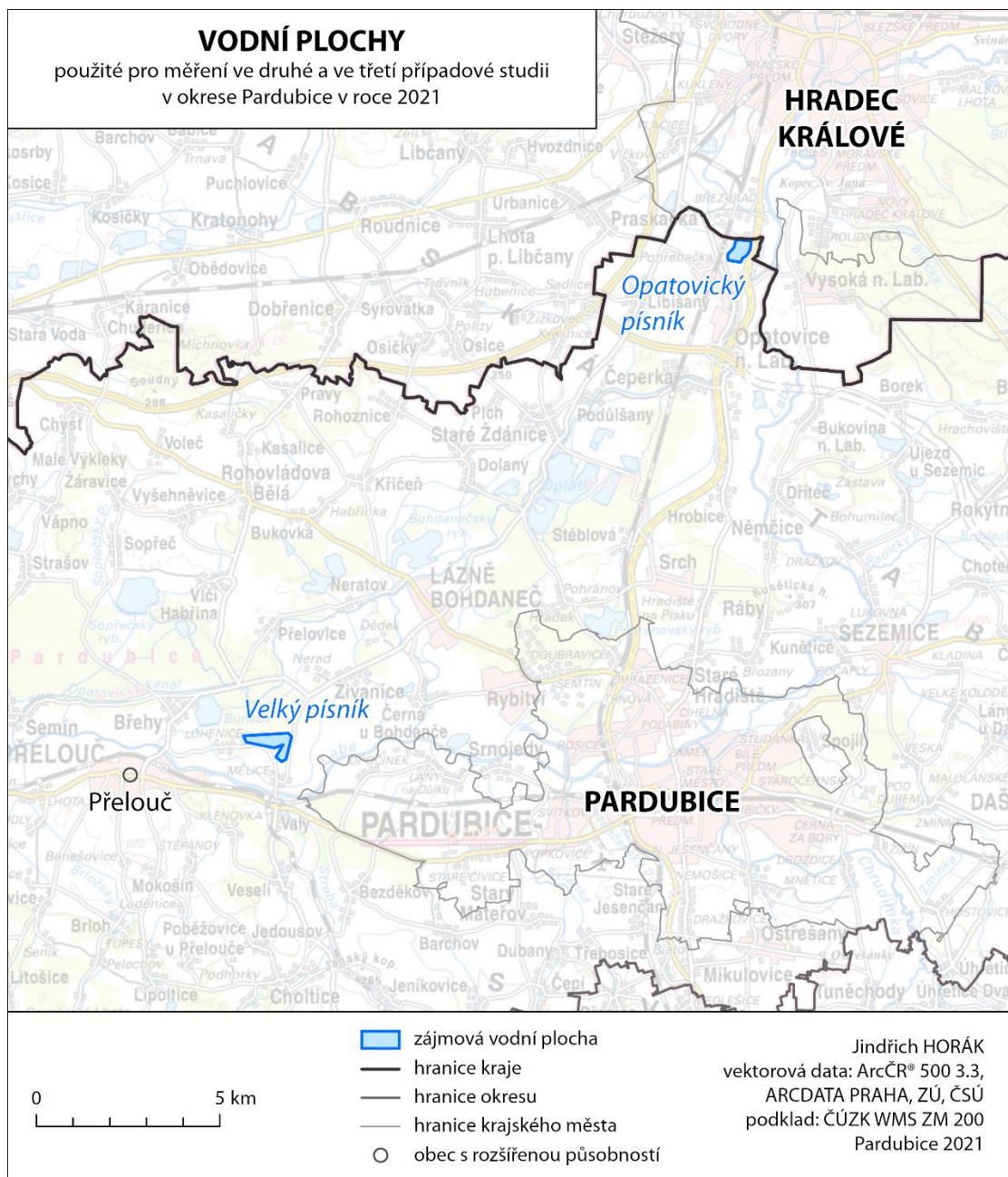
Obr. 6 Technologie Tracker použité totální stanice (Trimble, 2010).

V druhé případové studii byl pro geodetické srovnání k sonarovému měření použit **GNSS přijímač Trimble R4 GNSS System**, jehož přesnost je, jak již bylo dříve zmíněno, ve vertikálním směru při metodě RTK 15 mm + 1 ppm RMS (Trimble, 2013).

4.2 Terénní práce

Lokality, ve kterých byly případové studie provedeny, byly vybrány s ohledem na dostupnost v rámci platných nařízení vlády omezujících pohyb obyvatelstva a v rámci časových možností jak autora práce, tak jeho vedoucího. Náhledová mapa (obr. 7) zobrazuje lokality provedení druhé a třetí případové studie – Opatovický a Velký písniček.

Podle Zedníčkové (2020), která ve své diplomové práci za použití totožného sonaru testovala, který z použitelných režimů sonaru (Boat, Onshore GPS) je přesnější pro měření hloubek, a došla k závěru, že režim Boat vykazuje menší rozdíly ve srovnání s RTK GPS měřením, byl výhradně tento režim pro batymetrické mapování použit i v této práci.



Obr. 7 Lokality provedení druhé a třetí případové studie.

4.2.1 Případová studie řeka Morava

Jak již bylo dříve zmíněno, první případová studie byla provedena na řece Moravě v CHKO Litovelské Pomoraví. Po příjezdu do lokality a prvotním vstoupení do koryta řeky v předem vytipovaném místě bylo bohužel zjištěno, že proud a hloubka u protějšího (pravého) břehu řeky jsou natolik významné, že neumožňují přejítí řeky napříč ani při použití rybářských prsaček, které jinak byly samozřejmě použity i tam, kam se vstoupit dalo. Proto bylo rozhodnuto, že bude naměřena pouze část příčného profilu a k tomu bude doplněn podélný profil na části řeky.

V této případové studii muselo být ustoupeno od doporučení výrobce sonaru a nebylo dodrženo, že pro batymetrická mapování má být použit střední či široký paprsek, neboť většina naměřených hloubek zde nedosahovala alespoň 60 cm, což je minimální hloubka, ve které lze měřit středním paprskem.

Totální stanice zde nebyla orientována do konkrétního souřadnicového systému, nýbrž byl zaveden místní souřadnicový systém se základním bodem v místě stanoviště totální stanice se souřadnicemi [100; 100; 100].

Samotné měření ať už příčného či podélného profilu neprobíhalo kontinuálně, i když sonar takové měření podporuje, ale kvůli nutnosti porovnání s měřením totální stanicí proběhlo bodově tak, že bylo vždy v daném bodě zapnuto měření sonarem na cca 15 sekund, které bylo po tomto časovém úseku pozastaveno, do stejného místa byla postavena výtyčka s odrazovým hranolem a toto místo bylo zaměřeno totální stanicí. Poté bylo místo měření posunuto zhruba o jeden metr dále (ve směru podle toho, zda byl zaměřován příčný nebo podélný profil), znovu se spustilo měření sonarem (pokračování pozastaveného měření, aby výsledky byly v jednom *.csv souboru) a místo bylo opět zaměřeno totální stanicí. Tento postup se opakoval tak dlouho, dokud nebyl získán dostatečný (u podélného profilu) či maximálně možný (u příčného profilu) počet bodů.

Zaměřeno bylo i několik bodů břehu – tedy míst ležících na břehové čáře – aby šla později při zpracování dat z totální stanice určit hloubka naměřených bodů právě tímto způsobem.

Aby sonar zůstal po dobu měření v jednom bodě byl ideál, k němuž byla co největší snaha se přiblížit. K sonaru byl přivázán provázek, jehož druhý konec byl upevněn k opasku prsaček autora práce, aby jej nemusel držet v ruce. Proměnlivý proud řeky ovšem unášel sonar různou intenzitou ze strany na stranu.

4.2.2 Případová studie Opatovický a Velký písňík I

Tato případová studie byla navržena tak, že na klidné hladině – za účasti autora práce přímo ve vodě – proběhl sběr zaměřených bodů pro dvě plošná mapování (vznikly digitální modely částí dna) a pro příčné profily. V obou případech – jak pro plošná mapování, tak pro příčné profily – byl nejdříve použit úzký paprsek a poté střední paprsek sonaru.

Měření bodů na klidné hladině bylo provedeno velmi podobně jako v předchozí případové studii. Zřejmě jediný rozdíl spočíval v tom, že jako referenční metoda k sonarovému zaznamenávání hloubek nebyla použita totální stanice, nýbrž RTK GPS. Přijímač GNSS signálu a signálu z referenční stanice byl umístěn opět na výtyčce s přesně stanovenou výškou zadanou do ovládacího modulu přijímače. Výtyčka s přijímačem byla opět vždy umístěna tam, kde nejprve proběhlo cca 15sekundové sonarové měření, poté proběhlo samotné RTK GPS měření. Měření bylo v ovládacím modulu přednastaveno tak, že probíhalo vždy pět sekund a uložena byla průměrná hodnota za těchto pět sekund zaznamenávání. Nejprve byly zaměřeny příčné profily pro porovnání s měřením metodou RTK GPS a poté jeden příčný profil, který byl na totožném místě zaměřen dvakrát stejným paprskem ke srovnání mezi dvěma sonarovými měřeními totožného profilu.

V Opatovickém písňíku, který byl vybrán jako lokalita pro pokus o plošné mapování, se hloubka zvětšovala tak rychle, že i přes použití rybářských prsaček autorem mohlo být měření provedeno pouze ve třech (úzkým paprskem), respektive dvou (středním paprskem) řadách, které měly být přibližně rovnoběžné s břehovou čarou ve vybraném úseku. Oproti tomu na Velkém písňíku bylo pro vytváření profilů nalezeno místo, na kterém se hloubka zvyšuje tak pozvolně, že na vytvořeném příčném profilu, který dosahuje maximální hloubky přibližně 1,3 m, bylo možné ujít necelých 25 m od břehu.

4.2.3 Případová studie Velký písňík II

Bylo vymyšleno, že třetí případová studie proběhne na klidné hladině z plavidla, aby mohlo být otestováno i měření větších hloubek než jakých lze dosáhnout při postupování

chůzí od břehu směrem do čím dál větší hloubky. Po nachystání přístrojů a dalšího potřebného vybavení proběhlo nalodění a vyplutí na hladinu opět Velkého písničku, a i na totožném místě, kde byly zaměřeny příčné profily v předchozí případové studii. Vzhledem k nepříznivým povětrnostním podmínkám (foukal vítr) nebylo možné udržet plavidlo na jednom stálém místě, bez určitého způsobu zakotvení. Jediným způsobem, jak se co nejlépe přiblížit zakotvení se na jednom místě, bylo dojet s lodí k pevně ve dně ukotveným bójím, které byly vždy pomocníky autora přidržený, nechal se uplynout krátký časový úsek, během kterého došlo k ustálení pohybu lodě, a poté bylo zahájeno měření sonarem. Jako v celé práci byl pro sonarové měření opět použit režim *Boat*. Jelikož cílem této případové studie bylo otestovat rozdíl mezi měřeními všemi třemi paprsky sonaru a vzhledem k nemožnosti přepnout na měření jiným paprskem v průběhu měření, byl současně s měřením zaznamenáván čas s přesností na sekundy, kdy přesně došlo k přepnutí. Pouze prostřednictvím tohoto zaznamenaného času bylo při pozdějším zpracování možné určit hranice, kdy bylo ještě měřeno prvním paprskem a kdy došlo k přepnutí na další paprsek. Byla snaha, aby samotné měření hloubky každým paprskem probíhalo cca 30 sekund a zároveň měření v daných bodech bylo zahájováno tak, aby se třicetisekundové intervaly daly dobře poznamenávat (například v celou minutu či v polovině minuty).

V každém vybraném bodě bylo měřeno vždy nejprve úzkým paprskem, poté středním, širokým, a nakonec opět úzkým. Měření úzkým paprskem bylo ke konci opakováno proto, že nelze přepínat paprsky během pozastavených měření (viz výše). Kdyby tedy měření skončilo širokým paprskem, následující měření by jím zase alespoň krátce muselo začít. Opakováním úzkého měření ke konci ale byla měření všech bodů provedena ve stejném pořadí paprsků. Tímto způsobem bylo tedy nakonec zaměřeno 13 různých bodů.

Kromě tohoto celého postupu byl ještě proveden pokus o zaměření profilové linie z lodí – nejprve v bodech ležících na vytyčené linii a poté kontinuálním měřením. Nejdříve byly stanoveny koncové body linie ležící na protilehlých březích písničku a byl stanoven předpoklad, že mezi těmito koncovými body se projede s lodí tak, že po dané vzdálenosti bude vždy zastaveno a daný bod na linii bude zaměřen všemi třemi paprsky sonaru. K navádění na body na linii měl být použit režim GNSS přijímače *Vytyčování po linii*. Ovšem jak již bylo zmíněno výše, kvůli foukajícímu větru vytvářejícímu vlny bylo zcela nemožné udržet loď na jednom místě na vodní ploše bez možnosti ukotvení. A zároveň tím, že z totožných důvodů nebyl udržován přímý směr, měl i GNSS přijímač problémy s navigováním po linii. Od tohoto postupu bylo tedy zcela upuštěno. Poté byl proveden pokus zaměřit daný profil kontinuálním měřením bez jakéhokoli navádění, neboť autor byl schopen vizuálně poznat počáteční a koncový bod předtím vytyčené linie. Linie byla lodí projeta třikrát, aby pokaždé byly hloubky zaměřeny jiným paprskem. Sonar měřil kontinuálně za jízdy a GNSS přijímač byl nastaven tak, aby ukládal polohu získanou metodou RTK GPS každou jednu sekundu.

4.3 Zpracování dat

Data získaná měřeními v terénu autorem (primární data) vyžadovala různé formy zpracování předtím, než z nich mohly být tvořeny různé výstupy a odvozovány závěry. Tato kapitola vysvětlí způsoby, jakými byla data z přístrojů zpracována.

4.3.1 Sonar

Naměřená data, která byla z mobilní aplikace synchronizována do cloudového úložiště *Fish Deeper*, byla stažena do počítače jako soubory s příponou *.csv. Soubory ve formátu

CSV (comma separated values – hodnoty oddělené čárkami) jsou běžně užívány pro přenos velkého množství tabulkových dat mezi společnostmi nebo aplikacemi, které nejsou přímo propojeny. Tyto soubory lze snadno upravovat pomocí běžných tabulkových aplikací, jako je Microsoft Excel. Na jednom řádku je jeden záznam a pole jsou oddělena právě čárkami (CSVReader.com, 2021). Stažený CSV soubor má následující strukturu uložených atributů: zeměpisná šířka, zeměpisná délka, hloubka a unixový čas.

Pole se zeměpisnou šířkou a délkou jsou v celé této práci zcela nerelevantní (obsahují v naprosté většině nulové hodnoty), neboť v celé práci byl sonar používán jinak, než výrobce pro zaznamenávání zeměpisné šířky a délky zamýšlel. Při použití sonaru v režimu *Boat* se sonar připojí k systému GPS v chytrém mobilním telefonu, ze kterého je ovládán, a zaznamenává zeměpisné souřadnice naměřené právě GPS modulem chytrého telefonu. Chce-li uživatel správně využít tuto funkci, měl by po dobu měření mít chytrý telefon v těsné blízkosti sonaru (Deeper, 2021b). Vzhledem k tomu, že pro tuto práci nebyla tato data důležitá, nebyla jim dále věnována žádná pozornost.

Unixový čas (anglicky Unix Time/Unix Epoch/Unix Timestamp) je číslo vyjadřující kolik sekund uběhlo od půlnoci (0.00:00) 1. ledna 1970 UTC (koordinovaného světového času) bez započtení přestupných sekund (Misja.com, 2021). Jelikož je sonar schopen zpracovat až 15 měření za jednu sekundu, byla by podrobnost v řádu sekund nedostatečná. Z tohoto důvodu je ve výstupních datech ze sonaru unixový čas uváděn v řádu milisekund (1 s = 1 000 ms). Prvním krokem zpracování unixového času bylo převedení milisekund na dny (milisekundy vyděleny číslem 86 400 000). Tímto byl získán počet dnů od 1. ledna 1970. Poněvadž tabulkový procesor Microsoft Excel ukládá datумы jako pořadová čísla a pořadové číslo 1 má datum 1. ledna 1900 (Microsoft, 2021a), byl k počtu dnů od 1. ledna 1970 přičten právě počet dnů mezi 1. lednem 1900 a 1. lednem 1970 (pomocí funkce *DATUM*) a tímto bylo dosaženo získání počtu dnů mezi 1. lednem 1900 a dnem, ve kterém proběhlo měření. Po nastavení správného formátu buněk se počet dnů konečně zobrazil jako datum. Přesto byl tento výpočet ještě upraven, a sice pomocí funkce *ČAS* byla přičtena jedna hodina, neboť měření sonarem proběhlo v časovém pásmu UTC+1 a unixový čas je v UTC. (V případě měření v období letního času by se přičítaly dvě hodiny.) Stejným výpočtem bylo tedy získáno jak datum, tak rovněž i čas měření. Pouze se ve vedlejších buňkách v programu Microsoft Excel nastavil jiný příslušný formát buňky.

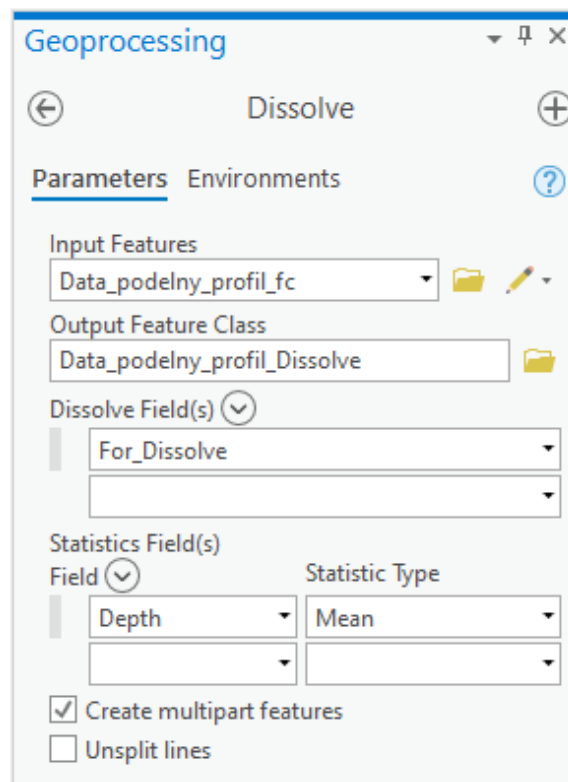
Z případové studie řeka Morava a Opatovický a Velký písňík I

Soubor celého jednoho měření (například celé měření příčného profilu skládající se z několika 15 sekund zaměřovaných bodů) obsahuje všechny naměřené záznamy bez zjevného oddělení, jedná se o prostý seznam naměřených hloubek několikrát za sekundu. Jediné, z čeho lze rozpoznat hranice mezi měřeními dvou různých bodů, je mezera v čase mezi dvěma po sobě jdoucími záznamy v seznamu. Na základě této skutečnosti byla měření jednotlivých bodů oddělena pro další zpracování. Ke každému záznamu byl do vedlejší buňky zpracován výpočet, který zjišťuje, zda je konkrétní záznam začátkem měření bodu. Výpočet spočívá v tom, že ověří, zda je mezi daným záznamem a předchozím záznamem v seznamu rozdíl v čase větší než 10 sekund. Pokud ano, záznam je označen jako začátek měření nového bodu. Takto označené začátky byly vyfiltrovány a každému začátku bylo přiděleno pořadové číslo bodu (první začátek byl označen číslem jedna, druhý číslem dva atd.). Filtr začátků měření byl zrušen a každý záznam ležící mezi začátky byl označen rovněž pořadovým číslem bodu, ke kterému patří (pořadové číslo nejbližšího předchozího začátku). Na výřezu ze zpracovaného souboru (obr. 8) je sloupec obsahující informaci, zda je záznam začátkem měření nového bodu, označen jako *Where_Start* a pořadové číslo bodu je označeno jako *For_Dissolve*.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Lat	Lon	Depth	UNIX_Time	Date	Time	Where_Start	For_Dissolve
188	0	0	0,28	1616766428810	26.3.2021	14:47:09	0	1
189	0	0	0,28	1616766428882	26.3.2021	14:47:09	0	1
190	0	0	0,28	1616766428951	26.3.2021	14:47:09	0	1
191	0	0	0,28	1616766429020	26.3.2021	14:47:09	0	1
192	0	0	0,374	1616766458311	26.3.2021	14:47:38	1	2
193	0	0	0,374	1616766458391	26.3.2021	14:47:38	0	2
194	0	0	0,374	1616766458415	26.3.2021	14:47:38	0	2
195	0	0	0,374	1616766458517	26.3.2021	14:47:39	0	2
196	0	0	0,374	1616766458554	26.3.2021	14:47:39	0	2

Obr. 8 Náhled na část zpracovaného souboru ze sonarového měření v prostředí Microsoft Excel.

Takto připravená tabulka z programu Microsoft Excel byla nahrána do geografického informačního systému (GIS) *ArcGIS Pro* od americké společnosti Esri pomocí nástroje *Excel To Table*. Z pouhé tabulky byla vytvořena třída prvků, jejíž jakékoli prostorové umístění bylo ovšem nepodstatné, a navíc vycházelo z v naprosté většině nulových atributů *Lat* a *Lon*, které jsou pro tuto práci nerelevantní (viz dříve). Tato třída prvků již mohla vstoupit do nástroje *Dissolve*, který slouží k seskupování prvků (záznamů) podle zadaných atributů. Atributy tímto nástrojem seskupovaných prvků mohou být sečteny či popsány různými statistickými veličinami (Esri, 2021a). Nástroj byl nastaven tak, aby bylo seskupováno podle atributu *For_Dissolve*, tedy podle předem připravených pořadových čísel samostatných bodů, ve kterých probíhalo měření. Zároveň byla nastavena možná nejkličovější operace celého zpracování, a sice aby byl současně se seskupením vypočítán průměr atributu *Depth*, tedy hloubek za jednotlivé body (jednotlivá pořadová čísla bodů) (obr. 9).

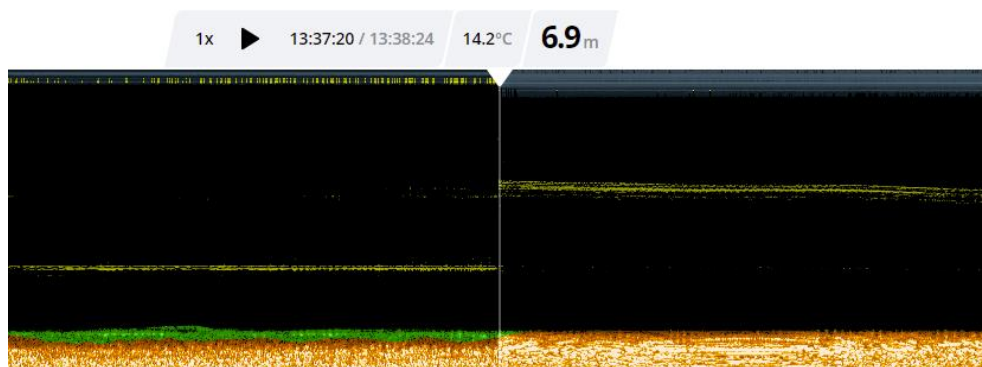


Obr. 9 Nastavení nástroje Dissolve v prostředí ArcGIS Pro.

Výsledná tabulka obsahující pořadová čísla bodů a k nim vždy průměrnou hloubku byla vyexportována opět do prostředí programu Microsoft Excel nástrojem *Table To Excel*. Tabulkou v této podobě končí zpracování dat ze sonaru u první a druhé případové studie a data, která jsou zde obsažena, byla takto připravena ke spojení s daty z dalších použitých přístrojů či k přímé tvorbě výstupů.

Z případové studie Velký písník II

Totožně jako v první a druhé případové studii proběhlo zpracování dat ze sonaru až do bodu, kdy bylo získáno datum a čas měření ve svých přirozených formátech. Z důvodu odlišné metodologie měření ve třetí případové studii – z lodi a všemi třemi paprsky – bylo odlišné i následné zpracování sonarových dat. V tomto případě byl tedy zpracováván seznam plynule za sebou jdoucích záznamů bez jakýchkoli časových mezer. Nejprve byly záznamy díky zaznamenávání času přepnuti na jiný paprsek (viz kapitola 4.2.3) rozděleny podle toho, jakým paprskem byly zaznamenány. K rozdělení pomohly i časy jasně patrných přechodů ve vizuálním náhledu průběhu měření, který je pro každé měření dostupný na internetovém cloudovém úložišti *Fish Deeper* (obr. 10). Po rozdělení byly vypočítány průměry hloubek za celá měření jednotlivými paprsky pro všechny body. Kromě průměrů byla ještě prostá data rozdělená na paprsky dále upravena ve vedlejším listu programu Microsoft Excel. Tam byly za každý paprsek nakopirovány sloupce obsahující vždy čas měření a samozřejmě hodnoty hloubky. Vedle času měření byla pro každý záznam vypočítána doba uplynulá od začátku měření daným paprskem uváděná až do podrobnosti řádu milisekund. Tato doba se pohybovala od nuly do cca 30 sekund vyjma jednoho měření jedním paprskem, které nedopatřením trvalo o několik sekund déle (což ovšem nemělo žádný vliv). Když byla každému jednotlivému záznamu měření sonarem (až 15 měření za sekundu) pro každý paprsek přiřazena doba od začátku měření daným paprskem, mohla tato data být využita pro další výstupy – grafy rozkolísanosti měření.



Obr. 10 Přechod mezi paprsky ve vizuálním náhledu měření v cloudovém úložišti *Fish Deeper*.

Z pokusu o kontinuální měření byla sonarová data zpracována tak, že pro každý paprsek byla zjištěna průměrná hloubka pro každou jednu sekundu měření v programu *ArcGIS Pro* opět pomocí nástroje *Dissolve*.

4.3.2 Totální stanice

Primární data vyexportovaná z totální stanice a stažená do počítače byla opět ve formátu CSV, totožně jako data ze sonaru. Prvotní zpracování – rozřazení textu do sloupců – v programu Microsoft Excel tedy proběhlo rovněž totožně. Data z totální stanice jsou při exportu v poměrně jednoduché struktuře. Jedná se o tyto čtyři atributy: ID (identifikační číslo záznamu), souřadnice X, souřadnice Y a souřadnice Z. Vzhledem

k tomu, že totální stanice byla při měření orientována pouze do místního souřadnicového systému se základním bodem v místě postavené stanice, vyjadřují souřadnice konkrétní polohu naměřených bodů pouze v tomto konkrétním systému. Protože zaměřování jak příčného, tak podélného profilu proběhlo vždy ve směru jedné osy daného systému, bylo tímto zpracování zjednodušeno.

Příčný profil

Body příčného profilu (kolmého na směr toku řeky) byly zaměřovány tak, aby profil byl rovnoběžný s osou Y daného místního souřadnicového systému – ovšem do záporných hodnot (ve směru osy -Y). Záporné hodnoty se ale nijak neprojevily ve složitosti zpracování. Při zpracování mohly být zanedbány naměřené hodnoty na ose X a bylo pracováno pouze se změnou v souřadnici Y. Zpracování dat u příčného profilu bylo jednoduché, neboť spočívalo v pouhých dvou náležitostech. Nejprve určení hloubky každého záznamu pomocí rozdílu souřadnice Z daného bodu a souřadnice Z bodu změřeného na břehové čáře. Poté určení vzdálenosti naměřeného bodu od břehu (znovu od bodu ležícího na břehové čáře), která byla vypočítána opět pouhým rozdílem – tentokrát souřadnic Y daných bodů.

Podélný profil

Jelikož je podélný profil kolmý na příčný, body, které ho tvoří, leží na pomyslné linii, která je kolmá na osu Y – tedy rovnoběžná s osou X souřadnicového systému. Zanedbávány byly tím pádem změny na ose Y. Před výpočtem hloubky ve všech bodech tvořících podélný profil byl nejdříve odvozen pokles souřadnice Z břehové čáry. Na břehové čáře byly zaměřeny tři body a mezi nimi byl předpokládán lineární pokles souřadnice Z ve směru toku řeky. Aby mohla být vypočtena hloubka každého bodu byl zjištěn pokles na břehové čáře ve vzdálenosti průmětu měřeného bodu. Tento pokles na břehové čáře byl odvozen tak, že nejdříve bylo vypočítáno, o kolik klesne hladina (souřadnice Z) mezi dvěma známými (změřenými) body na břehové čáře v závislosti na jejich vzájemné vzdálenosti ve směru osy X, a z toho už bylo zjišťováno, o kolik nižší bude souřadnice Z mezi známým bodem na břehové čáře, a právě průmětem měřeného bodu podélného profilu na břehovou čáru (pokles). Výsledná hloubka bodů podélného profilu odpovídala následujícímu výpočtu (1):

$$H = Z_{břeh} - P - Z_{bod} \quad (1)$$

- H – výsledná hloubka
- $Z_{břeh}$ – souřadnice Z změřeného bodu ležícího na břehové čáře
- P – vypočítaný pokles v daném bodě
- Z_{bod} – souřadnice Z změřená v daném bodě podélného profilu

Vzdálenost mezi body pak už byla zjištěna opět jednoduchým rozdílem souřadnic X posuzovaných bodů.

4.3.3 GPS

Poněvadž použitý GNSS přijímač využívá téměř totožné programové vybavení pro měřické práce jako použitá totální stanice, i z něho byla data získána ve formátu CSV. Totožná je i struktura dat, tedy ID záznamu a souřadnice X, Y a Z. Na rozdíl od měření totální stanicí byly při měření metodou RTK GPS body zaměřovány v konkrétním souřadnicovém systému – v systému S-JTSK (systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální) (EPSG: 5513), v němž jsou souřadnice (X a Y) bodů rovinné a pravoúhlé a jsou definovány tak, že osa +X systému směřuje k jihu a osa +Y k západu (Hauf, 1989). Aby tato data mohla být zobrazena v GIS, v němž Křovákovo zobrazení (S-JTSK/Krovak

East North; EPSG: 5514) má osy systému definovány odlišně – osa X k východu a osa Y k severu – byly jejich souřadnice převedeny právě pro GIS. Tabulka (tab. 1) ukazuje způsob převodu souřadnic u dvou zaměřených bodů. Souřadnice byly „vyměněny“ (ze souřadnice X se stala souřadnice Y a opačně) a takto byly ještě obě souřadnice převedeny na záporné.

Tab. 1 Převedení naměřených souřadnic pro zobrazení v GIS

ID bodu	X (EPSG: 5513)	Y (EPSG: 5513)	X (EPSG: 5514)	Y (EPSG: 5514)
201	1058742,624	658722,399	-658722,399	-1058742,624
202	1058740,989	658721,071	-658721,071	-1058740,989

V rámci případové studie Opatovický a Velký písňík I bylo zpracovááno jak plošné měření, tak měření profilů. V plošném měření byly v jednotlivých naměřených bodech porovnávány jejich nadmořské výšky ze sonaru, a právě z GPS. Před tímto porovnáním byla právě nadmořská výška získána tak, že se od průměrné nadmořské výšky břehu (která byla vypočítána ze třech bodů změřených na břehové čáře metodou RTK GPS) odečetla hloubka ze sonaru. Při měření profilů byla naopak porovnávána hloubka z obou přístrojů, kdy hloubka bodu z GPS byla vypočtena rozdílem průměrné nadmořské výšky břehu a naměřené nadmořské výšky v daném bodě.

Data z GPS pro pokus o kontinuální měření z lodi byla zpracována tak, že proběhl stejný převod souřadnic pro možnost zobrazení bodů v GIS, i když to nebyla klíčová část. Tou byl hlavně výpočet vzdáleností mezi jednotlivými záznamy – změřenými body po jedné sekundě. Z těchto vzdáleností mezi body byla odvozena vzrůstající vzdálenost všech bodů od počátečního bodu, který byl uměle stanoven na pobřežní čáře a v GIS byly zjištěny jeho souřadnice, od nichž byly právě počítány vzdálenosti.

4.4 Tvorba výstupů

Z detailně zpracovaných primárních dat byly ihned tvořeny výstupy, z nichž byly později odvozeny výsledky práce. Velkou většinu výstupů tvoří grafy zobrazující různé provedené profily, vypočítané statistické údaje a výsledků testů z testování předem stanovených hypotéz. Zde jsou uvedeny důležité statistické údaje a testy, které byly použity k tvorbě výstupů ve více případových studiích. Ty, které byly použity pouze v jednom případě, jsou uvedeny přímo u dané studie. Dále jsou zde zmíněny doplňky programu Microsoft Excel, které jednoduchou a pro uživatele přívětivou formou umožňují nejen právě výpočty statistických údajů a testování hypotéz.

Root Mean Square Error (RMSE)

Ukazatel RMSE byl v práci vypočítán ve všech případech, kde docházelo k sonarovému měření a jeho porovnávání s geodetickou metodou. Podle RMSE pak bylo rozhodnuto, které sonarové měření mělo nejmenší odchylku/chybu oproti geodetickému měření.

Statistický ukazatel RMSE, česky nazývaný zřídka též jako *odmocnina střední hodnoty čtverců odchylek odhadů* (Brodský, 2003) či jen *odmocnina střední kvadratické chyby*, je jednou z možností, jak porovnat dvě veličiny/dvě hodnoty stejné veličiny, které spolu tvoří pár a dosahují ideálně stejné hodnoty, ale ve skutečnosti se téměř vždy alespoň částečně liší. Dále mohou být porovnávány hodnoty reálně naměřené s hodnotami předpovězenými sestavenými modely. Výsledkem těchto porovnaní je absolutní nezáporné číslo vyjadřující odchylku/chybu mezi porovnávanými hodnotami. Čím je hodnota bližší nule, tím je odchylka/chyba nižší – veličiny podobnější/model přesnější. RMSE je zjišťováno na základě následujícího výpočtu (2):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (2)$$

- x_1, x_2, \dots, x_n – hodnoty první veličiny
- y_1, y_2, \dots, y_n – hodnoty druhé veličiny (do páru k první veličině)
- n – počet měření (velikost souboru)

Oboustranný párový *t*-test na střední hodnotu

Oboustranný párový *t*-test na střední hodnotu byl použit napříč Případovou studií řeka Morava a Případovou studií Opatovický a Velký písňík I k otestování přesnosti naměřených profilů sonarem ve srovnání s geodetickou metodou. Tato data tvoří páry, ve všech případech jsou v normálním rozdělení a jsou tak vhodná pro test. Na základě výsledku testu bylo rozhodnuto, zda je sonarové měření v dané situaci dostatečně přesné či nikoliv.

Tento druh Studentova *t*-testu slouží k testování hypotézy, že oba výběry, které jsou tvořeny páry závislých pozorování, pocházejí z rozdělení se stejnými středními hodnotami μ_1 a μ_2 (Kába a Svatošová, 2006). Při formulaci nulové hypotézy (H_0) jsou střední hodnoty převáděny do podoby $\mu_1 - \mu_2 = 0$, tedy že rozdíl středních hodnot výběrů je nulový (Budíková, 2006). Protože se jedná o oboustranný test, je řešeno pouze, zda se střední hodnoty výběrů od sebe liší a není již dále rozhodováno, který z výběrů má střední hodnotu menší či větší (Pešík, 2019b).

Doplňky programu Microsoft Excel

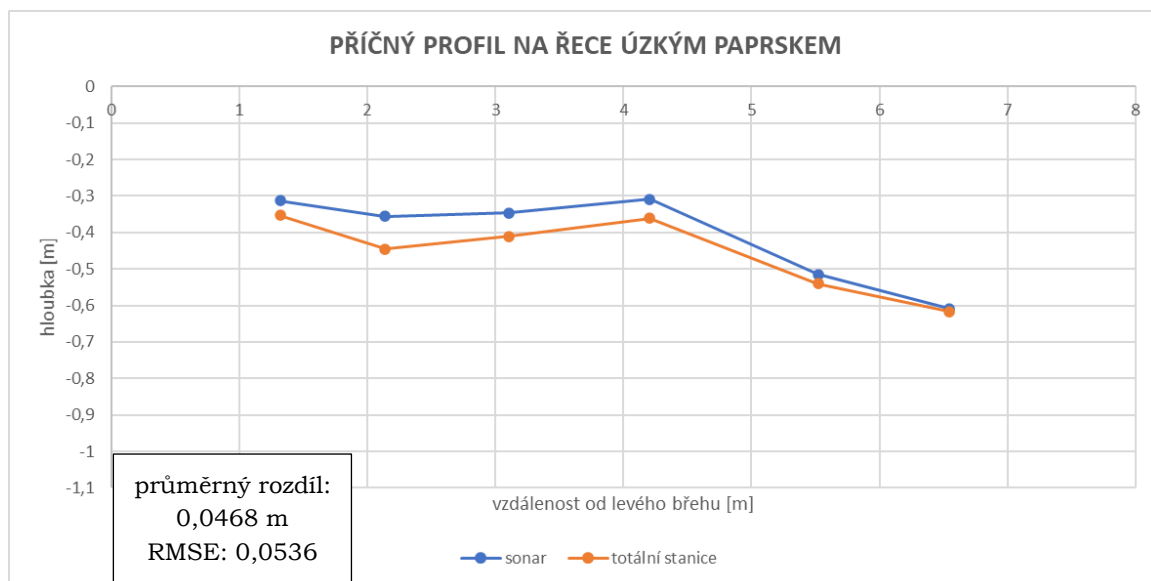
Výpočty výše zmíněných testů pro testování hypotéz byly provedeny v prostředí programu Microsoft Excel automatizovaně, a to za použití dvou doplňků. Prvním použitým je integrovaný doplněk programu **Analýza dat**. V něm uživatel pro danou analýzu jen poskytne data a parametry a nástroj zobrazí příslušné statistické výsledky v tabulce či v grafu (Microsoft, 2021b). Výsledky testování hypotéz byly z tohoto doplňku získávány porovnáním absolutní hodnoty **testovacího kritéria** (označeného jako *t Stat*) s **hraniční hodnotou kritického oboru** (označenou *t krit (2)*). Jako druhý byl použit externí a bez poplatku poskytovaný doplněk **Real Statistics Using Excel**, který rozšiřuje standardní možnosti statistických výpočtů programu Microsoft Excel tím, že poskytuje pokročilé funkce a nástroje pro analýzu dat, jimiž může uživatel snadněji počítat širokou škálu praktických statistických analýz (Zaiontz, 2021). Autorem doplňku je Charles Zaiontz, PhD. Princip, na kterém doplněk funguje, je velmi podobný předchozímu použitému. Uživatel jen vybere, co chce počítat, ukáže, kde se v sešitě nachází vstupní data, a doplněk zobrazí výsledek v tabulce a/nebo v grafu. Zde bylo výsledku testu dosaženo porovnáním vypočtené **p-hodnoty** (označené anglicky jako *p-value*; nazývané někdy též signifikance) s předem stanovenou **hladinou významnosti α** (označené jednoduše jako *Alpha*).

4.4.1 Případová studie řeka Morava

Příčný profil

Graf příčného profilu (obr. 11) obsahuje dvě křivky, jedna znázorňuje hloubky zaznamenané sonarem a druhá hloubky z totální stanice.

Osa X grafu byla nastavena pouze podle toho, do jaké vzdálenosti od břehu bylo měření provedeno – tedy přibližně do poloviny koryta, které bylo jinak v místě měření široké 13 m.



Obr. 11 Graf části příčného profilu koryta řeky úzkým paprskem.

Po ověření Shapiro-Wilkovým testem, že data ze sonaru i totální stanice jsou v normálním rozdělení, byl zpracován oboustranný párový t -test na střední hodnotu dříve zmíněnými doplňky programu Microsoft Excel. Jelikož jde stále o jeden test, jen jinak vizuálně prezentovaný, byla zde vybrána jen podoba z doplňku *Analýza dat* (obr. 12).

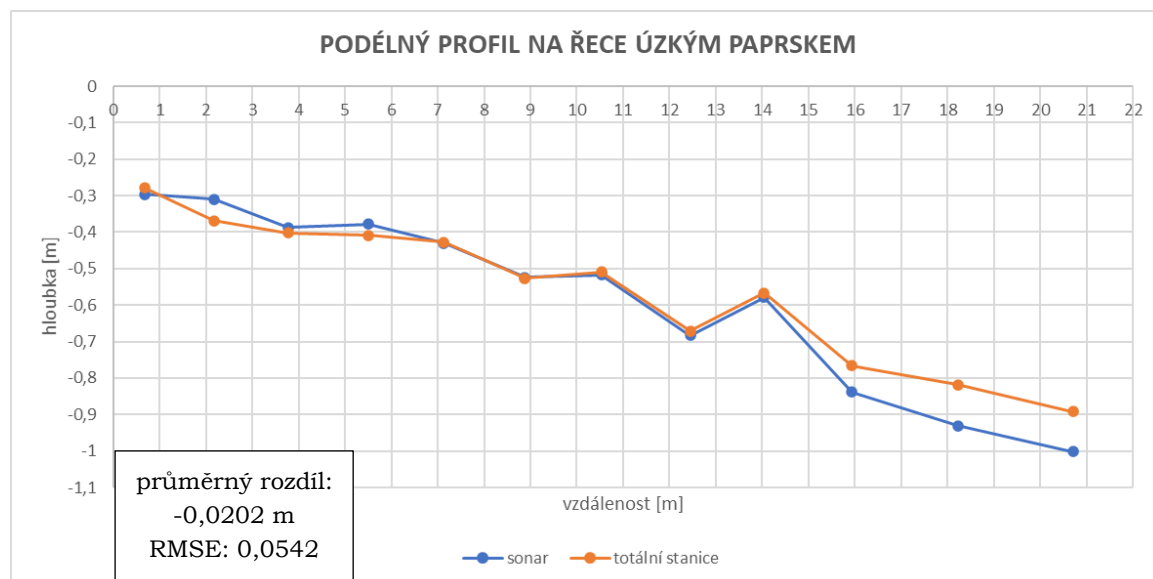
Dvouvýběrový párový t -test na střední hodnotu		
	sonar	totální stanice
Stř. hodnota	-0,40789	-0,454666667
Rozptyl	0,01539	0,010997067
Pozorování	6	6
Pears. korelace	0,98236	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	5	
t Stat	3,983974	t Stat > t krit (2)
P(T<=t) (1)	0,005245	3,983974 > 2,570582
t krit (1)	2,015048	H0 zamítáme
P(T<=t) (2)	0,010489	
t krit (2)	2,570582	

Obr. 12 Příčný profil řeky: Párový t -test, doplněk *Analýza dat*.

Z důvodu, že hodnota testovacího kritéria padla do kritického oboru, byla nulová hypotéza (H_0) zamítnuta a přijata byla alternativní hypotéza (H_A), tedy že se na zvolené hladině významnosti **střední hodnoty** měření sonarem a totální stanicí **liši**. Navzdory výsledku testu bylo po posouzení ukazatele RMSE, a i na základě malého počtu dat rozhodnuto, že **rozdíl** ve středních hodnotách výběrů a zároveň **rozdíl** v bodech mezi hloubkou ze sonaru a z totální stanice je natolik **malý**, že v daných podmínkách jej lze **akceptovat** a měření hodnotit jako dostatečně **přesné**.

Podélný profil

Na totožném principu jako graf příčného profilu je postaven i graf podélného profilu (obr. 13).



Obr. 13 Graf podélného profilu části toku řeky úzkým paprskem.

Následně byl proveden totožný postup jako u příčného profilu – ověření normality dat Shapiro-Wilkovým testem a oboustranný párový t -test na střední hodnotu. Tentokrát podoba testu z doplňku *Real Statistics Using Excel* (obr. 14).

T Test: Two Paired Samples										
SUMMARY		Alpha			0,05		Hyp Mean			0
Groups	Count	Mean	Std Dev	Std Err	t	df	Cohen d	Effect r		
sonar	12	-0,573097964	0,240771436							
totální stanice	12	-0,552868333	0,194352259							
Difference	12	-0,020229631	0,052464366	0,015145158	-1,33572	11	0,385588	0,373576		
T TEST										
	p-value	t-crit	lower	upper	sig	p-value > alpha				
One Tail	0,10431045	1,795884819			no	0,20862 > 0,05				
Two Tail	0,208620899	2,20098516	-0,053563899	0,013104636	no	H0 přijímáme				

Obr. 14 Podélný profil řeky: Párový t -test, doplněk Real Statistics Using Excel.

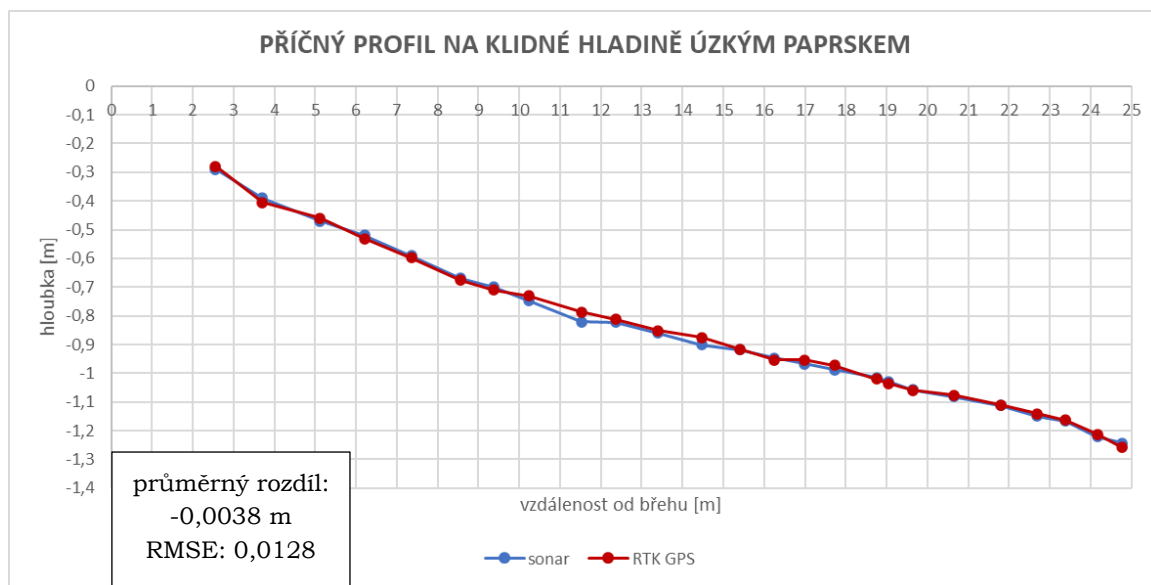
Protože výsledná p -hodnota testu byla větší než hladina významnosti α , byla přijata nulová hypotéza (H_0) vyjadřující, že na dané hladině významnosti se **střední hodnoty** obou výběrů (ze sonaru a z totální stanice) **neliší**.

4.4.2 Případová studie Opatovický a Velký písňík I

V této podkapitole jsou prezentovány především grafy jako výstupy ze zaměřování příčných profilů a v druhé části též mapy – rozdílové rastry hloubek z plošného mapování. Příčné profily byly opět podrobeny statistickému testování hypotéz, použití doplňků se zde též střídá. Poté jsou představeny výstupy z plošného mapování – rozdílové rastry.

Příčné profily

V této části případové studie bylo zaměřeno několik příčných profilů, jak různými paprsky sonaru k porovnání s metodou RTK GPS, tak rovněž i k porovnání dvou sonarových měření ve stejném profilu, které byly oba porovnány s RTK GPS a rovněž i mezi sebou. U každého profilu byla otestována hypotéza o shodnosti středních hodnot sonarového a RTK GPS měření. Podobně i u porovnání sonarových měření mezi sebou, kde ale byl použit jiný test. Nejprve profil úzkým paprskem (obr. 15) + test (obr. 16), poté středním (obr. 17) + test (obr. 18). Dále profil č. 1 (obr. 19) + test (obr. 20), profil č. 2 (obr. 21) + test (obr. 22), a nakonec srovnání sonarových měření (obr. 23) + test (obr. 24).



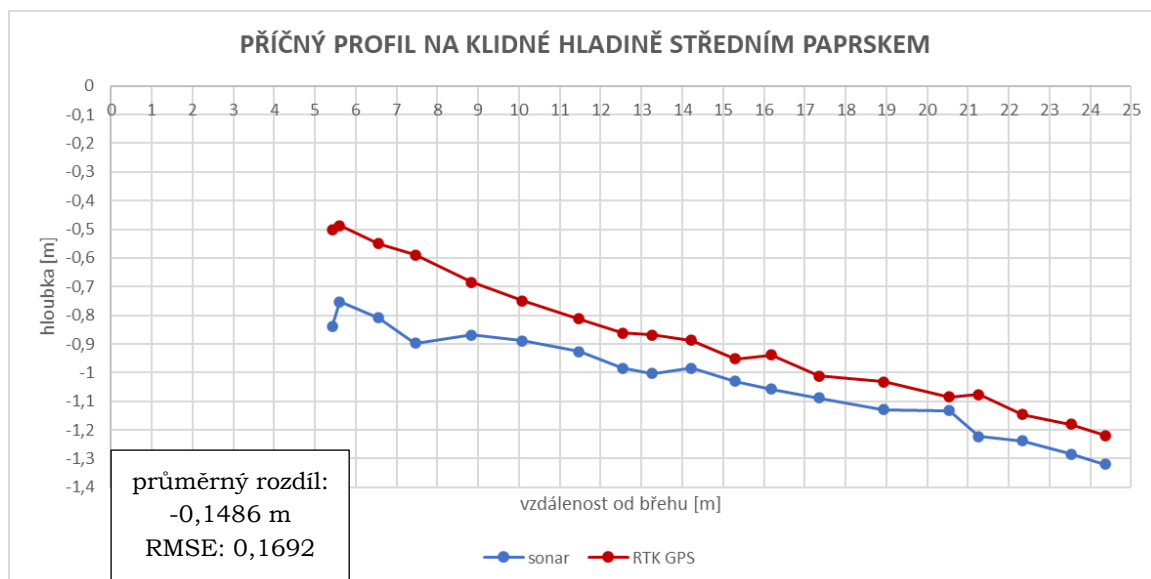
Obr. 15 Příčný profil na klidné hladině úzkým paprskem.

Dvouvýběrový párový t-test na střední hodnotu		
	sonar	RTK GPS
Stř. hodnota	-0,8671	-0,86335
Rozptyl	0,069281	0,068824
Pozorování	25	25
Pears. korelace	0,998876	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	24	
t Stat	-1,50161	t Stat < t krit (2)
P(T<=t) (1)	0,073121	1,50161 < 2,063899
t krit (1)	1,710882	H0 přijímáme
P(T<=t) (2)	0,146241	
t krit (2)	2,063899	

Obr. 16 Profil, klidná hladina, úzký paprsek: Párový t-test, doplněk Analýza dat.

Postup testování opět shodný jako předchozích případech – nejdříve ověření normality dat Shapiro-Wilkovým testem, poté samotný oboustranný párový t-test na střední hodnotu. Absolutní hodnota testovacího kritéria se nachází v oboru přijetí testované

hypotézy, proto byla nulová hypotéza (H_0) přijata. To znamená, že se na dané hladině významnosti **střední hodnoty** výběrů **neliší**.

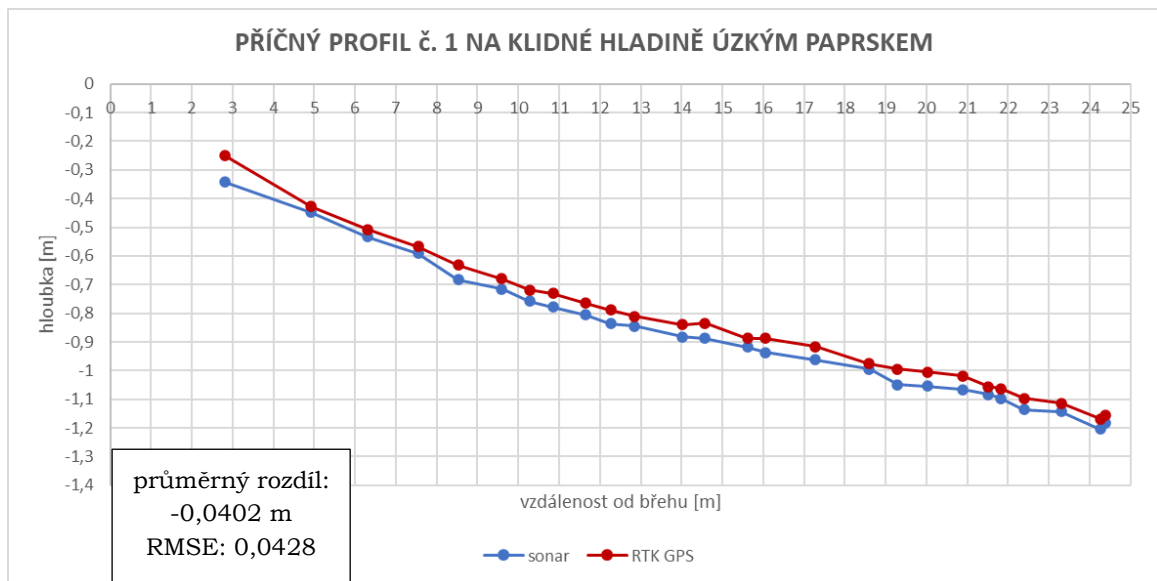


Obr. 17 Příčný profil na klidné hladině středním papsřkem.

T Test: Two Paired Samples								
SUMMARY			Alpha	0,05	Hyp Mean		0	
Groups	Count	Mean	Std Dev	Std Err	t	df	Cohen d	Effect r
sonar	19	-1,02407	0,165701					
RTK GPS	19	-0,87543	0,230519					
Difference	19	-0,14864	0,083157	0,019077576	-7,79122	18	1,787429	0,878233
T TEST								
	p-value	t-crit	lower	upper	sig	p-value < alpha		
One Tail	1,78205E-07	1,734064			yes	0,000000356 < 0,05		
Two Tail	3,56411E-07	2,100922	-0,18872	-0,108557146	yes	H0 zamítáme		

Obr. 18 Profil, klidná hladina, střední papsřek: Párový t-test, doplněk Real Statistics Using Excel.

Vypočtená p -hodnota byla shledána menší než stanovená hladina významnosti α , proto byla nulová hypotéza (H_0) o shodnosti středních hodnot zamítnuta. Přijato bylo znění alternativní hypotézy (H_A) říkající, že na dané hladině významnosti se **střední hodnoty** výběrů **liší**.

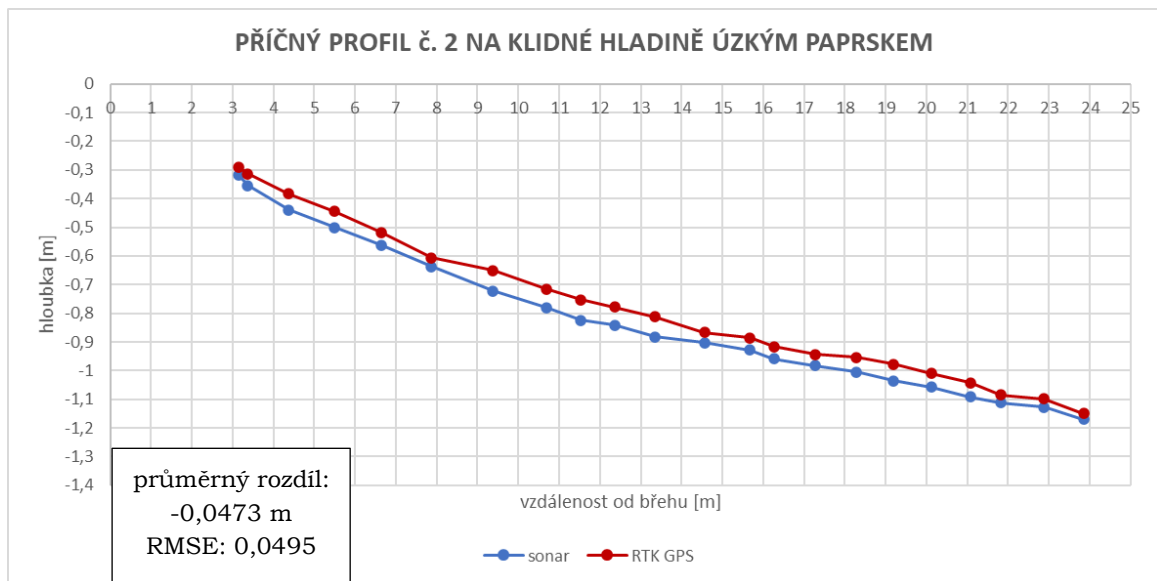


Obr. 19 Příčný profil č. 1 na klidné hladině úzkým paprskem.

Dvouvýběrový párový t-test na střední hodnotu		
	sonar	RTK GPS
Stř. hodnota	-0,88195	-0,84173
Rozptyl	0,052719	0,0546
Pozorování	26	26
Pears. korelace	0,998112	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	25	
t Stat	-13,8536	t Stat > t krit (2)
P(T<=t) (1)	1,56E-13	13,8536 > 2,059539
t krit (1)	1,708141	H0 zamítáme
P(T<=t) (2)	3,12E-13	
t krit (2)	2,059539	

Obr. 20 Profil č. 1, klidná hladina, úzký paprsek: Párový t-test, doplněk Analýza dat.

Absolutní hodnota testovacího kritéria je výrazně vyšší než kritická hodnota, což bylo důvodem pro zamítnutí nulové hypotézy (H_0) a přijetí alternativní hypotézy (H_A). Na dané hladině významnosti se tedy **střední hodnoty** sonarového měření a měření RTK GPS **liší**. V tomto případě bylo opět po posouzení ukazatele RMSE a **malému rozdílu** mezi středními hodnotami výběrů rozhodnuto, že tento **rozdíl i rozdíl** v bodech mezi hloubkou ze sonaru a z GPS je dostatečně **malý** na to, že v daných podmínkách je lze **akceptovat** a měření hodnotit jako dostatečně **přesné**.



Obr. 21 Příčný profil č. 2 na klidné hladině úzkým papsrem.

Dvouvýběrový párový t-test na střední hodnotu		
	sonar	RTK GPS
Stř. hodnota	-0,82851	-0,78123
Rozptyl	0,067036	0,068324
Pozorování	22	22
Pears. korelace	0,998357	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	21	
t Stat	-14,6682	t Stat > t krit (2)
P(T<=t) (1)	8,27E-13	14,6682 > 2,079614
t krit (1)	1,720743	H0 zamítáme
P(T<=t) (2)	1,65E-12	
t krit (2)	2,079614	

Obr. 22 Profil č. 2, klidná hladina, úzký papsrek: Párový t-test, doplněk Analýza dat.

V tomto případě je vyhodnocující test zobrazen opět z doplňku *Analýza dat*, čímž bylo narušeno výše zmíněné pravidlo o střídání doplňků programu Microsoft Excel pro výstupy. K tomuto narušení bylo přistoupeno z důvodu, kdy dochází k porovnání měření dvou totožných profilů (jeden profil zaměřený dvakrát), aby tedy došlo i k vizuálnímu porovnání stejných testů a jak se liší hodnoty v testech obsažené.

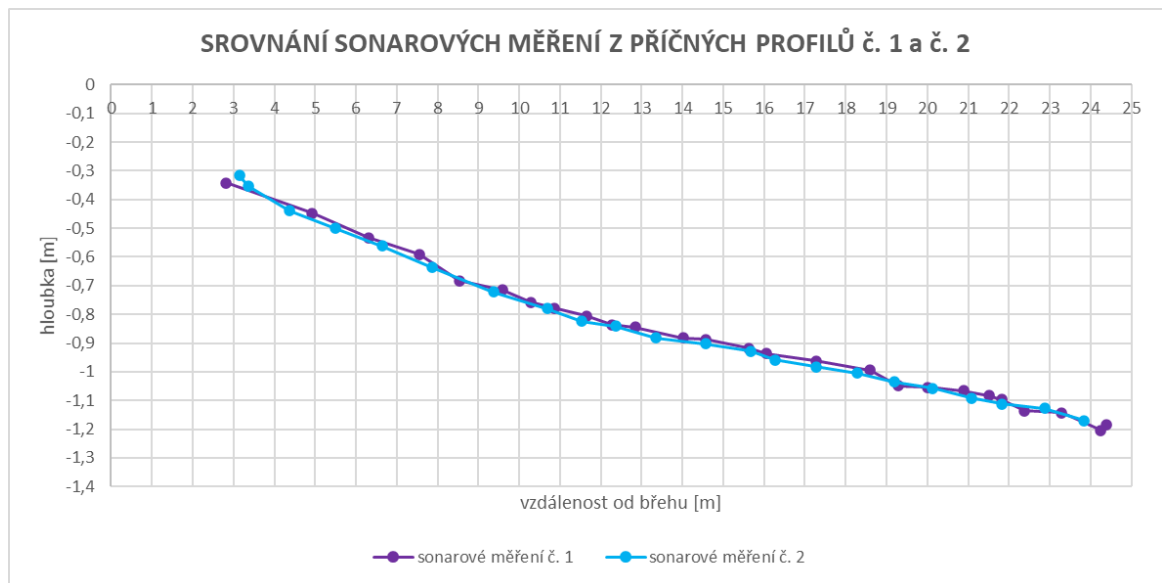
I v tomto případě byla hodnota testovacího kritéria pochopitelně vyšší než hodnota pro ni kritická a nulová hypotéza byla tím pádem zamítnuta ve prospěch alternativní hypotézy a bylo tedy konstatováno, že **střední hodnoty se liší**. Jelikož je tento profil zaměřen v totožném místě a totožným způsobem jako profil předchozí, bylo samozřejmě i zde rozhodnuto o **akceptaci rozdílu** mezi středními hodnotami výběrů a bylo konstatováno, že i toto **měření lze považovat za dostatečně přesné**.

Oboustranný dvouvýběrový nepárový t -test

Nepárový t -test srovnává data ze dvou nezávislých výběrů, tedy že záznamy z obou výběrů nelze spárovat a oba výběry mohou mít i odlišný počet záznamů. Testovaná nulová hypotéza (H_0) je stanovena tak, že střední hodnoty obou výběrů μ_1 a μ_2 jsou si rovny a alternativní hypotéza (H_A) v případě oboustranné varianty testu předpokládá prostý opak, a sice že se střední hodnoty odlišují (Bedáňová, 2021b; Pešík, 2019a).

Poněvadž testované výběry mohou pocházet z populací, které mohou mít stejný či rozdílný rozptyl hodnot sledované veličiny, provádí se nejdříve F -test ke zjištění shodnosti rozptylu obou výběrů. Podle výsledku F -testu je dále proveden nepárový t -test buď pro *shodné* či *různé* rozptyly (Bedáňová, 2021b).

Na sonarových datech z profilu č. 1 a č. 2 byl tedy nejdříve proveden F -test v prostředí programu Microsoft Excel pomocí integrované funkce $F.TEST$, která na výstupu vypíše pouze p -hodnotu testu. Po porovnání této p -hodnoty se stanovenou hladinou významnosti α (p -hodnota $> \alpha$) byla přijata nulová hypotéza F -testu, tedy že **rozptyly** výběru se **neliší**, a proto byla dále použit nepárový t -test pro **shodné** rozptyly. Samotný t -test byl opět vypočítán automatizovaně oběma již zmíněnými doplňky programu Microsoft Excel. Zatímco v doplňku *Analýza dat* uživatel nejdříve vybere, zda chce provádět t -test pro *shodné* či *různé* rozptyly, doplněk *Real Statistics Using Excel* vypočítá automaticky oba (obr. 24).



Obr. 23 Srovnání sonarových měření z příčných profilů č. 1 a č. 2.

T Test: Two Independent Samples										
SUMMARY				Hyp Mean	0					
Groups	Count	Mean	Variance	Cohen d	p-value > alpha					
sonarové měření č. 1	26	-0,881945886	0,052719		0,452409 > 0,05					
sonarové měření č. 2	22	-0,828506054	0,067036		H0 přijímáme					
Pooled			0,059255	0,219534						
T TEST: Equal Variances				Alpha	0,05					
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig	effect r	
One Tail	0,070515573	0,757844387	46	0,226205	1,67866			no	0,111047	
Two Tail	0,070515573	0,757844387	46	0,452409	2,012896	-0,19538	0,088501	no	0,111047	
T TEST: Unequal Variances				Alpha	0,05					
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig	effect r	
One Tail	0,071237218	0,750167305	42,45565	0,228646	1,681545			no	0,114375	
Two Tail	0,071237218	0,750167305	42,45565	0,457291	2,01744	-0,19716	0,090277	no	0,114375	

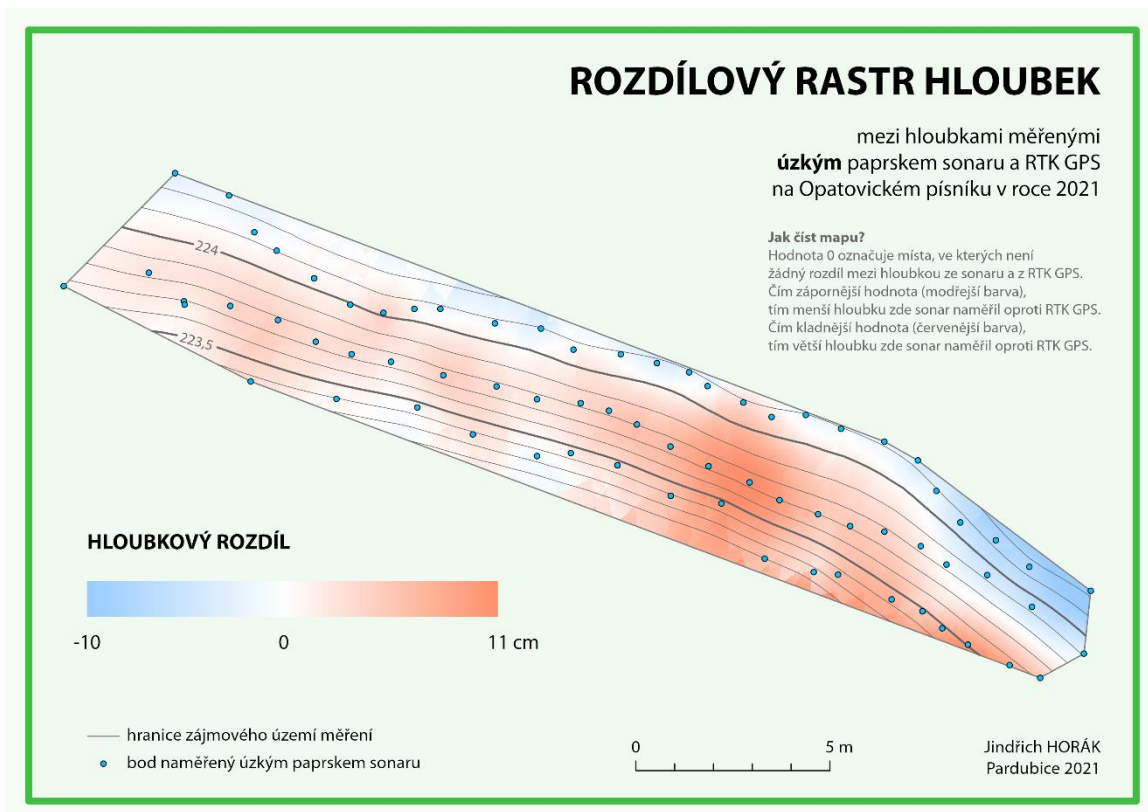
Obr. 24 Srovnání profilů č. 1 a č. 2, nepárový *t*-test, doplněk Real Statistics Using Excel.

Posuzována byla pouze varianta *t*-testu pro shodné rozptyly (Equal Variances). V tomto druhu testu a v jeho oboustranné variantě (Two Tail) byla porovnána *p*-hodnota s hladinou významnosti α , kdy na základě těchto hodnot byla přijata nulová hypotéza (H_0) celého nepárového *t*-testu, tedy že se **střední hodnoty** výběrů (ze sonarového měření č. 1 a č. 2) **neliší**.

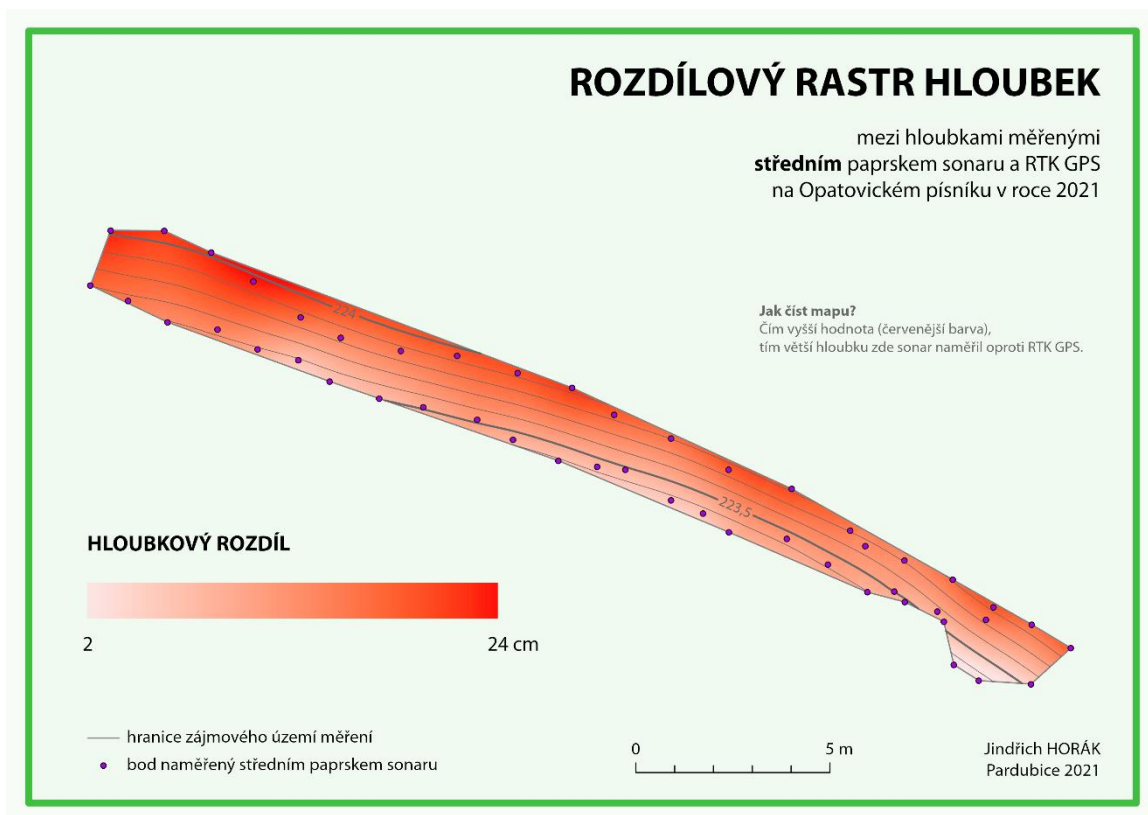
Plošné mapování

Jelikož jsou batymetrické mapy častým výstupem ze sonarových měření, bylo v této části případové studie rovněž přikročeno k jejich vypracování. Cílem je ale porovnávat přesnost sonaru s geodetickým měřením, proto jako výstupy nebyly zpracovány batymetrické mapy jako takové, nýbrž rozdílové rastry, které vznikly odečtením interpolovaných povrchů právě ze sonaru a z GPS.

Po vhodném spojení dříve zpracovaných dat ze sonaru (podkapitola 4.3.1) a dat z GPS (podkapitola 4.3.3) – hloubky ze sonaru a souřadnice bodů + nadmořská výška z GPS – byly pro oba použité paprsky (úzký a střední) nejprve zpracovány bodové grafy v programu Microsoft Excel, které porovnávají nadmořskou výšku z obou přístrojů v měřených bodech. Takto připravená data (opět z obou paprsků) byla opět naimportována do programu ArcGIS Pro nástrojem *Excel To Table*, za účelem samotné tvorby map. Nejprve byly zobrazeny body ve svých souřadnicích pomocí nástroje *XY Table To Point*. Na těchto bodových datech již byly provedeny interpolace povrchů – pro každý paprsek dvě interpolace (z nadmořských výšek ze sonaru a z GPS). Použitou interpolační metodou byl *Empirical Bayesian Kriging* (EBK), který automatizuje nejobtížnější aspekty sestavení platného krigingového modelu, jehož parametry musí v jiných krigingových metodách sám uživatel ručně nastavovat. EBK tyto parametry automaticky vypočítá pomocí simulací (Esri, 2021b). Výstupem z interpolace je ale pouze *GA Layer*, který byl nástrojem *GA Layer To Rasters* převeden na model reliéfu. Když byly takto vyhotoveny oba modely pro daný paprsek, byly od sebe odečteny pomocí nástroje *Raster Calculator*. Tímto způsobem vzniklý rozdílový rastr byl ještě oříznut plochou vymežující zájmovou oblast (oblast, kde proběhl sběr bodů) za použití nástroje *Extract by Mask*. Oříznutý rozdílový rastr už byl pouze vhodně vizualizován a doplněn vrstevnicemi, které byly vygenerovány nástrojem *GA Layer To Contour* z výsledku interpolace dat z GPS. Výsledný rozdílový rastr pro úzký paprsek sonaru (obr. 25) a pro střední paprsek sonaru (obr. 26).



Obr. 25 Rozdílový rastr hloubek, měřeno úzkým paprskem sonaru a metodou RTK GPS.



Obr. 26 Rozdílový rastr hloubek, měřeno středním paprskem sonaru a metodou RTK GPS.

Již z pouhého vizuálního porovnání obou rozdílových rastrů jasně vyplývá, že **větší odchylky** mělo sonarové měření při použití **středního** paprsku, kdy dokonce v celé zájmové oblasti naměřil sonar větší hloubku než GPS.

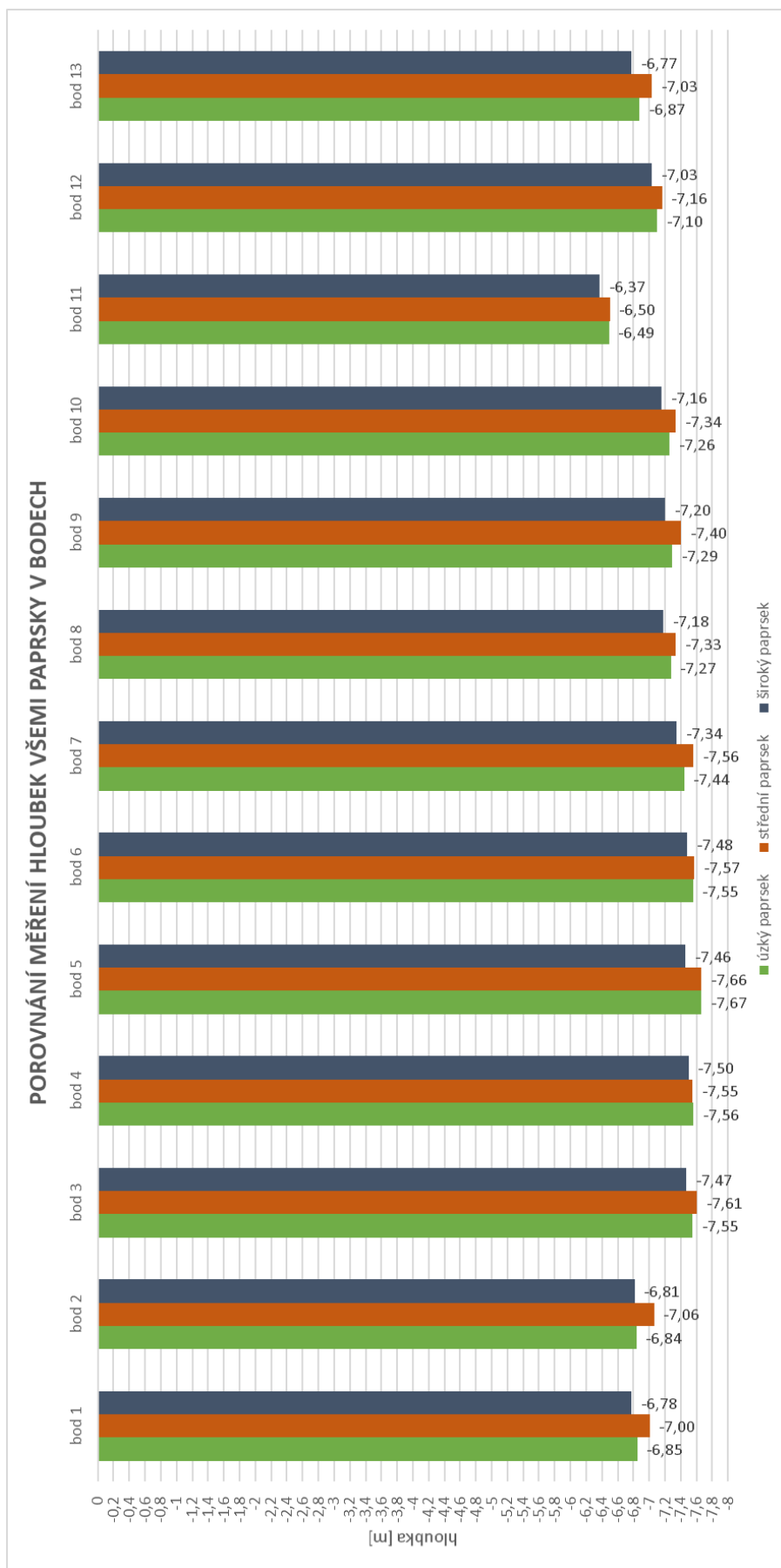
4.4.3 Případová studie Velký písňík II

Výstupem z této případové studie, která porovnávala paprsky sonaru mezi sebou je jednak **shrnující graf**, který zobrazuje zprůměrované naměřené hloubky (tab. 2) všemi paprsky ve všech měřených bodech (obr. 27), kdy pro tyto hloubky byla zpracována **analýza rozptylu**, níž bylo určeno, zda se významně liší střední hodnoty měření různými paprsky. Rovněž byl pro každý měřený bod zpracován **graf rozkolísanosti** měření každým paprskem – byly zde vybrány grafy pro bod č. 2 (obr. 28) a č. 4 (obr. 29), neboť rozptyl hodnot hloubek je podle tab. 2 (ze všech měření, nikoli z průměrovaných hodnot v tabulce) u bodu č. 2 je nejvyšší a u bodu č. 4 nejnižší.

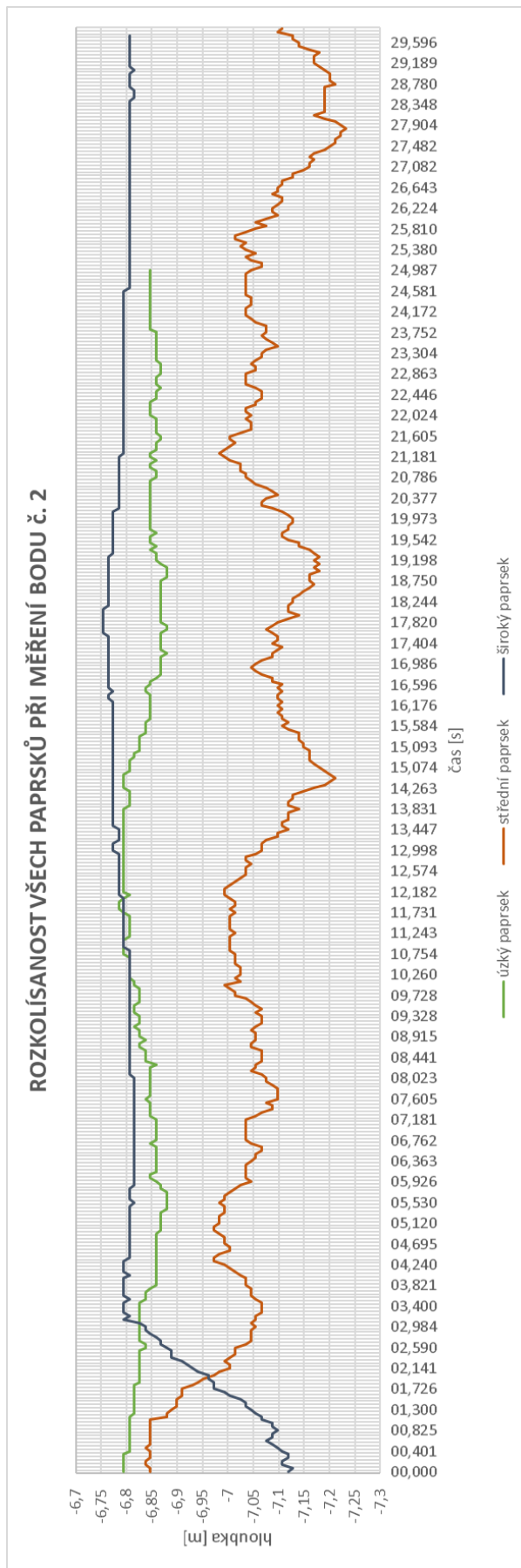
Ke konci je znázorněn výstup z pokusu o kontinuální měření z lodi v této případové studii. Jedná se o graf průběhu hloubek (obr. 34) tak, jak byly zaznamenány jednotlivými paprsky sonaru.

Tab. 2 Zprůměrované hloubky v měřených bodech [m]

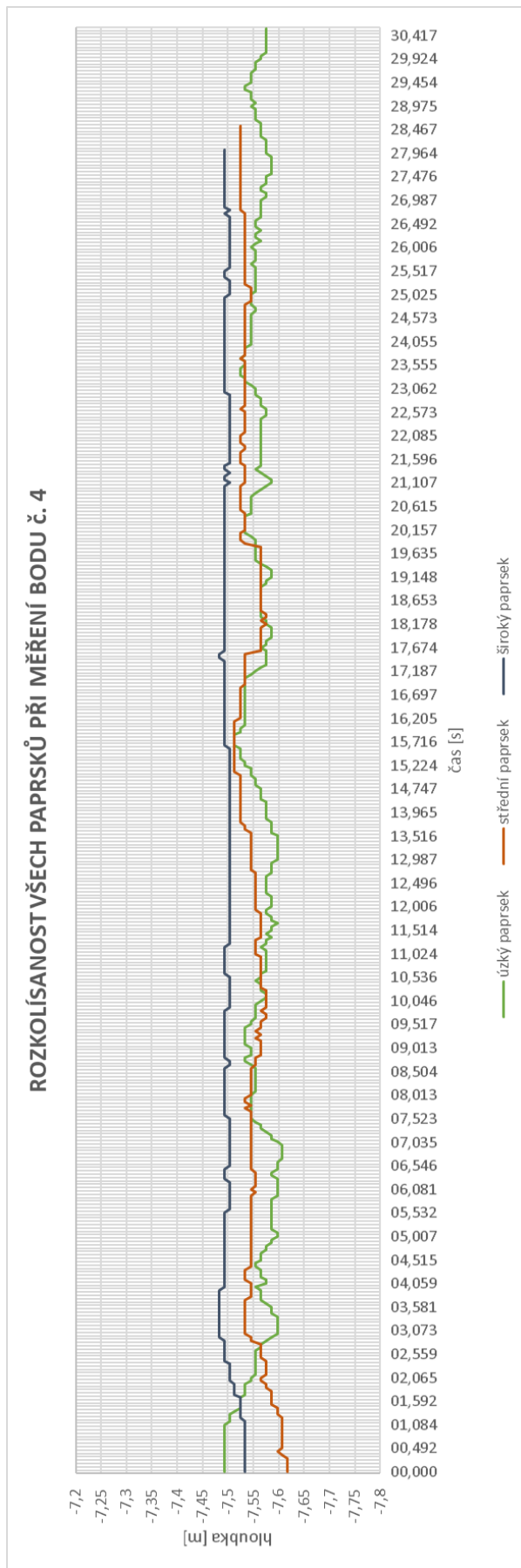
	paprsek			rozptyl	směrodatná odchylka
	úzký	střední	široký		
bod 1	-6,8469	-7,0039	-6,7753	0,0111	0,1053
bod 2	-6,8373	-7,0618	-6,8148	0,0171	0,1307
bod 3	-7,5477	-7,6067	-7,4679	0,0044	0,0660
bod 4	-7,5597	-7,5461	-7,4986	0,0011	0,0328
bod 5	-7,6650	-7,6596	-7,4592	0,0103	0,1016
bod 6	-7,5549	-7,5701	-7,4836	0,0040	0,0632
bod 7	-7,4432	-7,5584	-7,3435	0,0096	0,0978
bod 8	-7,2731	-7,3348	-7,1802	0,0066	0,0812
bod 9	-7,2881	-7,4045	-7,2006	0,0098	0,0988
bod 10	-7,2615	-7,3394	-7,1587	0,0093	0,0965
bod 11	-6,4877	-6,4996	-6,3715	0,0047	0,0688
bod 12	-7,0974	-7,1616	-7,0318	0,0046	0,0675
bod 13	-6,8734	-7,0314	-6,7721	0,0144	0,1198



Obr. 27 Porovnání měření hloubek všemi paprsky v bodech.



Obr. 28 Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 2.



Obr. 29 Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 4.

Směrodatná chyba

Pro každý průměr hloubky, který je uveden v tabulce (obr. 30), ze které vychází shrnující graf (obr. 27), byla vypočtena **směrodatná chyba** ($s_{\bar{x}}$ nebo SE) (3), která udává, nakolik je výpočet průměru přesný. Čím nižší hodnoty dosahuje, tím je průměr přesnější. A zároveň platí, že čím větší velikost výběru, tím menší směrodatná chyba a tím vyšší přesnost průměru. (Hendl, 2012).

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

- $s_{\bar{x}}$ – směrodatná chyba
- s – odhad výběrové směrodatné odchylky
- n – rozsah výběru (počet záznamů)

		úzký paprsek	střední paprsek	široký paprsek
bod 1	hloubka	-6,8469	-7,0039	-6,7753
	SE	0,0014	0,0025	0,0020
bod 2	hloubka	-6,8373	-7,0618	-6,8148
	SE	0,0014	0,0038	0,0035
bod 3	hloubka	-7,5477	-7,6067	-7,4679
	SE	0,0014	0,0027	0,0009
bod 4	hloubka	-7,5597	-7,5461	-7,4986
	SE	0,0012	0,0011	0,0005
bod 5	hloubka	-7,6650	-7,6596	-7,4592
	SE	0,0016	0,0013	0,0019
bod 6	hloubka	-7,5549	-7,5701	-7,4836
	SE	0,0011	0,0040	0,0014
bod 7	hloubka	-7,4432	-7,5584	-7,3435
	SE	0,0015	0,0024	0,0019
bod 8	hloubka	-7,2731	-7,3348	-7,1802
	SE	0,0017	0,0032	0,0021
bod 9	hloubka	-7,2881	-7,4045	-7,2006
	SE	0,0020	0,0028	0,0026
bod 10	hloubka	-7,2615	-7,3394	-7,1587
	SE	0,0032	0,0031	0,0026
bod 11	hloubka	-6,4877	-6,4996	-6,3715
	SE	0,0015	0,0025	0,0013
bod 12	hloubka	-7,0974	-7,1616	-7,0318
	SE	0,0015	0,0031	0,0018
bod 13	hloubka	-6,8734	-7,0314	-6,7721
	SE	0,0016	0,0029	0,0026

Obr. 30 Průměrované hloubky [m] v bodech všemi paprsky i se směrodatnou chybou (SE).

Protože byly průměry počítány z velkého množství záznamů (v řádu nižších stovek), jsou proto průměrné hodnoty velmi přesné, což vyplývá z velmi nízkých hodnot směrodatných chyb v tabulce (obr. 30).

Analýza rozptylu

Analýza rozptylu, i v češtině známá pod anglickým akronymem ANOVA – od slov *Analysis of Variance*, je využívána pro vícenásobné porovnávání (tedy více než dvou výběrových souborů) středních hodnot. Je založena na hodnocení vztahů mezi rozptyly porovnávaných výběrových souborů (samotné testování shodnosti středních hodnot je převáděno na F-test – testování shody dvou rozptylů). Je vyžadováno, aby data byla

v každé skupině v normálním rozdělení, aby měření byla nezávislá a aby platila homogenita rozptylů uvnitř skupin (Bedáňová, 2021a).

Konkrétně byla použita jednofaktorová analýza rozptylu, kdy je analyzován účinek jen jednoho faktoru na zkoumanou proměnnou. Jde o zjišťování rozdílů středních hodnot mezi více skupinami prostřednictvím výpočtu testovacího kritéria F . Nulová hypotéza (H_0) předpokládá, že střední hodnoty skupin se rovnají a testována je analýzou vztahů mezi rozptyly ve skupinách pomocí F -testu. Testovacím kritériem F je testováno, zda se střední hodnoty ve skupinách neliší více než působením přirozené variability. Celková variabilita je rozdělena na dvě části: *rozptyl uvnitř skupin* (rozptyl mezi záznamy v jedné skupině kolem střední hodnoty skupiny) a *rozptyl mezi skupinami* (rozptyl skupinových středních hodnot kolem celkové střední hodnoty ze všech skupinových). Podílem těchto dvou rozptylů je vypočteno testovací kritérium F , které je porovnáno s kritickou hodnotou (F_{krit}) uváděnou ve statistických tabulkách – konkrétně tabulka kvantilů $F_{0,95}$ Fisher-Snedecorova rozdělení (pro hladinu významnosti $\alpha = 0,05$). Jestliže celková variabilita (testovací kritérium F) překročí kritickou hodnotu, nulová hypotéza je na dané hladině významnosti zamítnuta a přijata je alternativní hypotéza (H_A), tedy že rozptyly i střední hodnoty mezi skupinami se liší (alespoň jedna se liší od ostatních) (Bedáňová, 2021a).

Jednofaktorová analýza rozptylu byla zpracována na datech z Případové studie Velký písniček II. Nulová hypotéza byla pro analýzu rozptylu konkrétně stanovena tak, že bylo předpokládáno, že na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ mají zprůměrovaná měření jednotlivými paprsky stejné střední hodnoty a rozptyly (tedy že se naměřená hloubka různými paprsky významně neliší). Před samotnou analýzou rozptylu byl proveden *Shapiro-Wilkův test* (obr. 31), který ověřil, že data mají normální rozdělení a jsou pro analýzu rozptylu vhodná.

Celý výpočet byl proveden v prostředí programu Microsoft Excel opět jeho výše zmíněnými doplňky. V doplňku *Analýza dat* byl vybrán nástroj *Anova: jeden faktor*, který byl naplněn daty a výsledkem byla tabulka obsahující i hodnoty dvou nejdůležitějších údajů – testovacího kritéria F a kritické hodnoty, se kterou je testovací kritérium porovnáváno (obr. 32). Doplňkem *Real Statistics Using Excel* byl nejdříve proveden výše zmíněný *Shapiro-Wilkův test*, poté byl totožně jako v prvním způsobu vybrán nástroj počítající jednofaktorovou analýzu rozptylu, do kterého byla vložena data a výsledkem byla opět tabulka hodnot, kterých sice obsahovala více různých hodnot, ale kritická hodnota tímto doplňkem ve výstupu poskytována není. Proto byla tato ještě ověřena ve statistických tabulkách, z kterých bylo zjištěno, že její hodnota pro dané stupně volnosti leží mezi 3,316 a 3,232 (KSTP, 2006). V prvním způsobu výpočtu analýzy rozptylu (*Analýza dat*) byla získána hodnota 3,259, která leží ve zmíněném rozsahu. Jak je rovněž znázorněno na obr. 32, tak testovací kritérium F vyšlo přibližně 0,788.

Shapiro-Wilk Test			
	<i>úzký paprsek</i>	<i>střední paprsek</i>	<i>široký paprsek</i>
<i>W-stat</i>	0,924710395	0,893224201	0,903512937
<i>p-value</i>	0,290157442	0,107974597	0,149429582
<i>alpha</i>	0,05	0,05	0,05
<i>normal</i>	yes	yes	yes

Obr. 31 Shapiro-Wilkův test v prostředí Microsoft Excel, z doplňku Real Statistics Using Excel.

Anova: jeden faktor						
Faktor						
Výběr	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl		
úzký paprsek	13	-93,7357	-7,21044	0,128997		
střední paprsek	13	-94,7777	-7,2906	0,109386		
široký paprsek	13	-92,5579	-7,11983	0,122862		
ANOVA						
Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F krit
Mezi výběry	0,18977318	2	0,094887	0,787997	0,462441	3,259446
Všechny výběry	4,334939393	36	0,120415			
Celkem	4,524712573	38				
		F < F_krit				
		0,787997 < 3,259446				
		H0 přijímáme				

Obr. 32 Jednofaktorová analýza rozptylu v prostředí Microsoft Excel, z doplňku Analýza dat.

Jelikož je hodnota testovacího kritéria F nižší než kritická hodnota F_{krit} , výsledkem jednofaktorové analýzy rozptylu je, že na dané hladině významnosti byla nulová hypotéza přijata, tedy že se **střední hodnoty** a **rozptyly** průměrných **hloubek** měření všemi paprsky sonaru **neliší**.

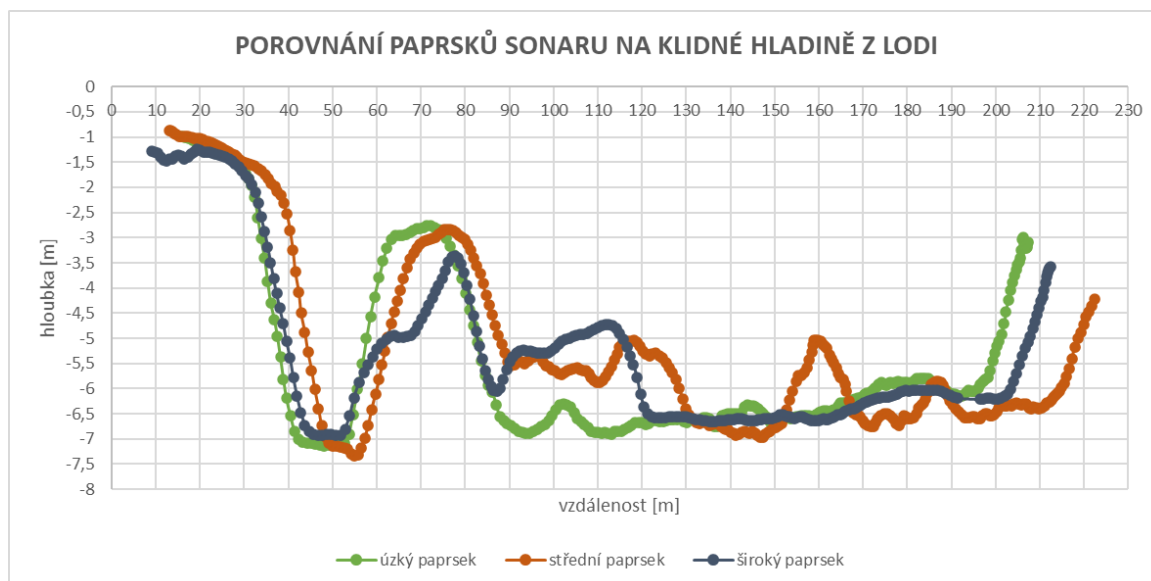
Jako dodatek k analýze rozptylu byl ještě zpracován jeden z multikomparativních testů, které se využívají k mnohonásobnému porovnávání všech dvojic v experimentu navzájem (Bedáňová, 2021a), konkrétně *Tukey-HSD test*. Dle tohoto testu lze zjistit, jestli je rozdíl v průměrech pro jednotlivé skupiny statisticky významný (Blažek a Víturka, 2008). Opět byla doplňkem *Real Statistics Using Excel* v tomto testu vypočítána příslušná statistická hodnota (q-stat) pro každou porovnanou dvojici (obr. 33), která byla porovnána s kritickou hodnotou (q-crit; tabulková hodnota, ale obsažená i ve výpočtu). Pro všechny dvojice byla statistická hodnota nižší než hodnota kritická, proto bylo konstatováno, že žádný **rozdíl** v průměrech **není** statisticky **významný**.

TUKEY HSD/KRAMER						alpha 0,05			
group	mean	n	ss	df	q-crit				
úzký paprsek	-7,210439598	13	1,54796			všechny q-stat < q-crit			
střední paprsek	-7,290596102	13	1,312636						
široký paprsek	-7,11983462	13	1,474343						
		39	4,334939	36	3,457				
Q TEST									
group 1	group 2	mean	std err	q-stat	lower	upper	p-value	mean-crit	Cohen d
úzký paprsek	střední paprsek	0,080157	0,096243	0,832856	-0,25256	0,412868	0,826908	0,332711619	0,230993
úzký paprsek	široký paprsek	0,090605	0,096243	0,94142	-0,24211	0,423317	0,784713	0,332711619	0,261103
střední paprsek	široký paprsek	0,170761	0,096243	1,774277	-0,16195	0,503473	0,429634	0,332711619	0,492096

Obr. 33 Tukey-HSD test v prostředí Microsoft Excel, z doplňku Real Statistics Using Excel.

Kontinuální měření

Výstupem z kontinuálního měření je graf průběhu hloubek (obr. 34).



Obr. 34 Porovnání paprsků z kontinuálního měření provedeného na klidné hladině z lodi.

Již z dat bylo patrné – a z prezentovaného grafu je ještě víc – že naměřená data z různých paprsků jsou vzájemně neporovnatelná. Už i na datové úrovni bylo složité vůbec sloučit data z jednoho paprsku sonaru se zároveň měřenou GPS polohou, i když byla při měření snaha o současné zahajování i končení měření oběma přístroji. Přesto si přesně neodpovídaly počty zprůměrovaných hloubek ze sonaru s každou sekundu měřenými body GNSS přijímačem. Ačkoli byla snaha začínat měření ve stejném bodě (ve stejné vzdálenosti od břehu – a mít pro každý paprsek stejnou vzdálenost prvního bodu od umělého počátečního bodu na břehové čáře (viz podkapitola 4.3.3)), z grafu vyplývá, že toto nebylo dodrženo. A tím, že pokaždé byla loď projeta částečně **jiná trasa** (nebylo možné bez jakékoli navigace dodržet třikrát stejnou trasu ještě při foukajícím větru), a každá měla **jinou** celkovou uraženou **vzdálenost**, si data v grafu **neodpovídají** a jsou skutečně vzájemně **neporovnatelná**. Proto bylo od posuzování výsledků a vyvozování závěrů z této části měření nakonec též **zcela upuštěno**.

5 VÝSLEDKY

Výsledky práce byly odvozeny z výstupů zpracovaných v kapitole 4.4. Podle toho, v jakých podmínkách byl daný sonar testován, takovou mají povahu i výsledky – bylo zjištěno, jaká je přesnost a zda je dostačující v různých podmínkách a různých parametrech použití.

5.1 Případová studie řeka Morava

V této studii bylo zjišťováno, do jaké míry je sonar přesný na tekoucí vodě. Podle výstupů zpracovaných z naměřených dat (v podkapitole 4.4.1) bylo zjištěno, že jak při zaměřování příčného (obr. 11), tak i podélného profilu (obr. 12) řeky sonarem byl **rozdíl** v naměřené **hloubce** ve srovnání s referenční geodetickou metodou (byla použita totální stanice) natolik **malý**, že i po ověření *t*-testem na shodnost středních hodnot (obr. 12, 14) bylo konstatováno, že **přesnost** sonaru v těchto podmínkách je **dostačující**. V případě příčného profilu byl sice výsledek párového *t*-testu takový, že **hypotéza** o shodnosti středních hodnot byla **zamítnuta**, přesto bylo po posouzení ukazatele **RMSE**, který vykazoval **nízkou** hodnotu, a zároveň na základě malého množství dat rozhodnuto, že i příčný profil byl sonarem zaměřen **dostatečně přesně**.

5.2 Případová studie Opatovický a Velký písniček I

Druhá případová studie, provedená částečně na Opatovickém a částečně na Velkém písničku se zabývala posouzením přesnosti měření sonaru na klidné hladině za účasti autora práce přímo ve vodě. Studie byla rozdělena na dvě části – na zaměřování příčných profilů a poté na měření bodů pro plošné mapování.

Při zaměřování profilů, které proběhlo na Opatovickém písničku, byla srovnána měření různými paprsky sonaru – úzkým a středním – s referenčním měřením metodou RTK GPS, dále byla porovnána přesnost měření dvěma různými paprsky (opět úzkým a středním) a nakonec byl naměřen dvakrát stejný profil pouze úzkým paprskem, na čemž bylo ověřeno, že dvě měření na totožném místě s totožným nastavením přístroje jsou téměř shodná. **Srovnání** profilu naměřeného **úzkým** paprskem s **RTK GPS** pomocí párového *t*-testu (obr. 16) (ale i prostý pohled na průběh grafu profilu (obr. 15)) jasně **potvrzuje**, že v této situaci byl **úzký** paprsek sonaru **velmi přesný**. Oproti tomu hloubky naměřené **středním** paprskem dosahovaly ve srovnání s referenčním měřením již na první pohled na graf průběhu profilu (obr. 17) takových **odchylek**, že v daných podmínkách byla **přesnost** tohoto měření hodnocena jako **nedostatečná**. Tento závěr potvrdil opět i párový *t*-test (obr. 18). Oboje zaměření dalšího příčného profilu úzkým paprskem (obr. 19, 21), které bylo provedeno hlavně ke srovnání obou sonarových měření, bylo ale též nejdříve srovnáno s měřením metodou RTK GPS. Podle párového *t*-testu sice byla nejdříve **zamítnuta** hypotéza o **shodnosti** středních hodnot výběrů (hloubky ze sonaru z GPS) (obr. 20, 22), ale přesto na základě posouzení ukazatele **RMSE** a velmi **malého** průměrného **rozdílu** hloubek z obou metod měření bylo rozhodnuto, že onen rozdíl je natolik **malý**, že jej v daných podmínkách lze **akceptovat** a měření hodnotit jako **dostatečně přesné**. Jak již bylo naznačeno, tak při srovnávání samotných sonarových měření mezi sebou z totožných profilů (zaměřených úzkým paprskem) bylo dosaženo **uspokojivého** výsledku, který potvrdil, že se dvě sonarová **měření** ve stejných podmínkách od sebe **neliší**. Toto bylo **potvrzeno** oboustranným nepárovým *t*-testem (obr. 24). Mimo jiné i **křivky** v grafu obou sonarových měření se takřka **shodují** (obr. 23).

Sběr dat pro plošné mapování proběhl totožným způsobem jako u profilů, tedy že byla změřena hloubka v bodech sonarem a poté metodou RTK GPS. Vznikly dvě sady bodů – měřeno bylo nejprve úzkým paprskem sonaru (+ GPS) a poté středním (+ GPS). Body byly zaměřeny v řadách tak, aby řady byly rovnoběžné s břehovou čarou. Ze získaných nadmořských výšek bodů byl interpolován modely reliéfu – vždy ze sonarových dat a poté z GPS. Takto získané modely reliéfu byly od sebe odečteny, čímž byl získán výsledný rozdílový rastr hloubek. Rozdílový rastr je mapa, v níž lze sledovat, jak velké odchylky mezi sonarovým měřením a referenčním GPS měřením v zájmové oblasti nastávaly. Rozdílový rastr byl vytvořen z dat z úzkého paprsku sonaru (obr. 25) a vzápětí i ze středního paprsku (obr. 26). Zatímco u úzkého paprsku se výsledná odchylka pohybovala mezi -11 a +10 cm (záporná hodnota znamená, že v daném místě sonar naměřil menší hloubku než GPS a opačně v případě kladné hodnoty odchylky), u středního se nacházela pouze v kladných hodnotách – +2 až +24 cm. Na základě těchto maximálních odchylek bylo usouzeno, že měření **úzkým** paprskem sonaru je díky **menší odchylce** (a ještě téměř stejné na obě strany) **přesnější** než měřením **středním** paprskem, jehož maximální **odchylka** je více než dvakrát **větší**, a dokonce v **celé** zájmové oblasti naměřil **střední** paprsek **větší** hloubku než referenční GPS – **nebylo** jediné místo, kde by si **hloubky** z obou přístrojů **odpovídaly**.

5.3 Případová studie Velký písňík II

Poslední případová studie se nezabývala porovnáním sonarového měření s geodetickou referenční metodou, nýbrž srovnáním sonarových měření všemi třemi paprsky mezi sebou. Nebyla tedy hodnocena skutečná přesnost měření hloubek jednotlivými paprsky, pouze bylo zjištěno, jaká jsou specifika měření všech paprsků a zda je jejich měření srovnatelné.

Opět na Velkém písňíku byla všemi třemi paprsky naměřena hloubka v 13 bodech. Každým paprskem bylo v daném bodě měřeno cca 30 sekund. Zprůměrované hloubky ze všech třech paprsků jsou zobrazeny v tabulce 2 (tab. 2), která zároveň znázorňuje i celkové rozptyly a směrodatné odchylky měření (spočítané ze všech dat, nikoli z tabelovaných průměrů). Vizualně lze porovnat naměřené hloubky i ve shrnujícím grafu (obr. 27), ze kterého vyplývá, že až na dvě těsné výjimky – bod 4 a 5 – je ve všech bodech **největší** hloubka změřena **středním** paprskem. Na tabulku 2 (tab. 2) navazuje další tabulka (obr. 30) obsahující jednak stejné průměrné hloubky, ale ke každé hloubce zde byla spočítána směrodatná chyba znázorňující přesnost vypočítaného průměru. Jelikož platí, že čím větší velikost výběru, tím menší směrodatná chyba a tím vyšší přesnost průměru (Hendl, 2012) a průměry byly počítány z **velkého** množství naměřených dat, dosahuje **směrodatná chyba** velmi **nízkých** hodnot a **průměry** jsou vypočítány velmi **přesně**.

Dále byl pro každý bod zpracován graf rozkolísanosti všech paprsků při měření vyjadřující jak intenzivně a v jakém rozsahu se měnila měřená hodnota jednotlivými paprsky v průběhu cca 30 sekund měření. Do podkapitoly 4.4.2 byly vybrány grafy rozkolísanosti pro dva body, v nichž mělo měření podle tabulky 2 (tab. 2) největší – bod č. 2 (obr. 28) – a nejmenší – bod č. 4 (obr. 29) – rozptyl. Grafy rozkolísanosti pro všechny body jsou uvedeny v přílohách. Z pohledu na grafy rozkolísanosti vyplývá, že ve většině případů **nejméně** rozkolísaným paprskem byl **široký** paprsek, a naopak **nejvíce** rozkolísaným byl **střední** paprsek sonaru.

Na závěr byla vypracována analýza rozptylu (angl. ANOVA), jejíž nulová hypotéza (H_0) předpokládala, že na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ mají výběry tvořené zprůměrovanými

měřeními v jednotlivých bodech za každý paprsek **stejně střední hodnoty a rozptyly** (jeden výběr odpovídá jednomu sloupci (jednomu paprsku) v tab. 2) – tedy že se **hloubky** naměřené **různými** paprsky ve **všech** bodech významně **neliší**. Tato hypotéza byla po výsledku analýzy rozptylu **přijata** (obr. 32), čímž bylo **potvrzeno**, že za těchto podmínek **není** na dané hladině významnosti **rozdíl** mezi měřeními různými paprsky **signifikantní**. Jako doplnění analýzy rozptylu byl vypočítán *Tukey-HSD test*, kdy na základě jeho výsledku bylo shledáno, že **rozdíl v průměrech** mezi všemi jednotlivými porovnávanými dvojicemi **není** statisticky **významný**.

6 DISKUZE

V průběhu této práce bylo ostatně jako v jakékoli jiné práci zaznamenáno několik problémů a nejasností, které ztěžovaly buď samotný sběr dat, jejich následné zpracování, či tvorbu výstupů. Způsoby provedení případových studií byly kvůli problémům někdy měněny přímo i při jejich provádění.

První problém, kterému bylo při sběru dat čeleno, nastal při zaměřování příčného profilu vodního toku – řeky Moravy. Prvotním předpokladem, jak měla být tato případová studie provedena, bylo samozřejmě zaměřit celý příčný profil od jednoho břehu řeky k druhému. V zájmové lokalitě ale byl v den měření ve vzdálenější části vodního toku tak silný proud, že by nebylo bezpečné do něho vstupovat a pokoušet se v něm cokoli zaměřovat. Z tohoto důvodu byl příčný profil zaměřen pouze zhruba do poloviny, tedy tam, kde to ještě bezpečné bylo. Ovšem proto, že cílem práce nebylo zaměřit tento konkrétní profil a znát v něm hloubku, nýbrž otestovat kvalitu sonarového měření hloubek na tekoucí vodě v porovnání s geodetickou metodou, byl ještě na stejném místě zaměřen i podélný profil (po proudu řeky a cca dva metry od břehu), čímž byl cíl případové studie naplněn.

Nejen při zaměřování příčných profilů na klidné hladině, ale ve všech případech, kdy bylo měřeno zároveň sonarem a hned poté GNSS přijímačem bylo zjištěno, že k provedení těchto činností nestačí mít k dispozici jeden mobilní telefon, nýbrž dva a z toho alespoň jeden s internetovým připojením. Proto, že je sonar s mobilní aplikací, kterou je ovládán, propojen přes technologii Wi-Fi, nelze již na tomtéž mobilním telefonu sdílet mobilní internetové připojení (tzv. tethering) – vytvořit tzv. mobilní hotspot, který je v místech bez dostupnosti jiného internetového Wi-Fi signálu nezbytný pro připojení GNSS přijímače k referenčním stanicím, což je podmínkou pro určování polohy metodou RTK GPS. K vytvoření mobilního hotspotu byl tedy při řešení práce využit mobilní telefon pomocníka autora a autorovým mobilním telefonem byl ovládán sonar.

V lokalitě, která byla vybrána pro zaměření bodů pro plošná mapování (Opatovický písník), se hloubka vody zvyšovala tak rychle, že pro potřeby plošného mapování byly úzkým paprskem zaměřeny jen tři řady bodů a středním pouze dvě (řada bodů rovnoběžná s břehovou čarou). Jít a měřit dále od břehu nebylo kvůli hloubce možné. Tento nízký počet bodů (zvláště u středního paprsku) se projevil především při interpolaci povrchů, která tím pádem nemohla být tak přesná. K interpolacím je rovněž nezbytné dodat, že podobu výsledku vždy ovlivňuje jednak výběr interpolační metody, ale též i její konkrétní nastavení. Tedy že při použití jiných interpolačních metod by výstupy z plošného mapování nejspíše měly částečně jinou podobu, ovšem na druhou stranu ne natolik odlišnou, aby byly vyvozeny jiné závěry, než ke kterým se v práci došlo.

V poslední případové studii – Velký písník II – nastaly právě takové problémy, že studie byla nakonec provedena jiným způsobem, než jak byla původně naplánována. Prvotní problémy jsou popsány v podkapitole 4.2.3, kdy už na jejich základě byl změněn princip měření z vytyčování po linii na kontinuální měření. Toto bylo sice mimo jiné provedeno, ovšem již z dat, a ještě více i z výsledného grafu v podkapitole 4.4.3 (obr. 34) bylo jasně rozpoznatelné, že kontinuálně naměřená data různými paprsky jsou vzájemně neporovnatelná. Proto bylo upuštěno od vyvozování jakýchkoli závěrů z této části případové studie. Z toho důvodu se hlavní částí studie stalo zaměřování hloubek všemi paprsky v bodech. Hloubky byly zaměřeny celkem ve 13 bodech, tedy podle toho, kolik bylo v nejbližším okolí na písníku rozmístěno bójí, které simulovaly ukotvení lodě v daném bodě.

Z výsledků práce vyplývá, že při měření úzkým paprskem sonaru lze dosahovat dostatečně přesných výsledků ve srovnání s geodetickými metodami. V budoucnu by ale mělo být otestováno měření hloubek všemi paprsky daného sonaru tam, kde lze dosahovat podstatně větších hloubek, než jakých bylo dosaženo v této práci. Maximální hloubka naměřená v této práci má hodnotu cca 7,6 m, ovšem výrobcem deklarovaná hranice, do které by sonar měl umět zaznamenávat hloubku je až 100 m.

7 ZÁVĚR

Hlavním cílem bakalářské práce bylo zhodnotit přesnost sonaru Deeper Smart Sonar CHIRP+ pro batymetrické mapování za použití různých nastavení (různých paprsků sonaru) a v různých podmínkách – na tekoucích i klidných vodách.

Za tímto účelem byly vypracovány tři případové studie s různým zaměřením. V nich byla hloubka naměřená sonarem buď porovnávána s referenční geodetickou metodou, a sice s měřením totální stanicí nebo metodou velmi přesného určování polohy RTK GPS, nebo byla porovnávána sonarová měření různými paprsky mezi sebou. Všechny výstupy z těchto měření byly podrobeny statistickému testování hypotéz, převážně kterým bylo rozhodováno, zda je přesnost sonaru v dané situaci a s daným nastavením dostatečná.

Nejdříve byla zpracována případová studie zaměřená na tekoucí řeku. V rámci této studie byly zaměřeny dva profily úzkým paprskem sonaru a totální stanicí na řece Moravě v Litovelském Pomoraví. Ačkoli výsledek testu hypotézy o shodnosti středních hodnot mezi sonarovým měřením a totální stanicí doporučil u jednoho ze dvou profilů vyjádřit, že přesnost nebyla dostatečná, po posouzení nízké hodnoty ukazatele RMSE, malého počtu bodů a malého rozdílu mezi naměřenými hloubkami oběma přístroji bylo rozhodnuto, že v obou případech za použití úzkého paprsku je **přesnost** sonaru na **tekoucí** řece **dostatečná**.

Druhá případová studie orientovaná na posouzení přesnosti sonaru na vodách s klidnou hladinou byla rozdělena na dvě téměř samostatné části, v obou částech ale byla hloubka ze sonaru porovnávána s metodou RTK GPS. Obsáhlejší první část, která proběhla na Velkém písníku, si kladla za cíl zaměřit na klidné hladině opět (příčné) profily s různým nastavením sonaru. V druhé části, uskutečněné na Opatovickém písníku, proběhl sběr bodů opět s různým nastavením sonaru pro plošné mapování. V rámci první části byly zaměřeny profily za použití úzkého a středního paprsku sonaru, dále byl v jednom místě zaměřen dvakrát tentýž profil úzkým paprskem z toho důvodu, aby byla porovnána mezi sebou i samotná sonarová měření a mohlo být rozhodnuto, jestli si odpovídají. Nakonec u všech profilů zaměřených **úzkým** paprskem sonaru bylo rozhodnuto, že jejich **přesnost** je **dostatečná**. Naproti tomu profil zaměřený **středním** paprskem **propadl** jako značně **nepřesný**. Z porovnání **samotných** sonarových **měření** bylo jasně stanoveno, že si **odpovídají** a že tedy při měření sonarem za použití **stejného** nastavení (úzký paprsek) a ve **stejných** podmínkách (totožné místo) **nedochází** k **rozdílům**. Z naměřených bodů pro plošné mapování byly interpolovány modely reliéfu. Odečtením modelu interpolovaného z hodnot nadmořských výšek ze sonaru a modelu s nadmořskými výškami z GPS vznikl tzv. **rozdílový rastr hloubek**, který ukazoval, o kolik a v jakých oblastech naměřil sonar větší či menší hloubku oproti referenční RTK GPS. Tento rozdílový rastr byl sestaven opět pro úzký a střední paprsek. Znovu se ukázalo, že při použití **středního** paprsku je dosahováno mnohem **horších** výsledků. V případě **středního** paprsku sonaru byly **odchyly** až dvakrát **větší** (max. 24 cm) ve srovnání s úzkým paprskem (max. 11 cm). Navíc v **celé** oblasti naměřil **střední** paprsek **větší** hloubku než GPS, **nebylo** jediné místo, kde by si hodnoty **odpovídaly**.

Na porovnání všech paprsků mezi sebou byla zaměřena třetí případová studie, která proběhla opět na Velkém písníku. Ve 13 bodech byla zaměřena hloubka všemi třemi paprsky sonaru, každým bylo měřeno cca 30 sekund. Měření za jednotlivé paprsky v jednotlivých bodech byla zprůměrována a byl sestaven shrnující graf. Z něj vyplývá, že až na dvě těsné výjimky byla největší hloubka naměřena vždy **středním** paprskem. Dále byly sestaveny grafy rozkolísanosti měření ve všech bodech pro všechny paprsky. Tyto grafy naznačují, že nejstálejší měření probíhalo **širokým** paprskem

a nejrozkolísanějším byl **střední** paprsek. Nakonec zprůměrované hodnoty hloubek vstoupily do analýzy rozptylu (angl. ANOVA). Na základě výsledku tohoto statistického testu byla přijata hypotéza, že se střední hodnoty a rozptyly **hloubek** naměřených **různými** paprsky ve **všech** bodech významně **neliší**.

Z výsledků celé práce vyplynulo, že v testovaných podmínkách je **přesnější** použití **úzkého** paprsku pro batymetrická mapování oproti **střednímu**, jehož měření je značně **rozkolísané**, a ještě často **nepřesné**. Ovšem ne natolik, aby se měření všemi třemi paprsky významně **lišila**.

Přesto po posouzení veškerých okolností, výsledků a nabytých zkušeností autora je **přesnost** měření hloubky při použití **úzkého** paprsku **srovnatelná** s **geodetickými** metodami a tím pádem lze považovat **úzký** paprsek za **nejpřesnější**.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

AMOS, Jonathan, 2020. One-fifth of Earth's ocean floor is now mapped. *BBC: News: Science* [online]. 2020 [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/science-environment-53119686>

BEDÁŇOVÁ, Iveta, 2021a. Analýza rozptylu (ANOVA): testování rozdílů více středních hodnot. *Biostatistika: Multimediální výukový text pro studenty VFU Brno* [online]. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, 2021a [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn3/ANOVA.htm>

BEDÁŇOVÁ, Iveta, 2021b. Parametrické testy - Studentův t-test: Test rozdílů 2 středních hodnot. *Biostatistika: Multimediální výukový text pro studenty VFU Brno* [online]. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, 2021b [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/stat/FVHE/Teorie/Predn3/ttest.htm>

BLAŽEK, Ladislav a Milan VITURKA, 2008. *Analýza regionálních a mikroekonomických aspektů konkurenceschopnosti*. Brno: Masarykova univerzita, s. 218. ISBN 978-80-210-4787-7.

BOLDT, Justin, 2021. Bathymetric Surveys. *USGS: science for a changing world* [online]. 2021 [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: https://www.usgs.gov/centers/oki-water/science/bathymetric-surveys?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

BRODSKÝ, Lukáš, 2003. *Využití geostatistických metod pro mapování prostorové variability agrochemických vlastností půd*. Praha: Česká zemědělská univerzita, Katedra agrochemie a výživy rostlin. ISBN 80-213-1100-2.

BUDÍKOVÁ, Marie, 2006. *Statistika II: distanční studijní opora*. Brno: Masarykova univerzita, Ekonomicko-správní fakulta, s. 66. ISBN 80-210-4105-6.

CSVREADER.COM, 2021. What is a CSV file? *CSV Reader* [online]. [cit. 2021-3-29]. Dostupné z: https://www.csvreader.com/csv_format.php

ČSN EN ISO 772, 2012. *Hydrometrická měření – Terminologie. 2/12*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

DEEPER, 2021a. Deeper Smart Sonar CHIRP+. *Deeper* [online]. 2021a [cit. 2021-3-22]. Dostupné z: https://deepersonar.com/cz/cs_cz/produkty/smart-sonar-chirp-plus

DEEPER, 2021b. Režim z člunu (řada PRO a CHIRP+). *Deeper* [online]. 2021b [cit. 2021-3-29]. Dostupné z: https://deepersonar.com/cz/cs_cz/manual/boat-mode

DEEPER, 2021c. Stručný návod k sonaru CHIRP+: Vrhání a snímání. *Deeper* [online]. 2021c [cit. 2021-3-22]. Dostupné z: https://deepersonar.com/cz/cs_cz/manual/casting-and-scanning-chirp

DEEPER, 2020. Jak fungují sonary. *Deeper* [online]. 2020 [cit. 2020-10-31]. Dostupné z: https://deepersonar.com/cz/cs_cz/jak-to-funguje/jak-funguji-sonary

DOST, R. J. J. a C. M. M. MANNAERTS, 2005. *Generation of lake bathymetry using sonar, satellite imagery and GIS* [online]. [cit. 2020-9-29]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/CM_Mannaerts/publication/228799737_Generation_of_lake_bathymetry_using_SONAR_satellite_imagery_and_GIS/links/004635200a9adea9a7000000.pdf

ESRI, 2021a. *Dissolve (Data Management)* [online]. 2021a [cit. 2021-4-12]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/data-management/dissolve.htm>

ESRI, 2021b. *What is empirical Bayesian kriging?* [online]. 2021b [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/what-is-empirical-bayesian-kriging-.htm>

GAO, Jay, 2009. Bathymetric mapping by means of remote sensing: methods, accuracy and limitations. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* [online]. 2009, **33**(1), 103-116 [cit. 2020-10-31]. ISSN 0309-1333. Dostupné z: doi:10.1177/0309133309105657

HAUF, Miroslav, 1989. *Geodézie*. Praha: SNTL, s. 193. ISBN 80-03-00142-0.

HENDL, Jan, 2012. *Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat*. 4., rozš. vyd. Praha: Portál, s. 174. ISBN 978-80-262-0200-4.

KÁBA, Bohumil a Libuše SVATOŠOVÁ, 2006. *Matematická statistika I*. Praha: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, s. 66. ISBN 978-80-213-1439-9.

KNAP, Robert, Pavla ŠTĚPÁNKOVÁ, Aleš DRÁB, Filip JUNG a Jan RUSSNÁK, 2018. *Porovnání diskrétních a spojitých metod měření dna vodních útvarů* [online]. 2018 [cit. 2020-11-2]. Dostupné z: <http://www.vars.cz/file/4367/qj1520267-metodika-porovnaní-metod-merení-schvalena.pdf>

KOZACZKA, Eugeniusz, Grażyna GRELOWSKA a Sławomir KOZACZKA, 2010. Images of the Seabed of the Gulf of Gdańsk Obtained by Means of the Parametric Sonar. *Acta Physica Polonica A* [online]. **118**(1), 91-94 [cit. 2020-11-4]. ISSN 0587-4246. Dostupné z: doi:10.12693/APhysPolA.118.91

KSTP, 2006. *Statistika: Tabulky* [online]. Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze, 2006 [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <https://statistika.vse.cz/download/materialy/tabulky.pdf>

MAGRON, Franck, 2008. Bathymetric Mapping Using a Combination of Sonar Data and Satellite Imagery. *SPC Fisheries Newsletter* [online]. 2008, **July-September 2008**(126) [cit. 2021-3-6]. ISSN 0248-076X. Dostupné z: http://www.spc.int/DigitalLibrary/Doc/FAME/InfoBull/FishNews/126/FishNews126_28_Magron.pdf

MICROSOFT, 2021a. Funkce DATUM. *Microsoft* [online]. 2021a [cit. 2021-4-9]. Dostupné z: <https://support.microsoft.com/cs-cz/office/funkce-datum-e36c0c8c-4104-49da-ab83-82328b832349>

MICROSOFT, 2021b. Načtení doplňku Analytické nástroje v Excelu. *Microsoft* [online]. 2021b [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <https://support.microsoft.com/cs-cz/office/na%C4%8Dten%C3%AD-dopl%C5%88ku-analytick%C3%A9-n%C3%A1stroje-v-excelu-6a63e598-cd6d-42e3-9317-6b40ba1a66b4>

MISJA.COM, 2021. *Epoch Converter - Unix Timestamp Converter* [online]. [cit. 2021-4-9]. Dostupné z: <https://www.epochconverter.com/>

NOAA, 2018. What is bathymetry? *National Ocean Service website* [online]. 25. 6. 2018 [cit. 2020-10-31]. Dostupné z: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/bathymetry.html>

NOVÁK, Pavel, Radek ROUB, Tomáš VYBÍRAL, et al., 2017. *Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží pro stanovení jejich zásobních kapacit a sledování množství a dynamiky sedimentů: Certifikovaná metodika výsledků výzkumu, vývoje a inovací*. Praha: VÚMOP. ISBN 978-80-87361-81-8.

PEŠÍK, Jiří, 2019a. Dvouvýběrový t-test. *Statistika jednoduše* [online]. 2019a [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://statistikajednoduse.cz/dvouvyberovy-t-test/>

PEŠÍK, Jiří, 2019b. Párový t-test. *Statistika jednoduše* [online]. 2019b [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://statistikajednoduse.cz/parovy-t-test/>

POKORNÁ, Markéta, 2006. Mapování mořského dna v oblasti Porkupinské pánve. *Geodetický a kartografický obzor*. Praha: Vesmír, **52 (94)**(2), 32. ISSN 0016-7096.

POVODÍ VLTAVY S. P., 2013. Vyměřovací loď Valentýna II. *Povodí Vltavy s. p.* [online]. 2013 [cit. 2020-11-3]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/vodohospodarske-informace/vymerovaci-lode/valentyana>

PRŪSIS, Ilgaitis a Peteris PRŪSIS, 2020. *About Doppler Effect* [online]. February 2020, 2 [cit. 2020-11-6]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/339052400_About_Doppler_Effect

SALEH, Mohamed a Mostafa RABAH, 2019. Seabed sub-bottom sediment classification using parametric sub-bottom profiler. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics* [online]. **5**(1), 87–95 [cit. 2020-11-5]. ISSN 2090-9977. Dostupné z: doi:10.1016/j.nrjag.2016.01.004

SÁNCHEZ-CARNERO, Noela, Sara ACEÑA-MATARRANZ, Daniel RODRÍGUEZ-PÉREZ, Elena COUÑAGO, Pablo FRAILE-JURADO a Juan FREIRE, 2012. Fast and low-cost method for VBES bathymetry generation in coastal areas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* [online]. **114**, 175-182 [cit. 2021-5-1]. ISSN 02727714. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecss.2012.08.018

SEABEAM, 2000. Multibeam Sonar Theory of Operation. *L-3 Communications SeaBeam Instruments* [online]. East Walpole, MA, 2000 [cit. 2020-10-31]. Dostupné z: <https://confluence.qps.nl/qinsy/files/latest/en/182618414/182618419/1/1579183200000/SeaBeamMultibeamTheoryOperation.pdf>

STEINBERG, Steven J., 2009. Bathymetric Mapping. *CSU Geospatial Review* [online]. **2009** [cit. 2020-10-31]. ISSN 2373-5783. Dostupné z: http://online.sfsu.edu/csugis/CSU_Geospatial_Review/2009.pdf

TRIMBLE, 2013. *Trimble R4 GNSS System: Datasheet* [online]. 2013 [cit. 2021-3-4]. Dostupné z: https://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-468267/022543-490E_TrimbleR4GNSS_DS_0413_LR.pdf

TRIMBLE, 2010. *Trimble® S3 Total Station User Guide* [online]. 2010, 68 [cit. 2021-3-23]. Dostupné z: <http://www.geoglobex.it/wp-content/uploads/2015/07/Trimble-S3-manuale-min>

WHOI, 2020. Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP). *Woods Hole Oceanographic Institution* [online]. [cit. 2020-11-6]. Dostupné z: <https://www.whoi.edu/know-your-ocean/ocean-topics/tools-technology/acoustics/acoustic-doppler-current-profiler-adcp/>

YESUF, Hassen M., Tena ALAMIREW, Assefa M. MELESSE a Mohammed ASSEN, 2012. Bathymetric Mapping for Lake Hardibo in Northeast Ethiopia Using Sonar. *International Journal of Water Sciences* [online]. 2012 [cit. 2020-9-29]. ISSN 1848-929X. Dostupné z: doi:10.5772/52886

ZAIONTZ, Charles, 2021. *Welcome to Real Statistics Using Excel* [online]. [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <http://www.real-statistics.com/>

ZEDNÍČKOVÁ, Kristýna, 2020. *Hodnocení vývoje fluvialních forem v CHKO Litovelské Pomoraví*. Olomouc. Diplomová práce (Mgr.). Univerzita Palackého v Olomouci.

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Vázané přílohy

- Příloha 1 Příčný profil řeky: Párový t -test, doplněk Real Statistics Using Excel
- Příloha 2 Podélný profil řeky: Párový t -test, doplněk Analýza dat
- Příloha 3 Profil, klidná hladina, úzký paprsek: Párový t -test, doplněk Real Statistics Using Excel
- Příloha 4 Profil, klidná hladina, střední paprsek: Párový t -test, doplněk Analýza dat
- Příloha 5 Profil č. 1, klidná hladina, úzký paprsek: Párový t -test, doplněk Real Statistics Using Excel
- Příloha 6 Profil č. 2, klidná hladina, úzký paprsek: Párový t -test, doplněk Real Statistics Using Excel
- Příloha 7 Srovnání profilů č. 1 a č. 2, nepárový t -test, doplněk Analýza dat
- Příloha 8 Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 1
- Příloha 9 Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 2
- Příloha 10 Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 3
- Příloha 11 Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 4
- Příloha 12 Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 5
- Příloha 13 Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 6
- Příloha 14 Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 7
- Příloha 15 Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 8
- Příloha 16 Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 9
- Příloha 17 Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 10
- Příloha 18 Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 11
- Příloha 19 Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 12
- Příloha 20 Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 13

Volné přílohy

- Příloha 21 Poster
- Příloha 22 SD karta

Popis struktury SD karty

Adresáře:

GIS_Projekty

Text_Prace

Vstupni_Data

Vystupni_Data

WEB

Příloha 1: Příčný profil řeky: Párový t-test, doplněk Real Statistics Using Excel

T Test: Two Paired Samples								
SUMMARY			Alpha	0,05	Hyp Mean		0	
Groups	Count	Mean	Std Dev	Std Err	t	df	Cohen d	Effect r
sonar	6	-0,40788911	0,124055392					
totální stanice	6	-0,45466667	0,1048669					
Difference	6	0,046777557	0,028760517	0,011741	3,983974	5	1,626451	0,872035
T TEST								
	p-value	t-crit	lower	upper	sig	p-value < alpha		
One Tail	0,005244578	2,015048373			yes	0,01049 < 0,05		
Two Tail	0,010489157	2,570581836	0,016595246	0,07696	yes	H0 zamítáme		

Příloha 2: Podélný profil řeky: Párový t-test, doplněk Analýza dat

Dvouvýběrový párový t-test na střední hodnotu		
	sonar	totální stanice
Stř. hodnota	-0,5731	-0,552868333
Rozptyl	0,057971	0,037772801
Pozorování	12	12
Pears. korelace	0,993613	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	11	
t Stat	-1,33572	t Stat < t krit (2)
P(T<=t) (1)	0,10431	1,33572 < 2,200985
t krit (1)	1,795885	H0 přijímáme
P(T<=t) (2)	0,208621	
t krit (2)	2,200985	

Příloha 3: Profil, klidná hladina, úzký paprsek: Párový t-test, doplněk Real Statistics Using Excel

T Test: Two Paired Samples								
SUMMARY			Alpha	0,05	Hyp Mean		0	
Groups	Count	Mean	Std Dev	Std Err	t	df	Cohen d	Effect r
sonar	25	-0,86710155	0,263214					
RTK GPS	25	-0,86335	0,262344					
Difference	25	-0,00375155	0,012492	0,002498348	-1,50161	24	0,300322	0,293057
T TEST								
	p-value	t-crit	lower	upper	sig	p-value > alpha		
One Tail	0,073121	1,71088208			no	0,146241 > 0,05		
Two Tail	0,146241	2,063898562	-0,00891	0,001404791	no	H0 přijímáme		

Příloha 4: Profil, klidná hladina, střední paprsek: Párový t-test, doplněk Analýza dat

Dvouvýběrový párový t-test na střední hodnotu		
	sonar	RTK GPS
Stř. hodnota	-1,02407	-0,87543
Rozptyl	0,027457	0,053139
Pozorování	19	19
Pears. korelace	0,964477	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	18	
t Stat	-7,79122	t Stat > t krit (2)
P(T<=t) (1)	1,78E-07	7,79122 > 2,100922
t krit (1)	1,734064	H0 zamítáme
P(T<=t) (2)	3,56E-07	
t krit (2)	2,100922	

Příloha 5: Profil č. 1, klidná hladina, úzký paprsek: Párový t-test, doplněk Real Statistics Using Excel

T Test: Two Paired Samples								
SUMMARY			Alpha	0,05		Hyp Mean	0	
Groups	Count	Mean	Std Dev	Std Err	t	df	Cohen d	Effect r
sonar	26	-0,88195	0,229606					
RTK GPS	26	-0,84173	0,233667					
Difference	26	-0,04022	0,014802	0,002902857	-13,8536	25	2,716921	0,940612
T TEST								
	p-value	t-crit	lower	upper	sig		p-value < alpha	
One Tail	1,5579E-13	1,708141			yes		3,11*10 ⁻¹³ < 0,05	
Two Tail	3,1158E-13	2,059539	-0,04619	-0,034236572	yes		H0 zamítáme	

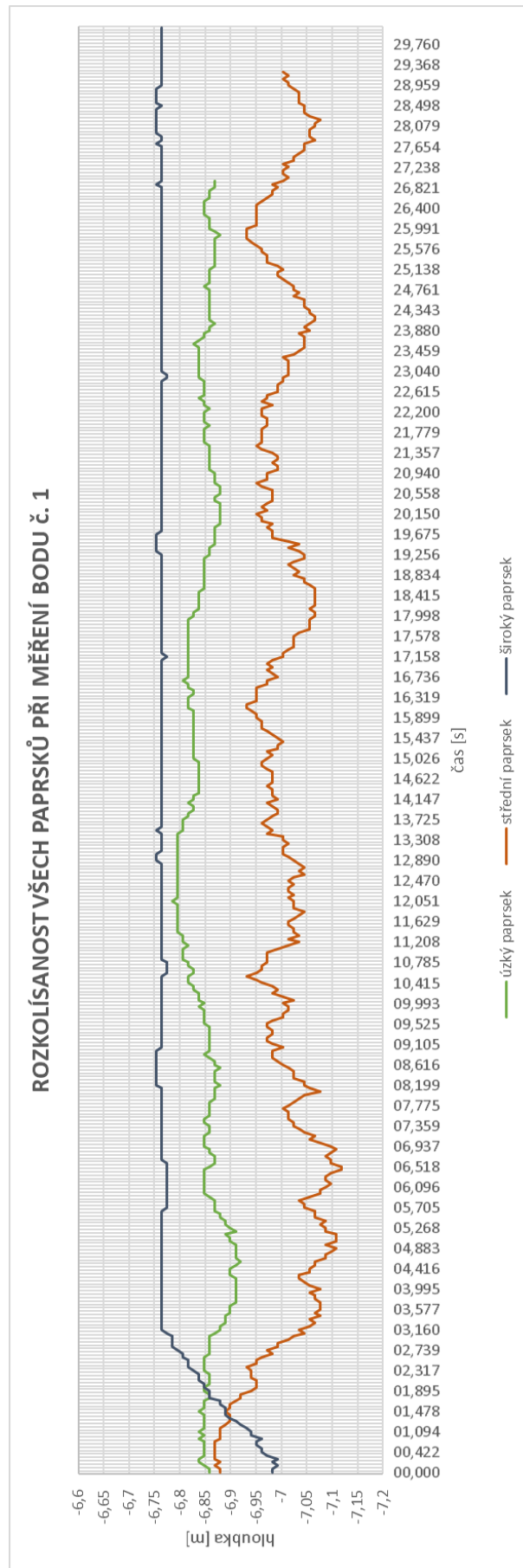
Příloha 6: Profil č. 2, klidná hladina, úzký paprsek: Párový t-test, doplněk Real Statistics Using Excel

T Test: Two Paired Samples								
SUMMARY			Alpha	0,05		Hyp Mean	0	
Groups	Count	Mean	Std Dev	Std Err	t	df	Cohen d	Effect r
sonar	22	-0,82851	0,258913					
RTK GPS	22	-0,78123	0,261388					
Difference	22	-0,04728	0,015118	0,003223207	-14,6682	21	3,12728	0,954503
T TEST								
	p-value	t-crit	lower	upper	sig		p-value < alpha	
One Tail	8,274E-13	1,720743			yes		1,65*10 ⁻¹² < 0,05	
Two Tail	1,6548E-12	2,079614	-0,05398	-0,040575756	yes		H0 zamítáme	

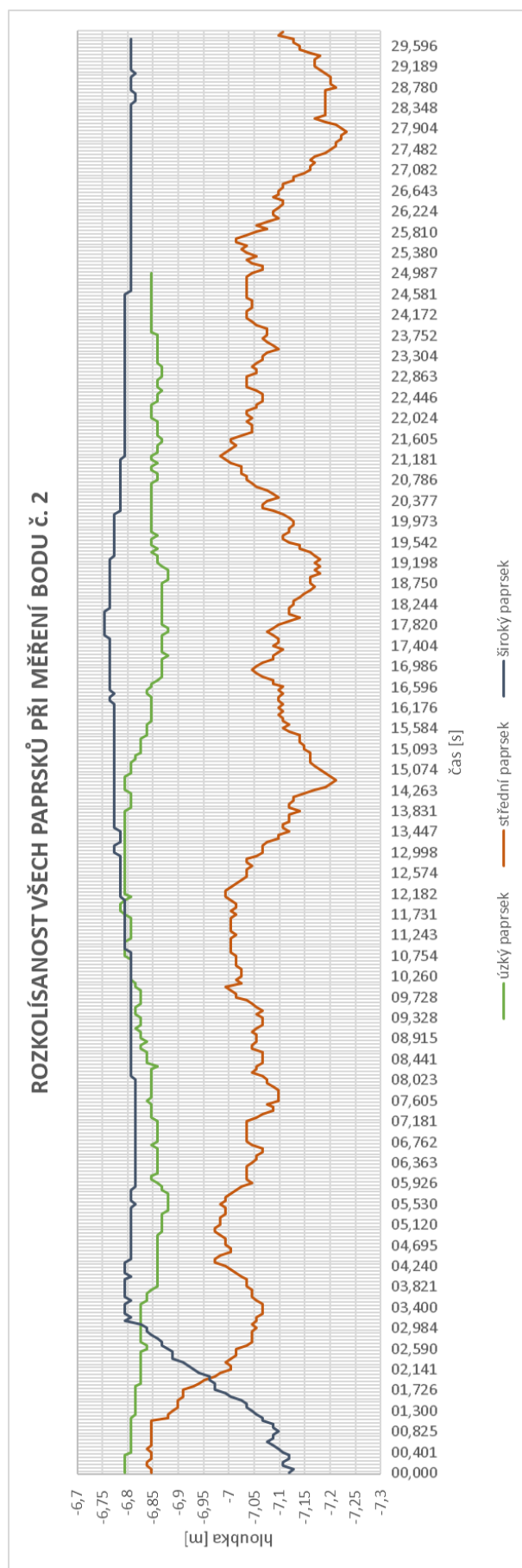
Příloha 7: Srovnání profilů č. 1 a č. 2, nepárový t-test, doplněk Analýza dat

Dvouvýběrový t-test s rovností rozptylů			
	sonarové měření č. 1	sonarové měření č. 2	
Stř. hodnota	-0,881945886	-0,828506054	
Rozptyl	0,05271898	0,067035938	
Pozorování	26	22	
Společný rozptyl	0,059254983		
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0		
Rozdíl	46		
t Stat	-0,757844387		t Stat < t krit (2)
P(T<=t) (1)	0,226204618		0,7578 < 2,0129
t krit (1)	1,678660414		H0 přijímáme
P(T<=t) (2)	0,452409236		
t krit (2)	2,012895599		

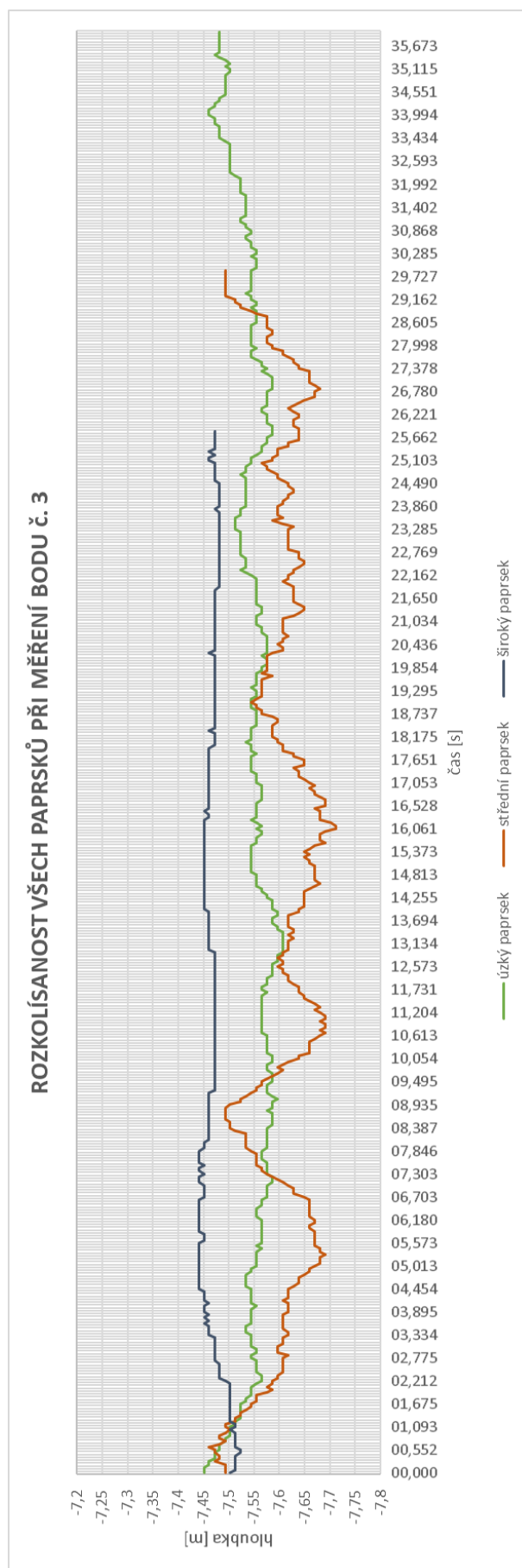
Příloha 8: Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 1



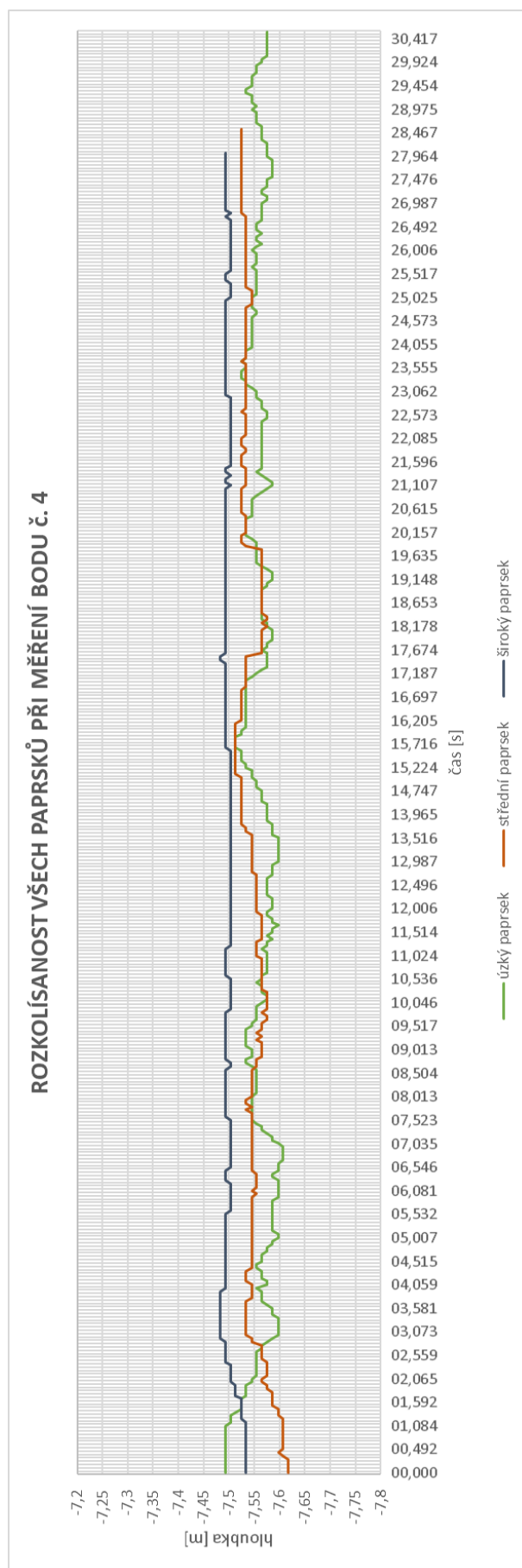
Příloha 9: Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 2



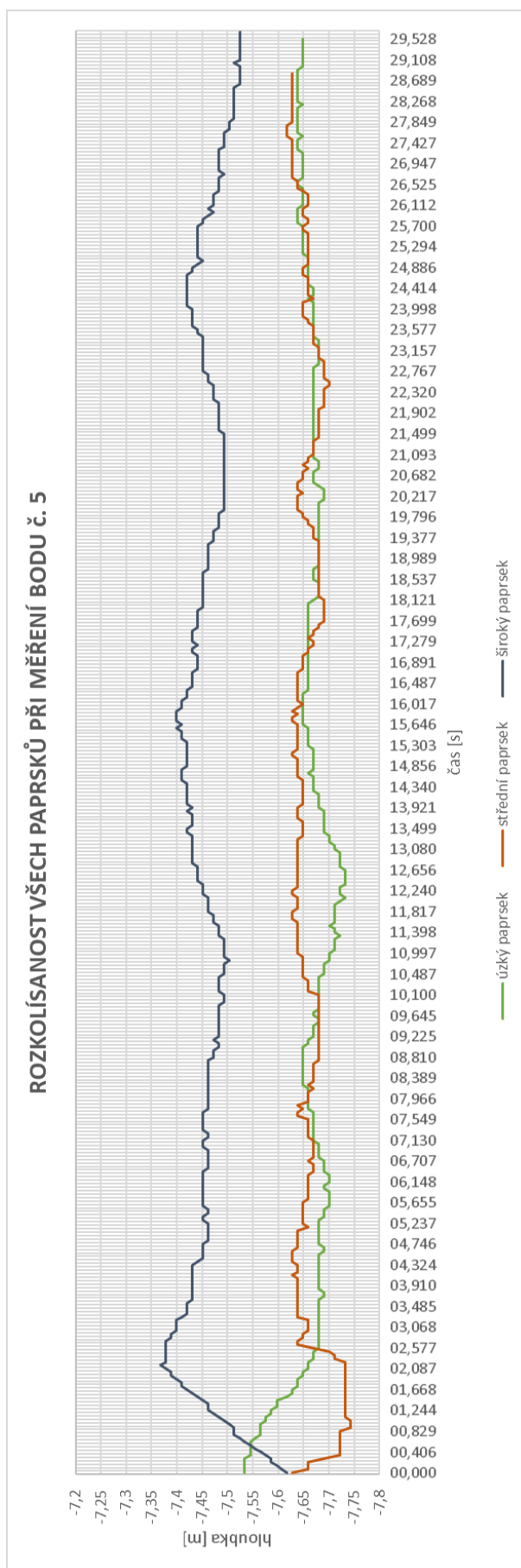
Příloha 10: Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 3



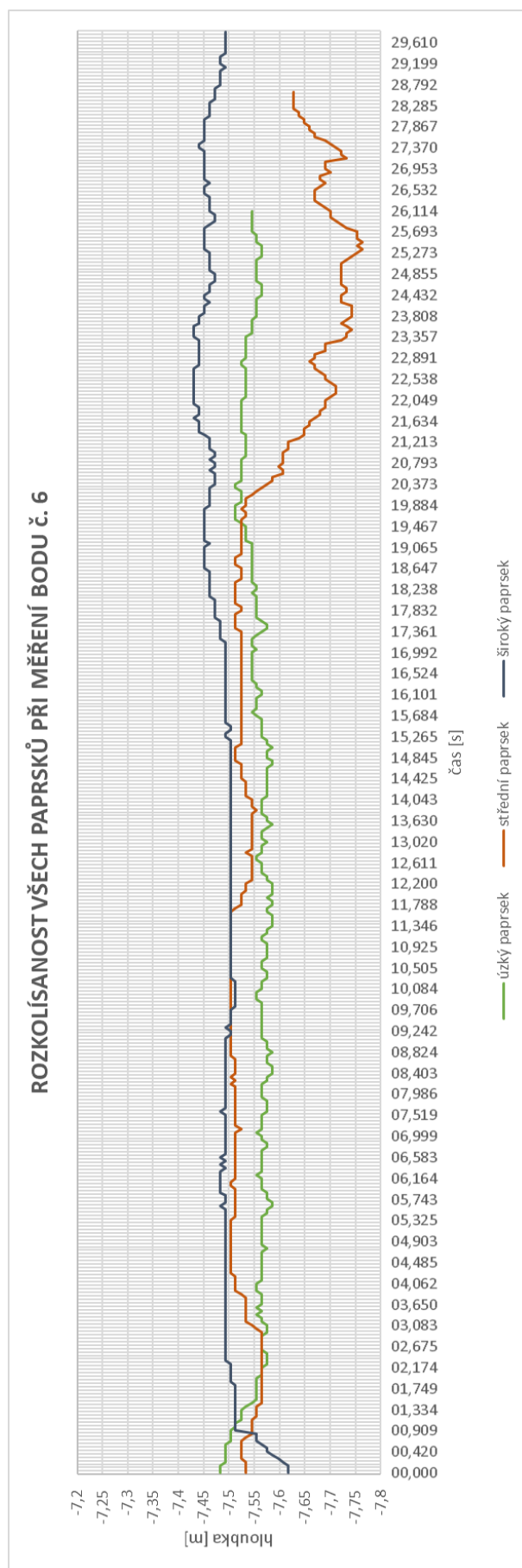
Příloha 11: Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 4



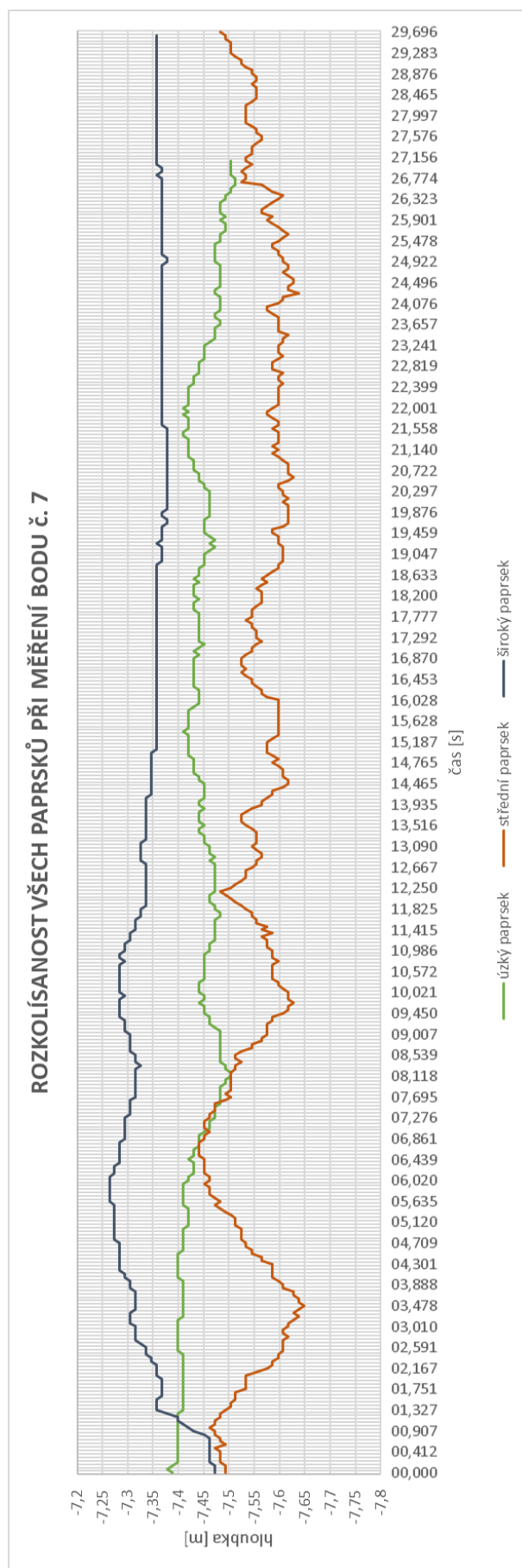
Příloha 12: Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 5



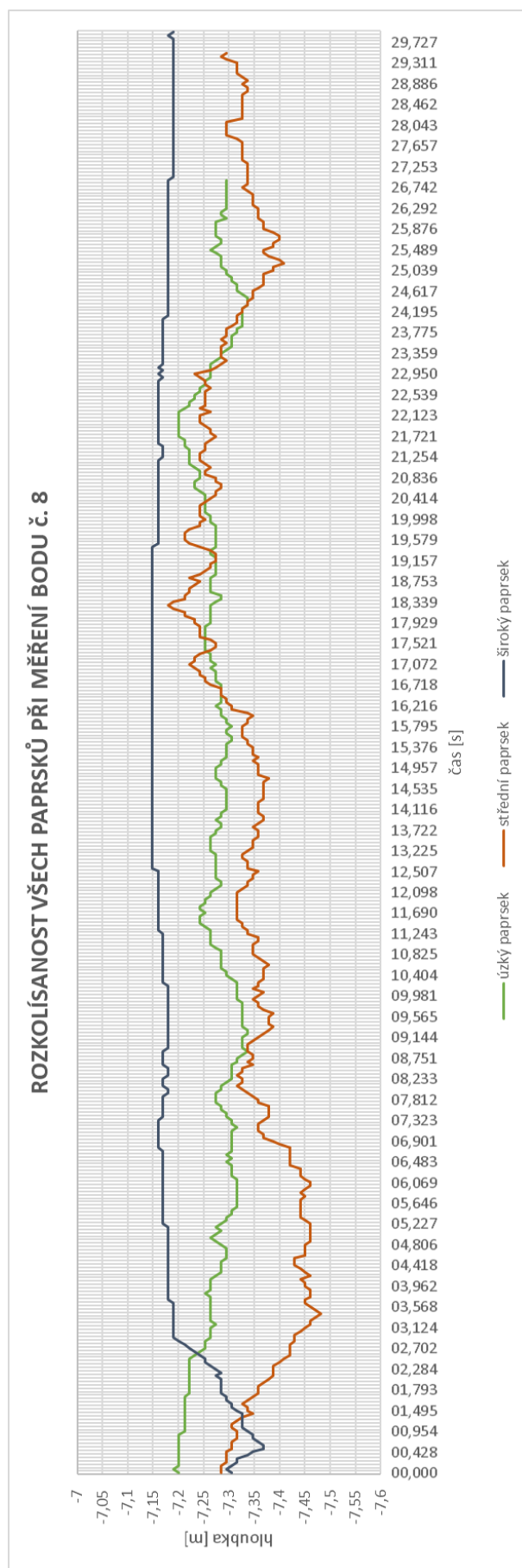
Příloha 13: Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 6



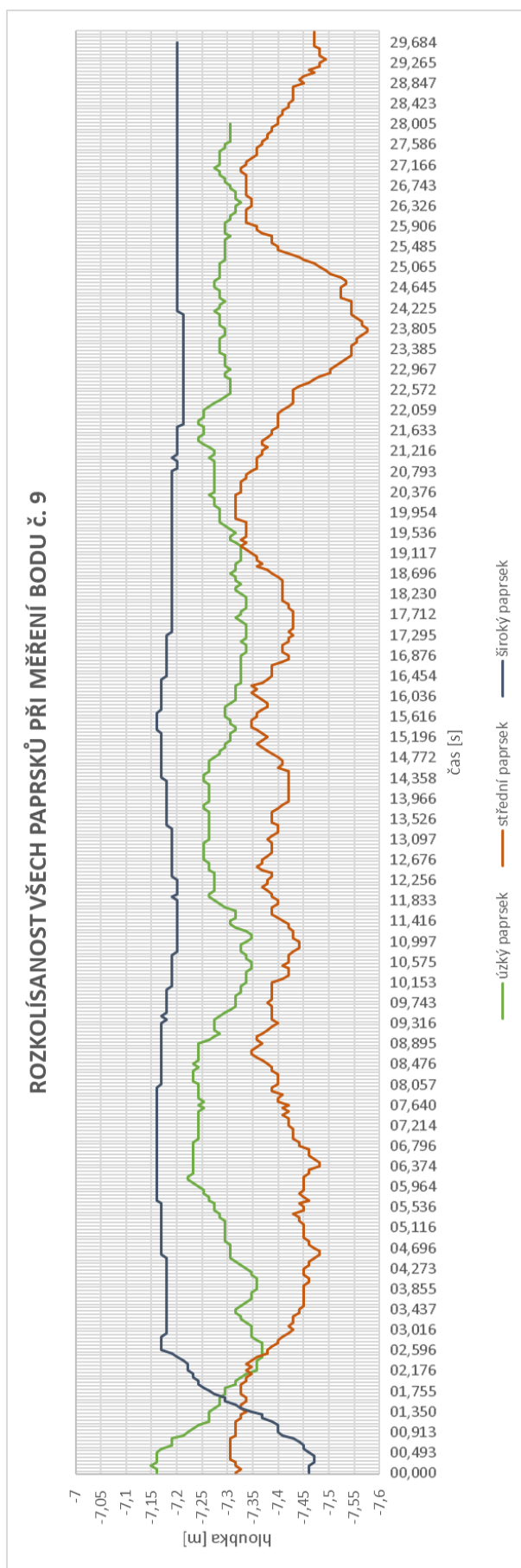
Příloha 14: Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 7



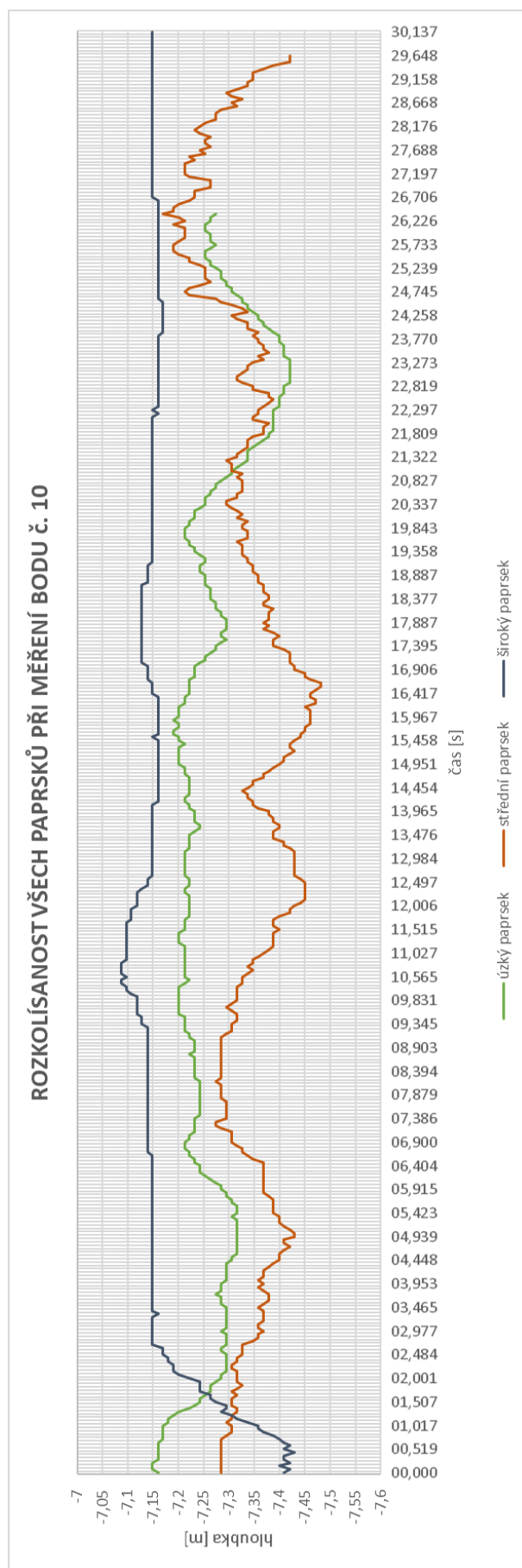
Příloha 15: Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 8



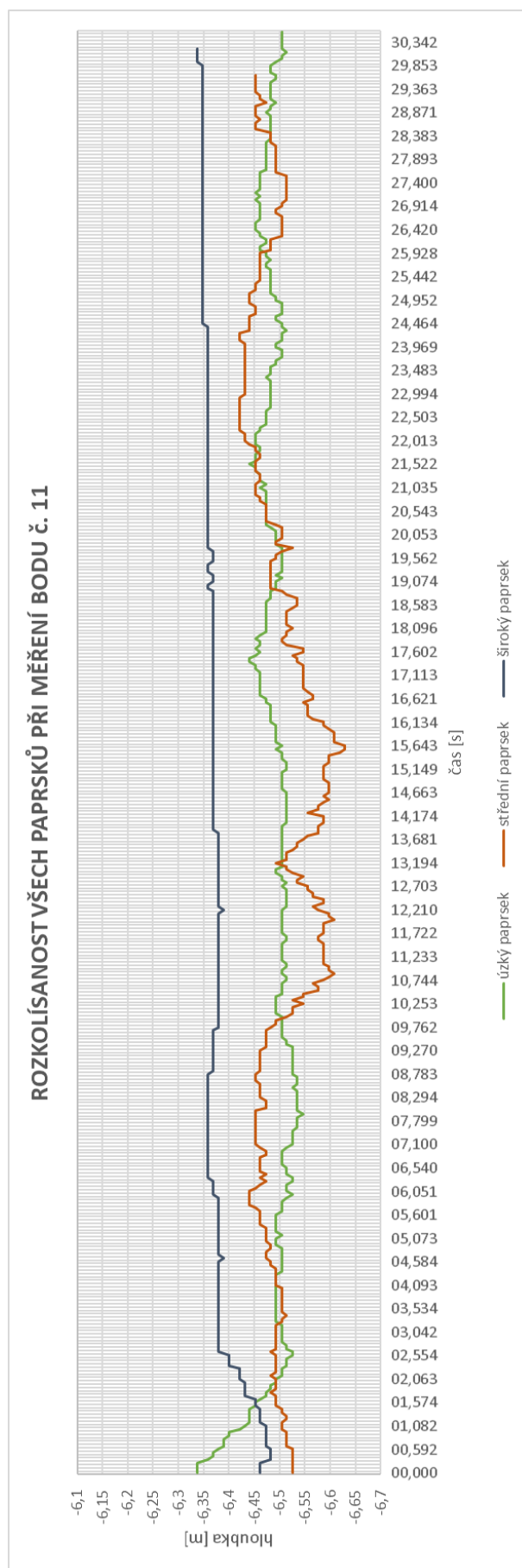
Příloha 16: Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 9



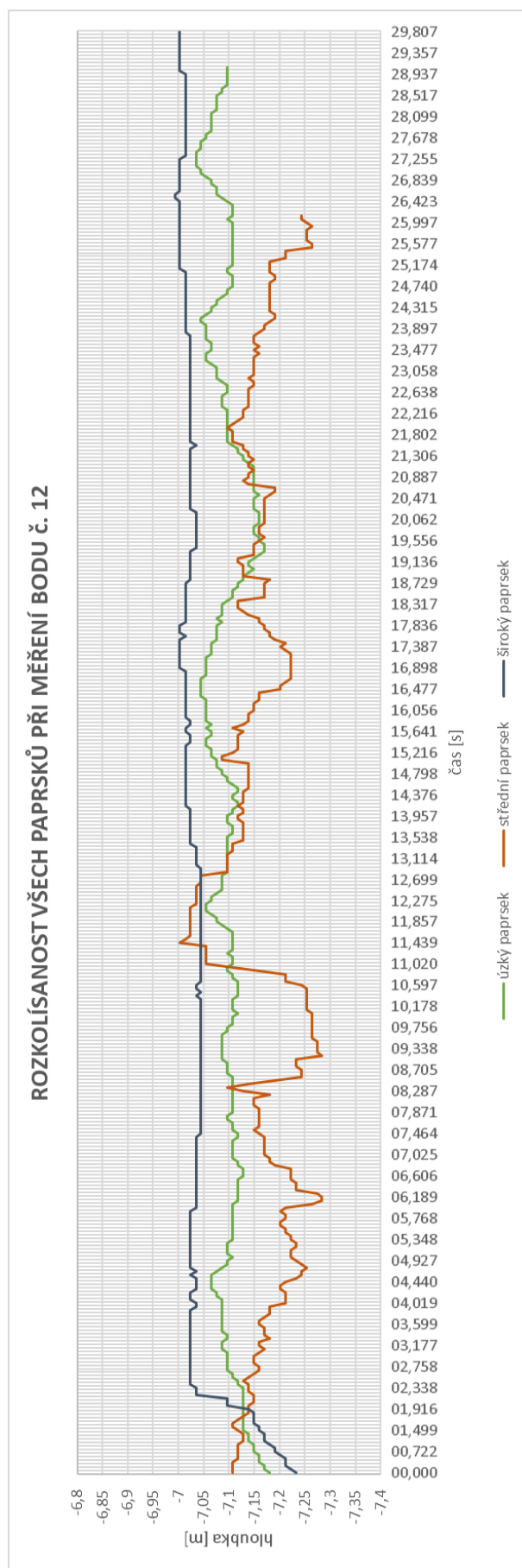
Příloha 17: Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 10



Příloha 18: Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 11



Příloha 19: Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 12



Příloha 20: Rozkolísanost všech paprsků při měření bodu č. 13

