

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

OBOR INŽENÝRSKÁ GEODÉZIE



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**MOŽNOSTI DETEKCE ARCHEOLOGICKÝCH PAMÁTEK POD VODOU
POSSIBILITIES OF DETECTION OF ARCHAEOLOGICAL MONUMENTS
UNDER WATER**

Vedoucí diplomové práce: prof. Dr. Ing. Karel Pavelka

Katedra geomatiky

Praha, 2021

Bc. Denisa BELIANČINOVÁ

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bc. Beliančinová Jméno: Denisa Osobní číslo: 468363
Zadávající katedra: geomatiky
Studijní program: Geodézie a kartografie
Studijní obor: Geodézie a kartografie

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Možnosti detekce archeologických památek pod vodou

Název diplomové práce anglicky: Possibilities of archaeological relics detection under water

Pokyny pro vypracování:

Proveďte rešerši v délce min. 10 stran na téma dokumentace objektů po vodní hladině, zejména se zaměřte na možnosti sonarového průzkumu z hladiny. Popište dostupná zařízení z laboratoře fotogrammetrie. Zvolte technologický postup práce se sonarem a GNSS RTK aparaturou ze člunu. Po zajištění podpůrné dokumentace již provedených průzkumů se pokuste detekovat zbytky pilířů Juditina mostu v Praze; proveďte vhodnou vizualizaci dat. Výsledky zhodnoťte z hlediska přesnosti a podrobnosti.

Seznam doporučené literatury:

Pavelka, K. Fotogrammetrie 2, skriptum ČVUT FSv, 2011, ISBN 978-80-01-04719-4

Archeologové konečně znají přesnou polohu Juditina mostu. Pomohl jim sonar i podvodní dron. Zdroj:

<https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/2864726-archeologove-konecne-znaji-presnou-polohu-juditina-mostu-pomohl-jim-k-tomu-sonar-i>

Podliska, J.. 50 let Odboru archeologie: Juditin most – nejstarší most střední Evropy [online]. Odbor archeologie NPÚ Praha, 2015-04-22 [cit. 2019-02-04]

V ledové Vltavě se fotí nejlépe. Podívejte se na první fotografie Juditina mostu. Zdroj:

https://www.idnes.cz/technet/reportaze/v-ledove-vltave-se-foti-nejlepe-podivejte-se-na-prvni-fotografie-juditina-mostu.A100129_173955_tec_reportaze_kuzhttps://www.idnes.cz/technet/reportaze/v-ledove-vltave-se-foti-nejlepe-podivejte-se-na-prvni-fotografie-juditina-mostu.A100129_173955_tec_reportaze_kuz

Jméno vedoucího diplomové práce: prof. Dr. Ing. Karel Pavelka

Datum zadání diplomové práce: 17.2.2021 Termín odevzdání diplomové práce: 17.5.2021

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku


Podpis vedoucího práce


Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

18.2.2021

Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Čestne prehlasujem, že na diplomovej práci s názvom ***Možnosti detekce archeologických památek pod vodou*** som pracovala samostatne, bez cudzej pomoci, s výnimkou poskytnutých konzultácií od vedúceho svojej diplomovej práce. K vypracovaniu diplomovej práce som používala pramene a literatúru uvedenú výhradne v zozname zdrojov.

V Prahe dňa: 23.5.2021

.....

Denisa Beliančinová

POĎAKOVANIE

V nasledujúcich riadkoch by som sa chcela poďakovať najmä vedúcemu mojej diplomovej práce, prof. Dr. Ing. K. Pavelkovi, za možnosť spolupracovať pri meračských prácach, následných vyhodnoteniach tejto zaujímavej témy a v nemalej miere za jeho odborné rady v riešení danej práce. Taktiež by som sa rada poďakovala aj Ing. K. Pavelkovi ml. za jeho rady pri spracovaní dát. V neposlednom rade patrí vďaka mojim rodičom za ich podporu a motiváciu pri štúdiu.

ABSTRAKT

Diplomová práca sa vo väčšej miere zaoberá témou dokumentácie objektov pod vodnou hladinou, zväčša využitím sonarového prieskumu. Okrajom sa dokumentácia týka využitia laserového skenovania a fotogrametrie pri dokumentácii objektov na súši.

Rešerš je cielená na témy o dostupných celosvetových metódach podvodného prieskumu a o organizáciách, ktoré sa danej problematike venujú. Teoretická časť sa zameriava na históriu Juditinho mosta, najmä na metódy využívané pri podvodnom prieskume. Najviac popisovanou metódou je echolokácia využívaná sonarovým zariadením. Praktická časť obsahuje zber a spracovanie dát rôznych pozostatkov Juditinho mosta, ako zvyšky pilierov pod vodnou hladinou, reliéf postáv na Juditinej veži a jediný zachovaný oblúk zaniknutého mosta.

Pri vyhodnotení dát získaných sonarovým meraním bol využitý program *ArcGIS Pro* a *Microstation V8i*. Reliéf vytvorený fotogrametrickou metódou bol spracovaný v programe *Agisoft Metashape*, laserové skenovanie spolu so snímkami z fotogrametrie bolo vyhodnotené v programe *Reality Capture* a oblúk Juditinho mosta bol spracovaný programom *Cyclone REGISTER360* a následne v *Geomagic Wrap 2017*.

Jedným z výsledkov práce bol vrstevnicový model časti dna Vltavy zo sonarového zberu dát. Doplnkovú dokumentáciu tvoril 3D model reliéfu postáv na Juditinej veži z laserového skenovania spojeného s fotogrametrickou metódou. Tento model bol vyobrazený plastickou formou modelu z 3D tlačiarne. Posledný zachovaný oblúk Juditinho mosta bol spracovaný ako husté mračno bodov a model trojuholníkových reťazcov.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Juditin most, batymetria, echolokácia, sonar, laserové skenovanie, fotogrametria, reliéf, oblúk, 3D model

ABSTRACT

The diploma thesis deals mainly with the topic of documentation of objects under water surface, mostly then with the use of sonar exploration. The documentation concerns marginally applications of laser scanning and photogrammetry to document objects of overland.

The research is aimed at globally available methods of underwater exploration and at the organizations dealing with the problem. The theoretical part of the thesis focuses on the history of Judith Bridge, the methods used for underwater exploration in particular. The most described method is echolocation exploited by sonar equipment. The practical part includes data collecting and processing of various ruins of Judith Bridge, such as the remnants of the columns located under water, the relief of figures on the Judith Tower and the only preserved arch of the extinct bridge.

For the evaluation of the data obtained during the sonar measuring, we used the programmes *ArcGIS Pro* and *Microstation V8i*. The relief created with method of photogrammetry was processed in the programme *Agisoft Metashape*, the laser scanning along with the images from photogrammetry were assessed in the programme *Reality Capture* and the arch of Judith Bridge was processed in the programme *Cyclone REGISTER360* and subsequently in *Geomagic Wrap 2017*.

One of the outcomes of the thesis was contoured model of stream bottom of Vltava from collected sonar data. The complementary documentation is comprised of 3D model of relief which is composed by figures on the Judith Tower from the laser scanning along with photogrammetry. This model was printed as plastic 3D model. The only preserved arch from Judith Bridge was processed as dense cloud and triangular string model.

KEY WORDS

Judith Bridge, bathymetry, echolocation, sonar, laser scanning, photogrammetry, relief, arch, 3D model

Obsah

POUŽITÉ SKRATKY	10
1 ÚVOD	12
2 Rešerš	13
3 Popis zainteresovanej oblasti	24
3.1 Praha a Vltava	24
3.1.1 Pamiatky na tejto rieke	25
4 Juditin most	27
4.1 Čerpanie z historických prameňov	27
4.2 Významné roky pre Juditin most	28
4.3 Priebeh mosta cez Vltavu	28
4.4 Korene pôvodu Juditinho mosta	30
4.5 Dochované časti Juditinho mosta	32
5 Metodika prác.....	33
5.1 Batymetria.....	33
5.1.1 Možnosti využitia získaných informácií z batymetrického prieskumu	33
5.2 Metódy využívané pre batymetrický prieskum	34
5.3 Sonar	35
5.3.1 Parametre ovplyvňujúce merania sonarom	35
5.3.2 Echolokácia, aktívne a pasívne sonary	35
5.3.3 Bezpilotné podvodné zariadenia.....	37
5.3.3.1 AUV – autonómne podvodné plavidlo	37
5.3.3.2 ROV – diaľkové ovládané plavidlo	38
5.3.4 Sonar a jeho akustické parametre	38
5.3.4.1 Rozdelenie echolotov – SBES a MBES.....	40

5.4	Metóda LiDAR	43
5.5	Satelitná altimetria	45
6	Využitie metódy sonaru s GNSS aparátúrou	46
7	Doplnková dokumentácia Juditinho mosta	48
7.1	Malostranská strana – reliéf kľáčiaceho muža.....	48
7.1.1	Dokumentácia reliéfu	49
7.1.2	Fotogrametrická metóda.....	50
7.1.2.1	Použitá komora snímkovania	50
7.1.2.2	Spracovanie 3D modelu reliéfu fotogrametrickou metódou.....	50
7.1.3	Metóda laserového skenovania.....	52
7.1.3.1	Laserový skener	52
7.1.3.2	Chýbajúce dáta a ich riešenie.....	53
7.1.4	Program Reality Capture	53
7.1.4.1	Kombinácia metódy laserového skenovania a fotogrametrie	55
7.2	Staromestská strana – oblúk pod budovou kláštora Križovníkov s červenou hviezdou.....	57
7.2.1	Použitá metóda zberu dát k oblúku Juditinho mosta.....	58
7.2.2	Použitý prístroj pri skenovaní Juditinho oblúka.....	59
7.2.3	Práce v teréne	59
7.2.4	Použitý softvér k spracovaniu dát.....	60
7.2.4.1	Cyclone REGISTER360	61
7.2.4.2	Geomagic Wrap 2017	61
7.2.4.3	Tvorba rezov z mračna bodov.....	64
7.2.4.4	MicroStation V8i.....	65
8	Sonarový prieskum Juditinho mosta	68
8.1	Dostupné zariadenia z laboratória fotogrametrie.....	68
8.2	Dostupné informácie od Národného pamiatkového ústavu.....	70

9	Získ dát sonarového prieskumu na Vltave	72
9.1	Prístrojové vybavenie pri sonarovom prieskume.....	74
9.1.1	Sonarové zariadenie SonarMite BTX.....	74
9.1.1.1	Parametre sonarov SonarMite BTX a Echologger EU400	75
9.1.2	GNSS aparatúra Trimble R2 s kontrolnou jednotkou TSC3	75
9.1.2.1	Mobilná stanica Trimble R2-001-14.....	76
9.1.2.2	Kontrolná jednotka Trimble TSC3	76
9.1.2.3	Softvér Geotronics ACCESS	77
9.2	Nastavené parametre prístroja pri meraní	77
9.3	Priebeh merania so sonarovým zariadením	78
10	Spracovanie sonarových dát a výsledky merania	79
10.1	Tvorba výškopisnej mapy v programe <i>ArcGis Pro</i>	80
10.1.1	Podkladové dáta pre tvorbu výškopisnej mapy	81
10.1.2	Tvorba vrstevníc do mapy	82
10.1.3	Celkový mapový výstup	83
11	Diskusia	85
12	Záver.....	87
13	Použité zdroje	88
14	Zoznam obrázkov	91
15	Zoznam príloh	93



POUŽITÉ SKRATKY

CIPA	Comité International de la Photogrammétrie Architecturale (International committee of architectural photogrammetry)
GEBCO	General bathymetric chart of the oceans
IHO	International hydrographic organization
INS	Inertial navigation system
ZABAGED	Základná báza geografických dát Českej republiky
GNSS	Global navigation satellite system
LiDAR	Light detection and ranging
GPS	Global Positioning System (Globálny navigačný systém)
GIS	Geografický informačný systém
SÚRPMO	Státní ústav pro rekonstrukci památkových měst a objektů (Štátny ústav pre rekonštrukciu pamiatkových miest a objektov)
Bpv	Balt po vyrovnání
S-JTSK	Systém jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej
ROUV	Remotely operated underwater vehicle
NOAA	National oceanic and atmospheric administration
NCEI	National centers for environmental information
UNESCO	United nations educational, scientific and cultural organization
UAV	Unmanned aerial vehicle
RPAS	Remotely piloted aircraft system
SONAR	Sound navigation and ranging
AUV	Autonomous underwater vehicle
ROV	Remotely operated vehicle
SBES	Single beam echo sounder
MBES	Multi beam echo sounder
ALS	Airborne laser scanning
IMU	Inertial measurement unit
IBMR	Image based modeling and rendering



SfM	Structure from motion
RTK	Real time kinematic
CZEPOS	Síť permanentních stanic GNSS České Republiky (Sieť permanentných stanic GNSS Českej republiky)
NPÚ	Národní památkový ústav (Národný pamiatkový ústav)



1 ÚVOD

Diplomová práce s názvem *Možnosti detekce archeologických památek pod vodou* sa zameriava na zber a vyhodnotenie dát pozostatkov Juditinho mosta. Pri získaní a spracovaní dát boli využité zariadenia z laboratória fotogrametrie ČVUT, konkrétne digitálny fotoaparát Canon a laserové skenery Surphaser a BLK360. Podvodný sonar bol zapožičaný od SG-SANACE s.r.o., keďže fakultné zariadenie Echologger 400 sa nepodarilo aj napriek veľkému úsiliu spojazdniť.

V práci sa opisuje niekoľko metód zberu dát nachádzajúcich sa pod vodnou hladinou. Popísané sú podvodné metódy echolokácie, bezpilotné podvodné zariadenia, sonar s pripojením GNSS aparatury a letecké metódy s využitím LiDAR, satelitná altimetria, či fotogrametria využívajúc nízkonákladové drony. Časť kapitoly je venovaná princípu fungovania sonarového zariadenia, jeho definujúcimi parametrami či základným rozdelením.

Z praktického hľadiska je práca zameraná na metódu sonarového prieskumu z hladiny rieky a čiastočne na význam laserového skenovania a fotogrametrie pri zbere a spracovaní dát dokumentácie objektov. Z poskytnutej dokumentácie z prieskumu polohy pilierov Juditinho mosta od NPÚ bola získaná poloha niektorých pilierov na malostranskej strane. Sonarové zariadenie využité pri zbere dát bolo SonarMite BTX.

Metódou laserového skenovania boli zdokumentované dva historické objekty zvyškov Juditinho mosta. Na ľavom brehu bol zdokumentovaný reliéf kľačiaceho muža a na pravom brehu jediný zachovaný oblúk Juditinho mosta. Reliéf bol zdokumentovaný aj fotogrametrickou metódou, čím bola spresnená presnosť dokumentácie.

Jedným z cieľov práce bolo vypracovať rozsiahlejšiu rešerš s témou dokumentácie objektov pod vodnou hladinou. Hlavný cieľ bol upriamený na sonarový prieskum z hladiny, skúmajúc polohu pilierov Juditinho mosta na malostranskej časti Vltavy. Pri práci so sonarom bolo úlohou zvoliť vhodnú metodiku zamerania a spracovania dát. V neposlednom rade bola upriamená pozornosť na získanie informácií a dát o jestvujúcich pozostatkoch Juditinho mosta na oboch brehoch rieky.

Výsledkom práce sú modely a výkresy výstupov spracovaných dát z použitých metód prieskumu Juditinho mosta. Každá metóda bola vhodne vizualizovaná.



2 Rešerš

Daná problematika tejto diplomovej práce s názvom ***Možnosti detekce archeologických památek pod vodou*** je ako v Čechách, tak aj na Slovensku pomerne neprebádaná. Pri téme skúmania archeologických pamiatok pod vodnou hladinou človeku asi ako prvé napadne skúmanie formou potápania. Avšak, výstupom takéhoto pozorovania zväčša býval publikovaný článok v novinách, v ktorom potápač opisuje svoje dojmy a získané výsledky z potápania. Záujemcovi o podvodnú tému teda podá iba abstraktný pohľad na vec. Opisuje prostredie, viditeľnosť, zachovanosť pamiatok, detaily určitej veci. Toto všetko si interesant predstaví po svojom, vo svojej fantázií. S pokrokom doby, a ak to dovoľovala viditeľnosť, bolo možné takéto opisy prostredia pod vodou nahradiť reálnymi fotografiami či dokonca videom. Nový spôsob zachytávania podvodných objektov sa veľmi rýchlo rozšíril a začal naplno využívať. Už aj obyčajný človek, nielen vyškolený potápač, si mohol na vlastné oči pozrieť objekty ukryté pod vodnou hladinou.

Pri potápaní však hĺbka naďalej obmedzuje pohyb a možnosti. S hĺbkou sa mení aj prirodzené svetlo, ktoré je k pozorovaniu voľným okom, fotoaparátom alebo videokamerou určite potreba. Ďalší faktor je podchladenie, problémy so sluchom a zrakom. Bola teda otázka času, kedy vyspelejšie technológie ovplyvnia bádanie dna oceánov, morí, riek, nádrží a iných miest pod vodnou hladinou.

Z historického hľadiska sa na vyhotovovanie meračskej dokumentácie objektov pod vodnou hladinou využívali rôzne technológie. Relatívne jednoduchú metódu tvorí klasické geodetické meranie, ktoré využíva meranie uhlov a dĺžok. Napriek pomerne jednoduchej metóde je častokrát využívaná podvodnými archeológmi dodnes. Využíva sa najmä pri dokumentácii stavieb či rôznych vrakov. Ďalšou používanou metódou je fotogrametria. Je to modernejšia metóda, avšak je vhodná najmä pre dokumentáciu menších objektov. Dôležitým faktorom je osvetlenie, či už prirodzené alebo umelé, ktoré je nevyhnutné k získaniu použiteľných dát, k ich spracovaniu a následnému vyhodnoteniu. Pri fotogrametrii sa využívajú snímky s určitým prekrytom objektu, vďaka ktorému je možné prideliť identické body a vytvoriť tak kompletný model objektu vo vhodnom softvéri. Výhodou tejto metódy je možnosť zachytiť detaily objektu, prípadne



dostať sa do neprístupných miest, ktoré by napríklad geodetickou metódou nebolo možné zdefinovať.

Odborná spoločnosť CIPA, ktorá sa zaoberá využitím geodetických a fotogrametrických metód za účelom dokumentácie kultúrnych pamiatok, má vlastnú pracovnú skupinu pre podvodnú fotogrametriu. Na ich webovej stránke [1] možno prezrieť bibliografiu venovanú téme podvodnej fotogrametrií, výklady pre archeologické tými na podporu svojej práce, aktualizovaný zoznam relevantných odkazov alebo prináša platformu na výmenu informácií s inými doménami s rovnakou tematikou. Prípadne odkazuje na miesta, kde je možný export poznatkov a metód vyvinutých pre podvodnú fotogrametriu. Kolektívnym členom reprezentujúc Českú Republiku je *Spoločnosť pre fotogrametriu a diaľkový prieskum*, pričom národným delegátom je prof. Dr. Ing. K. Pavelka.

Medzi najmladšie metódy pri vyhotovovaní meračskej dokumentácie patrí laserové skenovanie. Laserové skenovanie je za vhodných podmienok rýchla a presná metóda zberu dát. Nosičom skeneru býva lietadlo, pri menej rozsiahlych lokalitách môže byť nosičom dron. Pri ideálnych podmienkach, ako čistá voda či kludná hladina vody, vyhovujúce počasie, dostatočne výkonný skener možno realizovať meranie do desiatok metrov pod hladinou. Táto metóda je vhodná pre pobrežnú batymetriu. Využíva modro-zelené spektrum, ktoré preniká pod kludnú hladinu s čistou vodou, pričom môže dosahovať prienik niekoľko desiatok metrov. Infračervené spektrum je vodnou hladinou pohlcované.

Téme laserového skenovania pobrežia sa vo svojom akademickom článku s názvom *Bringing Bathymetry LIDAR to Coastal Zone Assessment: A Case Study in the Southern Baltic venue P. Tysiac* [2]. Hlavným cieľom práce bolo posúdiť vhodnosť použitia batymetrického skenovania v Baltskom mori. Tieto údaje majú slúžiť k určaniu faktorov spôsobujúcich pobrežnú eróziu v čase medzi jesennou a zimnou sezónou. Metódou klasifikácie najcitlivejších miest, kde došlo k poznateľnej zmene, bolo možné vyhodnocovať eróziu. Identifikovali sa tak lokality s najväčšou pozitívnou zmenou. Okrem vyhodnotenia erózie bol výsledkom tejto štúdie aj batymetrický model.

Článok *Towards an Underwater 3D Laser Scanning System for Mobile Mapping* [3] sa zaoberá vývojom a konštrukciou podvodného laserového skenovania a zároveň



poukazuje na výsledky použitia systému mobilného skenovania vo vode. Laserový skener využíva dva líniové lasery premietajúce krížový lúč na scénu, vďaka čomu mobilný skener umožňuje skenovanie vo viacerých smeroch a poskytuje prekrývajúci sa vzor skenovania za účelom optimalizácie trajektórie. V článku sa tiež uvádza popis spracovania obrazu, kalibrácia a 3D metóda na vytvorenie mračna bodov v programe. Podrobnejšie je opísané využitie podvodného skenovania s vysokým rozlíšením pre archeologické využitie s výsledkami presnosti v rámci milimetrov. Pri vynesení pozorovaného objektu na súš by mohlo dôjsť k jeho deformáciám na základe vysušenia a diely by do seba nemuseli znovu zapadať. Z toho dôvodu je nevyhnutné vykonávať skenovanie priamo pod vodou. Podvodné laserové skenovanie sa využíva aj pri zameriavaní detailov pre priemyselné aplikácie, ako je napríklad kontrola zvarových švov, zameriavanie potrubia alebo ropných plošín, prípadne veterných elektrární. Nevýhodou je obmedzenie dosahu z dôvodu absorpcie svetla. V diskusiách sú uvedené komentáre k tomuto experimentu, ktoré uvádzajú, že navrhovaný systém podvodného skeneru má sľubnú kvalitu skenov.

Ďalšími metódami využívaných v oblasti podvodnej tematiky sú fyzikálne či geofyzikálne metódy. Tieto metódy si možno spojiť s prístrojmi ako sú sonar alebo magnetometer. Využívajú sa pri rozsiahlejších sledovaných oblastiach a sú výkonné aj pri väčších hĺbkach. So skúmaním podvodných priestorov sa v súčasnej dobe spájajú práve sonary, ktoré dokážu zo získaných dát vymodelovať dno skúmanej oblasti. Sú to zariadenia, ktoré využívajú šírenie a odraz zvuku pod hladinou. V súčasnosti existuje veľa článkov, ktoré sa zaoberajú využitím sonarov pre dokumentáciu objektov pod vodnou hladinou. Na trhu sa objavuje mnoho typov sonarov, od relatívne lacných až po drahé profesionálne zariadenia.

Projekt GEBCO - Nippon Foundation [4] má za cieľ vytvoriť batymetrickú mapu celého dna svetového oceánu do roku 2030. Spustenie projektu bolo v roku 2018.

Medzinárodná hydrografická organizácia IHO [5] koordinuje činnosť národných hydrografických úradov a stanovuje normy na podporu jednotnosti námorných máp a dokumentov. Zameriava sa na vydávanie postupov a pokynov za účelom čo najväčšieho využitia hydrografických informácií. Usiluje sa o mapovanie a prehľadnosť poskytovania informácií o svetových moriach, oceánoch a splavných vodách. V roku 2005 bola pod záštitou tejto organizácie vydaná príručka *Manual on hydrography* [6],



ktorá sa využíva ako odborný sprievodca pre geodetov zaoberajúcich sa hydrografiou. Slúži aj pre učiteľov a študentov, ktorí sa zaujímajú o danú problematiku.

Špeciálne profesionálne sonary sa hodia pre mapovania rozsiahlych oblastí alebo oblastí o značnej hĺbke. Príkladom takéhoto sonaru môže byť sonar HISAS [7]. Ten vytvára obraz s 10-násobne lepším rozlíšením ako klasické sonary. Pre navigáciu využíva zariadenie INS. Uplatňuje široké zorné pole, ktoré umožňuje použitie zobrazenia viacerých strán. Výsledky vyhotovenia dosahujú relatívnu presnosť zobrazenia batymetrie 50 x 50 cm, v praxi však možno dosahovať vyššiu presnosť.

Prieskum časti južného Iónskeho mora pri Messinskom polostrove v Grécku bol uskutočnený odborníkmi z nadácie GEBCO - Nippon Foundation. Okrem sonaru HISAS 1032 bol použitý aj echosounder EM 2040. Cieľom prác bolo vytvorenie batymetrického povrchu s rozlíšením 5 m. Vizualizácia výsledkov bola spracovaná v programe ArcGIS Desktop. Najhlbšia časť, ktorá bola zmapovaná dosahovala hĺbku 4 134 m [8].

Veľkým pokrokom pri podvodnej archeológii je umelá inteligencia. Využitím umelej inteligencie spojenou s robotmi uľahčila prácu potápačom, resp. priniesla bezpečnejšie možnosti potápania do nebezpečných miest. O jednom takomto robote, potápačovi, sa píše v článku *Ocean One Robot* [9] zo Stanford University. Robot má spolovice stavbu ľudského tela, dolnú časť má prispôsobenú pohybu pod vodou. Má dve ruky, ktorými dokáže nahradiť aj jemnú prácu človeka pri zaobchádzaní s podvodnými artefaktmi či odoberať vzorky. Je odolný voči silným prúdom a zaznamenáva aj zvuk. Človek ho ovláda za pomoci ramien na súši, s ktorými manipuluje a napodobňuje reálne pohyby potápača pri práci, ktorú zároveň robí robot pod hladinou. Prvé reálne výskumy sa uskutočnili v roku 2016.

Z hľadiska miestnej literatúry využitia rôznych prostriedkov skúmania dna pod hladinou opísal vo svojej bakalárskej práci A. Bohadlo s názvom práce *Přehled prostředků pro nedestruktivní výskum pod vodní hladinou* [10]. Vo svojej práci uvádza niekoľko typov prístrojov určených k skúmaniu dna pod hladinou. Jeho bakalársku prácu sprevádzajú historické zaujímavosti využitia niektorých prístrojov. Okrem iného porovnáva metódy pre jednotlivé materiály. Uvádza, že prístrojom s najväčším rozlíšením je vzhľadom k vlastnostiam „side scan sonar“, ktorý rozoznáva kovy, drevo, feromagnetické materiály a v podstate aj samotné sedimenty morského dna. Uvádza, že



pracovať s týmto sonarom je náročnejšie a má vyššiu cenu. Najnáročnejšie na používanie a zároveň najdrahšie sú sedimentové sonary. Tie sú používané veľkými organizáciami alebo vojenskou správou na odhaľovanie sedimentových vrstiev morského dna.

Zaujímavú publikáciu s názvom *Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží pro stanovení jejich zásobních kapacit a sledování množství a dynamiky sedimentů* prináša autor P. Novák a kol. [11]. Cieľom metodiky je zavedenie nových prístupov k problematike stanovenia kapacity vodných tokov a nádrží nadväzujúc na sledovanie množstva a pohybu sedimentov. Zaoberá sa priamo územím Českej republiky, využívaním českých databáz pre získanie výškopisu ako ZABAGED a digitálneho modelu Českej republiky. Metódu zberu dát uvádza metódu GNSS v kombinácii so sonarom, vďaka ktorému možno presne určovať hĺbku. Sonar komunikuje s GNSS aparátúrou a tak je v reálnom čase možné odosielať hodnoty hĺbok do úložiska GNSS aparatúry. Merača obmedzuje rýchlosť uloženia dát, rýchlosť použitého člna či obmedzenia pri neustálom udržiavaní signálu GNSS. Ďalšou metódou, ktorú P. Novák a kol. uvádza, je duálny LiDAR, kedy hĺbka záznamu batymetrických dát dosahuje až 50 m, v závislosti od výkonnosti použitého systému, priehľadnosti vodného prostredia alebo prúdenia. Pri samotnom meraní vhodným meračským prístrojom je nutné skúsiť vopred vytipovať miesta, ktoré by mohli byť dôležitým prvkom oblasti ako napríklad zlomy, priehlbiny, štrbiny. Tomu je potrebné prispôbiť aj podrobnosť samotného merania. Meranie bolo vykonané sonarom RiverSurveyor M9. Software, ktorým boli vyhodnocované dáta nesie názov RiverSurveyor Live. Softvér sa využíva pri vizualizácii dát, hodnotení presnosti, exportoch, prípadne tabuľkových zobrazeniach. Vzhľadom k tomu, že táto téma bola spracovaná formou istej metodiky, autor sa zaoberá aj finančnou stránkou problematiky sledovania sedimentov. Popisuje vstupné náklady pre jednotlivé metódy, prístroje a pracovný čas ľudí.

Časť knihy *GPS and GNSS Technology in Geosciences* od autora E. Kokinou [12] sa v kapitole 12, s názvom *Automatic pattern recognition and GPS/GNSS technology in marine digital terrain model*, zaoberá preukázaním použitia nedávno vyvinutých metód rozpoznávania vzorov v morskom digitálnom modeli terénu. Využíva pri tom GNSS pre presné získavanie polohy v mori, aby boli tieto techniky rozpoznávania vzorov účinné. Zaoberá sa najmä líniami a krivočiarymi vzormi, ktoré tvoria prevažne geologické zlomy.



Metódy umožňujú pomerne presnú detekciu a interpretáciu morfológických štruktúr morského dna pred a po získaní batymetrických údajov. Týmto prístupom riešenia sa docieli získanie rýchlych, objektívnych a nízko nákladových údajov zameraním sa na vybrané ciele podrobnej štúdie.

Nové metódy osvetly archeologických nálezísk pomáhajú pri bádání jednotlivých objektov, ich publikovaniu ale aj samotnej archivácii. Častokrát sa nejedná len o objekt, ako napríklad potopená loď zo 16. storočia, ktorá vo svojom podpalubí ukrýva historické bohatstvo, ale pomocou fotografií, videí či modernejšími technologickými postupmi možno vizuálne zachytiť celé lokality podvodných archeologických nálezísk. Takéto lokality môžu tvoriť staré zatopené časti obcí, dokonca celé historické mestá. Zánik lokalít býva v našich zemepisných šírkach najmä z dôvodu zatopenia, kvôli výstavbe vodného diela. V celosvetovom rámci to však býva zväčša zdvíhaním vodnej hladiny v oceánoch a moriach, či naopak, poklesom pevniny z tektonických dôvodov.

V Českej republike sa zaniknuté obce, prípadne niektoré časti obcí, nachádzajú napríklad v dnešnej zatopenej oblasti Orlíka či Slapov. Na časť tejto témy bola vypracovaná moja bakalárska práca v roku 2019 s názvom *Vektorový datový model staré Vltavy - úsek Podskalí až Zlákovice*. Uvádza sa v nej opis zaniknutej oblasti severnejšej časti nádrže Orlík. Dokonca sa do zaniknutej obce Těchnice uskutočňujú ponory rekreačných potápačov, ktorí zaznamenávajú fotografie či videá zaniknutého kostola v tejto obci. Pomerne presnú podobu zaniknutej oblasti nám zachytávajú mapy Stabilného katastru. Inou, menej známou lokalitou, je vodné dielo Přisečnice, kde bolo s výstavbou priehradnej nádrže zatopené celé mestečko vrátane kostola. Veža kostola sa občas objavuje pri znížení hladiny [13].

Fotografie či videá odkrývajú vizuálnu podobu problematiky. Ďalším, veľmi významným problémom archeológie, je určenie polohy lokality pozorovaného objektu. Každý si určite uvedomuje rozdiel medzi tvrdením, že Národné divadlo sa nachádza v Prahe alebo Národné divadlo sa nachádza na adrese Národní 2, 110 00 Nové Mesto, prípadne Národné divadlo je situované v oblasti so zemepisnými súradnicami 50.081001882476656 s. š. a 14.413575227557729 v. d. Aj keď nám súradnice poskytujú abstraktnú podobu polohy, celkovo majú veľký význam pri konkrétnej lokalizácii určitého miesta alebo pri tvorbe máp v konkrétnom súradnicovom systéme.



Súradnicami možno pohodlne zaznamenať jednotlivé archeologické objavy, priradiť k nim archívne fotografie. S takýmto prepojením informácií slúžia v GIS. V prípadoch, kedy prebieha archeologický výskum na povrchu, v prehľadom teréne alebo v malom rozsahu výskumu, môže byť pomerne jednoduché mať prehľad o jednotlivých pamiatkach. Problém nastáva práve pri archeologických lokalitách väčšieho rozsahu alebo pri lokalitách, ako sú zaplavené objekty či lokality napríklad v oceáne, mori alebo aj v umelo vytvorenej vodnej nádrži. Získať súradnice takýchto podvodných objektov je dôležité práve z dôvodu zobrazenia objektov. Dáta so súradnicami možno využiť pri tvorbe mapy založenej na pomerne presnom podklade. Využitie súradníc sa môže týkať aj merania vzdialeností, ktoré je inak v takomto podvodnom prostredí v postate nemožné. Ďalším využitím môže byť zaznamenanie posledného skúmania lokality, resp. nenáročne sa dá zistiť, ktoré pamiatky už zmapované boli a naopak.

Na Slovensku spustili archeológovia v roku 2018, v spolupráci s policajným zborom, pilotný projekt s podvodným výskumom rímskeho prístavu na Dunaji, pri kaštieli v Iži. Využívali podvodný sonar, ktorým si vytipovali určité lokality určené ku skúmaniu. Podarilo sa im odobrať vzorky z drevených trámov a múrov [14].

Téma diplomovej práce sa zaoberá jednak technológiou a postupom pri využití sonaru, ale aj konkrétnym využitím a to pri hľadaní pozostatkov Juditinho mosta v Prahe.

V prílohe dokumentu *Zprávy památkového sboru hlavního města Prahy* [15] sa autor K. Novotný venoval opisu vzniku a pozostatkov Juditinho mosta, konkrétnejšie v článku s názvom *Juditin most v Praze*. Rok vydania památkového zboru sa datuje na rok 1925. K. Novotný rozoberá pomerne podrobne informácie, ktoré boli v tej dobe dostupné. Spomína Vincentovu kroniku, z ktorej sa usudzujú roky výstavby mostu. Ďalej uvádza potrebu vybudovania mostu cez rieku, dochované prvky mosta na oboch stranách Vltavy, jeho približné rozmery, použitý materiál, most ako súčasť opevnenia a iné. Architektúru mosta dáva do súvisu s kamenným mostom v nemeckom Rezne. Ako zhotoviteľov projektu opisuje talianskych stavbárov.

Ochrana památek - sborník Klubu Za starou Prahu na rok 1960 [16] publikovala bibliografiu V. Píšu s názvom *O staroměstském opevnění Juditina mostu*. Opiera sa o niektoré poznatky K. Novotného a pridáva ďalšie, nové poznatky o tejto unikátnej dobovej stavbe. V publikácii sú k dispozícii fotografie s prvkami mosta, ktoré vyhotovil J.



Uher. Sú to napríklad severný líc predmostia Juditinho mosta, ostenie mosteckej brány, pás klenby, výkop mostného piliera a schodiska k rieke, či pohľad na vrchol základového pásu s časťou južnej steny špitálu so zbytkom opukovej dlažby. Významnú rolu hrá aj vyobrazená situácia pražských mostov a predmostí od 9. do 14. storočia, ktorú kreslil SÚRPMO. Zobrazuje ľavú aj pravú časť rieky s mosteckou bránou, zákresom Karlovho mosta, priebeh Juditinho mosta a smer tretieho, dreveného mosta cez rieku, severnejšie od týchto 2 mostov. V tejto situácii sú uvedené aj miesta, kde sa mali mosty napájať na breh. Takisto obsahuje pozdĺžny rez Križovnického špitálu, na ktorý sa napájal Juditin most. Nemálo dôležitým je aj zakreslený výkop, severne od piliera Juditinho mosta, zobrazujúci pôdorys v úrovni mosteckej brány, prípadne materiály výkopov zobrazené v profiloch. Z Jüttnerovho plánu Prahy z roku 1811 – 1815 možno vidieť priebeh okolia Karlovho mosta z tohto obdobia. Jednotlivé fotografie a zákresy sprevádza pomerne obsiahly text o vzniku mosta a architektonických detailoch a materiálov, vrátane niektorých rozmerov.

Informatívny článok zaoberajúci sa prieskumom Juditinho mosta pod hladinou využitím fotoaparátov či videokamier nám približuje online časopis iDnes.cz s názvom článku *V ledové Vltavě se fotí nejlépe. Podívejte se na první fotografie Juditina mostu* [17]. Potápanie bolo uskutočnené v roku 2010. Okrem zaujímavých fotografií zobrazujúcich zachované časti kamenných pilierov Juditinho mosta, autor uvádza dôvod samotného prieskumu. Počas ponoru z roku 2010 bolo naplánované odobrať vzorky nájdených pozostatkov mosta, ktoré by boli odovzdané k zisteniu druhu materiálu a technológie, akou bol most postavený. Vyhotovené snímky slúžili k pozorovaniu, na čo sa pod hladinou vody možno zamerať, aké prvky sa pod ňou reálne nachádzajú a ako veľmi sú zachované. Odhalené informácie by boli dôvodom k ďalšiemu bádaniu. V tomto období sa im dokonca podarilo nájsť zvyšok dreveného roštu, ktorý po dendrochronologickom výskume ukázal dobu rúbania stromu približne na rok 1190. Odhadovaný počet pilierov v rieke je 12.

Elektronickým článkom od autora P. Slezáka, *Potápěčská archeologie v centru Prahy* [18] sa dozvedáme, že v prvej polovici januára 2016 sa začala ďalšia etapa výskumu okolia Karlovho mosta, zameraného aj na Juditin most. Konkrétne so zameraním na pravý breh. V článku sa dozvedáme akou metodikou prieskumu bola daná



lokalita geodeticky zameraná. Priestor potápania bol vyznačený bójami, ktoré boli geodeticky zamerané. To umožnilo záujmové územie zaznamenať do katastrálnej mapy. Bójky slúžili k lepšej orientácii na rieke, bola z nich vytvorená ortogonálna sieť, ktorú používali ako navigačný raster. Jednotlivé štvorce siete boli označené a dohromady tvorili plochu približne 1 300 m².

Posledný archeologický prieskum bol realizovaný opäť v prvej polovici januára v roku 2019. V správe s názvom *Stanovisko k nálezu pozostatku konštrukcií Juditina mostu ve Vltavě v rámci stavby „Zvýšení ponorů na vltavské vodní cestě ř. km 40,0-63,8“ v Praze 1 O. Šefců* [19] je popísané stanovisko výskumu za účasti NPÚ Praha. Výskum bol realizovaný v rámci stavby „Zvýšení ponorů na vltavské vodní cestě ř.km 40,0 – 63,8“. Pri tomto prieskume boli využité aj moderné metódy zberu dát, pričom boli využité mikrovlnné technológie, sonar či podvodný dron. Výskum potvrdil nálezy pozostatkov Juditinho mosta. Doterajšie nesystematicky uskutočnené potápačské prieskumy preukázali zachovalé konštrukcie rôzneho typu ako drevené pilóty, dubové rošty, torzy muriva a iné. Veľká časť prvkov je však zanesená sedimentami. Správu dopĺňa príloha zobrazujúca situáciu zmapovaných pozostatkov Juditinho mosta pilierov 9 – 13. V správe sa nachádza nadmorská výška niektorých prvkov v systéme Bpv a súradnice v systéme S – JTSK dôležitých častí zachovaných objektov v rieke.

Pri avizovanom poslednom prieskume v okolí Karlovho mosta a hľadania pozostatkov z Juditinho mosta, bola aj česká podvodná archeologička B. Machová. Vyštudovala na Masarykovej Univerzite v Brne a v roku 2017 vystupovala ako jediná podvodná archeologička v Českej republike, ktorá sa tomuto oboru systematicky venuje. Keďže v Českej republike nemala možnosť študovať konkrétne tento obor, teda podvodnú archeológiu, odcestovala za štúdiom do Chorvátska. Tam sa naučila metodiku práce a jej snaha je aplikovať ju na územie Českej republiky. V domácom prostredí má možnosť potápať sa len v sladkovodných oblastiach, ako sú rieky alebo priehrady. Spolupracuje s viacerými potápačmi. Pri svojej práci využívajú najmä detektor kovov. Väčšinou bývajú ponory v zimných mesiacoch. Napriek nízkej teplote vody je táto doba najvhodnejšia, pretože býva najlepšia viditeľnosť. Najväčším rizikom potápania na riekach označuje riečnu dopravu a miestami silné prúdenie rieky. V českých



podmienkach nie sú limitovaní hĺbkou ponoru, keďže využívajú tzv. rebreath¹, ale limitovaný sú časom ponoru. Čerpané informácie pochádzajú z video rozhovoru online relácie [20].

Samotná dizertačná práca B. Machovej s názvom *Archeologie řeky* [21] sa zaoberá štúdiom zameraného na archeologické nálezy z riek Moravy a Dyje. Na začiatok uvádza sladkovodnú podvodnú archeológiu v strednej Európe v kontexte s českým prostredím. Vo svojej práci opisuje aj základnú schému nedeštruktívnych metód podvodnej archeológie, ktoré tvorí magnetometer, sidescan sonar, sub bottom profiler a ROUV. Ako výhodu sonarového skenovania uvádza pomerne jednoduché použitie a čitateľnosť výstupov veľkých plôch pri relatívne krátkom čase. Ďalej rozoberá hlavné problematiky podvodnej archeológie, ako problematika prúdu rieky a geodetického zamerania, problematika viditeľnosti, sedimentácie či hĺbky. Pri geodetickej dokumentácii sa využíva systém návodných lán alebo tzv. grid. Lomové body gridu sú geodeticky zamerané a vo vnútri jedného gridu sa meria pomocou pásma. Gridový systém je výhodnejší, vzhľadom na podrobnejšiu možnosť dokumentácie, než je pri návodných lanách. Pri geodetickom zameraní opisuje možnosť zamerania klasickou polárnou metódou s využitím totálnej stanice a výtyčky. Tú však možno použiť v plytkých vodách, kedy je možné dosiahnuť dno. Prípadne sa využíva metóda GNSS. Pri hĺbke väčšej než cca 1,5 m bývajú zamerané bóje, ktoré sú ukotvené k sledovanému bodu.

Súčasnú podmienky zobrazovacích technológií, ktoré sú dostupné celosvetovo, ponúkajú spoznávať podvodné bohatstvo z ktoréhokoľvek kúta sveta, na základe dostupného internetového pripojenia. Súkromné osoby, inštitúcie alebo v rámci projektov vedeckých výskumov, umožňujú prístup k získaným dátam, prípadne konkrétnu prezentáciu výsledkov. Tie možno objavovať na rôznych internetových stránkach. Pokiaľ dáta nie sú poskytnuté len vo vizuálnej forme, napríklad 3D model, batymetrická mapa, snímky a iné, je možnosť stiahnuť dostupné dáta pre verejnosť a následne s nimi pracovať.

Virtuálne múzeum *Underwater Malta - The Virtual Museum* [22] prináša ľuďom možnosť vidieť historické podmorské exponáty, ktoré nie sú dostupné bez špeciálnej

¹ Rebreather je potápačský prístroj s uzavreným či polouzavreným okruhom.



výstroje, zkušeností potápača či nahliadnutia zblízka z ponorky. Prišli preto s nápadom zriadiť online múzeum, ktoré využíva 3D formu prezentácie, virtuálnu realitu, videá, fotografie a jednotlivé príbehy objavov. Technológia rebreather umožňovala zostúpiť do hĺbín, v ktorých už dlhé roky čakali neprebádané exponáty. Za pomoci výkonných fotoaparátov a špeciálnych podvodných kamier boli vytvorené snímky vo vysokom rozlíšení. Tie boli konvertované na 3D modely a virtuálnu realitu. Na tejto stránke možno pozorovať archaický vrak lode, kamenné a keramické nádoby s predmetmi zo 7. stor. p. n. l., námorné míny, vraky ponoriek či lietadiel z prvej a druhej svetovej vojny. Jednotlivé modely môžeme detailne prezerať aj napriek tomu, že sa nachádzame tisíce kilometrov od miesta stroskotania a úplne v suchu.

Prostredníctvom *National Centers for Environmental Information National Centres for Environmental Information* (NOAA NCEI) [23], ktorá predstavuje informácie o životnom prostredí, je možné voľne stiahnuť a prehliadať dáta. NOAA NCEI sú zodpovedné za uchovávanie, monitorovanie, hodnotenie a poskytovanie prístupu verejnosti k pokladom geofyzikálnych údajov a informácií národa. Poskytujú údaje morského dna Zeme či ústí riek. Prevažne však v častiach, ktoré spadajú pod USA. Tieto dáta sú zaujímavé z hľadiska vizuálneho ale aj z hľadiska možnosti použitia poskytnutých dát. Jednotlivé pridané dáta od súkromných osôb či spoločností, majú vyhotovenú správu, ktorá obsahuje lokáciu, číslo projektu, dátum zberu dát, mierku, vizuálne zobrazenia výsledkov a iné. Webová aplikácia vytvára mriežky a mapové obrázky s údajom batymetrie. Je možnosť vytvorenia 3 typov mriežky a to binárna mriežka NetCFD, rastrová mriežka ESRI ASCII a mriežka XYZ (lon / lat / depth). Mapové obrázky sú vo formáte Postscript, PDF, JPG, PNG a GIF.



3 Popis zainteresovanej oblasti

3.1 Praha a Vltava

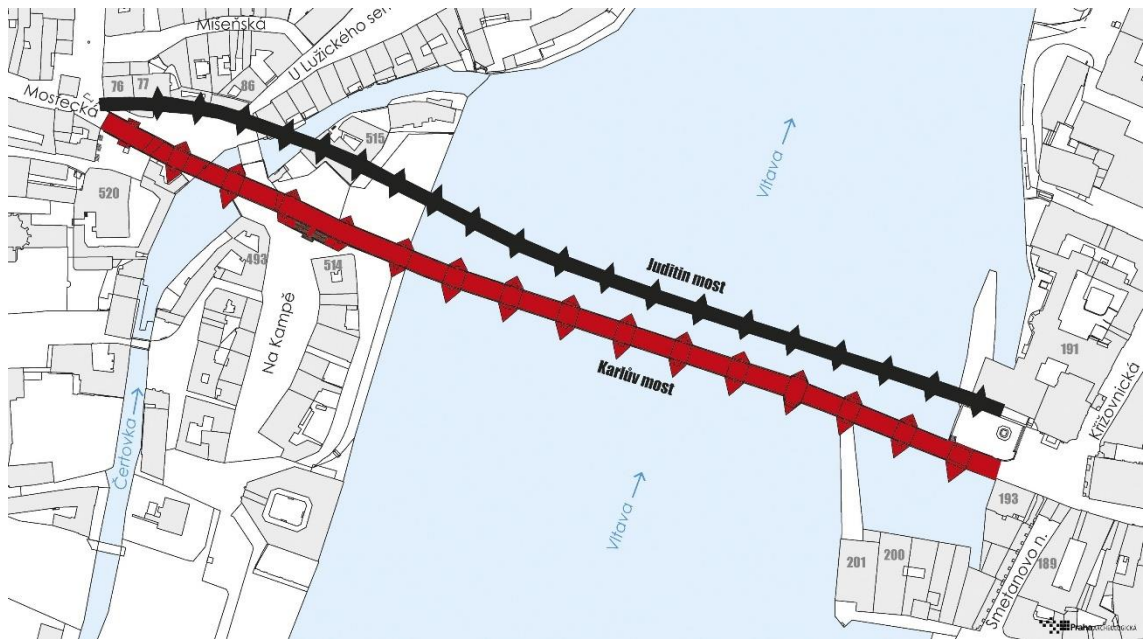
Väčšina miest v Európe sa z geografického hľadiska budovala v blízkosti vodných tokov. Niektoré boli situované v blízkosti riek, pričom postupným zaľudňovaním sa stala rieka prirodzenou súčasťou mesta. Inak tomu bolo v prípade Prahy a Vltavy. Historické jadro tohto hlavného mesta rozdeľuje práve táto mohutná rieka. Na jednej strane sa nachádza rozsiahly Pražský hrad a na druhej Vyšehrad, zároveň s nemenej významným Staromestským námestím so známym Pražským orlojom.



Obrázok 1: Pohľad na Vltavu, Karlov most a Pražský hrad [autor]

Vltava sa tak stala prírodnou obrannou prekážkou, ktorá bola v minulosti využívaná ako ochrana pred útokmi nepriateľov. Obyvatelia Prahy využívali rieku k bežným denným potrebám, ktoré zjednodušovali ich život. Rieka predstavovala obživu v podobe pitnej vody, rybolovu či vodných mlynov. Vďaka pomerne silnému prúdu bolo možné splavovať drevo, kamene, soľ, potraviny alebo využívať riečnu dopravu.

Samozrejme, rieka neprinášala iba výhody, ale aj určité nebezpečenstvo. Čím viac sa pozeráme do minulosti, tým viac bolo ťažšie rieku prekonať. Cesta z jedného brehu na druhý bola možná iba v určitých plytších častiach, prípadne ju bolo možné prekonať jazdou na koni. Neskôr sa objavili prívozy, drevené mosty, kamenné mosty. V súčasnosti možno prekonať túto vodnú prekážku jazdou metrom v tunely, popod rieku. Veľké nebezpečenstvo rieky v meste predstavovali aj záplavy. Zlé počasie mnohokrát spôsobilo rozsiahle škody či už na majetkoch alebo na životoch.



Obrázok 2: Priebeh Juditinho mosta v situácii s priebehom Karlovho mosta [24]

3.1.1 Pamiatky na tejto rieke

Keďže sa Vltava tiahne od južnej hranice Čiech až po Mělník, ktorý sa nachádza 30 km severne od Prahy, svojou dominantnosťou tvorí súčasť nejedného historického mesta či pamiatky. Už v minulosti využili povodie rieky práve Kelti, ktorí si v jej blízkosti vybudovali opevnené mesto už v 2. stor. p. n. l. známe ako Keltské oppidum Třísov. Dnes sa toto miesto považuje za archeologickú pamiatkovú rezerváciu.

Azda najznámejším historickým mestom, hneď po Prahe, ktoré leží na toku Vltavy, je Český Krumlov. Jeho mestská pamiatková rezervácia, obklopujúc v zovretí Vltavou, je zapísaná do zoznamu UNESCO.



Obrázok 3: Riečny meander Vltavy obklopujúc historické centrum Českého Krumlova [25]



Zásahy do přírody z minulého storočia so sebou priniesli zmeny, ktoré sa dotkli aj Vltavy. Umelá vodná nádrž Orlík sa spája s pôvodne kráľovským hradom Orlík. Výšková dominanta sa po napustení nádrže zmenila z vysokého skalného brala na úroveň hladiny Vltavy.

Rieka svoju cestu končí v sútoku rieky Labe, v meste Mělník. Dostupné informácie o samotných pamiatkach a mestách ležiacich na toku Vltavy boli získané zo zdroja [26].

Pre Prahu je špecifický meandrovitý tvar Vltavy. V minulosti na jej brehoch vzniklo mnoho významných stavieb. V blízkosti rieky možno pozorovať historické budovy ako Vyšehrad, Národné divadlo, Rudolfinum, rôzne kláštory či mostné brány. S rozvojom priemyslu zohrala rieka významnú úlohu pri továrňach, ako tehelňa, pivovar, cukrovar, liehovar, strojná výroba, čistička odpadových vôd, vodné elektrárne či prístaviská lodí. V súčasnosti slúži prevažne na rekreačné účely, prípadne lodnú dopravu. Za účelom možnosti lodnej dopravy sa na Vltave uskutočňujú rôzne stavebné práce, ako výstavba plavebných komôr či jej prehlbovanie. Práve kvôli zásahu do koryta rieky je nevyhnutné poznať historické pamiatky. Ich prípadné poškodenie by neumožnilo použiť nové metódy skúmania v budúcnosti.



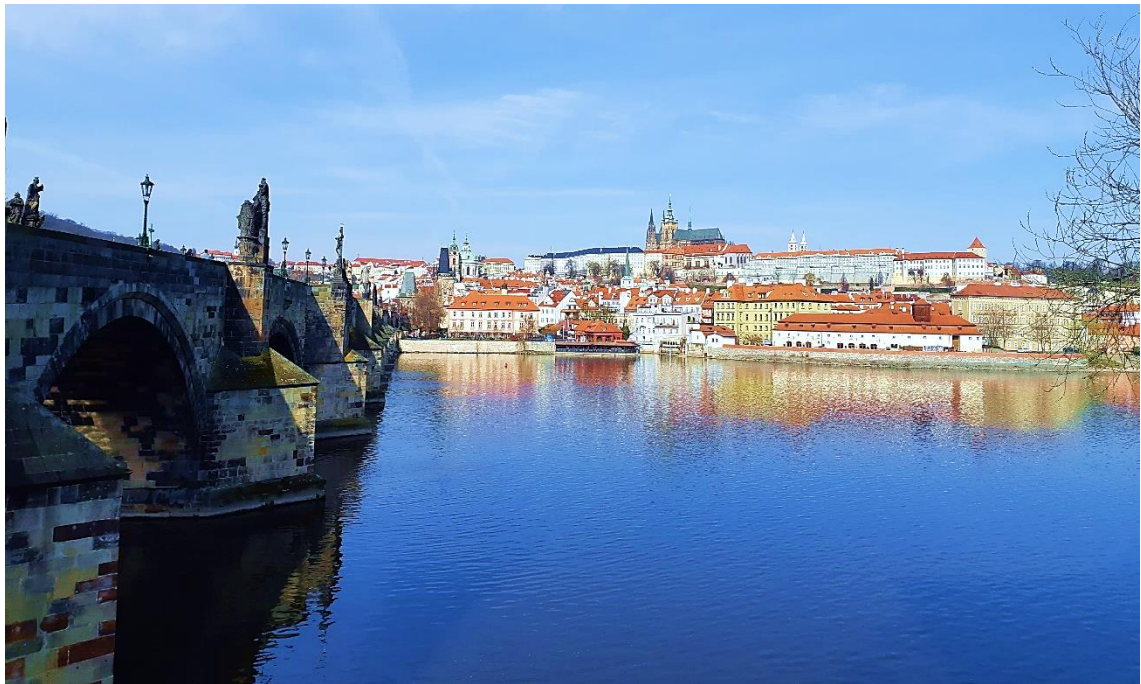
4 Juditin most

4.1 Čerpanie z historických prameňov

Úvodom príspevku [15] od autora K. Novotného sa dozvedáme, že oba brehy Vltavy v Prahe boli prepojené dreveným mostom. Zmienka o tomto moste je známa zo správy Kristiánovej kroniky úryvkom z 10. storočia. Podľa zápisu boli cez tento most v roku 932 prevezené ostatky sv. Václava. V Kristiánovej kronike je spomínaná aj informácia o čiastočnom zničení dreveného mostu povodňou z roku 939. Uvedené roky sú však len orientačné, keďže nie je známy presný dátum Václavovej smrti. Táto správa má teda skôr charakter legendy.

V kronike, ktorú viedol Kosmas, sú zaevidované historické správy o moste z roku 1118, opäť so súvisom povodňového nebezpečenstva. Voda vtedy vystúpila nad most s presahom 10 lakťov. Ak by voda vystúpila do výšky 10 lakťov, most bol s najväčšou pravdepodobnosťou veľmi nízky. Z toho plynie úvaha o drevenom moste.

Juditin most sa objavil v záznamoch letopisca Vincenta. Most nesie meno po manželke Vladislava II., ktorá mala na výstavbe vysokú zásluhu.



Obrázok 4: Pohľad na miesto so zvyškami Juditinho mosta ukryté pod vodou [autor]



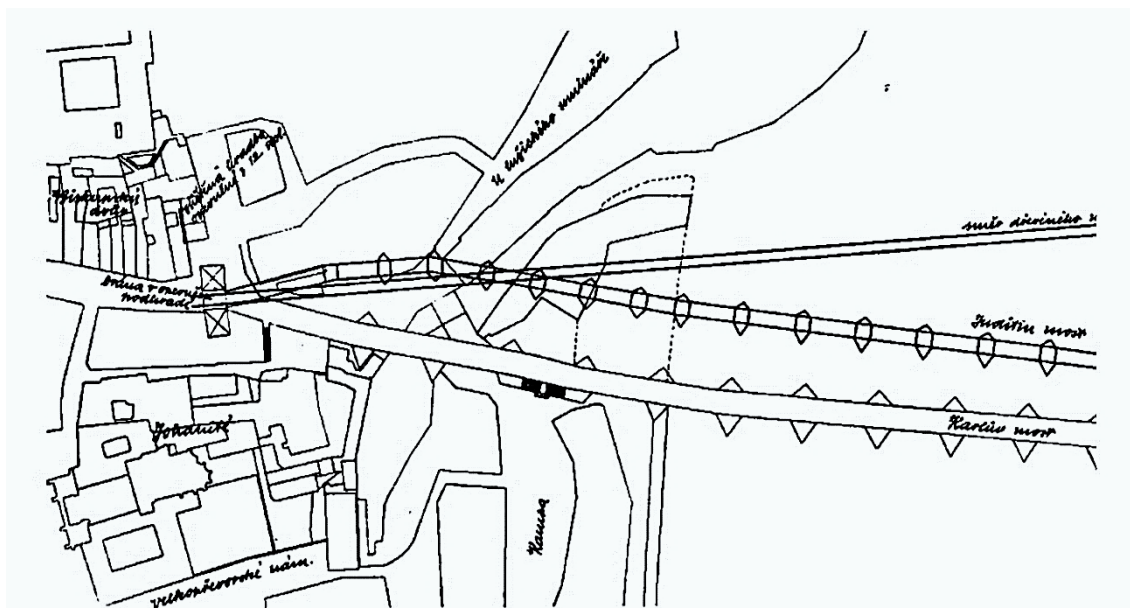
4.2 Významné roky pre Juditin most

Vo Vincentových záznamoch je uvedená dĺžka výstavby troch rokov, avšak nie je uvedené, o aké roky sa jedná. Existujú pochybnosti o dĺžke výstavby mosta, pretože na výstavbu takejto výnimočnej kamennej stavby by bol s najväčšou pravdepodobnosťou potrebný dlhší čas. Letopisec Vincent vo svojich záznamoch pripisuje veľkú podporu výstavby Juditinho mosta práve samotnej Judite. Vladislav II. bol častokrát na cestách, a tak na výstavbu dohliadala jeho manželka. Roky výstavby mosta spadajú do doby medzi svadbou Vladislava II. a Judity, teda 1153, až po Vladislavovu rezignáciu na trón v roku 1172. Ďalšie zúženie výstavby sa spája so začatím písania Vincentovej kroniky z obdobia 1168 – 1173. Postavenie mosta sa teda zužuje na roky 1168 – 1172. Zničený bol povodňou v roku 1342.

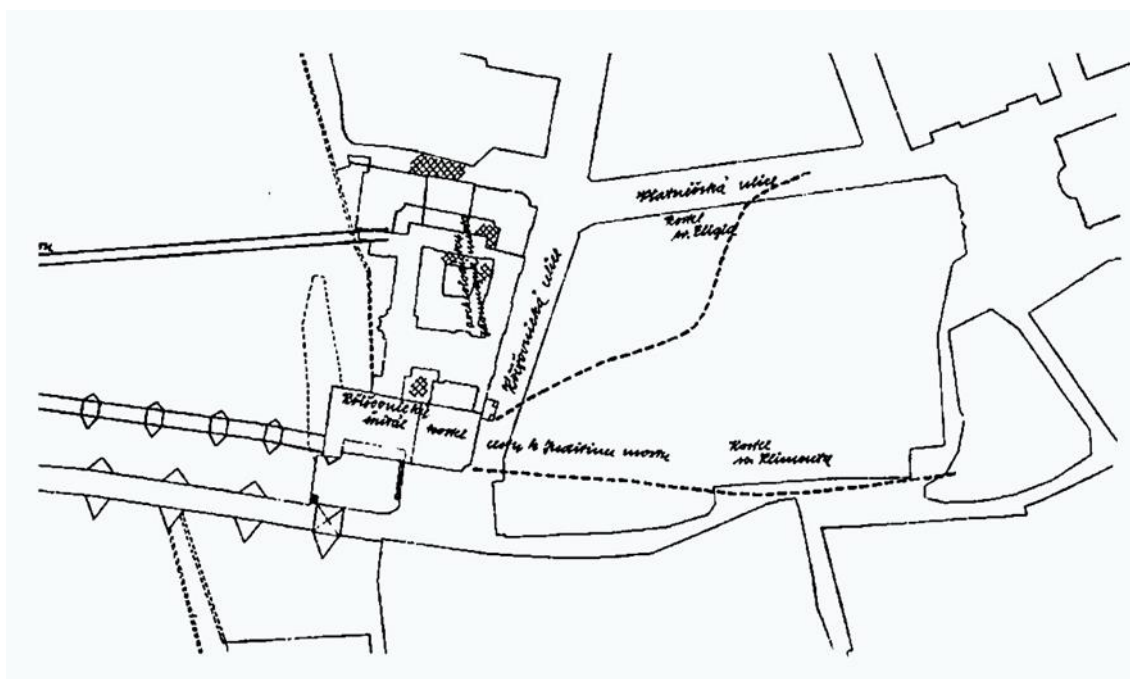
4.3 Priebeh mosta cez Vltavu

V príspevku sa uvádza spomínaný drevený most. Pravdepodobne sa však nejedná o ten Juditin. Existuje predpoklad, že sa nachádzal práve v blízkosti dnešného Karlovho či Juditinho mosta. V tejto lokalite sa totiž nachádzali prívozy, ktoré tvorili spojnicu medzi hradom a trhoviskom. Z historického hľadiska je to veľmi významná trasa, ktorá spájala každodenné potreby obyvateľov. Preto sa dá očakávať, že takýto vodný prívoz bol nahradený najskôr dreveným, a potom kamenným mostom.

Predpokladaná poloha dreveného mosta sa odráža aj od zakladacej listiny kláštora Johanitov na Malej Strane. Ako susedstvo a hranica kláštorného majetku sa uvádza pražský most, ktorý ležal v blízkosti prívozu sv. Jána na Zábradlí. Tento opis ukazuje na vžitú miestnu označenie a rovnako poukazuje na vymedzenie polohy dreveného mosta v blízkych miestach neskoršieho Juditinho mosta.



Obrázok 5: Situácia pražských mostov a predmostí od 9. do 14. storočia – oblasť Malostranská [16]



Obrázok 6: Situácia pražských mostov a predmostí od 9. do 14. storočia – oblasť Staroměstská [16]

Aj keď presná poloha Juditinho mosta cez rieku nebola na prvý pohľad jasná, jeho priebeh naznačovala spojnica veží na oboch stranách rieky. Okrem veže dnešného Karlovho mosta, na malostranskej strane, sa dochovali aj ďalšie prvky mosta. Zo starších záznamov autor uvádza návodný pilier na staromestskej strane. Ten nesie bývalú mosteckú vežu na pravom brehu, ktorá bola spätá oblúkom. Oblúk bol viditeľný z



Karlovo most do 40. rokov 19. stor., pokiaľ nebolo rameno medzi Karlovým mostom a Křižovnickým kláštorom upravené a zakryté. Na ľavom brehu sa objavil zvyšok pilierov s časťou oblúka v pivnici jedného mestského domu. Pozostatky ďalších pilierov boli v Lužickej ulici pod už zbúraným domom. Zaujímavosťou z roku 1784 je skutočnosť, že v tomto roku bolo tak suché leto, že sa nad hladinou rieky objavilo 12 pilierov od staromestského brehu. Ich poloha a pôdorysy boli naznačené na kolorovanom lepte K. Salzera. Toto dielo znázorňuje práce na oprave Karlovo mosta. Zvyšné piliere smerujúce k malostranskej strane boli vraj zanesené pieskom. Dnes je tomu naopak.

Most mal byť široký 6,8 m s dĺžkou 513,97 m. Avšak, otázka počtu pilierov a oblúkov je rôzna. Zdroje sa zhodujú vo vymedzenom počte od 22 do 28. Piliere boli založené na pilótoch, pričom proti prúdu boli opatrené ohlavím pôdorysu v tvare rovnoramenného trojuholníka, ktorého hrana bola vzdialená od priečelia klenby 5,5 m. Piliere sú opisované ako veľmi masívne, špáry na klenbách boli veľmi malé. Most mal dokonca zábradlie. Šírka jazdnej dráhy bola nepravidelná, merala od 6,12 – 6,8 m. Dlažbu tvorili kamene rôznej veľkosti a tvaru, ktoré boli ukladané tesne vedľa seba, do piesčitej pôdy a zaliate maltou.

4.4 Korene pôvodu Juditinho mosta

Keďže sa jednalo o prvý most svojho druhu v Čechách, tunajší stavbári nemali skúsenosti s technologickými postupmi výstavby klenbových kamenných mostov. To bol dôvod, prečo inšpirácia na realizáciu výstavby pochádzala zo zahraničia. Najväčšia pravdepodobnosť idey kamenného mosta mohla byť vzkriesená v neďalekom nemeckom meste Rejno. Tu bol v roku 1158 Vladislav II. korunovaný za kráľa.

Rejno je s Českom spojené aj cez biskupstvo, ktoré do roku 973 sídlilo práve v tomto nemeckom meste. Myšlienka kamenného mosta v Prahe ho natoľko nadchla, až bola zrealizovaná.



Obrázok 7: Most v Rezne (Regensburg), Nemecko [27]

Rezno je mesto, v ktorom sa v rokoch 1135 – 1146 vystavala prvá stavba klenbového kamenného mosta v Nemecku. Rezenský most je dokonca prvým klenbovým stredovekým mostom v strednej Európe. S tým Juditínym majú takmer rovnaké konštrukčné pomery. Predpokladá sa, že nápad a vzor výstavby prišiel z Rezna. Avšak ani tam nie je daný predpoklad vzniku idey kamenného klenbového mosta. Výstavba pomerne náročnej stavby si vyžaduje určitý vzor a skúsenosti. Skúsenosti nielen s technologickým postupom zakladania mostných pilierov v rieke, ale aj realizácií klenieb, ktorá sa rozmáha v Nemecku od polovice 12. storočia. Praktiky výstavby klenby prišli do tejto krajiny v spolupráci s francúzskymi stavebníkmi, presnejšie z regiónu Burgundsko.

Vladislav II. absolvoval mnoho vojenských zahraničných ciest, častokrát do Talianska a okrem vplyvu francúzskej a nemeckej architektúry, možno hovoriť aj o vplyve rímskych mostných stavieb. Príkladom je jednooblúkový most Pont de Pierre v talianskom meste Aosta, ktorý sa datuje dokonca až okolo roku narodenia Ježiša Krista, za vlády Augusta Pretoria. Ďalším príkladom je taliansky most v meste Ascoli Piceno, most Ponte Leproso v meste Benevento alebo most Ponte Felice v Borghetto. Vďaka



starostlivosti sa dochovali tieto pamiatky až dodnes. Nielen v Taliansku, ale aj v bývalých rímskych provinciách, sa zachovali historické kamenné mosty. Tento stavebný trend klenieb sa postupne rozšíril aj do Francúzska či Španielska.

4.5 Dochované časti Juditinho mosta

Mostecké veže na oboch koncoch boli využívané ako vstupné brány ale rovnako boli aj súčasťou opevnenia. Obe časti brehu Vltavy tak mohli byť lepšie chránené. Veža na malostranskom brehu je spomínaná už v rok 1249, ako veža v Přemyslovom držaní. Veža na druhej strane je spomínaná v prameňoch v roku 1252, pričom o rok neskôr je uvádzané, že slúžila aj ako väzenie.

Ako bolo uvedené, na malostranskej strane sa zachovali zvyšky pilierov a klenby, ktoré boli ukryté v pivnici domu. Taktiež boli na tejto strane situované dve veže tvoriac súčasť opevnenia. Dochovala sa však už len jedna. Súčasťou tejto veže je reliéf zbytku pôvodnej plastickej výzdoby, ktorý bol náhodne objavený v 1889. Reliéf bol však vinou majiteľa čiastočne zničený. Táto scéna pokľaknutého človeka pred sediacim na tróne je obvyčajne vykladaná ako scéna udeľovania výsad panovníka zástupcovi mesta. Na druhej strane rieky sa dochoval spomínaný oblúk pod Križovníckym kláštorom, presnejšie pod Galériou u Križovníkov. Tu, na návodnom pilieri, stála staromestská veža Juditinho mosta, ktorá po zrútení mosta nebola pojatá do novostavby Karlovho mosta. Staromestskú stranu dotvára aj známy reliéf tváre „Bradáča“. Zo zachovaného mostného oblúku pod Križovníckym kláštorom bol prenesený na nábrežnú stenu postavenú v 40. rokoch 19. storočia.

Informácie o Juditinom moste čerpané zo zdroja [15].



5 Metodika prác

5.1 Batymetria

Pod pojmom batymetria si možno predstaviť topografiu podvodného terénu závislú na meraní hĺbky. Terén býva častokrát zobrazený modelom, ktorý je pre lepšiu reprezentáciu dotvorený vrstevnicami alebo terénne pomery vyjadruje hypsometrický model. Hĺbkové vrstevnice, ktoré spájajú miesta s rovnakou hodnotou hĺbky, sa nazývajú izobaty.

Batymetria je základom vedy o hydrografií, ktorá sa zaoberá náukou o vodstve. Na základe merania fyzikálnych vlastností vodného útvaru je možné tieto útvary presnejšie definovať. Pri morských alebo oceánskych útvaroch možno definovať špecifiká ako tvar a vlastnosti pobrežia, charakteristiky prílivu a odlivu, prúdov a vln, alebo aj fyzikálne či chemické vlastnosti vody v danej lokalite. Pri riečnych útvaroch sa určujú parametre ako dĺžka toku, plocha povodia, sklon dna toku, jeho spád, staničenie v určitom mieste, prípadne tvar povodia či ústia toku [28].

5.1.1 Možnosti využitia získaných informácií z batymetrického prieskumu

Údaje zistené v rámci náuky tejto vedy sú využívané na tvorbu alebo aktualizáciu máp v námorníctve, vodných tokov či jazier. Informácie sa zhromažďujú nielen za účelom tvorby, ale aj za účelom výskumu a vývoja hydrografických modelov. Jestvujúce mapy sú určené k navigácii vodných ciest, aby nedošlo k nežiadúcemu efektu nájazdu na plytčinu či zachytenie o neznáme teleso. Tieto mapy tiež slúžia k plánovaniu výstavby so základmi pod vodnou hladinou, k realizácií pokladania potrubí a káblov, ich samotnému ukotveniu. V súčasnej dobe je čoraz bežnejšie vykonávať tzv. bagrovanie, kedy sa z dna odstraňujú usadené sedimenty. Rozdiel modelu pred a po bagrovaní môže udávať hodnoty objemu odstránených usadenín. V neposlednom rade je znalosť hydrografických pomerov v danej oblasti dôležitá pri pozorovaní a prípadnej záchrane pôvodných ekosystémov, živočíchov a podvodných rastlín. Takéto pozorovania slúžia k informáciám preukazujúc zmenu dopadu znečistenia životného prostredia, prípadne iných živelných katastrof.



K získaniu informácií o hydrografických pomeroch sa využívajú viacväzkové echoloty. Je to základná metóda k získavaniu dát. Vďaka týmto prístrojom odhaľujeme hĺbku dna v danom mieste, jeho tvar, prípadne iné telesá, ktoré sa pod hladinou nachádzajú. Je snaha odhaliť aj fyzikálne vlastnosti vodných útvarov, medzi ktorými možno zabezpečiť bezpečný prechod daným územím. Loď, ktorá prechádza skúmaným územím nesie prístroj, ktorého lúče ozvučenia viacväzkového odrazu sa odrážajú od morského dna a vracajú sa na loď. Takto možno zaznamenávať parameter hĺbky [28].

5.2 Metódy využívané pre batymetrický prieskum

Vo všeobecnosti sa využívajú dve základné metódy pri zbere údajov pre vyhodnotenie priebehu riečneho, morského či oceánskeho dna. Jedná sa o využitie sonarov pripevnených na plavidlách alebo metódy diaľkového prieskumu.

Sonarové meranie sa realizuje prevažne lokálne, na menších územiach. Naopak, diaľkové snímanie územia umožňuje väčšie plošné pokrytie v kratšom časovom intervale merania. Diaľkový prieskum využíva metódy LiDAR, alebo v nemalom význame sa využívajú metódy fotogrametrie s prechodom snímok až na dno hladiny.

Metódy využívajúce sonarovú aparatúru sú vhodné použiť na miestach s výskytom zakalených vôd, s menej kľudnou hladinou, väčších hĺbkach či na miestach, kde nie je možné vykonávať prieskum zo vzduchu. Takýmto miestom môže byť miesto v blízkosti letiska či prekážok vo vzduchu.

Výhodou LiDAR je okrem rýchleho pokrytia veľkého územia aj dostupnosť metódy v plytkých oblastiach, kde nie je možné vykonávať bezpečnú plavbu plavidlom. Nevýhodou je obmedzenie v dôsledku priezračnosti vody, kľudnej hladiny či realizácia prieskumu v príliš hlbokých oblastiach [29].

Fotogrametrické metódy pozorovania lokality sa v súčasnosti čoraz viac spájajú s nízkonákladovými dronmi. Je to pomerne ľahké zariadenie, ktoré v závislosti od kvality snímania obrazu dokáže dosahovať vysokú presnosť dát. Práca s dronom je veľmi flexibilná a umožňuje v reálnom čase pozorovať snímané dáta s pripojením k mobilnému telefónu. Oproti družicovým snímkam, ktoré dosahujú presnosť niekoľkých metrov na pixel, môžeme metódami UAV (prípadne RPAS) dosiahnuť presnosť v centimetroch. Nosičom fotogrametrického zariadenia nemusí byť len dron,



ale aj bezpilotné lietadlo, či lietadlo s pilotom. To sa využíva najmä na rozsiahlejšie lokality.

5.3 Sonar

Podvodné sonary sú zariadenia, ktoré vysielajú akustické vlny. Vlny sa šíria vodným prostredím. Keď narazia na pevné miesto, akustická energia sa odrazí od objektu a opätovne je prijímaná sonarovým zariadením. Toto je základný princíp pochopenia princípu merania hĺbky. Väčšina snímačov používaných na určovanie hĺbky pracuje práve s akustickými vlnami, ktoré sa v kvapaline šíria rýchlejšie ako vo vzduchu.

5.3.1 Parametre ovplyvňujúce merania sonarom

Dôležitú úlohu zohráva znalosť uhla lúča a zvuku rýchlostného profilu vo vodnom stĺpci. Pre oblasť prieskumu je pri väčších hĺbkach potrebné poznať teplotné zmeny vodného stĺpca. Na jeden stupeň Celzia pripadá zmena rýchlosti zvuku približne 4,5 m / s. Pri šírení v morskom prostredí je dôležité sledovať aj slanosť vody. Tá sa nemeria priamo, ale počíta sa z chlóru. Priemerná slanosť morskej vody je okolo 35 ‰, pričom zmena rýchlosti zvuku je približne 1,3 m na zmenu slanosti o 1 ‰. So zmenou hĺbky súvisí aj tlak, ktorý má dominantný vplyv viazaný na veľké hĺbky. Jeho zmena tiež ovplyvní rýchlosť zvuku a to približne 1,6 m / s pri zmene o 10 atmosfér, teda asi na 100 m hĺbky. Na hustotu vody majú vplyv predchádzajúce fyzikálne parametre: teplota, tlak a slanosť. Najväčší vplyv na hustotu je stlačiteľnosť a hĺbka. Pri vedeckých výskumoch alebo veľmi presných prácach by sa tieto údaje mali starostlivo zohľadňovať kvôli získaniu presnejších meraní [6].

5.3.2 Echolokácia, aktívne a pasívne sonary

Echolokáciou označujeme postup, kedy sa od predmetu odrazí vyslaný zvuk (pulz) naspäť do miesta vyslania, kde je spätne zachytený. Vzdialenosť alokovaného predmetu sa dá spočítať z celkového času prenosu. K prenosu dochádza počas uplynutia okamihu od vyslania zvukovej vlny do okamihu spätného príjmu odrazenej vlny. Zvukovú vlnu zvyčajne tvorí vysokofrekvenčný zvuk a odrazenú vlnu tvorí echo, resp. ozvena. Po prijatí spätného pulzu zariadenie opätovne vyšle ďalší pulz. Zvukové vlny sa vo vode šíria



pomerne vysokou rýchlosťou a tak je možné vyslať a prijať niekoľko pulzov za sekundu. Pulzy sa so zväčšovanou hĺbkou rozširujú a majú kužeľovitý tvar. Pri širokých kužeľoch, v uhloch zväčša $40^\circ - 60^\circ$ je možné získať rýchlejšie informácie o dne, avšak na úkor presnosti a detailov. Naopak, pri kužeľoch s malou šírkou lúča, $5^\circ - 10^\circ$, je možné dosiahnuť presnejších detailov a polohy, na úkor času a rozsahu územia. Na takomto princípe pracujú niektoré špecializované elektronické prístroje, akými sú napríklad sonary.

Sonary sa primárne delia na aktívne a pasívne. Slovo sonar je skratka z originálneho anglického výrazu SOund NAvigation Ranging, čo v preklade znamená zvuková navigácia a zameriavanie. Sonarové zariadenia fungujú na rovnakom princípe ako echolokačný systém, ktorý pre svoju orientáciu používajú netopiere či delfíny [30].

Aktívny sonar – prístroj, ktorý vyžaruje svoj vlastný signál alebo zvukový impulz. Impulz je vysielaný vodným prostredím, až kým sa neodrazí od pevného telesa či dna. Odraz je opätovne prijímaný sonarovým snímačom. V závislosti od kvality sonarového prístroja je možné vyhodnocovať prijímané signály, napríklad meranie sily samotného signálu. Časovým vymedzením medzi emisiou zvukového impulzu a jeho následným prijatím možno určiť rozsah a orientáciu skúmaného objektu.

Pasívny sonar – na rozdiel od aktívnych sonarov, pasívny nevyžaruje vlastný signál. Takýto prístroj sa využíva skôr na detekciu zvukovej vlny v podvodnom prostredí. Zvuky, ktoré možno detekovať vydávajú telesá ako ponorky či lode, ale aj živočíchy, napríklad veľryby. Neslúži však k meraniu vzdialenosti k objektu. Realizácia merania dosahu je možná v spojení s inými pasívnymi počúvajúcimi zariadeniami. Používanie viacerých pasívnych sonarových zariadení umožňuje metódu triangulácie k určeniu zdroja zvuku [28].

Hĺbkové sonary snímajú dno a poskytujú husté mračno bodov. Pri oblastiach s nie príliš veľkou hĺbkou či menších lokalitách sú vhodné jednolúčové systémy. Za takúto lokalitu možno považovať oblasť rieky, prípadne jazier alebo iných umelých vodných nádrží. Využitím jednolúčových systémov v plytšej lokalite možno zanedbať sklon plavidla. Navyše takéto systémy bývajú zväčša malé zariadenia, takže je možné s nimi ľahko manipulovať. Ak uskutočňujeme meranie v riečnych vodách, možno zanedbať aj chyby spôsobené slaným prostredím. Viacúčové systémy sú vhodné pre väčšie hĺbky,



ako sú prieskumy pobrežných či oceánskych oblastí. S väčšími lokalitami a hĺbkami je nutné brať v úvahu aj väčší objem získaných dát. Objem dát ovplyvňuje prácu pri vyhodnocovaní výsledkov, pri ich prezeraní či archivovaní [29].

5.3.3 Bezpilotné podvodné zariadenia

V podvodných prieskumoch môžeme využívať prístroje, ktorých komunikácia je prepojená pomocou série káblov alebo je prepojenie realizované vzduchom, napríklad Bluetooth, Wifi.

Rozlišujeme AUV alebo ROV. Obe tvoria bezpilotné plavidlo, kde AUV je spojené autonómne, bez káblového pripojenia. Naopak, ROV je vozidlo prepojené káblovým spojením ovládané na diaľku.

5.3.3.1 AUV – autonómne podvodné plavidlo

Autonómne podvodné plavidlo je vhodné na realizovanie podvodných prieskumov označovaných ako podvodné misie. Pod takouto misiou si možno predstaviť skúmanie starého vraku, hornín či rôznych prekážok, ktoré sú nebezpečné pri navigácii plavidiel. Skúmanie vrakov historických plavidiel odhaľuje rôzne historické udalosti, alebo pomáha odhaliť, ako k danej katastrofickej udalosti došlo.

Pri prieskumných misiách je výhodou bezkáblových vozidiel voľný pohyb zariadenia. Výhodou pri dostatočne silnom signáli komunikačných schopností je aj dosah zariadenia. So zariadením je možné ostať v kontakte pri väčších hĺbkach, bez obmedzenia dosahu káblov. Nevýhodou je, že káble predstavujú určité riziko zamotania sa do nepredvídateľného telesa. Okrem problému s káblovým pripojením môže dôjsť aj k jeho úplnému prerušeniu zavinením pretrhnutia kábla.

AUV zvyčajne vykonáva svoj prieskum bez zásahu operátora. Prieskum je potrebné vopred naprogramovať a po dokončení podvodnej misie sa vozidlo vráti na miesto, ktoré mu bolo programovaním určené. Pri programovaní je však potrebné brať v úvahu GNSS alebo iné navigačné prostriedky, vďaka ktorým sa vie plavidlo orientovať a dostaviť sa na zvolené miesto.



5.3.3.2 ROV – diaľkové ovládané plavidlo

Diaľkovo ovládané plavidlo komunikuje cez spomínané série káblov. Káble realizujú prenos povelových a riadiacich signálov, ktoré sa prenášajú medzi riadiacim operátorom a samotným zariadením. Touto komunikáciou plavidlo uskutočňuje svoj pohyb.

Výhodou ROV je, že môže obsahovať rôzne prídavné zariadenia ako videokameru, svetlá, sonarové systémy či kľbové rameno. Všetky tieto zariadenia možno obsluhovať a navigovať v reálnom čase. To znamená, že ak sa vykonáva ponor a počas ponoru sa objaví neočakávaná skutočnosť, možno na ňu zareagovať ihneď, bez nutnosti opätovného ponoru. ROV sa vzhľadom na svoje všeobecné využitie používa ako náhrada za hydrografický prieskum, ktorý by inak vykonávali potápači [28]. Pri odoberaní vzoriek alebo skúmaní historického vraku sa môže potápač dostať do života ohrozujúcej situácie. Práve v takýchto nebezpečných situáciách môže potápača nahradiť moderná technika.

5.3.4 Sonar a jeho akustické parametre

Sonar je druh echolotu. Je charakterizovaný prijímačom, ktorý vysiela a prijíma signály, šírku vysielaného lúča, ich riadenie a úroveň bočných lalokov.

Prijímač je prístroj, ktorý slúži k prenosu a príjmu akustických impulzov pohybujúcich sa prostredím. Funguje na princípe premeny elektrickej energie na mechanickú. Prijímače teda prevádzajú elektrické impulzy z generátora signálu na pozdĺžne vibrácie. Vibrácie sa v rámci vodného stĺpca šíria princípom tlakovej vlny. Pri príjme sa vracajúce tlakové vlny a prevádzajú sa na elektrické signály.

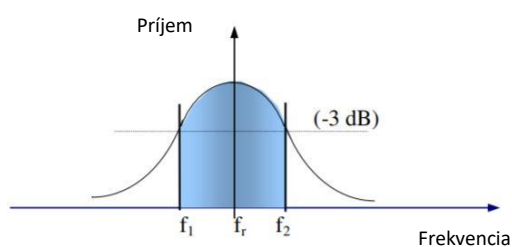
Akustická frekvencia je parameter, ktorý určuje rozsah a zvuk prieniku sedimentov. Na základe frekvencie závisí útlm akustického signálu. Platí, že čím je vyššia frekvencia, tým vyšší je útlm. To má za výsledok nižší dosah a prienik na dno hladiny. Šírka vysielaného lúča je závislá od dĺžky akustickej vlny a od veľkosti prijímača.

Najčastejšie sa v praxi používajú frekvencie s hodnotami 50 - 200 kHz. Ich použitie možno rozdeliť pre kategórie hĺbok nasledovne:

- Skúmaná hĺbka nižšia než 100 m – frekvencia vyššia než 200 kHz
- Skúmaná hĺbka nižšia než 1500 m – frekvencia od 50 do 200 kHz
- Skúmaná hĺbka väčšia než 1500 m – frekvencia od 12 do 50 kHz

Sonary, ktoré sa využívajú na skúmanie sedimentov využívajú frekvenciu 8 kHz.

Pri šírke pásma lúča by sa mal optimalizovať vysielač výkon. Prijímač by mal vysielať blízko rezonančnej frekvencie (frekvencia maximálneho prenosu) a preto by mala byť malá šírka pásma. Malá šírka pásma zabezpečuje vysokú hodnotu kvality a detailnejších informácií.



Obrázok 8: Šírka pásma prijímača [6]

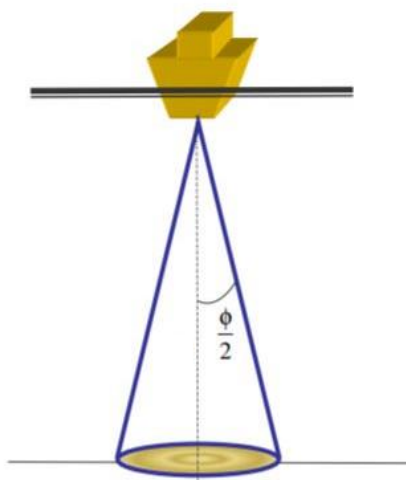
Na obrázku č.8 je znázornená šírka pásma prijímača, kde f_r je rezonančná frekvencia, f_1 a f_2 je frekvencia zodpovedajúca jednej polovici výkonu. Šírka pásma je frekvenčný interval spadajúci medzi frekvencie f_2 a f_1 .

Prijímač môže byť charakterizovaný šírkou lúča, ktorý býva zvyčajne definovaný uhlom v úrovni -3 dB. Táto úroveň vymedzuje uhlovú clonu. Nasmerovaním prijímača v ľubovoľnom smere sa vymedzuje pomyselný kužeľ, ktorý je definovaný šírkou lúča. V tomto kuželi prebieha meranie hĺbky. Šírka lúča je závislá na fyzických rozmeroch prijímača a na frekvenciách akustických impulzov [6].

5.3.4.1 Rozdelenie echolotov – SBES a MBES

Podľa lúčov sa echoloty rozdeľujú na jedno alebo viaclúčové zariadenia. Jednolúčové zariadenia poznáme pod zaužívaným názvom single beam echo sounder (SBES). Viaclúčové zariadenia sú označované ako multi beam echo sounder (MBES).

SBES pracujú na základe merania časového intervalu vyslaného sónického alebo ultrazvukového impulzu a jeho návratu formou ozveny z morského dna.



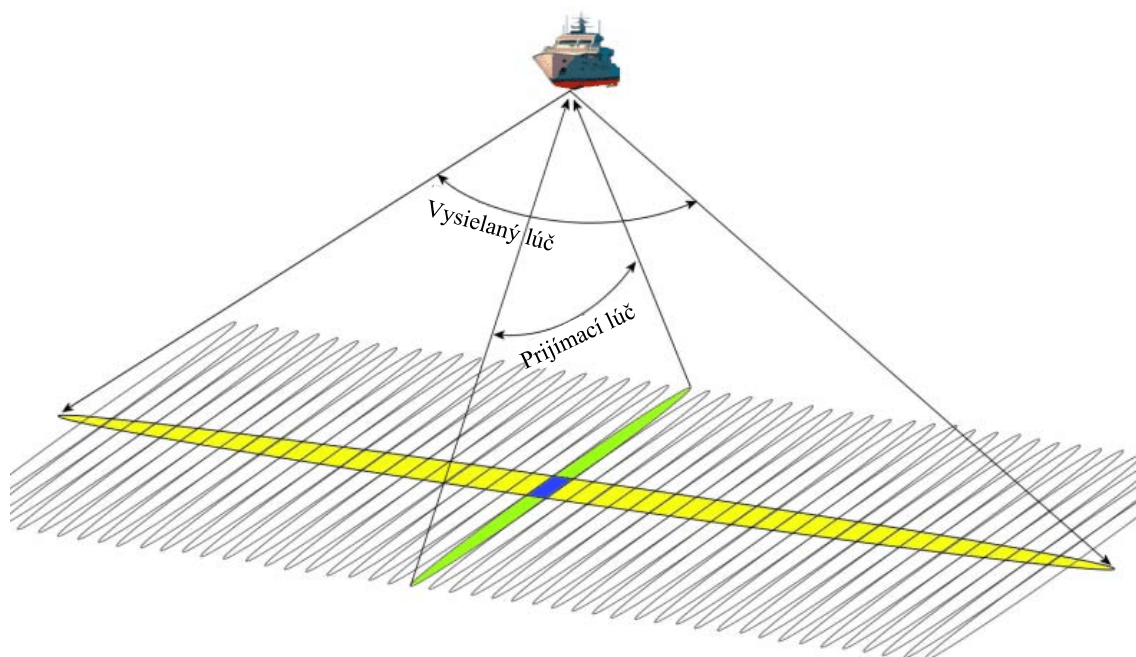
Obrázok 9: Priemet lúča Φ (SBES) [6]

SBES vyžadujú na vyslanie a prijatie lúčov iba jeden prijímač, resp. jedno pole. Poznanie uhlov otáčania okolo priečnej a pozdĺžnej osi plavidla je potrebné k stabilizácii lúča. K rôznemu záujmu skúmania využitím SBES sa využívajú rôzne šírky lúčov. Široké lúče sa používajú na rozpoznanie nebezpečenstva pri plavbe. Takéto lúče zvyčajne nie sú stabilizované, pretože pri bežných podmienkach nemá nastavenie prijímača vplyv na meranie. Úzke lúče, ktoré bývajú široké 2° až 5° , sa využívajú pri mapovaní s vysokým rozlíšením. Úzke lúče bývajú stabilizované, čo umožňuje meranie hĺbky vo vertikálnom smere pod prijímačom. Lúč SBES vytvára na morskom dne kruhový tvar, pri MBES má tento tvar charakter elipsy.

MBES používajú oddelené polia prijímačov, ktoré vysielajú a prijímajú signály. Využíva sa jeden projektor a jeden hydrofón². Projektor je orientovaný pozdĺžne na

² Hydrofón je mikrofón, ktorým možno počúvať alebo nahrávať zvuky pod vodou.

najprednejší bod trupu plavidla zatiaľ čo hydrofón je orientovaný priečne. Vysielané lúče majú tvar vejára.



Obrázok 10: Priemet priečných a pozdĺžnych lúčov MBES, ich prekryt [31]

Pozdĺž trate sa vysielajú široké pásy, zatiaľ čo v priečnom smere úzke. Pre správne meranie hĺbky je nevyhnutné redukovať bočné laloky. Takéto meranie je bežné pre uhol v úrovni -20 dB. Využitím MBES sa z prieskumu vytráca problematika vrhania tieňov, ktorá vzniká pri SBES kvôli jednosmernému vysielaniu lúčov.

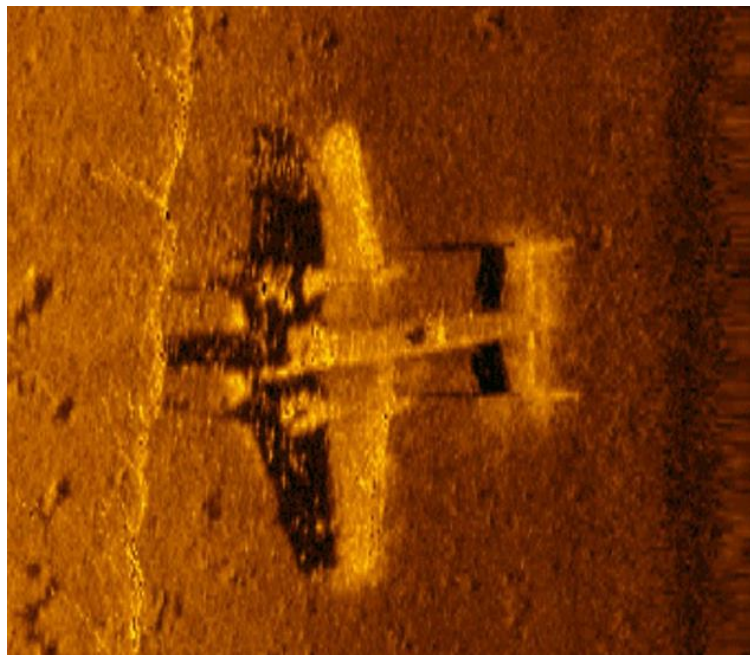
Pokrytie dna závisí od rozmeru ozvučených oblastí, od rozostupu lúčov po priamke, rýchlosti pingu, rýchlosti lode, vybočenia, stúpania či náklonu. Pre dosiahnutie úplného prekryvu sa oblasti po sebe idúcich pingov musia navzájom prekrývať. To znamená, že každý jeden bod na dne musí byť ozvučený minimálne jedným akustickým impulzom.

MBES okrem snímačov pohybu využívajú aj profiler k meraniu rýchlosti zvuku cez vodný stĺpec. Využíva aj sondu rýchlosti zvuku, ktorá sa používa k meraniu rýchlosti zvuku na čele prijímača, prípadne senzor na optimálne dodržiavanie kurzu.



Side scan sonar je využívaný najmä pri prácach ako [6]:

- detekcia vrakov a prekážok,
- detekcia ďalších prvkov, ktoré by mohli byť hrozbou pre ponorky ako sú míny,
- zhromažďovanie údajov o klasifikácii sedimentov dna,
- identifikácia pohyblivých oblastí morského dna, prítomnosť pieskových oblastí.



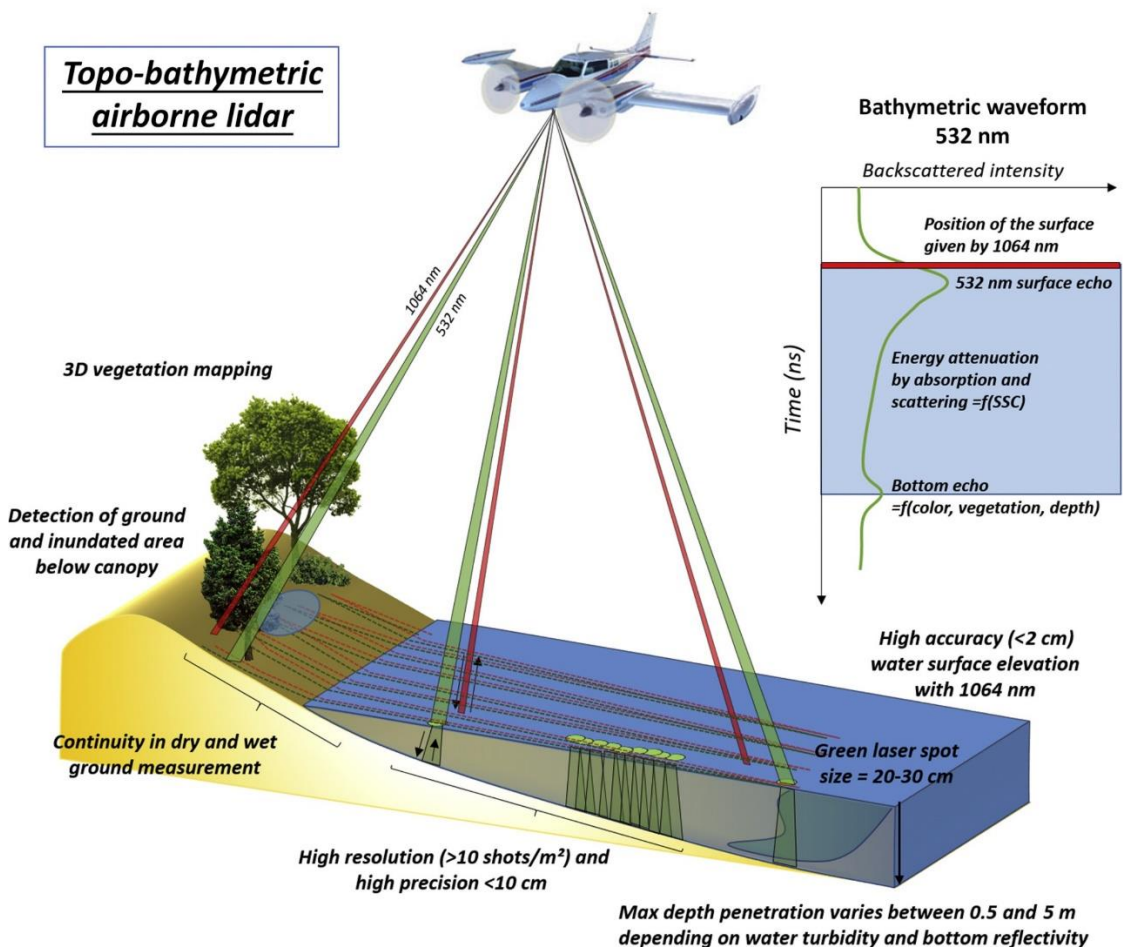
Obrázok 11: Výsledok detekcie pomocou side scan sonaru. Lietadlo WWII B-25 objavené v 2017 v Papua New Guinea [32]



Obrázok 12: Výsledok zobrazujúci zvyšok konštrukcie potopenej plachetnice z 1854 v jazere Huron. Obrázok pochádza od Michigan Technological University Great Lakes Research Center [32]

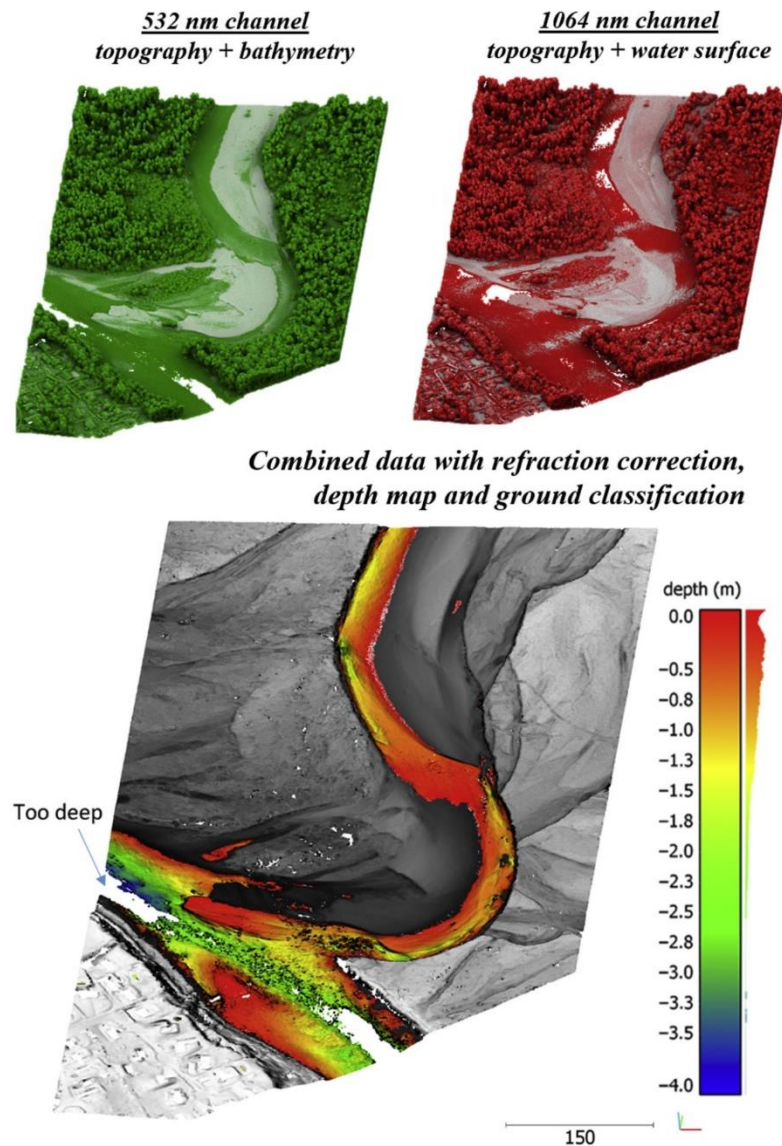
5.4 Metóda LiDAR

V posledných rokoch sú veľmi rozšírené letecké laserové systémy (ALS) so špeciálnym batymetrickým skenerom. Tieto systémy nie sú založené na akustických prvkoch ale využívajú laserové impulzy³. Nazývajú sa Light detection and ranging, teda LiDAR. Používajú sa prevažne pri menších hĺbkach a v oblastiach s čistejšou vodou.



Obrázok 13: Schéma prieskumu okolia pobrežia, vrátane vodnej hladiny a dna. Prebraté z publikácie [33]

³ Pozn. laser je skratka pre zesilnenie svetla stimulovanou emisiou žiarenia. Pozostáva z vyžarujúcej diódy, ktorá produkuje svetelný zdroj so špecifickou frekvenciou [6].



Obrázok 14: Filtrované dáta LiDAR. Prebraté z publikácie [33]

Laserový systém je zložený z laserového skenovacieho systému, GNSS aparatury a IMU pre geolokalizáciu merania. LiDAR vysiela laserové impulzy v dvoch frekvenciách – modrozelených a infračervených vid' obr. 14. Prístroj zaznamenáva oba prichádzajúce signály zo svetelného impulzu. Impulz sa najskôr odrazí od hladiny a následne od dna. Rozdiel času medzi odrazom od dvoch rozhraní sa prevedie na údaj vzdialenosti, teda hĺbky. Infračervený lúč sa odráža od hladiny, zatiaľ čo modrozelený prechádza pod vodu a odráža sa od dna hladiny. ALS je oproti vodným sonarom výhodnejší v bezpečnosti posádky, resp. obsluhy. Jeho dosah je silno závislý na čistote vody. Zvyčajne býva dosah okolo 40 metrov.

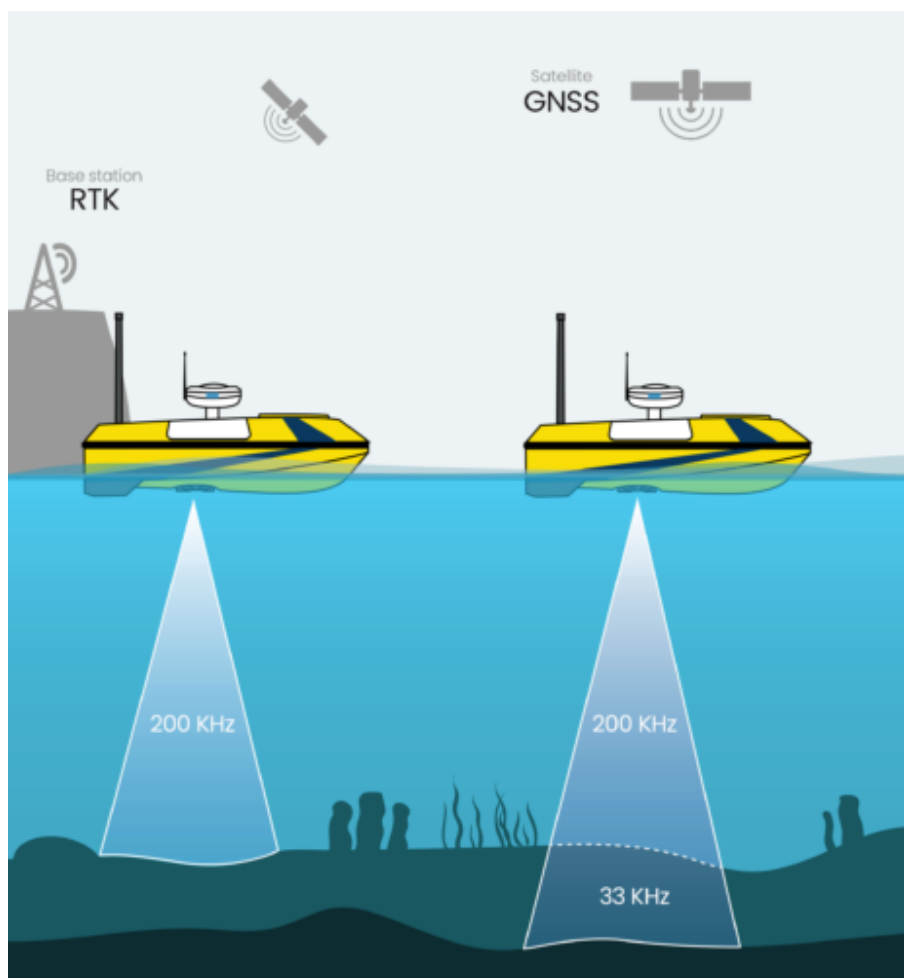


5.5 Satelitná altimetria

V neposlednej rade je využívaná aj satelitná altimetria. Je to metóda, ktorá získava hĺbkové pomery z leteckej fotogrametrie. Jej veľký význam spočíva v rozsahu a rýchlosti zberu údajov skúmaného územia. Digitálne obrazové procesory sú schopné korelovať intenzitu svetla a hĺbky [4].

6 Využitie metódy sonaru s GNSS aparatórou

Podobná tematika využitia metódy merania v diplomovej práci je uvedená v zdroji [55]. Využíva sa metóda batymetrického prieskumu spojená s použitím nízko nákladového jednolúčového sonaru s dvojfrekvenčným diferenciálnym GNSS. Spojenie týchto technológií predstavuje optimálny prekryt využitia merania sonaru a GNSS. Vďaka poznaniu aktuálnej hĺbky a polohy nie je potrebné využívať korekcie pre príliv a odliv, ktoré by mohli spôsobovať prípadné neistoty v meraní. Pri kludnej hladine nemajú sklon, naklonenie či vybočenie vodného prostriedku výrazný vplyv na hĺbkové meranie. Za podmienok, kedy hladina nebýva príliš pokojná, prípadne pri väčších hĺbkach, je vhodné použiť inerciálnu meraciu jednotku (IMU). Tú možno spojiť s GNSS, ktorá sleduje pohyb plavidla a zodpovedá za úpravu hĺbky v danom mieste.



Obrázok 15: Schéma využitia sonaru a GNSS [34]



Rovnako ako pri pozemnom meraní, tak aj pri meraní na vodnej hladine je cieľom mať aktuálne a presné informácie o polohe. Možnosť na presné vodorovné a zvislé umiestnenie zvukovej sondy v tzv. RTK režime nám zabezpečuje pripojenie aparatury ku multifrekvenčným diferenciálnym globálnym navigačným satelitným systémom. V dnešnej dobe sa najčastejšie využívajú systémy GPS, GLONASS, GALILEO alebo BeiDou s údajmi opravy vektorov meraní polohy dodávaných z pozemných referenčných staníc. Prácou s technológiami GNSS RTK dosahuje zameranie polohy omnoho vyššiu presnosť (rádovo v centimetroch) a nie je nutná príprava a realizácia výpočtov skúmania prílivu a odlivu. Ak by technológia GNSS nebola zahrnutá do realizácie merania, presnosť by určite klesala rádovo na metre. Pri riekach či menších nádrží je nízka presnosť nedostačujúca [6].

Metóda sonaru s využitím GNSS je relatívne lacná a dostupná metóda, ktorú možno využiť pri prieskumoch riek či v okolí ústia rieky. V konečnom pohľade je však takýto prieskum pomerne finančne náročný pri zaobstaraní vybavenia pre samotný pohyb na vode, zložitejších logistických povolení či odbornosti pri vykonávaní práce voči prieskumu na súši [29].

7 Doplnková dokumentácia Juditinho mosta

Diplomová práca bola rozšírená o získanie informácií pozostatkov Juditinho mosta na ľavom aj pravom brehu Vltavy. Na ľavom brehu, teda na malostranskej strane, bol zachytený reliéf kľačiaceho muža na múre Juditinej veže. V dnešnej dobe je táto veža súčasťou Karlovho mosta. Na pravom brehu, na staromestskej strane, bol zachytený priebeh posledného existujúceho oblúka Juditinho mosta pod budovou kláštora Križovníkov s červenou hviezdou.

7.1 Malostranská strana – reliéf kľačiaceho muža

Postavu kľačiaceho muža pred mužom sediacim v kresle znázorňuje reliéf zabudovaný v stene nižšej veže Karlovho mosta na ľavom brehu rieky, pôvodnej Juditinej veže. Dielo je umiestnené v malej miestnosti budovy s číslom 56/1. Bežne je pre turistov neprístupné. Pre jeho ochranu je pred ním umiestnená sklenená stena.



Obrázok 16: Veža Juditinho mosta na malostranskej strane. Vpravo dole je vstup k reliéfu [autor]

7.1.1 Dokumentácia reliéfu

Táto viditeľná stopa historickej stavby bola zdokumentovaná metódou laserového skenovania a blízkej automatickej fotogrametrie (IBMR). V roku 2012 bola laboratóriom fotogrametrie Katedry mapovania a kartografie (v súčasnosti Katedry geomatiky), vyhotovená séria 6 snímkov a 4 skenov zachytávajúca kľačiaceho muža a zvyšok postavy sediacej v kresle vid' obr. č. 17.



Obrázok 17: Pohľad na reliéf kľačiaceho muža [laboratórium fotogrametrie]

Po opätovnom dnešnom preskúmaní vytvoreného 3D modelu z dát z roku 2012 boli zistené nedokonalosti. Jednalo sa o medzery v určitých ťažšie prístupných častiach reliéfu. Nedokonalé boli najmä časti, v ktorých sa spájala stena a telá samotných postáv. Z tohto dôvodu bolo uskutočnené nové snímkovanie, ktorým sa zabezpečili detailné snímky nedokonalých miest existujúceho modelu reliéfu.

Problémom pri snímkovaní bolo okno, cez ktoré prenikalo denné svetlo, a tiež novo inštalované krycie sklo pred reliéfom. Denné svetlo sa odrážalo od ochrannej sklenenej steny a spôsobovalo by neúplné zachytenie objektu na fotografií. Z toho dôvodu boli terénne práce zamerané najmä na chýbajúce detaily reliéfu, ku ktorým bol možný prístup na „dosah ruky“, cez bočnú medzeru sklenenej steny a reliéfu. Nevyhnutné bolo aj dodatočné osvetlenie, pretože denné svetlo vrhalo tieň.



7.1.2 Fotogrametrická metoda

Pri zbere dát sa jednalo o tzv. blízku fotogrametriu (close-range photogrammetry), ktorá je v poslednej dobe často využívaná pre automatickú tvorbu 3D modelov z fotografií (IBMR či SfM technológie). Vo všeobecnosti je výhoda využitia fotogrametrickej metódy najmä v súvislosti rýchleho a lacného zberu dát s vysokou presnosťou ich vyhodnotenia, rádovo centimetre až milimetre. Zber, rýchlosť a presnosť dát sa vo veľkej miere odvíja od veľkosti objektu, resp. vyhodnocovaného územia. V neposlednom rade je dôležitá kvalita zariadenia, akým vykonávame zber dát. Za nevýhodu tejto metódy je považovaná nutnosť vlícovacích bodov, ktoré dávajú objektu rozmer a teda mierku. Rozmer objektu je možné prisúdiť aj na základe merania omerných mier medzi vhodne zvolenými bodmi.

7.1.2.1 Použitá komora snímkovania

K snímkovaniu bol použitý profesionálny digitálny zrkadlový fotoaparát značky Canon EOS 5D Mark II s objektívom 40 mm. Fotoaparát využíva CMOS snímač s rozlíšením 21,1 Mpx.

7.1.2.2 Spracovanie 3D modelu reliéfu fotogrametrickou metódou

Ako softvérové riešenie spracovania bol zvolený program *Agisoft Metashape*. Jedná sa o komerčný program vhodný pre spracovanie pozemnej, leteckej aj podvodnej fotogrametrie. Pracuje na princípe obrazovej korelácie.

K spracovaniu celkového modelu reliéfu zo snímkov boli z dôvodu problematických podmienok snímkovania využité aj fotografie získané z roku 2012. Do programu celkovo vstupovalo 138 snímkov, pričom 6 snímkov bolo z archívu a 132 snímkov bolo použitých z výsledkov terénnych prác v rámci diplomovej práce. Program *Metashape* nedokázal správne využiť 15 snímkov, ktoré automaticky vylúčil z procesu tvorby modelu.



Obrázok 18: Metashape – 3D model reliéfu s náhľadom na polohu obstarania snímok [autor]

Zo 138 snímok bolo výpočtom programu orientovaných 123 z nich. Po procese orientácie fotografií bolo vytvorené riedke mračno bodov, na ktoré nadväzoval výpočet hustého mračna bodov. Textúrovaný 3D model bol generovaný z hustého mračna. Pre proces tvorby boli kľúčové nasledujúce parametre výpočtu:

- Quality : High
- Filtering mode : Aggressive



Obrázok 19: Reliéf – riedke (vľavo) a husté mračno bodov (vpravo) [autor]

Spracovaním v programe bol dosiahnutý výsledok 3D modelu reliéfu formou riedkeho a hustého mračna bodov, pričom husté mračno obsahuje 57 778 176 bodov. Výsledný 3D model sa skladá z 1 283 957 prepojených trojuholníkov. Model je možné zobrazit' aj ako polygónovú sieť. Výsledný 3D model reliéfu bol z programu *Agisoft*



Metashape exportovaný ako 3D_model.OBJ a je súčasťou elektronických príloh. Výsledok je možné si zobrazíť vo vysokej kvalite v počítači napr. v aplikácii 3D zobrazovač.



Obrázok 20: Detailný záber na výsledný 3D model reliéfu [autor]

7.1.3 Metóda laserového skenovania

Veľkou výhodou laserového skenovania je oproti fotogrametrickým metódam pomerne jednoduché vymedzenie mierky jednotlivých modelov. Technologické riešenie skenera umožňuje skenovať objekty v reálnych veľkostiach. Pri importe skenov do spracovateľského softvéru určujeme výstup v požadovanom rozmere (m, dm, cm alebo mm). Nevýhodou býva zväčša dlhší časový interval obstarávania dát, ktorý závisí na jednotlivých skeneroch a nastaveniach presnosti merania či vyhotovenia panoramatických snímok.

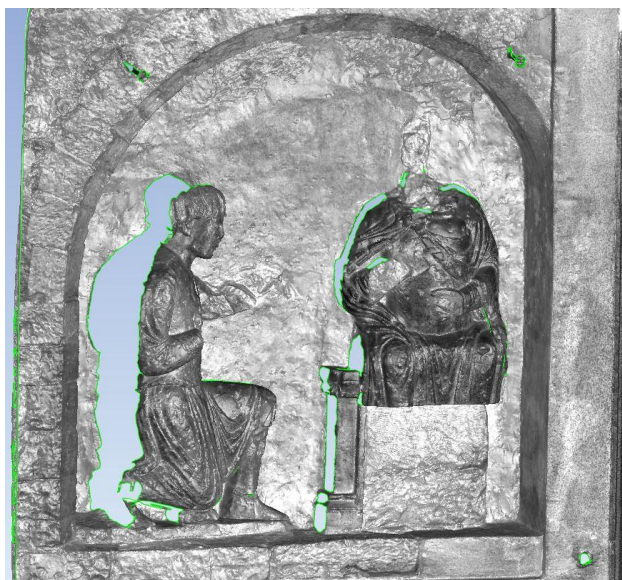
7.1.3.1 Laserový skener

V roku 2012 bol k získaniu dát metódou laserového skenovania použitý skener Surphaser. Jedná sa o jeden z najpresnejších laserových skenerov, ale toto zariadenie nemá kameru, ktorou by bolo možné získať mračno bodov s fotografickou textúrou. Z tohto dôvodu je mračno bodov len v čierno-bielej farbe a výsledný model teda nemá

reálne farby. Na druhú stranu je mračno bodov v metrickej sústave. Túto skutočnosť možno využiť pre dodanie mierky fotogrametrickému modelu.

7.1.3.2 Chýbajúce dáta a ich riešenie

Pri skenovaní z roku 2012 chýbali rovnako, ako pri fotogrametrickej metóde niektoré prepojenia modelu medzi stenou a postavami. Skeny boli vyhotovené zo zlého uhla, čím nebolo možné, aby lúče skeneru prešli cez niektoré časti objektu. Tento nedostatok bol doplnený spomínaným fotografovaním detailov niektorých chýbajúcich častí.



Obrázok 21: Geomagic Wrap 2017 – Model reliéfu naskenovaný v roku 2012 skenerom Surphaser [autor]

7.1.4 Program Reality Capture

Program *Reality Capture* umožňuje tvorbu modelu zo vstupných dát laserového skenovania aj snímok z fotogrametrickej metódy.

Z laserového skenovania z roku 2012 bol spracovaný model ako husté mračno bez textúry. Fotogrametrickou metódou bol vytvorený model zo snímok reliéfu. Opäť boli využité snímky z roku 2012 a aj zo súčasného terénneho merania, obdobne ako pri tvorbe modelu v programe *Agisoft Metashape*. Fotogrametrickou metódou bola dotvorená textúra modelu vrátane farieb.

Program *Reality Capture* umožnil spojiť výsledky metód laserového skenovania a fotogrametrie dohromady, v jeden model. Skenovanie zabezpečilo správny rozmer reliéfu a fotogrametria zabezpečila textúru. Uplatnenie oboch metód je veľmi výhodné práve pri prácach, ktorých výsledkom má byť model s vysokou presnosťou detailov v skutočných farbách. Výhodou spojenia metód zvyčajne býva doplnenie chýbajúcej časti modelu jednou alebo druhou metódou, napríklad pri vrhaní tieňov. Program pracuje na princípe, kedy jednému pixelu (z fotogrametrického modelu) priradí hodnotu mierky odvodenú z laserového skenovania.



Obrázok 22: *Reality Capture* – model vytvorený kombináciou metód laserového skenovania a fotogrametrie [autor]

Výsledný 3D model z programu *Reality Capture* je zložený z modelu hustého mračna bodov z laserového skenovania a z modelu vzniknutého fotogrametrickou metódou.

Spracovaný model reliéfu bolo potrebné upraviť tak, aby boli všetky dutiny modelu zacelené. Po zacelení je model pripravený k tlači modelu na 3D tlačiarňi.



Obrázok 23: Reality Capture – zacelený model pripravený k 3D tlači [autor]

7.1.4.1 Kombinácia metódy laserového skenovania a fotogrametrie

Kombinácia metódy laserového skenovania a fotogrametrie sa využíva aj pri líniových objektoch. Ak by sa vychádzalo primárne len z fotogrametrie, na líniovom objekte by museli byť umiestnené vlícovacie body, na ktoré by bol fotogrametrický model orientovaný. Ak by neboli využité vlícovacie body, model by bol s najväčšou pravdepodobnosťou zdeformovaný. Kombináciou metód sa predchádza deformáciám objektov líniového charakteru. Okrem líniového objektu sa podobnému problému predchádza aj pri objektoch ako je napríklad stĺp, ktorý by mohol byť skrútený, ak by bol spracovaný výlučne fotogrametrickou metódou, bez vlícovacích bodov.

Laserové skenovanie eliminuje chyby pri spracovaní spôsobujúce deformáciu či skrútenie. Mračno bodov vytvorí konštrukciu, na ktorú sa fotogrametrický model dopočítava a dotvára detaily modelovaného objektu.



Obrázok 24: Agisoft Metashape – Výsledný 3D model reliéfu s textúrou [autor]



Obrázok 25: Reality Capture – Výsledný 3D model reliéfu s textúrou [autor]



Obrázky č. 24 a 25 poukazujú na výsledky spracovania technológiou procesu tvorby modelov v programe *Agisoft Metashape* (využívajúc výlučne metódu fotogrametrie) a v programe *Reality Capture* (spojenie metódy laserového skenovania a fotogrametrie). 3D model z *Reality Capture* ma presnejšie detaily, jasnejšiu textúru a ponúka možnosť zacelenia nežiadúcich medzier v objekte. Výhodou je, že vďaka laserovému skenovaniu má skutočné rozmery a je vysoko presný.

7.2 Staromestská strana – oblúk pod budovou kláštora Křižovníkov s červenou hviezdou

Okrem nástenného reliéfu bol zdokumentovaný jediný zachovaný oblúk, popod ktorý dodnes tečie tok Vltavy. Nad oblúkom bola v minulosti vybudovaná veža, ktorá je v dnešnej dobe súčasťou stavby kláštora Křižovníkov s červenou hviezdou. Konkrétnejšie sa táto stavba nachádza na rohu rozhrania Vltavy a Křižovnického námestia.



Obrázok 26: : Skenovanie bočnej steny oblúka Juditinho mosta. Vstup z „anglického dvora“ [autor]



Vstup k oblúku je možný cez tzv. anglický dvor, ktorý je v úrovni približne o 2 až 3 m nižšie oproti námestiu. Na tomto dvore sa zachovalo niekoľko kusov kamennej dlažby z pôvodného mosta. Niektoré kusy dlažby na sebe nesú vyjazdené stopy od koľajníc po vozoch, ktoré tadiaľ kedysi jazdili. Podobné časti dlažby sa nachádzajú na rohu Kostola sv. Františka z Assisi (viď obr. č. 27) a aj na malostranskej strane v hoteli Rezidencia Lundborg.

V neposlednom rade je z historického hľadiska dôležitý reliéf „Bradáča“ na priečelí steny Križovníckeho námestia, hneď vedľa Staromestskej mosteckej veže, smerom od rieky. Pôvodne bol premiestnený z prvého oblúka Juditinho mosta. Slúžil ako varovný signál pred možnými povodňami. Keď Vltava dosiahla hladinu dotýkajúc sa jeho brady, bol najvyšší čas evakuácie pred prichádzajúcou povodňou.



Obrázok 27: Vľavo "bradáč" [laboratórium fotogrametrie] a vpravo dochovaná dlažba [autor]

7.2.1 Použitá metóda zberu dát k oblúku Juditinho mosta

Dokumentácia zameraná na posledný existujúci oblúk Juditinho mosta bola vyhotovená z dát laserového skenovania.

Jedná sa o bezkontaktnú metódu získavania 3D dát o objektoch. Laserový skener sa vo všeobecnosti skladá z laserového diaľkometru a skenovacieho mechanizmu. V diaľkometri je zabudovaný pulzný laser, ktorý emituje veľmi krátke záblesky infračerveného svetla. Lúč vysielaný z diaľkometru sa odrazí od povrchu objektu a vráti sa naspäť. Senzor zaznamenáva dobu letu pulzu, ktorý je prepočítavaný na vzdialenosť od samotného objektu. Prípadne možno využiť k presnejšiemu výpočtu vzdialenosti aj fázového rozdielu vyslané aj prijaté vlny. V teréne sa najmä pri skenovaní v okolí

vegetácie častokrát stáva, že pri meraní vznikajú niekoľkonásobné odrazy. Vtedy je dôležitý prvý a posledný odraz. Skenovací mechanizmus určuje smer vysielaného lúča vo vertikálnom smere. K rozmetaniu lúčov do okolia je používaný rotujúci hranol, niekedy aj s niekoľkými odraznými plochami. Druhý smer rozmetania lúčov je zaistený otáčaním skeneru v smere okolo zvislej osi, resp. v horizontálnej rovine [35].

7.2.2 Použitý prístroj pri skenovaní Juditiho oblúka

Ku skenovaniu záujmového objektu bol využitý malý, ľahko prenosný skener *BLK360* od firmy *Leica*. Prehliadnuť si obstarané dáta, či zmeniť parametre skenovania je však možné až po pripojení zariadenia k podporovanému programu na počítači.



Obrázok 28: Skener Leica BLK 360 [laboratórium fotogrametrie]

7.2.3 Práce v teréne

Celkovo bolo zrealizovaných 9 stanovísk, z ktorých bolo uskutočnené skenovanie. Stanoviská boli rozmiestnené pozdĺž oblúka tak, aby zachytili jestvujúce bočné steny bývalého mosta a aj samotnú klenbu. Nevýhodou prostredia bolo prístavisko výletných lodiek, ktoré kotvili priamo pod oblúkom. Rozmiestnenie stanovísk bolo preto prispôsobené tejto skutočnosti. Aj samotná voda znemožnila prístup laserového lúča k prvkom pod vodnou hladinou.

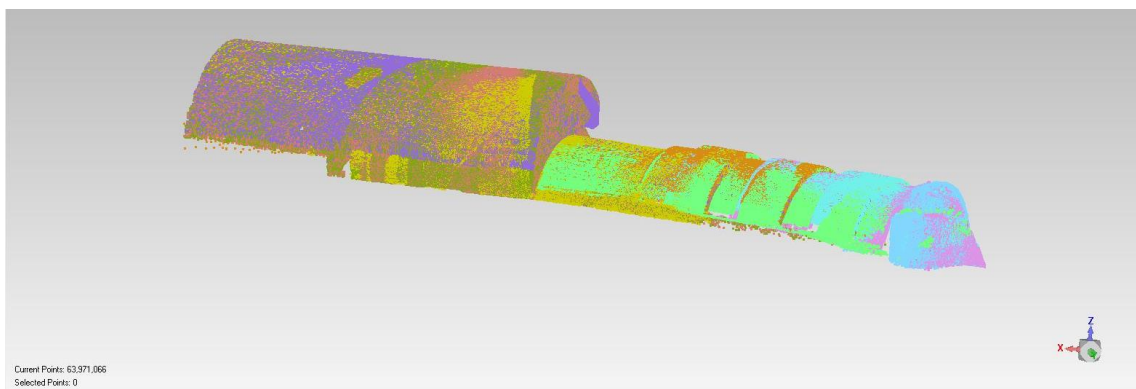


Obrázok 29: Ukážka skenovania oblúka Juditinho mosta skenerom BLK360 [autor]

Skener najskôr vytvoril panoramatický snímok a následne sa automaticky spustilo skenovanie bodového mračna. Nastavené parametre presnosti mali hodnotu *medium resolution* a skenovanie na jednom stanovisku zabralo približne 3 minúty. Pri skenovaní neboli použité žiadne umelé signalizačné terče. K spracovaniu sa využila prirodzená signalizácia.

7.2.4 Použitý softvér k spracovaniu dát

K spracovaniu modelu zachovaného oblúka Juditinho mosta bolo použitých všetkých 9 skenov. Najskôr boli namerané skeny exportované do programu *Cyclone REGISTER360* a ďalej boli použité v programe *Geomagic Wrap 2017*, kde boli dáta upravené na požadované výstupy vo forme očisteného bodového mračna, celistvého 3D modelu a výstupy k spracovaniu rezov daným objektom.



Obrázok 30: Výstup spracovaných skenov spracovávaných v programe *Geomagic Wrap 2017* [autor]



Na obrázku č. 30 je znázornený spracovávaný model oboch oblúkov, ktorý pozostáva z 9 jednotlivých skenov. Každý sken je pre lepšiu vizualizáciu uvedený v odlišnej farbe. Skeny z programu *REGISTER360* mali formu *.TXT. Textové súbory boli nahrané do programu *Geomagic Wrap 2017*, kde vytvorili model, ktorý sa následne upravoval.

7.2.4.1 Cyclone REGISTER360

V školskom prostredí je dostupný softvér *Cyclone REGISTER360*, ktorý je kompatibilný so skenerom *BLK360*. Jednotlivé skeny sa exportovali do počítača pomocou Wifi prepojenia skenera a počítača. Skener umožňuje exportovať skeny s príponou *.BLK.

V programe *Cyclone REGISTER360* bol založený nový projekt, v ktorom sa spracovávali namerané dáta. Následne sa jednotlivé skeny jednoducho naimportovali do programu, v ktorom prebehla automatická registrácia skenov. Po úspešnom importe umožňuje program prehliadnúť dáta, vrátane panoramatických snímok. Zvyčajné zobrazenie dát býva ako 2D pohľad s umiestnením a prepojením stanovísk alebo sa môžu dáta pozorovať z 3D pohľadu spojeného mračna.

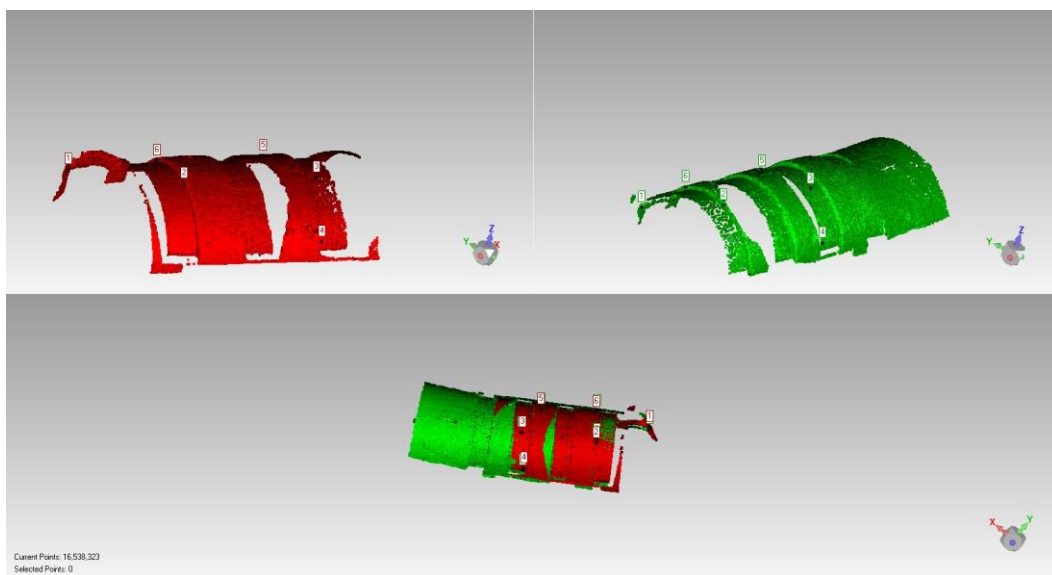
7.2.4.2 Geomagic Wrap 2017

Pri skenovaní často dochádza k naskenovaniu dát, ktoré sa netýkajú pozorovaného objektu. Takéto dáta je potrebné spravidla odfiltrovať, resp. odstrániť. Tzv. očistenie modelu bolo realizované v programe *Geomagic Wrap 2017*. Nadbytočné časti mračna bodov boli ručne odstránené, čím vznikol model, ktorý kopíroval výlučne zachovaný oblúk Juditinho mosta a nadväzujúcu časť oblúka Karlovho mosta.



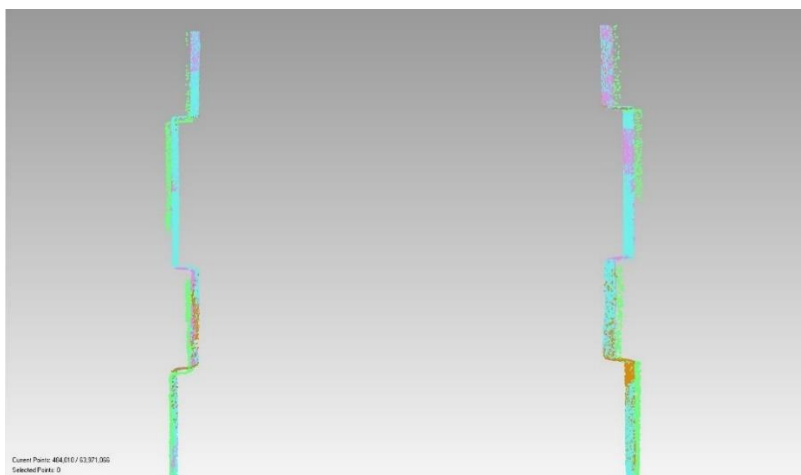
Obrázok 31: Odfiltrovanie nežiadúcich bodov. Vľavo Juditin oblúk po odfiltrovaní, vpravo (červenou) odfiltrované zhluky naskenovaných bodov [autor]

Postupne bolo skontrolovaných všetkých 9 skenov. Kontrolovalo sa očistenie skenu od nepotrebných zhlukov bodov mračna, prípadný šum či vzájomná väzba jednotlivých skenov. Šum nastával prevažne na spodnej časti oblúka. Spôsobený bol odrazom lúčov rozptýlených od vodnej hladiny. Redukovaný bol automatickou funkciou na odstránenie šumu. Slabá nadväznosť na jednotlivé skeny bola vylepšená manuálnou a globálnou registráciou.



Obrázok 32: Proces manuálnej registrácie v programe Geomagic Wrap 2017 [autor]

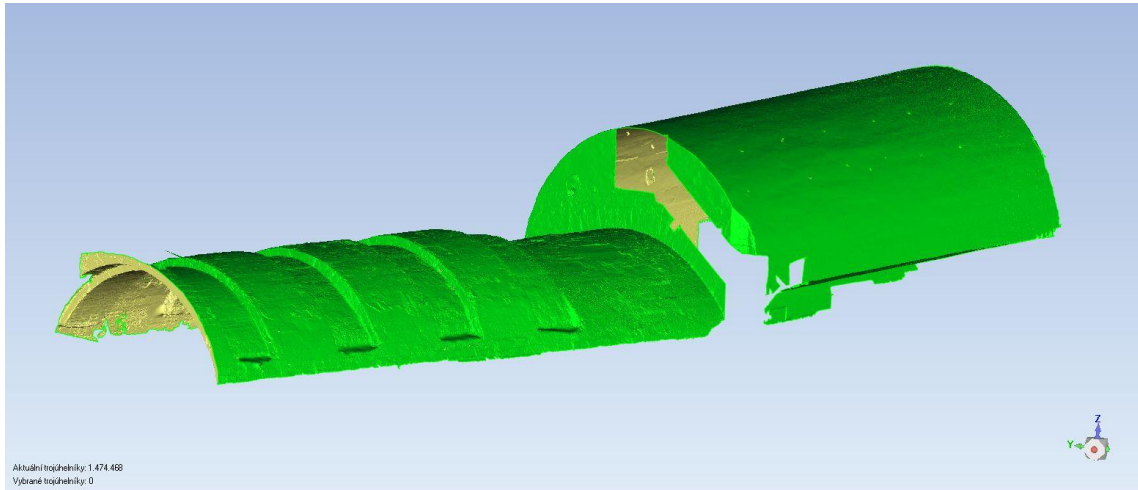
Pri spracovaní bola zistená chyba skenu č.1, ktorý sa javil ako deformovaný. Konce oblúka boli oproti ostatným skenom príliš rozšírené, vid' obr. č. 33. Pri manuálnej ani automatickej registrácií sa nepodarilo tieto nedostatky odstrániť a tak bol sken č.1 vylúčený z celkového modelu.



Obrázok 33: Zelené mračno tvoria súčasť skenu č.1, ktorý je v nesúlade s celkovým mračnom [autor]

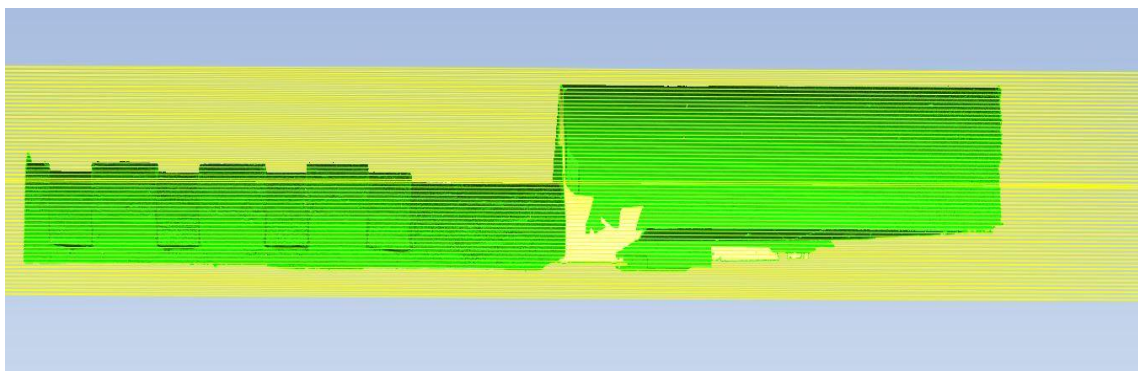


Upravený model bol nakoniec zredukovaný na menší počet bodov z pôvodných cca 54 miliónov na konečných cca 12 miliónov bodov. Po zredukovaní bodov bol funkciou *WRAP* prevedený na polygónový model. Ten obsahoval ~ 1,5 mil trojuholníkov.

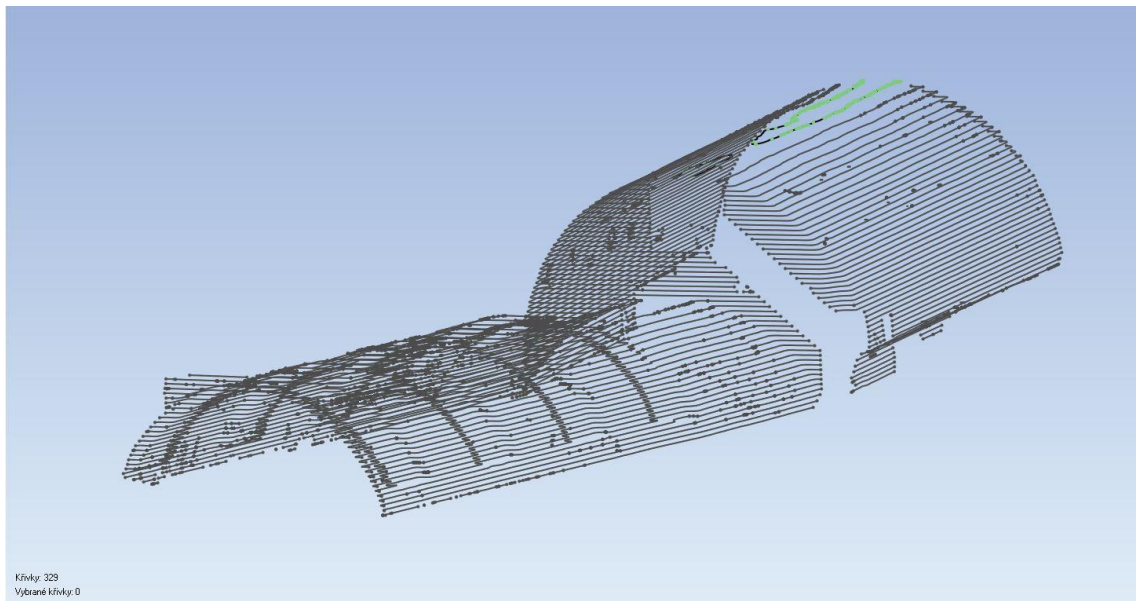


Obrázok 34: 3D model pokrytý sieťou spojených trojuholníkov [autor]

Posledným krokom bol prevod polygónového modelu na vrstevnicový model. Z polygónového modelu boli vytvorené krivky pomocou rezov, pričom rozstup rezov činil 15 cm. Na výsledný vrstevnicový model poukazuje obrázok č. 36.



Obrázok 35: Tvorba kriviek prechádzajúc modelom v rozostupe 15 cm [autor]



Obrázok 36: Výsledný vrstevnicový model [autor]

V elektronickej verzii je priložený konečný súbor oblúka Juditinho mosta spolu s časťou oblúka Karlovho mostu na staromestskej strane. Výsledný súbor modelov bol exportovaný z programu *Geomagic Wrap 2017* s príponou *.WRP s názvom Juditin_obluk.

7.2.4.3 Tvorba rezov z mračna bodov

Očistené mračno bodov bolo použité k tvorbe výstupov vo forme úzkych profilov k tvorbe rezov. Modelom prechádzal jeden pozdĺžny a 4 priečne rezy. Pozdĺžny a priečne rezy boli vyhotovené pre oblúk Juditinho aj Karlovho mosta, čím sa umožnilo porovnanie rozpätia a vzopätia oboch oblúkov. Keďže Juditin oblúk je pomerne členitý, pre prehľadnosť bol vyhotovený pozdĺžny rez prechádzajúc týmito časťami. Členitosť bola spôsobená zásahom do konštrukcie pre celkové spevnenie klenby, ktorá nesie záťaž budovy.



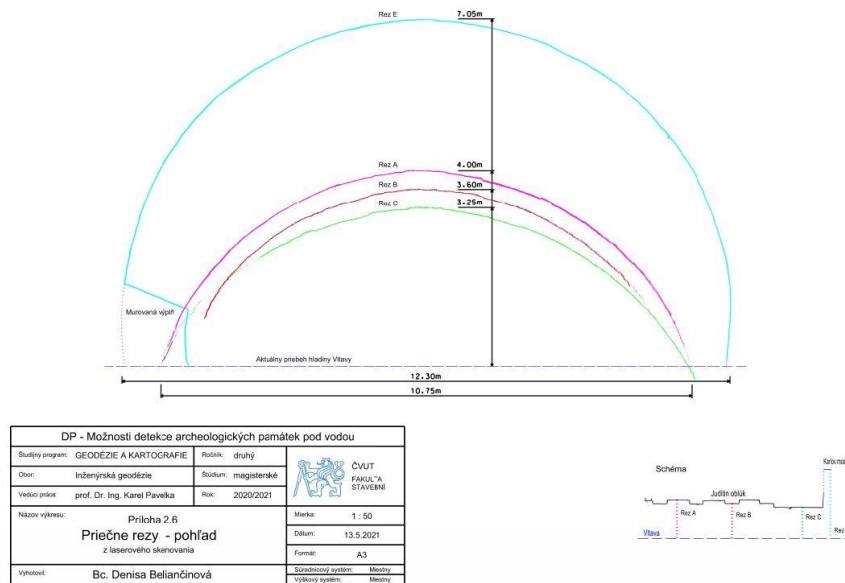
Obrázok 37: Geomagic Wrap 2017 – úzke profily pre tvorbu rezov [autor]

Profily boli definované úzkymi rezmi cez mračno modelu. Selektovaním úzkych profilov boli vyhotovené kópie častí mračna, ktoré sa uložili vo formáte *.DXF.

7.2.4.4 MicroStation V8i

Program *MicroStation V8i* dokáže načítať bodový mrak v rôznych formátoch, avšak súbory úzkych profilov z *Geomagic Wrap 2017* vo formáte *.DXF museli byť upravené na formát *.LAS umožňujúci načítanie ako bodový mrak. Body mračna vo formáte *.DXF sa po importovaní do *Microstation V8i* správali ako samostatné body, nie ako celok. K nevyhnutnému upraveniu formátu bol použitý program *CloudCompare*, v ktorom boli predefinované súbory rezov do formátu *.LAS. Tento formát je podporovaný vo zvolenom spracovateľskom programe a program s ním pracuje ako s celistvým mračnom bodov.

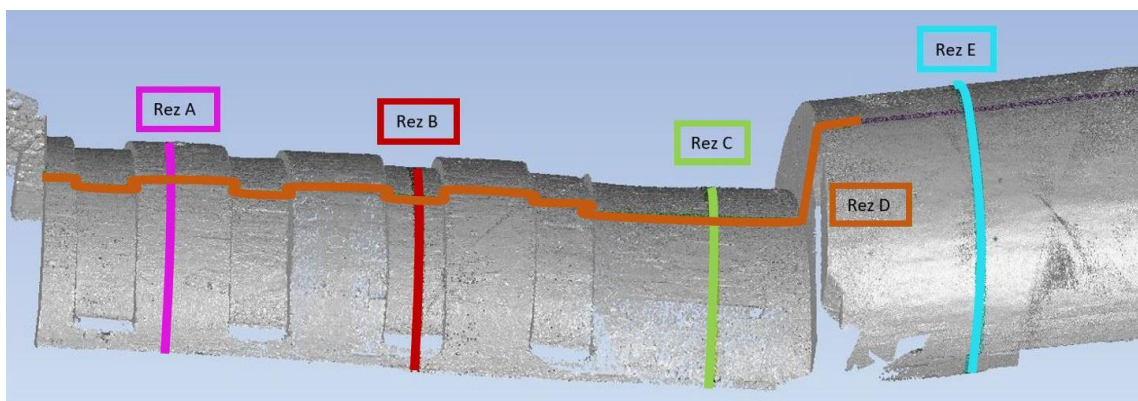
Po načítaní mračna bodov v programe *Microstation V8i* bolo pred samotným tvorením rezov nevyhnutné správne natočenie mračna do pohľadu tak, aby zachytávalo celý rez oblúkom. Následne bolo možné pridať potrebné informácie ako kóty, schému, kde daný rez prechádza objektom a popisovú tabuľku. Pri kótovaní vzopätia vznikol problém, od ktorého miesta definovať výšku oblúka. Kótovanie bolo realizované od aktuálnej vodnej hladiny. Vzhľadom k tomu, že vodná hladina nie je pevný objekt, nenachádzala sa ani v bodovom mračne. Táto hodnota bola starostlivo odpozorovaná z naskenovanej časti prieniku lodiek a hladiny v prístave. Vodná hladina býva v týchto miestach regulovaná a prevažnú časť roka dosahuje rovnakú hodnotu. Z tohto dôvodu bola zvolená ako vhodná nulová plocha pre relatívne výšky.



Obrázok 38: Pohľad na priečne rezy Juditinho a Karlovho oblúka [autor]

Z jednotlivých profilov bolo zistené, že oblúk Juditinho mosta dosahuje vzopätie približne 3,25 až 4,00 m v závislosti na datovanej hladine toku z dňa 27.4.2021 a jednotlivých výstupkov klenby. Rozpätie pri datovanej hladine činilo 10,5 až 10,75 m. Profily oblúka sú uvedené v prílohách, ako Rezy A až C.

Oblúk Karlovho mosta je v porovnaní s Juditínym vyšší a širší, konkrétne z Rezu E je známe vzopätie 7,05 m a rozpätie 12,35 m (opäť vzhľadom na datovanú hladinu rieky). Pozdĺžny profil s názvom Rez D zobrazuje členitosť Juditinho oblúka. Výstupné profily boli vyhotovené v mierke 1 : 50. Tvoria súčasť diplomovej práce ako Príloha 2.



Obrázok 39: Prehľad rezov skrz model v programe Geomagic Wrap 2017 [autor]



Okrem rezov oblúka Juditinho mosta bola v programe *Microstation V8i* vypracovaná výkresová dokumentácia historickej situácie Karlovho, Juditinho a dreveného mosta cez Vltavu. Rovnako bol vyhotovený výkres, ktorému bol vložený *.PDF podklad – grafická časť z vyššie spomínanej poskytnutej dokumentácie od NPÚ [19].

Základná situácia máp bola prevzatá z katastrálnej mapy ČÚZK, ktorá bola upravená podľa potreby, napr. vyšrafovaním komplexu budov alebo pridaním popisu názvu ulíc, či významnejších miest. Výkresy boli vyhotovené v mierke 1 : 1 250 a doplnené legendou, popisovou tabuľkou, hektárovou sieťou a uvedením zdrojov prevzatých podkladov.

Všetky uvedené výkresy sú uvedené ako Príloha 3, v analógovej verzii.



8 Sonarový prieskum Juditinho mosta

Sonarový prieskum dna Vltavy bol zameraný na územie niekoľko desiatok metrov severne od Karlovho mosta. Približná trasa Juditinho mosta je daná pomyselným smerom medzi posledným jestvujúcim oblúkom Juditinho mosta na staromestskej strane a Juditinou vežou na malostranskej strane. Tieto objekty vytyčovali časť Vltavy, medzi ktorou sa plavidlo plavilo pri prieskume.



Obrázok 40: Územie prieskumu, severne od Karlovho mosta [autor]

8.1 Dostupné zariadenia z laboratória fotogrametrie

Na katedre Geomatiky (K155) je v laboratóriu fotogrametrie dostupné nové sonarové zariadenie Echologger EU400, ktoré je kompatibilné s GNSS aparatórou R2 s kontrolnou jednotkou TSC3 od spoločnosti Trimble vid' obr. č. 41.

Po mnohých pokusoch spojenia týchto dvoch zariadení sa však do dátumu odovzdania diplomovej práce nepodarilo sonarové zariadenie prepojiť s GNSS aparatórou, aj keď sa jednalo o nové zariadenie a spojenie bolo prevádzané autorizovanou firmou. Echologger EU400 fungoval len pri pripojení k počítaču. Bez

pripojenia k GNSS by bolo jeho použitie bezpredmetné. K získaniu dát bolo nutné zaistiť alternatívny prístroj, ktorý bol zapožičaný od SG-SANACE s.r.o.



Obrázok 41: Dostupné zariadenie Echologger EU400 pripojené k GNSS Trimble

Do budúcnosti bude cieľom laboratória fotogrametrie tento sonar spojiť a prípadne využiť ďalšie podvodné zariadenie, ktoré má laboratórium k dispozícii – podvodný dron *Gladius Mini 100 m*.

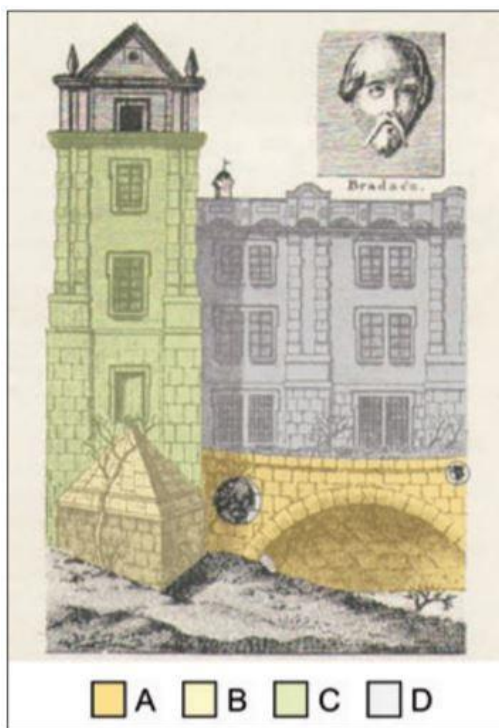


Obrázok 42: Podvodný dron Gladius Mini 100 m [36]

8.2 Dostupné informácie od Národného pamiatkového ústavu

Územné odborné pracovisko Národného pamiatkového ústavu sa problematike pozostatkov Juditinho mosta venuje už od 80. rokov 20. storočia, kedy začal svoje pozorovania dr. Z. Dragoun. Naposledy sa výskumu v roku 2019 osobne zúčastnil, ako pozorovateľ, riaditeľ tohto ústavu PhDr. J. Podliska, Ph.D. Spomínaný výskum z roku 2019 uskutočňovala spoločnosť Archaia z.ú., zastúpená jej riaditeľom PhDr. P. Juřinou, Ph.D. Udalosť sa týkala záchranného archeologického výskumu prebiehajúceho v rámci prehlbovania plavebnej dráhy vo Vltave. Výsledky, žiaľ, doteraz neboli publikované. V spolupráci s NPÚ a dr. B. Machovej sa uskutočnil začiatkom toho istého roku malý podvodný monitoring, ktorý bol však bez väčších výsledkov. Prieskum mal skôr testovací charakter možností podvodného prieskumu. Informácie boli poskytnuté od PhDr. J. Podlisku, Ph.D.

Snaha PhDr. J. Podlisku, Ph.D sa v minulom desaťročí zamerala na pozostatky Juditinho mosta na oboch brehoch Vltavy. Spolu s Ing. arch. M. Semerádom zhromaždili poznané informácie do správy s názvom *Nové poznatky o konstrukci Juditina mostu v Praze [37]*.

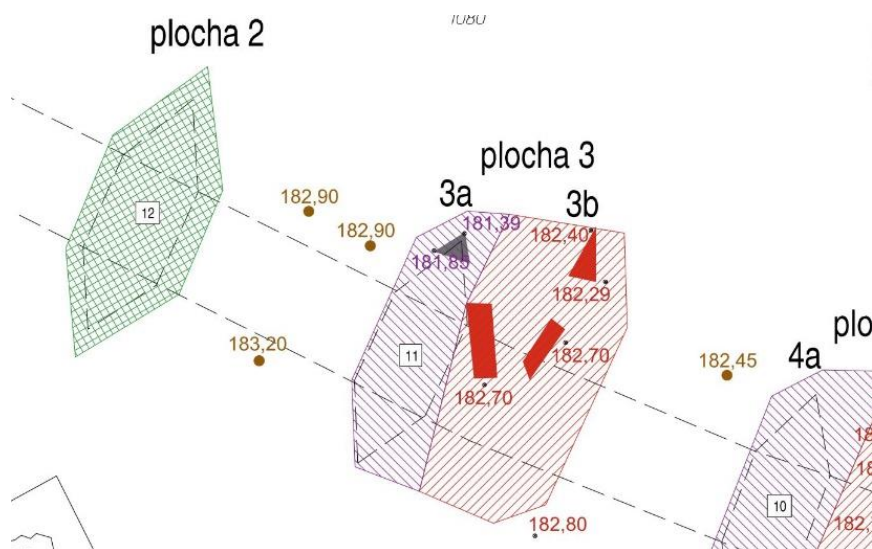


Obr. Praha 1-Staré Město, pohled na pozůstatky Juditina mostu zakomponovaného do objektu křižovnického generalátu. Vyobrazení od W. F. Welleby z roku 1827. **A** – oblouk Juditina mostu, **B** – návodní pilíř mostu, **C** – rizalit křižovnického generalátu, ve hmotě původně mostecká věž s branou, **D** – budova generalátu, původně středověkého špitálu. V kruhu pozice plastiky Bradáče a mostního chrliče (do podkladů WELLEBA 1827 vyznačil E. Ditmar, 2012).

Obrázok 43: Obrázok s náhľadom pozostatkov Juditinho mosta zakomponovaného do objektu kláštora križovníkov [37]

Dokumentácia s názvom *Stanovisko k nálezu pozůstatku konstrukcí Juditina mostu ve Vltavě v rámci stavby „Zvýšení ponorů na vltavské vodní cestě ř. km 40,0-63,8“ v Praze 1* [19] poskytnutá od PhDr. J. Podlisku, Ph.D pozostáva z textovej a grafickej časti. Textová časť z časti popisuje archeologické prieskumy a ich dosiahnuté výsledky. Ďalej konkrétnejšie popisuje nálezy v jednotlivých plochách, ktoré sú vyznačené v grafickej časti. V grafickej časti sú zobrazené objavené pozostatky Juditinho mosta s niektorými výškovými kótami v danej oblasti. Skladá sa z plôch 1 až 5, ktorých lomové body majú určené súradnice X, Y v systéme S-JTSK.

Grafická časť slúžila ako podklad pri tvorbe výkresov Príloh 3 a 4, vyhotovených v *Microstation V8i* a prieskumu Vltavy v *ArcGis Pro*.



Obrázok 44: Ukážka grafickej časti pozostatkov Juditinho mosta od NPÚ [19]



9 Zisk dát sonarového prieskumu na Vltave

Meranie bolo oneskorené z technických problémov so zariadením. Bohužiaľ, následne sa k nemu pridali aj podmienky meteorologické. Meranie sa uskutočnilo až dňa 15.5.2021. Vzhľadom k počasiu, ktorému predchádzali niekoľkodňové silné prehánky. Pre oblasť Prahy bolo vydané nebezpečenstvo 1. stupňa protipovodňovej aktivity. Prietok vody v časti Praha – Chuchle činil až $550 \text{ m}^3 / \text{s}$.

Meranie nebolo možné na pôvodne plánovanom malom člne, s ktorým by bola jednoduchšia manipulácia. V deň merania bola dokonca plavba z dôvodov bezpečnosti zakázaná, ale podarilo sa zaistiť vďaka Ing. M. Zukalovi, vedúcemu vodohospodárskemu experimentálnemu centru FSv, meranie z lode Štátnej plavebnej správy ČR (viď obr. č. 45), ktorá naopak dozorovala pohyb na Vltave.



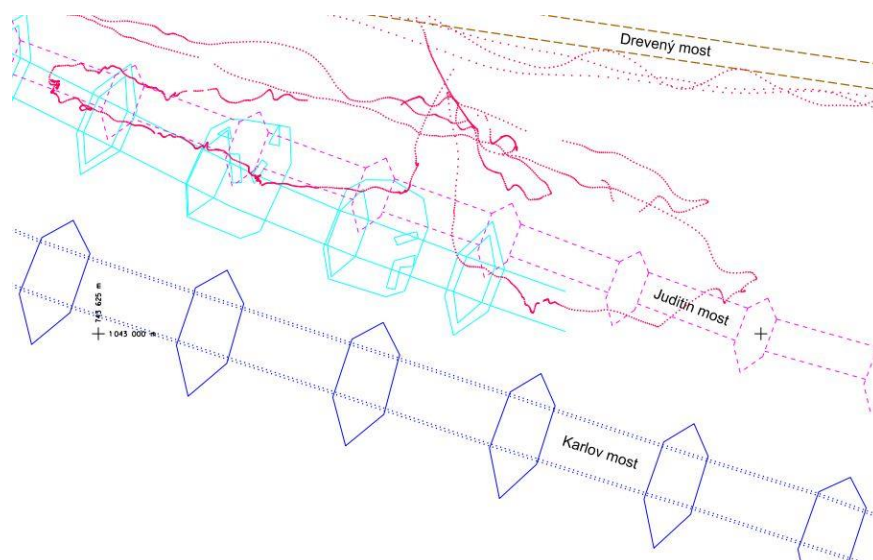
Obrázok 45: Plavidlo využité pri zbere dát [autor]

Prieskum bol zameraný najmä na malostranskú časť. Jedným z dôvodov bola znalosť polohy pilierov Juditinho mosta z dostupnej dokumentácie od Ing. arch. O. Šefců z Národného pamiatkového ústavu [19]. Ďalším dôvodom bol fakt, že v druhej polovici záujmovej lokality Vltavy, pri Karlovom moste, je dno koryta rieky vyvýšené.

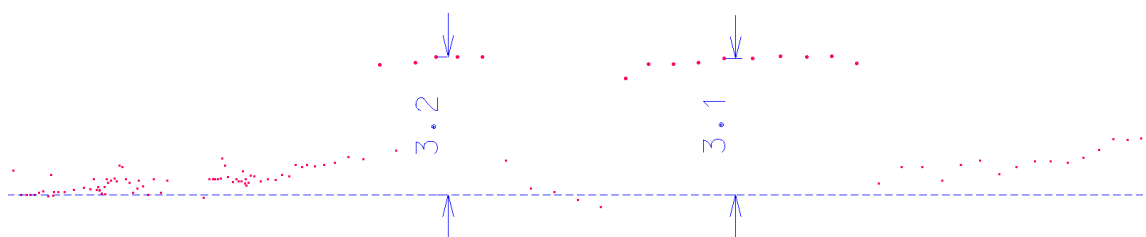
Tým pádom bola táto strana pre loď väčšieho charakteru neprístupná. Na malostranskej časti je navyše pravidlami riečnej dopravy určený prejazd lodí popod druhý oblúk Karlovho mosta nad riekou, takže pohyb v tejto časti je bezpečný.

Trasa plavidla v 2D pohľade umiestnená na podklade mapy s dostupnou dokumentáciou polohy pilierov bola vyhotovená v programe *Microstation V8i*. Uvedená je vo výkresovej dokumentácii v Prílohe 3, s názvom Trasa lode pri sonarovom prieskume. Služi k prehľadu zameranej časti územia. Výhodou dokumentácie je okrem prehľadnosti aj zakomponovanie polohových informácií podvodných objektov.

Z dokumentácie je možné pozorovať, že trasa sonarového prieskumu vedie cez prvky Juditinho mosta, vid' obr. č. 46. V 3D pohľade boli pozorované vyvýšené objekty nad týmito miestami, vid' obr. č.47. Výška medzi dnom a týmito vyvýšenými objektmi dosahuje cca 3 m.



Obrázok 46: Trasa prechádzajúca prvkami Juditinho mosta [autor]



Obrázok 47: Vyvýšený objekt v okolí piliera Juditinho mosta. Rozmery sú uvedené v metroch [autor]

9.1 Prístrojové vybavenie pri sonarovom prieskume

9.1.1 Sonarové zariadenie SonarMite BTX

Hĺbkový prevodník (sonarové zariadenie) so zabudovaným procesorom pod vodnou hladinou bolo káblovým pripojením spojené s hlavnou procesorovou jednotkou SonarMite BTX (viď obr. č. 48), ktorá nadväzuje spojenie s kontrolnou jednotkou Trimble TSC3 pomocou Bluetooth antény.



Obrázok 48: Procesorová jednotka SonarMite BTX s hĺbkovým prevodníkom P66 [38]

Sonar SonarMite BTX je profesionálne zariadenie vhodné pre geodetické, rybárske a iné profesie. Zaraďujeme ho do skupiny jednolúčových (single beam) sonarov. Prístroj slúži k zaznamenávaniu hĺbky dna. Je kompatibilný s väčšinou softvérov geodetických zariadení, preto je vhodný v širokej škále využitia. Prístroj je možné prepojiť s prístrojmi značiek ako Trimble, Topcon, Leica či Carlson. Prepojenie je možné realizovať káblovým spojením alebo pomocou Bluetooth [38].



9.1.1.1 Parametre sonarov SonarMite BTX a Echologger EU400

Sonar SonarMite BTX [38] :

· Frekvencia sondy	235KHz aktívny prevodník
· Distorzia lúča	+/- 4 stupne
· Hĺbkový dosah	0,30m až 75,00m (softvérový limit)
· Presnosť	+/- 25cm (RMS)
· Rozsah rýchlosti zvuku	1400 až 1600 m/s
· Rozsah výstupu dát	2Hz
· Ultrazvuková rýchlosť	3 až 6 Hz (závislá od hĺbky)
· Formát údajov	RS232C 4800 baud 8 bit 1 stop bit
· Prevádzková teplota	0 °C až 45 °C
· Hmotnosť	0,75 kg

Echosounder Echologger EU400 :

· Frekvencia sondy	450 KHz
· Distorzia lúča	5 ° kónický (-3 dB)
· Šírka impulzu vysielania	10 μ s ~ 200 μ s (krok 10 μ s)
· Hĺbkový dosah	0,15 m až 100 m
· Miera opakovania (ping)	10 Hz max
· Rozlíšenie vodného stĺpca	cca 7,5 mm
· Rozlíšenie rozsahu výškomeru	1 mm
· Rozlíšenie teploty	0,1 ° C
· Integrovaný snímač náklonu	Dvojosý, vodorovná prevádzka: \pm 90 °
· Presnosť údajov o sklone	0,1
· Rýchlosť komunikácie	4 800 ~ 115 200 baudov
· Rozhranie digitálneho výstupu	USB
· Formát výstupov	ASCII TXT, NMEA0183, definované používateľom
· Prevádzková teplota	-10 ° C + 50 ° C
· Hmotnosť	0,27 kg (bez kábla)

9.1.2 GNSS aparátúra Trimble R2 s kontrolnou jednotkou TSC3

GNSS zariadenie využité k zberu polohových dát bodov pod vodnou hladinou sa skladá z GNSS mobilnej stanice Trimble R2 a odolnej kontrolnej jednotky TSC3. Kontrolná jednotka má zabudovaný softvér *Trimble ACCESS*.



Obrázok 49: Zostava GNSS Trimble R2 s kontrolnou jednotkou TSC3 a softvérom ACCESS [39]

9.1.2.1 Mobilná stanica Trimble R2-001-14

Jedná sa o dvojfrekvenčnú stanicu so vstavanou anténou. Prijíma signály z družicových systémov GPS, Glonass, Galileo aj BeiDou. K meraniu RTK a aj statickému meraniu využíva 220 kanálov. S kontrolnou jednotkou komunikuje prostredníctvom technológie Bluetooth.

9.1.2.2 Kontrolná jednotka Trimble TSC3

Odolná kontrolná jednotka TSC3 pracuje s operačným systémom Windows Mobile 6.5 vrátane Office mobile. Má VGA farebný dotykový displej s uhlopriečkou 11 cm a alfanumerickú klávesnicu. Namerané dáta sa ukladajú do vnútornej pamäte s kapacitou 8 GB alebo na externú pamäťovú kartu. Prístroj využíva operačnú pamäť RAM 256 MB a procesor 800 MHz. K internetu sa pripája cez SIM kartu. Pripájanie k ostatným zariadeniam je možné cez Bluetooth alebo Wifi. Export dát je možný cez USB port alebo mini-USB.



9.1.2.3 Softvér Geotronics ACCESS

Integrovaný poľný softvér Trimble ACCESS je vhodný k bežným geodetickým meračským prácam. Rovnako je možnosť využívať špecializované aplikácie. Softvér využíva certifikovaný globálny transformačný kľúč vrátane geoidu. Umožňuje voliteľné formáty výstupných protokolov a súborov.

Používaná špecializovaná aplikácia Geometius Bathy Survey bola využitá pre meranie so sonarom SonarMite BTX. Je to aplikácia, ktorá prijíma namerané dáta zo sonaru cez Bluetooth pripojenie. Okrem Súradníc X, Y a Z je získavaná aj informácia o hĺbke v mieste meraného bodu.

9.2 Nastavené parametre prístroja pri meraní

Po pripevnení sonarového zariadenia k lodi bolo zariadenie pripojené ku kontrolnej jednotke Trimble TSC3.

Trimble GNSS aparatúra bola pripojená k sieti permanentných staníc GNSS Českej republiky (CZEPOS). Vďaka internetovému pripojeniu k tejto službe bolo možné určovať polohu bodov v rámci centimetrovej presnosti v súradnicovom systéme S-JTSK a výškovom systéme Bpv. S touto presnosťou sú merané aj body sonarového prieskumu.



Obrázok 50: GNSS aparatúra Trimble R2 pri prieskume Juditinho mosta [autor]



K meraniu bola založená nová zákazka, do ktorej sa ukladali namerané hodnoty dát. V aplikácii *Geometius Bath Survey* bol zvolený príkaz merania hĺbky.

V záložke *Meranie* boli nastavené parametre, ako pri klasických meraniach s GNSS. Číslovanie bodov bolo nastavené od čísla 100, keďže pred samotným meraním v lokalite Juditinho mosta bola uskutočnená skúška funkčnosti zariadení. Nastavený bol kontinuálny časový interval ukladania bodov s dobou 1 s. Výška antény bola nastavená na hodnotu 3 m. Táto hodnota predstavovala vzdialenosť od hladiny vody po anténu GNSS.

9.3 Priebeh merania so sonarovým zariadením

Hĺbkový prevodník so zabudovaným procesorom bol pripevnený spolu s výtyčkou a anténou GNSS k pravej bočnej strane lode tak, aby sa nachádzal približne 15 – 20 cm pod vodnou hladinou. Zámerne nebol umiestnený k zadnej časti lode, pretože sa tam nachádzajú motory, ktoré by mohli spôsobovať príliš vysoký prúd vody alebo vytvárať nežiadúci efekt bubliniek.

Po pripevnení prevodníka k lodi boli pásmom zmerané potrebné údaje k prepočtu nadmorskej výšky. Konkrétne výšku antény od hladiny a hĺbka ponorenej časti. Výška antény od hladiny bola 3 m a hĺbka ponorenej časti 0,18 m.

Sonarové zariadenie a GNSS aparatúra bola vzájomne spojená cez Bluetooth. Boli nastavené parametre uvedené v časti *8.2 Nastavené parametre prístroja pri meraní* a pred vyplávaním sa vykonala skúška funkčnosti zariadení. Podľa hĺbkového sonaru nachádzajúcej sa na plavidle boli porovnané hĺbkové dáta so zariadením SonarMite BTX. Správnosť funkčnosti bola týmto overená.

10 Spracovanie sonarových dát a výsledky merania

Zamerané body boli exportované z kontrolnej jednotky TSC3 cez USB port. Celkovo bolo exportovaných 3 386 bodov v súradnicovom systéme S-JTSK a výškovom systéme Bpv. Výstupný formát bol zvolený ako formát *.TXT. Aplikácia *Geometius Bathy Survey* zabezpečila údaje hĺbky k jednotlivým bodom, ktoré boli v exportovanom formáte radené osobitne v poslednom stĺpci. Štruktúra výstupného formátu (obr. č. 51) bola nasledovná:

Číslo bodu	Y[m]	X[m]	Z[m]	Hĺbka[m]
183	743568,10	1042973,37	185,58	3,48
184	743568,09	1042973,33	185,58	3,48
185	743568,16	1042973,29	185,57	3,12
186	743568,22	1042973,28	185,58	3,31
187	743568,29	1042973,27	185,58	3,34
188	743568,36	1042973,29	185,59	3,34
189	743568,49	1042973,29	185,57	3,58
190	743568,65	1042973,31	185,59	3,40
191	743568,86	1042973,31	185,59	3,51
192	743569,09	1042973,33	185,57	3,46
193	743569,35	1042973,32	185,58	3,48
194	743569,66	1042973,26	185,57	3,28

Obrázok 51: Štruktúra výstupného formátu z GNSS Trimble R2 [autor]

K spracovaniu Z-ovej absolútnej súradnice v systéme Bpv boli využité relatívne hodnoty údajov hĺbky. Nadmorská výška bola pri RTK metóde zaznamenávaná k nastavenej výške GNSS aparatury od vodnej hladiny, ktorá činila 3 m. Hodnota 3 m bola nastavená ako výška výtyčky v základnom okne pre meranie v kontrolnej jednotke. Absolútnu výšku bolo potrebné opraviť o hodnotu 18 cm. Táto hodnota bola vymedzená od miesta spodnej plochy sonaru po hladinu vody. Tento krok bolo nutné urobiť v postprocesingu, pretože z dôvodu neprístupnej časti meracieho zariadenia nebolo možné odmerať ponorenú časť sonaru priamo na mieste merania. Prepočet absolútnej výšky bodov bol uskutočnený v programe *Excel*.



Obrázok 52: Sonarové zariadenie – ponorená časť [autor]

Koncový súbor obsahoval 4 konečné hodnoty pre každý bod a to číslo bodu a súradnice Y, X, Z (opravená). Niekoľko pár bodov obsahovalo prázdnu hodnotu v stĺpci pre hĺbku. Body s prázdnu hodnotou hĺbky neboli použité. Prázdne údaje o hĺbke sú spôsobené tým, že sonar nevyhodnocuje hodnoty hĺbky menšie než 30 cm. Najmenšiu možnú hĺbku zaznamenal s hodnotou 0,31 m.

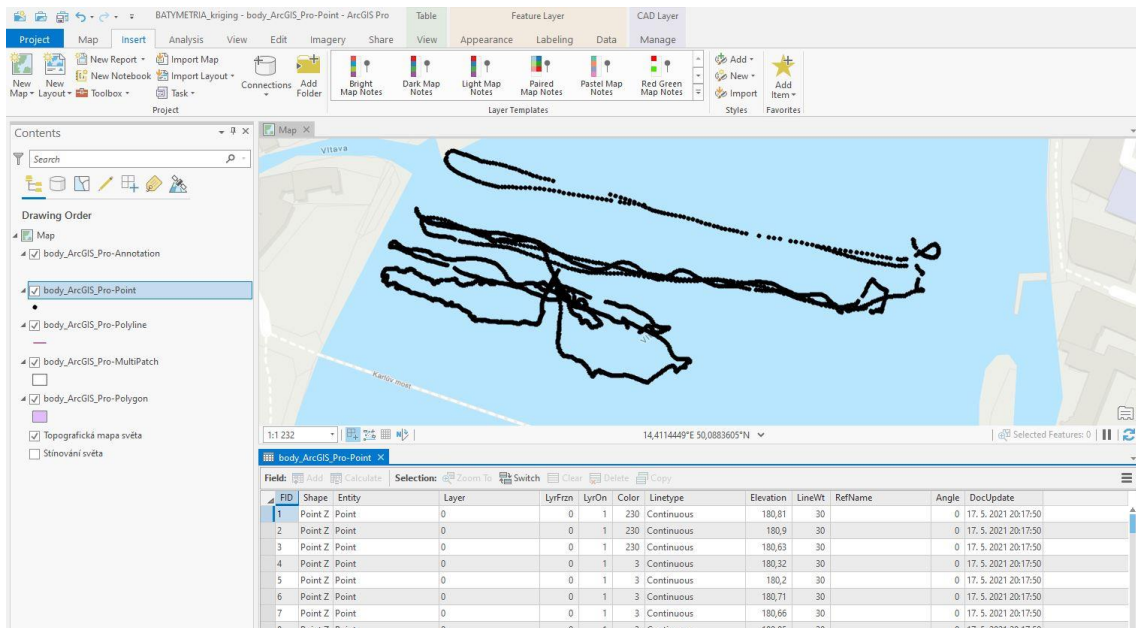
Hĺbky s hodnotou pod 1 m sú s najväčšou pravdepodobnosťou hĺbky k nečistotám v rieke, vzniknutým bublinám alebo rybám, keďže hĺbka Vltavy v miestach prieskumu dosahuje prevažne viac ako 2 m. Už pri samotnom prieskume v teréne boli pozorované rôzne skokové hodnoty hĺbky, ktoré nasledovali po sebe. Tento jav bol pripisovaný spomínanému problému nežiadúcich objektov v rieke. Body, ktoré mali príliš malú hĺbku bolo nutné odfiltrovať.

10.1 Tvorba výškopisnej mapy v programe *ArcGis Pro*

Z hľadiska dát boli vypracované dva varianty výstupov preskúmvanej lokality. Jeden výstup bol zameraný na kompletný súbor dát. Druhý výstup bol spracovaný z redukovaných dát, zameraných na profil prechádzajúci cez pozostatky Juditinho mosta zo známej polohy z dokumentácie NPÚ. Jednotlivé výstupy sú pomenované podľa redukovaných alebo neredukovaných dát.

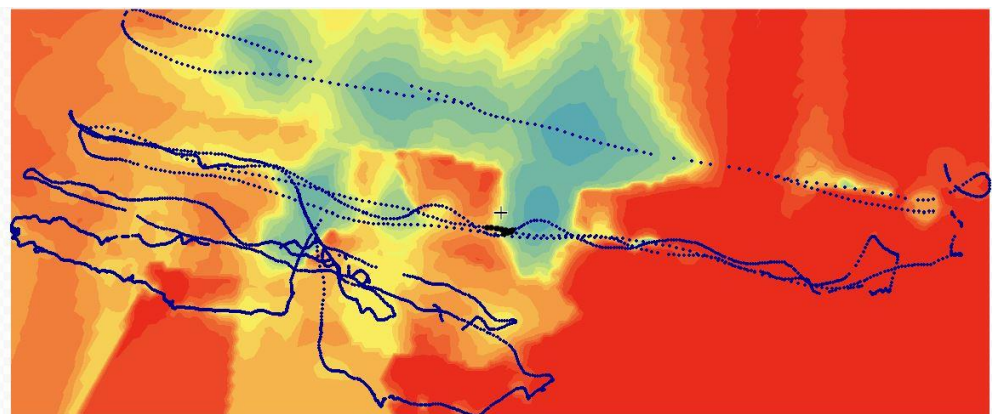
10.1.1 Podkladové dáta pre tvorbu výškopisnej mapy

Podkladom pre tvorbu výškopisnej mapy boli dáta získané sonarovým meraním. Vychádzalo sa z nameraných bodov, ktoré mali súradnice X, Y a Z (opravená). Na skomponovanie mapy a jej vizualizácia bol zvolený program *ArcGIS Pro*. Bol použitý súradnicový systém S – JTSK a výškový systém Bpv.



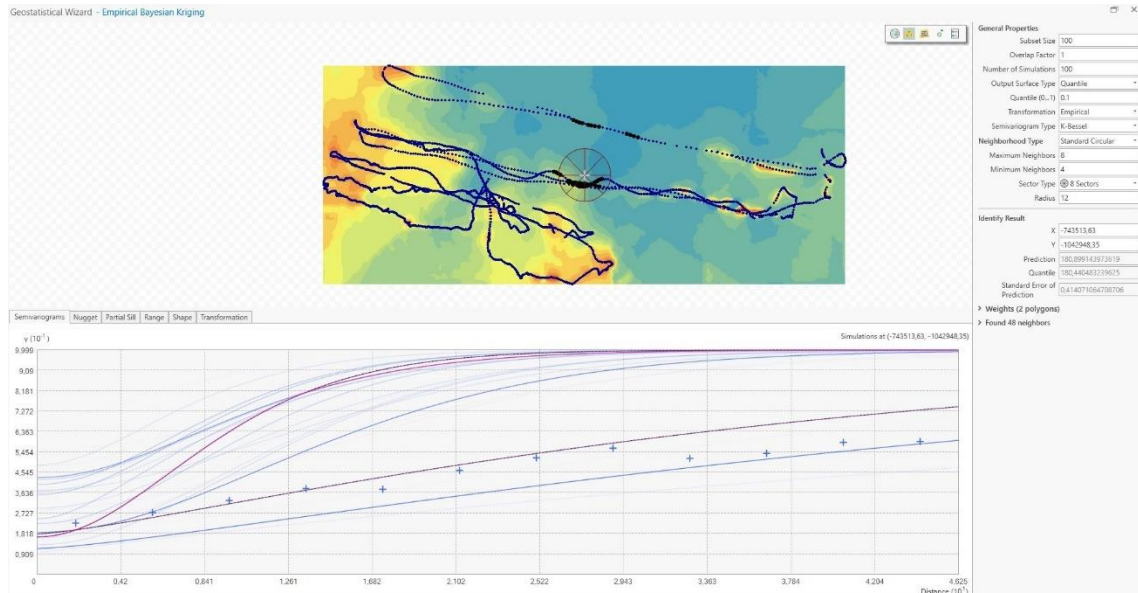
Obrázok 53: Body určené k spracovaniu mapy [autor]

K odhadu hodnôt výšok v miestach s neznámou výškou bola zvolená funkcia *Empirical Bayesian Kriging*. V tomto kroku boli nastavené parametre vzhľadom na celkový náhľad na ukážku výstupu. Bolo nevyhnutné dbať na to, ktorý výstup by bol zmysluplný a ktorý bezpredmetný. Pri niektorých parametroch vznikla mapa takmer s jednotnou farbou, z ktorej by nebolo možné vyčítať informácie.



Obrázok 54: Nevhodne volené parametre funkcie *Empirical Bayesian Kriging* [autor]

Naopak, pri vhodne zvolených parametroch vznikli miesta na mape, ktoré odpovedali nálezom z podkladovej dokumentácií získanej zo zdroja NPÚ. Na obrázku č. 56 sú uvedené zvolené parametre funkcie *Empirical Bayesian Kriging*.



Obrázok 55: *Empirical Bayesian Kriging* – nastavenia parametrov [autor]

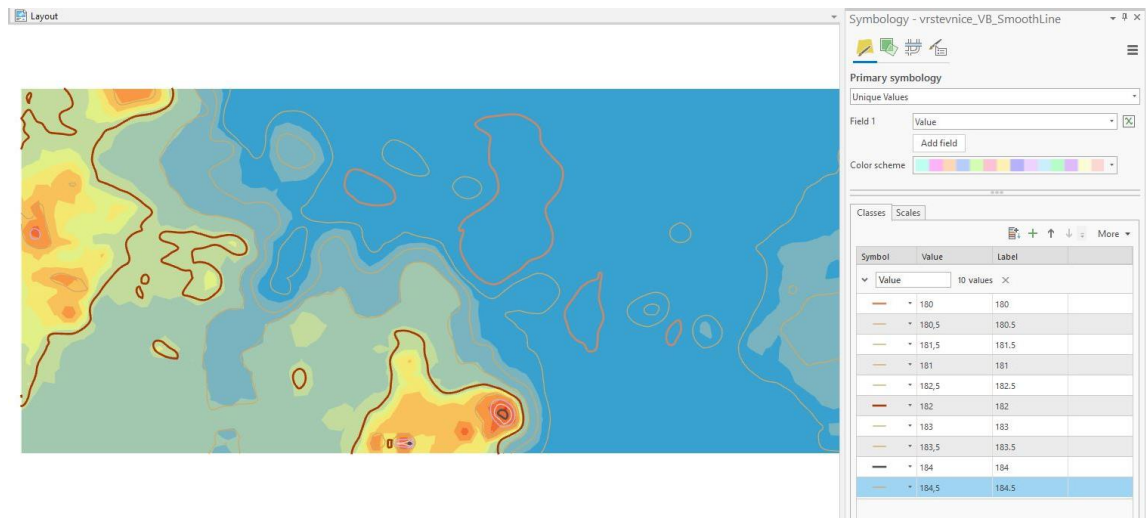
Method Report	
Input datasets	
<input checked="" type="checkbox"/> Dataset	D:\01_DP\ArcGIS_PRO\Point
Type	Feature Class
Data field 1	Elevation
Records	3226
Method	
Output type	Empirical Bayesian Kriging
Quantile	Quantile
Transformation Type	0,1
Semivariogram Model Type	Empirical
Subset Size	K-Bessel
Overlap Factor	100
Number of Simulations	1
<input checked="" type="checkbox"/> Searching neighborhood	100
Neighbors to include	Standard Circular
Include at least	8
Sector type	4
Radius	Eight
	12

Obrázok 56: Výsledná správa metódy *Empirical Bayesian Kriging* pre neredukované dáta [autor]

10.1.2 Tvorba vrstevníc do mapy

Ďalším krokom bol export mapy ako vrstevnicový plán s krokom vrstevníc 0,5. Tento krok bol volený vzhľadom k malému výškovému rozdielu bodov – cca 4 m. Keďže

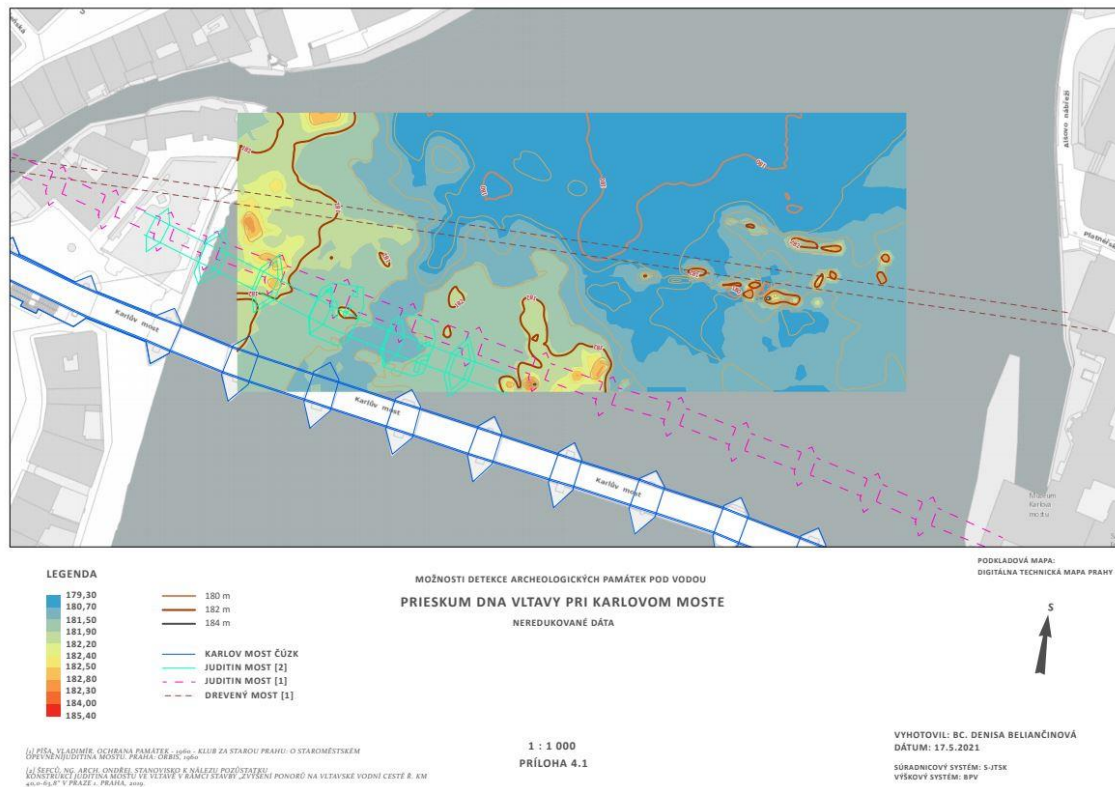
vygenerované vrstevnice boli príliš hranaté, funkciou *Smooth line* boli vyhladené. Upraveným vrstevniciam bola zmenená symbolológia a pridaná anotačná vrstva popisu. Popísané a zvýraznené boli každé párne vrstevnice. Nakoniec bola anotačná vrstva prevedená do výkresu.



Obrázok 57: Tvorba vrstevníc v ArcGis Pro [autor]

10.1.3 Celkový mapový výstup

Pre lepší prehľad v mape bol využitý podklad líniových vrstiev z vypracovaného výkresu Prílohy 3 – 3.2 *Situácia priebehu Juditinho mosta*, ktorý obsahoval línie Karlovho mosta, línie Juditinho mosta z dokumentácie NPÚ a historického predpokladu trasy, rovnako ako priebeh dreveného mosta.



Obrázok 58: Náhľad na celkový mapový výstup z programu ArcGis Pro. Názov výstupu: Prieskum dna Vltavy pri Karlovom moste – neredukované dáta, uvedené v prílohe č.4.1 [autor]

Mape bola priradená legenda, mierka a popis. Takýmto spôsobom bola vyhotovená mapa s názvom *Prieskum dna Vltavy pri Karlovom moste – neredukované dáta* a rovnako aj mapa z redukovaných súradníc s názvom *Prieskum dna Vltavy pri Karlovom moste – redukované dáta*.

*Pozn: Prílohami diplomovej práce sú originály vytlačených výkresov spracované k danej problematike zadania. Okrem tlačenej verzie sú uvedené aj osobitne, v elektronickom výstupe formou *.PDF.*



11 Diskusia

Téma diplomovej práce s názvom ***Možnosti detekce archeologických památek pod vodou*** je téma, ktorá ma pri výbere diplomovej práce veľmi zaujala. Vypracovanie pre mňa predstavovalo prelínanie histórie a súčasnosti, čo ma veľmi obohatilo.

Pri pomerne obsiahlej rešerši som očakávala, že podobnej problematike sa na území Českej ani Slovenskej republiky nebude zaoberať príliš veľa článkov, prípadne výskumov. Očakávanie sa naplnilo. Samozrejme, celosvetovo najmä z posledných rokov pribúda literatúra k meračským metódam a ich aplikovanému využitiu zameraných na podvodný svet. Z celosvetového prostredia ma najviac zaujala organizácia NCEI NOAA svojim prístupom k uchovávaniu a zhromažďovaniu nielen batymetrických dát. Z českého prostredia ma zaujala osobnosť B. Machovej, ktorá sa zameriava na potápanie a výskum riečnych oblastí z pohľadu archeológie.

Podľa pôvodného očakávania nebolo v konečnom dôsledku k detekciám archeologických pamiatok pod vodou použité úplne nové sonarové zariadenie Echologger EU400 dostupné z laboratória fotogrametrie. Využitý bol starší sonar SonarMite BTX s predpokladanou horšou presnosťou, aspoň podľa uvádzania výrobcov. Porovnanie výsledkov sonaru SonarMite BTX však bolo realizované s výsledkami dostupnej dokumentácie časti pozostatkov pilierov Juditinho mosta od NPÚ. Z dokumentácie od NPÚ bolo možné porovnať približnú polohu pilierov a iných stavebných pozostatkov. Výsledky sa zhodovali. Výškové porovnanie meraní NPÚ a meraní v rámci diplomovej práce bolo možné len v okolí plochy 3., kde sa k sebe výšky približovali v rámci desiatok centimetrov. Vzhľadom k pohybu riečnych sedimentov však toto porovnanie nie je úplne adekvátne. Zaujímavejšou časťou je pohľad v pôdoryse vzhľadom k relatívnym výškam nameraných dát. Z podkladovej mapy zahrňujúcej prieskum NPÚ možno predpokladať, že na dne rieky v označených plochách naozaj existujú pozostatky pilierov a stavebných objektov. Vzhľadom k malému počtu dát, spôsobených najmä nepriaznivým počasím a protipovodňovej aktivite, sa nedajú predikovať úplne závery z prieskumu. Prínosom však určite je, že by mohol slúžiť ako podklad k prípadnému ďalšiemu prieskumu v lokalitách s určitým potenciálom a tieto lokality by sa mohli presnejšie preskúmať. V prípade väčšieho množstva sonarových dát



by mohla byť vyhotovená aj omnoho presnejšia mapa odhadu neznámych výšok v blízkom okolí meraných bodov využitím funkcie *Kriging*.

Nemalý význam mal súbor doplnkovej dokumentácie obsahujúcej využitie metódy laserového skenovania a fotogrametrie. Metódou laserového skenovania bol zdokumentovaný posledný existujúci oblúk Juditinho mosta, ku ktorému boli vyhotovené pozdĺžny a priečne rezy. Samostatným súborom bol spracovaný 3D model z mračna bodov. Fotogrametria bola využitá pre vyhotovenie dokumentácie reliéfu na Juditinej veži. Zaradenie doplnkovej dokumentácie do diplomovej práce rozšírilo moje poznatky najmä pri spracovaní zhromaždených dát. Obe metódy možno považovať za pomerne jednoduché pri samotnej realizácii zbere dát, avšak pri spracovaní k reálne použiteľným finálnym výsledkom je nutné mať určité znalosti pri práci so softvérmi, či cit pri práci so spracovaním presnejších detailov.

Zvlášť ma upútalo zameranie na zhotovenie výkresovej dokumentácie výstupov rezov a dokumentácie k polohe Juditinho mosta v programe *Microstation V8i*. Moja špecifikácia je zameraná na obor Geodézie a okrem zberu dát je potrebná aj ich správna interpretácia. Geodeti vo väčšej miere používajú obzvlášť CAD-ovské systémy a diplomová práca preverila moje znalosti, ktoré som, dúfam, zvládla.

Dokumentácia historických objektov, resp. stavieb má určite veľký význam. Dal by sa definovať jednou myšlienkou, že to čo tu stojí dnes, nemusí stáť zajtra. Preto je priam nevyhnutné dokumentovať historické dedičstvá pre ďalšie zajtrajšky. Nové metódy a technológie nám umožňujú prezrieť si ich dodatočne, prípadne urobiť repliky z originálneho modelu.

Na záver by som dodala krátke zhodnotenie. Medzi silné stránky práce považujem detailnejší teoretický rozbor detekcie podvodných objektov, resp. morského či riečneho dna. Ďalším prínosom je pomerne obsiahly zber a spracovanie dát k pozostatkom Juditinho mosta na súši. Slabšou stránkou je menší počet dát zo sonarového prieskumu dna Vltavy slúžiac k detekcii pozostatkov pilierov Juditinho mosta. Keďže cez tieto objekty prechádzal len pomerne úzky pás bodov, nie je možné vysloviť jednoznačný záver. Určite by bolo zaujímavé pokračovať v získavaní dát aj v budúcnosti. Myslím si, že by bolo možné nadviazať ďalší prieskum na túto diplomovú prácu.



12 Závěr

Stanovený cíl diplomové práce s názvem ***Možnosti detekce archeologických památek pod vodou*** sa podarilo vo veľkej miere naplniť. Metódou zvolenou na detekciu archeologickej pamiatky – piliere Juditinho mosta, bola metóda sonarového prieskumu s využitím GNSS aparatury.

Práca je rozdelená na niekoľko častí a to pomerne rozsiahlu rešerš k problematike podvodnej dokumentácie, teoretickú časť k téme sonarového prieskumu a praktickú časť, ktorá sa zaoberá zberom a spracovaním dát k dokumentácií pozostatkov Juditinho mosta. Doplnková dokumentácia využíva metódy laserového skenovania a fotogrametrie.

Vzhľadom k problémom s pripojením pôvodne stanoveného sonarového zariadenia a zlému počasiu bol hlavný cieľ naplnený, avšak jeho výsledky neboli totožné s očakávanými výsledkami. Sonarový prieskum prebehol úspešne, boli namerané použiteľné dáta, ale v konečnom dôsledku nedosahovali požadovaný počet k vysloveniu jednoznačného záveru presnej polohy pilierov Juditinho mosta. Z nameraných dát boli vyhotovené mapy s výškovým priebehom, ktoré sú uvedené v Prílohe 4. Taktiež boli spracované výkresy k priebehu Juditinho mosta, ako Príloha 3.

Okrem hlavného cieľa bola diplomová práca obohatená doplnkovou dokumentáciou zaoberajúcou sa pozostatkami Juditinho mosta na súši. K poslednému existujúcemu oblúku Juditinho mosta bol vytvorený 3D model, ktorý si je možné prehliadnúť v 3D PDF v elektronickej Prílohe 5. K tomuto oblúku boli vyhotovené pozdĺžny a priečne rezy, ktoré sú uvedené v Prílohe 2. Súbor obsahujúci 3D model mračna bodov oblúka Juditinho mosta je uvedený v elektronickej forme diplomovej práce. Reliéfu, ako súčasť Juditinej veže, boli vytvorené 3D modely. Súbor sú opäť priložené v elektronickej verzii.

Do budúcnosti by bolo určite vhodné pokračovať v danom prieskume, pretože téma má potenciál a je možné presnejšie zdokumentovať zaujímavé časti zvyškov Juditinho mosta, ktoré sa určite nachádzajú pod vodnou hladinou.



13 Použité zdroje

- [1] Underwater Photogrammetry Task Group: CIPA Task Group [online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <http://www.lsis.org/cipa-uwp/index.html#>.
- [2] Tysiac, P. Bringing Bathymetry LiDAR to Coastal Zone Assessment: A Case Study in the Southern Baltic. *Remote Sens.* 2020, 12, 3740. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/rs12223740>.
- [3] BLEIER, M., VAN DER LUCHT J. a NUCHTER A. Towards an Underwater 3D Laser Scanning System for Mobile Mapping [online]. 2019 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://robotik.informatik.uni-wuerzburg.de/telematics/download/icraurp2019.pdf>.
- [4] Nippon Foundation-GEBCO Seabed2030 project. GEBCO.net [online]. GEBCO 2020 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: https://www.gebco.net/about_us/seabed2030_project/.
- [5] *International Hydrographic Organization* [online]. Copyright 2021 International Hydrographic Organization (IHO) [cit. 2021-3-29]. Dostupné z: <https://iho.int/en/>.
- [6] INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION. *MANUAL ON HYDROGRAPHY*. Monaco: International Hydrographic Bureau, 2005.
- [7] SYNTHETIC APERTURE SONAR - HISAS [online]. 2021 Kongsberg Maritime [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.kongsberg.com/maritime/products/mapping-systems/mapping-systems/sonars/SAS/>.
- [8] Zwolak, K.; Wigley, R.; Bohan, A.; Zarayskaya, Y.; Bazhenova, E.; Dorshow, W.; Sumiyoshi, M.; Sattiabaruth, S.; Roperez, J.; Proctor, A.; Wallace, C.; Sade, H.; Ketter, T.; Simpson, B.; Tinmouth, N.; Falconer, R.; Ryzhov, I.; Elsaied Abou-Mahmoud, M. The Autonomous Underwater Vehicle Integrated with the Unmanned Surface Vessel Mapping the Southern Ionian Sea. The Winning Technology Solution of the Shell Ocean Discovery XPRIZE. *Remote Sens.* 2020, 12, 1344. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/rs12081344>.
- [9] Ocean One Robot. Wevolver [online]. Stanford University: Wevolver 2020 [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.wevolver.com/wevolver.staff/ocean.one.robot>.
- [10] BOHADLO, A. *Přehled prostředků pro nedestruktivní výzkum pod vodní hladinou*. Praha, 2019. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Fakulta tělesné výchovy a sportu, Technické a úpolové sporty. Vedoucí práce Vondrášek, David.
- [11] NOVÁK, P. *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, 2017. ISBN 978-80-87361-81-8.
- [12] KOKINO, E. Chapter 12 Automatic pattern recognition and GPS/GNSS technology in marine digital terrain model. *GPS and GNSS Technology in Geosciences*. Elsevier, 2021, s. 241-254. ISBN 9780128186176.
- [13] CRKAL, J.; VOLF, M. Počátky a vývoj osídlení horního města Přísečnice. *Archaeologia historica*. 2016, roč. 41, čís. 2, s. 377. Ďalej len Crkal, Volf (2016). [cit. 2021-03-18]. ISSN 0231-5823. DOI:10.5817/AH2016-2-19.



- [14] Všetky rieky Slovenska sú potencionálnym archeologickým náleziskom. Trnavská univerzita v Trnave [online]. Trnava, 2020 [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://www.truni.sk/news/vsetky-rieky-slovenska-su-potencionalnym-archeologickým-náleziskom>.
- [15] Zprávy památkového sboru hlav. města Prahy. Praha: vl.n., 1925-1949, 7. s. [30-80]. Dostupné také z: <https://digitalniknihovna.mlp.cz/uuid:8f16ea71-9806-11e9-aa3f-001b63bd97ba>.
- [16] PÍŠA, V. Ochrana památek - 1960 - Klub Za starou Prahu: O staroměstském opevnění Juditina mostu. Praha: ORBIS, 1960.
- [17] KUŽNÍK, J. V ledové Vltavě se fotí nejlépe. Podívejte se na první fotografie Juditina mostu [online]. 2010 [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/technet/reportaze/v-ledove-vltave-se-foti-nejlepe-podivejte-se-na-prvni-fotografie-juditina-mostu.A100129_173955_tec_reportaze_kuz.
- [18] SLEZÁK, P. Potápěčská archeologie v centru Prahy. Kapr Divers [online]. 2020, 13.03.2020 [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.kaprdivers.cz/potapecska-archeologie-v-centru-prahy/>.
- [19] ŠEFCŮ, O. Stanovisko k nálezů pozůstatku konstrukcí Juditina mostu ve Vltavě v rámci stavby „Zvýšení ponorů na vltavské vodní cestě ř. km 40,0-63,8“ v Praze 1. Praha, 2019.
- [20] KUBÍK, J. Hledači pokladů v českých řekách: Labe bylo extrémní, jinde nevidíte na půl metru. In: Seznam Zprávy: Výzva [online]. 2017 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/hledaci-pokladu-v-ceskych-rekach-labe-bylo-extremni-jinde-nevidite-na-pul-metru-39630>.
- [21] MACHOVÁ, B. Archeologie řeky [online]. Brno, 2020 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/kOwee/>. Disertační práce. Masarykova univerzita, Filozofická fakulta. Vedoucí práce Jiří Macháček.
- [22] THE VIRTUAL MUSEUM: UNDERWATER MALTA [online]. Malta, 2020 [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://underwatermalta.org/about/>.
- [23] National Centers for Environmental Information. NOAA National Centers for Environmental Information [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.ngdc.noaa.gov>.
- [24] Situace nejstarších pražských kamenných mostů: KOTLÁŘOVSKÝ DŮM S POZŮSTATKY JUDITINA MOSTU. *Praha-archeologická* [online]. Praha, 2017 [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <http://www.praha-archeologicka.cz/p/287?tgo=97>.
- [25] Historické centrum Českého Krumlova. *Kudy z nudy* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://www.kudyznudy.cz/ceska-nej/unesco/historicke-centrum-ceskeho-krumlova>.
- [26] *Visit Vltava: Historické památky* [online]. [cit. 2021-3-29]. Dostupné z: <http://www.visitvltava.cz/cz/vybrane-historicke-pamatky-na-horni-vltave/33/>.
- [27] OLD STONE BRIDGE: Regensburg, Germany. *Spotting history* [online]. [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <https://www.spottinghistory.com/view/5654/old-stone-bridge/>.
- [28] *National Ocean Service: Ocean Technology* [online]. [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/oceanfacts-technology.php>.



- [29] BIO, A., J. A. J. A. GONÇALVES, A. MAGALHÃES,, J. PINHEIRO a L. BASTOS. Combining Low-Cost Sonar and High-Precision Global Navigation Satellite System for Shallow Water Bathymetry: Estuaries and Coasts. 2020. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s12237-020-00703-6>.
- [30] *Deeper sonar: Jak fungují sonary* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: https://deepersonar.com/cz/cs_cz/jak-to-funguje/jak-funguji-sonary.
- [31] ZWOLAK, K. Underwater objects' detection system choice for harbor surveillance purposes. *Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej* [online]. 2015 [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/283201614_Underwater_objects%27_detection_system_choice_for_harbor_surveillance_purposes.
- [32] NOAA *Ocean Exploration: Phase III Summary: "Mission Executed": Using Autonomous Technology to Rapidly Survey Historical Shipwreck Sites* [online]. 2017 [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <https://oceanexplorer.noaa.gov/technology/sonar/side-scan.html>.
- [33] LAGUE, D.; Baptiste, F. *Chapter 2 - Topo-bathymetric airborne LiDAR for fluvial-geomorphology analysis: Depth Measurement* [online]. 2020, 25-54 [cit. 2021-4-24]. ISSN 9780444641779. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/depth-measurement>.
- [34] *BALI USV: Autonomous bathymetry survey solution* [online]. France [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <https://geodproducts.com/bali-usv/>.
- [35] PAVELKA, K. *Fotogrammetrie 20: 15.1 Laserový skener*. Vyd. 2. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-010-2762-7.
- [36] *FOTOSKODA: CHASING PODVODNÍ DRON GLADIUS MINI* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.fotoskoda.cz/chasing-podvodni-dron-gladius-mini-batoh/>.
- [37] PODLIŠKA, J.; SEMERÁD M. *Nové poznatky o konstrukci Juditina mostu v Praze* [online]. 2012 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: http://www.staletapraha.cz/media/2012_2/clanky-cele/sp-2-2012-08-podliska-semerad.pdf.
- [38] *G-SHOP: Sonar Ohmex SonarMite BTX* [online]. [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.g-shop.sk/ohmex-btx/sonar-ohmex-sonarmite-btx-1059.html>.
- [39] *GEOTRONICS: Trimble* [online]. [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://geotronics.sk>.



14 Zoznam obrázkov

Obrázok 1: Pohľad na Vltavu, Karlov most a Pražský hrad [autor].....	24
Obrázok 2: Priebeh Juditinho mosta v situácii s priebehom Karlovho mosta [24].....	25
Obrázok 3: Riečny meander Vltavy obklopujú historické centrum Českého Krumlova [25].....	25
Obrázok 4: Pohľad na miesto so zvyškami Juditinho mosta ukryté pod vodou [autor].....	27
Obrázok 5: Situácia pražských mostov a predmostí od 9. do 14. storočia – oblasť Malostranská [16].....	29
Obrázok 6: Situácia pražských mostov a predmostí od 9. do 14. storočia – oblasť Staromestská [16].....	29
Obrázok 7: Most v Rezne (Regensburg), Nemecko [27].....	31
Obrázok 8: Šírka pásma prijímača [6].....	39
Obrázok 9: Priemet lúča Φ (SBES) [6].....	40
Obrázok 10: Priemet priečnych a pozdĺžnych lúčov MBES, ich prekryt [31].....	41
Obrázok 11: Výsledok detekcie pomocou side scan sonaru. Lietadlo WWII B-25 objavené v 2017 v Papua New Guinea [32].....	42
Obrázok 12: Výsledok zobrazujúci zvyšok konštrukcie potopenej plachetnice z 1854 v jazere Huron. Obrázok pochádza od Michigan Technological University Great Lakes Research Center [32].....	42
Obrázok 13: Schéma prieskumu okolia pobrežia, vrátane vodnej hladiny a dna. Prebraté z publikácie [33].....	43
Obrázok 14: Filtrované dáta LiDAR. Prebraté z publikácie [33].....	44
Obrázok 15: Schéma využitia sonaru a GNSS [34].....	46
Obrázok 16: Veža Juditinho mosta na malostranskej strane. Vpravo dole je vstup k reliéfu [autor].....	48
Obrázok 17: Pohľad na reliéf kľačiaceho muža [laboratórium fotogrametrie].....	49
Obrázok 18: Metashape – 3D model reliéfu s náhľadom na polohu obstarania snímok [autor].....	51
Obrázok 19: Reliéf – riedke (vľavo) a husté mračno bodov (vpravo) [autor].....	51
Obrázok 20: Detailný záber na výsledný 3D model reliéfu [autor].....	52
Obrázok 21: Geomagic Wrap 2017 – Model reliéfu naskenovaný v roku 2012 skenerom Surphaser [autor].....	53
Obrázok 22: Reality Capture – model vytvorený kombináciou metód laserového skenovania a fotogrametrie [autor].....	54
Obrázok 23: Reality Capture – zacelený model pripravený k 3D tlači [autor].....	55
Obrázok 24: Agisoft Metashape – Výsledný 3D model reliéfu s textúrou [autor].....	56
Obrázok 25: Reality Capture – Výsledný 3D model reliéfu s textúrou [autor].....	56
Obrázok 26: : Skenovanie bočnej steny oblúka Juditinho mosta. Vstup z „anglického dvora“ [autor].....	57
Obrázok 27: Vľavo "bradáč" [laboratórium fotogrametrie] a vpravo dochovaná dlažba [autor].....	58
Obrázok 28: Skener Leica BLK 360 [laboratórium fotogrametrie].....	59
Obrázok 29: Ukážka skenovania oblúka Juditinho mosta skenerom BLK360 [autor].....	60
Obrázok 30: Výstup spracovaných skenov spracovávaných v programe Geomagic Wrap 2017 [autor]...	60



Obrázok 31: Odfiltrovanie nežiadúcich bodov. Vľavo Juditin oblúk po odfiltrovaní, vpravo (červenou) odfiltrované zhluky naskenovaných bodov [autor]	61
Obrázok 32: Proces manuálnej registrácie v programe Geomagic Wrap 2017 [autor]	62
Obrázok 33: Zelené mračno tvoria súčasť skenu č.1, ktorý je v nesúlade s celkovým mračnom [autor] ...	62
Obrázok 34: 3D model pokrytý sieťou spojených trojuholníkov [autor].....	63
Obrázok 35: Tvorba kriviek prechádzajúc modelom v rozstupe 15 cm [autor]	63
Obrázok 36: Výsledný vrstevnicový model [autor].....	64
Obrázok 37: Geomagic Wrap 2017 – úzke profily pre tvorbu rezov [autor]	65
Obrázok 38: Pohľad na priečne rezy Juditinho a Karlovho oblúka [autor].....	66
Obrázok 39: Prehľad rezov skrz model v programe Geomagic Wrap 2017 [autor]	66
Obrázok 40: Územie prieskumu, severne od Karlovho mosta [autor].....	68
Obrázok 41: Dostupné zariadenie Echologger EU400 pripojené k GNSS Trimble	69
Obrázok 42: Podvodný dron Gladius Mini 100 m [36]	69
Obrázok 43: Obrázok s náhľadom pozostatkov Juditinho mosta zakomponovaného do objektu kláštora križovníkov [37].....	70
Obrázok 44: Ukážka grafickej časti pozostatkov Juditinho mosta od NPÚ [19].....	71
Obrázok 45: Plavidlo využité pri zbere dát [autor].....	72
Obrázok 46: Trasa prechádzajúca prvkami Juditinho mosta [autor]	73
Obrázok 47: Vyvýšený objekt v okolí piliera Juditinho mosta. Rozmery sú uvedené v metroch [autor]	73
Obrázok 48: Procesorová jednotka SonarMite BTX s hĺbkovým prevodníkom P66 [38]	74
Obrázok 49: Zostava GNSS Trimble R2 s kontrolnou jednotkou TSC3 a softvérom ACCESS [39]	76
Obrázok 50: GNSS aparatúra Trimble R2 pri prieskume Juditinho mosta [autor]	77
Obrázok 51: Štruktúra výstupného formátu z GNSS Trimble R2 [autor]	79
Obrázok 52: Sonarové zariadenie – ponorená časť [autor]	80
Obrázok 53: Body určené k spracovaniu mapy [autor].....	81
Obrázok 54: Nevhodne volené parametre funkcie Empirical Bayesian Kriging [autor]	81
Obrázok 55: Empirical Bayesian Kriging – nastavenia parametrov [autor]	82
Obrázok 56: Výsledná správa metódy Empirical Bayesian Kriging pre neredukované dáta [autor].....	82
Obrázok 57: Tvorba vrstevníc v ArcGis Pro [autor]	83
Obrázok 58: Náhľad na celkový mapový výstup z programu ArcGis Pro. Názov výstupu: Prieskum dna Vltavy pri Karlovom moste – neredukované dáta, uvedené v prílohe č.4.1 [autor].....	84



15 Zoznam príloh

Zoznam príloh v analógovej forme

Príloha 1 – Podkladová dokumentácia Juditinho mosta NPÚ

Príloha 2 – Dokumentácia rezy

- 2.1 – Priečny rez A – Juditin oblúk
- 2.2 – Priečny rez B – Juditin oblúk
- 2.3 – Priečny rez C – Juditin oblúk
- 2.4 – Pozdĺžny rez D – Juditin oblúk
- 2.5 – Priečny rez E – Karlov most
- 2.6 – Priečne rezy – pohľad

Príloha 3 – Výkresy *Microstation V8i*

- 3.1 – Historický priebeh Juditinho mosta
- 3.2 – Situácia priebehu Juditinho mosta
- 3.3 – Trasa lode pri sonarovom prieskume
- 3.4 – Sonarový prieskum

Príloha 4 – Prieskum dna Vltavy pri Karlovom moste

- 4.1 – Prieskum dna Vltavy pri Karlovom moste – neredukované dáta
- 4.2 – Prieskum dna Vltavy pri Karlovom moste – redukované dáta

Zoznam príloh v elektronickej forme

Príloha 5 – 3D model Juditinho oblúka.pdf

Juditin_obluk – 3D model Juditinho oblúka (program Geomagic Wrap 2017)

3D_modelAM_relief – 3D model reliéfu z Juditinej veže (program

AgisoftMetashape)

3D_modelRC_relief – 3D model reliéfu z Juditinej veže (program Reality

Capture)