

**Univerzita Palackého v Olomouci**  
**Přírodovědecká fakulta**  
**Katedra geoinformatiky**

**ANALÝZY A VIZUALIZACE KORYT ŘEK PRO  
PODPORU KANOISTIKY**

**Bakalářská práce**

**Alexandra PLACHTOVÁ**

**Vedoucí práce RNDr. Jan Brus, Ph.D.**

**Olomouc 2021**  
**Geoinformatika a geografie**

## **ANOTACE**

Bakalářská práce se zabývá pokročilou vizualizací a analýzami digitálních 3D modelů a jejich následné prezentace pomocí různých webových aplikací. V práci je popsán průběh získávání dat pomocí metody UAV a jejich fotogrammetrické zpracování. Jedná se o data ze snímkování téměř suchého koryta části řeky Vltavy, nacházející se pod v. n. Lipno I. Tento úsek je znám díky své sjízdné náročnosti, přírodním prvkům v korytě a každoročně pořádaném mistrovství České republiky ve slalomu a sjezdu na divoké vodě.

Mezi další popisované kroky v práci patří tvorba webové mapové scény, ve které jsou integrovány podkladové vrstvy ortofota a digitálního modelu (DMR 5G) společně s modely koryta a staveb. Součástí práce je také tvorba 3D virtuálního průvodce korytem řeky, ve kterém je vyznačena ideální linie projetí dohromady s orientačními body, podle kterých kanoisté přizpůsobují svojí jízdu. Virtuální model je možný vizualizovat v prostředí virtuální reality, a to díky webové aplikaci Sketchfab a její nadstavbě, kam se celý model nahrál a byl obohacen o uvedené orientační body.

Zmíněná webová mapová scéna a virtuální 3D model byl společně s doplňujícím textem a videem tréninkové jízdy kajakáře vložen do story mapy. Výsledný průvodce byl pojmenován jako „Lipenské přeje: 3D canoe guide. Tento průvodce zájemce provede korytem Vltavy na začátku Čertových proudů“ a považuje se za hlavní výstup této bakalářské práce.

Mezi fyzické přílohy této práce patří reálný 3D model koryta řeky, ve kterém proběhla simulace vodního průtoku. Koryto bylo zhotovené na 3D tiskárně Prusa i3 MK3S. Výsledný model byl rozdělen na čtyři tisknuté části v měřítku 1 : 500. Modelu byly domodelovány boční stěny, které sloužily k udržení vody v korytě při experimentu. Důvodem simulace proudění bylo pozorování rozdílů chování vody v modelu a v reálném prostředí.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

kanoistika; UAV; koryto řeky, 3D model, 3D tisk

Počet stran práce: 45

Počet příloh: 4 (z toho 3 volné a 1 elektronické)

## **ANOTATION**

The Bachelor thesis deals with advanced visualization and analysis of digital 3D models and their subsequent presentation using various web applications. The work describes the process of data acquisition using the UAV method and their photogrammetric processing. These are data from imaging of the almost dry riverbed of the part of the Vltava river located below the Lipno dam I. This section is known for its wild water, great stones, and the annual Czech Slalom and Downriver Championships.

Other described steps in the work include the creation of a web map scene where the underlying layers of orthophoto and 3D DEM are connected with models of riverbeds and buildings. Moreover, the creation of a 3D virtual guide through the riverbed was made, in which the ideal line of transit is marked together with the landmarks according to which canoeists adapt their ride. The virtual model can be visualized in a virtual reality environment, thanks to the web application Sketchfab and its superstructure, where the entire model was uploaded and enriched with landmarks.

The web map scene and virtual 3D model were included in the Story map together with additional text and video of the kayaker's training ride. The story map was named s "Lipno rapids: A 3D canoe guide that takes you through the riverbed of the Vltava, which is at the beginning of the Devil's Streams" and is considered as the main output of this Bachelor thesis.

The physical results of this work include a real 3D model of the riverbed in which the water flow simulation took place. The river bed model was printed on the 3D printer Original Prusa i3 MK3S and was divided into four consecutive printed parts so that the scale of the whole model could be equal to 1 : 500. The model was remodelled, because of preventing water leakage during the simulation. The reason for doing this experiment was to observe and compare water behaviour differences in the model with the real environment.

## **KEYWORDS**

canoeing, UAV, riverbed, 3D model, 3D printing

Number of pages: 45

Number of appendixes: 4

**Prohlašuji, že**

- bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

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

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

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

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

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

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

V Olomouci dne

Alexandra Plachtová

Děkuji vedoucímu práce RNDr. Janu Brusovi, Ph.D za podněty a připomínky při vypracování práce a čas, který mi při řešení práce věnoval. Dále děkuji RNDr. Jakobovi Miřijovskému, Ph.D. a Mgr. Radku Barvířovi za vedení a asistenci během snímkování zkoumaného území. Děkuji také všem konzultantům, kteří se podíleli na utváření této bakalářské práce a vedli mě správným směrem, jmenovitě: Ing. Radek Kuttelwascher (ARCDATA Praha), Ing. Libor Peška s Ing. Tomášem Vaněčkem (PVL) a Lukáš Novosad (reprezentační trenér Českého svazu kanoistů). Speciální poděkování patří prof. Ing. Jaroslavu Pollertovi ml., Ph.D. za vzniklou vzájemnou spolupráci.

# UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Alexandra PLACHTOVÁ**  
Osobní číslo: **R17456**  
Studijní program: **B1301 Geografie**  
Studijní obor: **Geoinformatika a geografie**  
Téma práce: **Analýzy a vizualizace 3D modelů koryt řek pro podporu kanoistiky**  
Zadávající katedra: **Katedra geoinformatiky**

### Zásady pro vypracování

Cílem bakalářské práce je tvorba prezentace vybraného úseku koryta řeky pomocí pokročilých vizualizačních nástrojů. Studentka v práci využije získaný digitální model suchého koryta, na kterém následně provede analýzy. Na základě dílčích modelování provede vizualizace pravděpodobného zaplavení koryta. Výsledný model bude zobrazován pomocí webové aplikace, 3D tisku a dle technických možností i virtuální reality. Výstup práce bude sloužit pro podporu kanoistiky s důrazem na upozornění na nebezpečné úseky v daném korytě řeky.

Celou práci, tj. text včetně všech příloh, posteru, výstupů, zdrojových i vytvořených dat, map, programových kódů a databází, student odevzdá v digitální podobě na paměťovém nosiči připevněném k deskám práce s popisem (jméno, název práce, Katedra geoinformatiky UP, rok). Text práce s přílohami odevzdá ve dvou svázaných výtiscích na sekretariát katedry ve stanoveném termínu. O práci student vytvoří webovou stránku v souladu s pravidly dostupnými na stránkách katedry. Práce bude zpracována podle obecných zásad (Voženílek, 2002) a závazné šablony pro kvalifikační práce na KGI. Povinnou přílohou práce je poster formátu A2.

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

#### Seznam doporučené literatury:

- ALATAS, Husin, et al. Simple model for simulating characteristics of river flow velocity in large scale. *International Journal of Geophysics*, 2015, 2015.
- BURSZTYN, Natalie, et al. Assessment of student learning using augmented reality Grand Canyon field trips for mobile smart devices. *Geosphere*, 2017, 13.2: 260-268.
- DIETRICH, James T. Riverscape mapping with helicopter-based Structure-from-Motion photogrammetry. *Geomorphology*, 2016, 252: 144-157.
- JOHNSON, Lynn E. *Geographic information systems in water resources engineering*. CRC Press, 2016.
- LÜTJENS, Mona, et al. Virtual Reality in Cartography: Immersive 3D Visualization of the Arctic Clyde Inlet (Canada) Using Digital Elevation Models and Bathymetric Data. *Multimodal Technologies and Interaction*, 2019, 3.1: 9.
- MOSSBERG, Lena, et al. Guide performance: Co-created experiences for tourist immersion. *Creating experience value in tourism*, 2014, 234-247.
- VOŽENÍLEK, Vít.: *Diplomové práce z geoinformatiky*. Olomouc, Univerzita Palackého v Olomouci, 2002. 31 s.

Vedoucí bakalářské práce: **RNDr. Jan Brus, Ph.D.**  
Katedra geoinformatiky

Datum zadání bakalářské práce: 6. května 2019  
Termín odevzdání bakalářské práce: 6. května 2020

L.S.



---

doc. RNDr. Martin Kubala, Ph.D.  
děkan

---

prof. RNDr. Vít Voženílek, CSc.  
vedoucí katedry

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>10</b>
<b>2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ</b> .....	<b>11</b>
2.1 Použité metody .....	11
2.2 Použitá data .....	11
2.3 Použité programy .....	11
2.4 Postup zpracování .....	12
<b>3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY</b> .....	<b>13</b>
3.1 Kanoistika .....	13
3.2 Informační zdroje pro kanoisty .....	18
3.3 Zkoumání koryt řek v rámci DPZ .....	21
3.3.1 Současné způsoby tvorby modelů koryta .....	22
3.3.2 Technologická podpora kanoistiky .....	24
<b>4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ</b> .....	<b>27</b>
4.1 Koryto Vltavy pod v.n. Lipno I .....	27
4.1.1 Fotogrammetrické zpracování koryta .....	27
4.1.2 Tvorba doplňujících dat .....	31
4.1.3 Zkompletování modelů v ArcGIS Pro .....	33
4.2 Virtuální realita .....	35
4.2.1 Navigační prvky v korytě .....	35
4.3 Story mapa .....	36
4.4 3D tisk koryta pro simulaci průtoku .....	37
4.4.1 Zpracování modelu .....	37
4.4.2 Příprava modelu pro simulaci průtoku .....	38
4.4.3 Experiment simulace průtoku .....	39
<b>5 VÝSLEDKY</b> .....	<b>40</b>
<b>6 DISKUZE</b> .....	<b>43</b>
<b>7 ZÁVĚR</b> .....	<b>45</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE</b>	
<b>PŘÍLOHY</b>	



## ÚVOD

Český národ je národem vodáků. Letní sjíždění známých řek jako je Vltava, Sázava, Otava nebo Morava zažil téměř každý. I když jde v tomhle případě o vodní turistiku, nesmí se vynechat základní pravidla bezpečnosti sjíždění. Po bezpečný sport je nutné dobré vybavení, orientace a znalosti říčního charakteru. Bez těchto základních předpokladů a poznatků by se na vodu neměli vydávat ani ti nejzkušenější.

Opravdu divokých řek je v České republice jen malé množství. Nicméně je třeba připomenout, že i těch několik se řadí k jedním z nejtěžších v Evropě. Jedná se například o úseky řek Labe pod Špindlerovým Mlýnem, Kamenice u Tanvaldu nebo Vltava mezi v. n. Lipno I. a II. Ve všech těchto zmíněných případech teče během roku řeka většinou malým průtokem. Ovšem zejména v jarních obdobích je v těchto místech vyšší průtok, který umožňuje sjíždění. Je to podmíněno dostatkem vody v nádržích nacházejících se nad danou říční částí. Na jaře z nich bývá pouštěna voda velkým průtokem. I když zvýšený vodní stav trvá obvykle pouze pár dní nebo hodin, vodáctví nadšenci i profesionálové situace značně využívají. Sportovci konají závody a adrenalinové organizace zase vodácké expedice. Na řece je v těchto dobách opravdové rušno a velice často se ve stresu vynechávají podstatné kroky v prozkoumání koryta řeky a tzv. nahlížení správné trasy.

Fakt, že ve zmíněných úsecích protéká voda jen párkrát do roka, přispívá k jejich exkluzivitě. Z tohoto prestižního důvodu se na dané místo chce dostat co největší počet vodáků. Ti méně zkušení, kteří se vydávají na takto divokou řeku poprvé, mohou výrazně podcenit jak své síly, tak svůj materiál. V takových případech je nezbytné, aby byli obeznámeni s náročností vybraného úseku, a aby věděli, jakou 'stopou' řeku správně a bezpečně sjet. Nabyté znalosti před samotným sjížděním mohou výrazně omezit počet malých i smrtelných úrazů, které se bohužel každoročně stávají.

V současnosti používají vodáci nejrůznější papírové průvodce, webové portály a aplikace, statistické tabulky a grafy. Všechny zmíněné informační zdroje znázorňují např.: stav vodního průtoku, počty a umístění jezů, nalézací a vylézací místa. Ovšem tyto informace obvykle nestačí k úplné představě o řece, na kterou se sportovci chystají. Uvedená kombinace různých zdrojů, které jsou navíc často omezené a současné technologie otevírají možnost detailně zmapovat a vymodelovat úsek dané divoké řeky s cílem vytvoření interaktivního průvodce. Tento průvodce má za cíl názorně vymežit náročnost dané řeky a poukázat na pevné překážky v korytě. Hlavním cílem stále zůstává předat rady pro efektivní a bezpečné splutí.

# **1 CÍLE PRÁCE**

Cílem bakalářské práce je tvorba prezentace vybraného úseku koryta řeky pomocí pokročilých vizualizačních nástrojů. V práci bude využit získaný digitální model suchého koryta, na kterém budou následně provedeny analýzy. Na základě dílčích modelování budou prováděny vizualizace pravděpodobného zaplavení koryta. Výsledný model bude zobrazován pomocí webové aplikace, 3D tisku a dle technických možností i virtuální reality. Výstup práce bude sloužit pro podporu kanoistiky s důrazem na upozornění na nebezpečné úseky v daném korytě řeky.

## **2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ**

V této kapitole jsou charakterizovány všechny hlavní použité metody, data, programy. Je zde popsán postup praktické části. Praktická část sestává z několika dílčích částí přes pořízení primárních dat a jejich zpracování a tvorbu výstupů.

### **2.1 Použité metody**

Metody použité v této práci se odvíjely od principů sběru dat pomocí UAV a následného fotogrammetrického zpracování. Letecké povolení pro vlastní sběr dat bylo po dohodě s Ing. Liborem Peškou a Ing. Tomášem Vaněčkem z Povodí Vltavy uděleno pro vybrané území pod hrází v. n. Lipno I. V rámci zpracování pořízených dat se používala stereofotogrammetrická metoda, jejíž jednotlivé kroky se skládaly z aerotriangulace, klasifikace bodů a následné tvorby 3D modelu. Zaměřování vřícovacích bodů v terénu probíhalo použitím geodetické metody RTK. Pro atraktivní vizualizaci vytvořeného interaktivního 3D modelu, byla použita metoda virtuální reality, zprostředkovaná webovou aplikací Sketchfab. Následný kompletní náhled vodáckého průvodce byl vytvořen vizualizační metodou webové story mapy, která byla vybrána s ohledem na multifunkčnost kombinování textů, interaktivních map a dalšího multimediálního obsahu. Pro zhotovení fyzického modelu koryta byla využita metoda 3D tisku.

### **2.2 Použitá data**

Pro fotogrammetrické zpracování modelu koryta řeky Vltavy byla použita data pořízená v listopadu 2019 dronem DJI Phantom 4 Pro. Ze snímkování bylo pořízeno 179 fotek s rozlišením 1,5 cm/px. K potřebnému digitálnímu zasazení modelů do prostředí byla použita prohlížeč 3D webová služba DMR 5G z Esri ArcGIS Server společně s Ortofoto ČR.

### **2.3 Použité programy**

V průběhu praktické části byly použity různé typy softwaru. Letový plán byl generován v aplikaci DJI GS PRO. Pro fotogrammetrické zpracování získaných dat byl použit program Agisoft Metashape Professional. Tvorba doplňkových 3D modelů budov a mostu probíhala v demo verzi programu SketchUp 2017. Geoprostorové zkompletování koryta a doplňkových modelů bylo vytvářeno v softwaru ArcGIS Pro verze 2.7 od společnosti Esri. Byla použita i programová extenze Data Interoperability a nástroje Workbench Tool. Tato extenze sloužila pro importování modelů budov a mostu ve formátu SKP. Pro přenos vrstev do webového prostředí a prezentaci vodáckého průvodce byly použity webové aplikace, také od společnosti Esri. Jednalo se o ArcGIS Online a StoryMaps. Úprava textury 3D modelu probíhala ve free and open source programu Blender, verze 2.91.0, kde byla zakreslena linie ideálního projetí. Virtuální realita modelu koryta byla zprostředkovaná webovou aplikací Sketchfab. Příprava modelu pro 3D tisk probíhala v aplikaci 3D Builder a nastavení parametrů samotného výtisku v programu PrusaSlicer, verze 2.3.0.

Pro prezentaci průběžných výsledků a pro sepsání textu práce sloužily programy Word a PowerPoint z balíčku MS Office. Tvorba posteru probíhala v aplikaci Adobe Illustrator 2021.

## 2.4 Postup zpracování

První kroky práce vedly k rešerši doporučené literatury, publikací, projektů a technologií, které se pojí se zkoumanou problematikou. Kontinuálně s tímto krokem bylo diskutováno s trenérskou radou sjezdu na divoké vodě o vhodném místě pro tvorbu vodáckého průvodce. Po zvážení všech aspektů byl vybrán úsek řeky Vltavy mezi vodními nádržemi Lipno I. a Lipno II., též zvaný jako Čertovy proudy. Ze zmíněného cca 9 km dlouhého úseku, byla vybrána taková část řeky, kde se nevyskytovala vegetace zasahující do koryta z důvodu budoucího bezproblémového snímkování. Následoval výběr vhodného termínu terénní práce s ohledem na meteorologické podmínky.

Po příjezdu na zájmové území byly rozmístěny vřícovací body, připravil se letový plán a území bylo nasnímkováno. Po tomto procesu následovalo geodetické zaměření všech vřícovacích bodů.

Dalším krokem byl import a zpracování dat. Z pořízených snímků byl vytvořen 3D model koryta a modely staveb zasahujících do zkoumaného prostředí.

Zkompletování výsledných 3D modelů budov, mostu a koryta bylo nutné s ohledem na následný přenos do webové scény. Samotné koryto bylo zkoumáno podrobněji s ohledem na tvorbu vodáckého průvodce. Vyznačovány byly důležitá místa, velké překážky, a další orientační body, které byly doplněny o fotografie z pohledu kanoisty a jeho tréninkové jízdy. Do textury modelu byla zakreslena linie ideálního průjezdu. Byl tak vytvořen vodácký (kanoistický) průvodce „Lipenských přejích“, do kterého má uživatel možnost nahlížet také metodou virtuální reality. Všechny zmíněné výsledky byly importovány do výsledné story mapy. Ta byla obohacena o informativní text, podkladové obrázky a video tréninkové jízdy kanoisty.

Pro simulaci průtoku vody korytem byl vytisknut a zkompletován 3D model koryta. Simulace proudění vody korytem proběhla na Katedře geoinformatiky PřF UP a měl za cíl porovnat chování vody ve fyzickém modelu a v reálném prostředí.

V průběhu tvorby praktické části vznikla spolupráce s Katedrou zdravotního a ekonomického inženýrství na Fakultě stavební ČVUT, která projevila zájem o 3D model koryta. V rámci dodání koryta nabídlo tamní pracoviště možnosti digitální simulace proudu v korytě na matematicko-fyzikální bázi v softwaru ANSYS.

## 3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

S neustálým vývojem informačních technologií se váže i jejich subvenční využití ve sportech a pomáhá i samotným sportovcům. Z pohledu zvyšování informovanosti a podpory sportů je velmi vhodné přiblížit tyto technologie také široké veřejnosti a poukázat na nové metody a přístupy.

V první části této kapitoly je představena kanoistika jako vodácký sport. Jsou zde popsány její základní kategorie, smysl celkové orientace na vodních tocích apod. Tyto pojmy jsou pak představeny i v rámci řeky Vltavy, resp. zkoumaného území Lipenských peřejí, kterým se tato bakalářská práce věnuje. Následně jsou předvedeny nejvýznamnější vodácké informační zdroje, a to jak v podobě digitální, tak papírové. V neposlední řadě jsou popsány technologie a metody použité v praktické části, a to s důrazem na výzkum fluviálních oblastí.

### 3.1 Kanoistika

Kanoistika neboli vodáctví patří do odvětví vodních sportů, kde má sportovec za úkol pomocí pádla dostávat svoji loď do pohybu po vodní hladině. Tento sport má dlouholetou tradici a je po celém světě provozován jak rekreačně, tak na profesionální úrovni. Má mnoho disciplín, které jsou kategorizovány do dvou hlavních skupin, a to podle charakteru vodního toku, kde jsou prováděny (ICF, 2020):

- stojatá voda
  - rychlostní kanoistika
  - dračí lodě
  - SUP paddleboarding
  - canoe polo
  - canoe ocean racing
- divoká voda
  - vodní slalom
  - sjezd na divoké vodě
  - rafting
  - extreme canoe slalom
  - canoe freestyle

V roce 2013 vyšla výroční publikace ke stému výročí kanoistiky v Čechách, *100 let kanoistiky v českých zemích* (2013). V této publikaci jsou popsány nejdůležitější historické milníky české kanoistiky od založení prvního českého svazu roku 1913 panem Josefem Rösslerem, ještě z doby Svazu kanoistiky království českého, až po novodobé aktivity a cíle dnešního Českého svazu kanoistů (ČSK). ČSK zaštiťuje téměř veškeré kanoistické neboli vodácké aktivity v České republice. Tvoří komunitu, pořádá závody, působí v nejrůznějších mezinárodních organizacích apod.

#### **Orientace na vodních tocích**

Pro orientaci na řekách slouží vodákům říční kilometráž, jejíž jednotkou je 1 řkm. Tato měrná vzdálenost je počítána od stanoveného nulového bodu, který se nachází obvykle v ústí řeky do moře, oceánu nebo do jiného vodního toku. Podél řek jsou pravidelně rozmístěny tabule, modrobílé patníky a jiné podobné značky s počtem řkm. Souhrnným

názvem těchto značek je tzv. říční staničení. Říční kilometrží je označena většina řek a potoků v Čechách i na Moravě. Přesný přehled toků a jejich kilometrží nabízí webové stránky raft.cz, vodackanavigace.cz, kilometraz.cz a mnoho dalších. Do tiskové podoby se dostala publikace vodáckého průvodce *Kilometrží českých a moravských řek* (Jančar a Novák, 1998), která mimo přesný zápis říčního staničení obsahuje také množství map a zákresů jezů, peřejí či mělčin a podává přesné informace o charakteru daného vodního toku.

### Hodnocení obtížnosti

Charakter vodního toku a jeho náročnost patří podle dotazníkového šetření z bakalářské práce „*Návrh atlasu pro extrémní kanoistiku na divoké vodě*“ (Stramová, 2014) mezi nejdůležitější rozhodovací prvky při výběru lodi a ostatního vybavení. V neposlední řadě i k samotnému splutí. Pro rozpoznávání náročnosti sjezdu divokých vod slouží několik mezinárodních klasifikací. Nejznámější je klasifikace vytvořená a publikovaná mezinárodní kanoistickou federací (ICF), která je rozdělena do 6 tříd od nejméně náročných po nejnáročnější. V evropských podmínkách je ovšem více preferována klasifikace alpská. Ta je rozdělena do kategorií ZW – mírná voda (z něm.: Zahmwasser) a WW I až WW VI – divoká voda (z něm.: Wildwasser) z čehož je WW I definována jako lehká voda, WW II jako mírně těžká, WW III jako těžká, WW IV jako velmi těžká, WW V jako mimořádně těžká, WW VI je na hranici sjízdnosti (raft.cz). Klasifikace je více popsána v tabulce (Tab. 1) a je na ní v dalších kapitolách odkazováno.

Tab. 1: Klasifikace obtížnosti (zdroj: raft.cz, 2013).

Označení	Charakteristika	Nároky na vodáka a jeho vybavení
ZW	Klidný, mírně proudící tok bez překážek a peřejí	Základní znalost ovládání lodě, loď zajištěná proti potopení, děti a neplavci vesty.
WW I	Lehký tok s občasnými peřejemi.	Znalost ovládání lodě, loď zajištěná proti potopení, vhodné vesty a helmy, znalost sebezáchrany.
WW II	Řeka s peřejemi a vlnami, dobře čitelné a viditelné; úzké toky s rychlejším proudem a občasnými návaly proudu na břeh a s možností překážek dobře viditelných.	Dobrá znalost ovládání lodi, umění rychle zastavit, trénovanost a zkušenosti vhodné; loď zajištěná proti potopení, vhodné uzavřené nebo samovylévací loď, vesta a helma, znalost sebezáchrany, doporučená znalost záchrany jiných.

WW III	Těžký tok s nepravidelnými vlnami a občasným válcem, někdy zablokované, nečekané překážky; u úzkých toků nepřehledná místa s peřejemi v meandrech s náhlými překážkami.	Velmi dobrá znalost ovládnání lodě a taktiky jízdy na rychlé a divoké vodě, uzavřené lodě nebo rafty, znalost sebezáchrany a záchrany jiných, vesta, helma, neopren, záchranné vybavení, je možná jízda bez prohlížení celého úseku.
WW IV	Velmi těžký tok s velkými peřejemi, válce, silná rozhraní, návaly vody, zablokované s úzkými průjezdy a stupni.	dtto. WW III, velmi dobré znalosti záchrany, psychická odolnost a trénovanost, rychlá rozhodnutí, úsek předem prohlédnout.
WW V	Extrémně těžký tok, velmi zablokované a nepřehledné, neustálé peřeje s málo místy na zastavení, vysoké kaskády a stupně, rychlý proud.	Velmi rychlá rozhodnutí pod psychickým tlakem, velká zkušenost, velmi dobře sehrané skupinky s praxí v záchrane a velmi dobrým vybavením.
WW VI	Hranice sjízdnosti, kdy tok může být sjízdňý v kombinaci s vhodným stavem vody a dalšími podmínkami.	dtto. WW V

### Úsek Vltavy „Čertovy proudy“

Úsek Vltavy pojmenovaný „Čertovy proudy“ se svou náročností zařazuje do kategorií WW III+ až WW V+. Jedná se o nejtěžší úsek na řece Vltavě a ve střední Evropě. Zároveň se v úseku nachází i zkoumané území praktické části této bakalářské práce, „Lipenské peřeje“. Níže je obecně představena řeka Vltava, její rizikové pasáže a také vědecké práce, které se pojí s tématem Čertových proudů.

Vltava je nejdelsí řekou České republiky (430,2 km) a její základní pramennou soustavu tvoří toky Teplá Vltava, Vltavský potok, Řasnice a Studená Vltava. Mimo suchých letních měsíců je Vltava sjízdňá již z obce Lenory (396,2 řkm) po celý rok. V souladu s ochranou přírody, Správa NP a CHKO Šumavy jasně určuje pravidla, za jakých okolností se horní část Vltavy může sjíždět. Úsek, o kterém tato bakalářská práce pojednává, se nachází mezi hrázemi přehrad v.n. Lipno I. a v.n. Lipno II.

Úsek má historicky přijatý název „Čertovy proudy“, jelikož vede jednou svojí částí podél Čertovy stěny. Extrémně náročný úsek má délku 9 km a vodáci, kteří se na řeku vydají, musí čelit náročnými pasážemi: tzv. „Váňou“ (též „Váňův skok“, WW III+), „Železnákem“ (WW III+), „Loučovickou kaskádou“ (WW IV), „Oknem“ (též „Vraty“, WW IV+), „Škvírou“ (WW V+) a „Schody“ (WW V) (Obr. 1) (Jančar a Novák, 2005)

Historicky touto částí řeky protékala voda neustále, ovšem v současné době díky výstavbě vodního díla Lipno a provozu vodní elektrárny společnosti ČEZ, a. s. je omezena na stálý průtok, pouhých  $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Při takovém průtoku se řeka stává pro vodáky nesjízdňá.

Sjíždění je zde každoročně možné pouze čtyři až pět dní v měsíci srpnu. Díky organizačním schopnostem pořadatelů závodů ve sjezdu na divoké vodě, raftingu, slalomu a extrémnímu slalomu, vystoupá průtok vody více než desetinásobně. Minimální tzv. závodní průtok bývá  $15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Pro nafukovací či plastové lodě jsou Čertovy proudy sjížděné již za  $8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Horní hranice pro sjezd je pro každého sportovce individuální (Lichtág, 2003).



Obr. 1: Raftová závodní jízda v peřeji „Schody“ (autor: Vášek Kolář)

V roce 2013 byla vytvořena studie „Možnosti vodáckého využití řeky Vltavy v obci Loučovice a jejím okolí ve vztahu k projektu Čertovy proudy Loučovice“ (Studnička, Plzánková, Tinková 2013), která pojednává o možnosti celosezónního průtoku vody a jeho turistického využití. Práce reflektuje problematiku nezaměstnanosti v obci Loučovice a nastiňuje využití obrovského potenciálu řeky Vltavy pro sportovní i turistické účely a jeho následné implementace do sociálně-ekonomické sféry.

Z dosavadního popisu toku je zřejmé, že největší komplikace mohou nastat v rámci zachování bezpečnosti. Na řeku se vydávají kromě zkušených sportovců i nezkušení turisté, kteří často přeceňují své síly a nedokážou odhadnout náročnost splutí, sílu proudu, rozmístění překážek apod. Než se vodák vydá na divokou řeku, je jeho nepsanou povinností si nejprve prohlédnout terén vody ze břehu. Na to ovšem v případě zkoumaného úseku není zdaleka tolik času, jelikož zvýšený průtok zde protéká jen pár hodin přes závodící dny. Následně se průzkum vynechává nebo se urychlí tak, že není možné si zapamatovat celou trasu.



Historicky první sjezd této divoké části Vltavy se uskutečnil v roce 1958, který v roce 2001 připomněl filmový historik Karel Čáslavský v pořadu Hledání ztraceného času: Vltava v obrazech, „Prvním odvážlivcem byl Jiří Moros, ale hned za ním následovali další, Matějovský, Havel, Hendrych, Valenta, Stach, Svoboda a další. Ukázalo se, že se to s patřičnou dávkou odvahy, štěstí, a především vodáckého umění dá zdolat. A tím byl dán základ k budoucím mistrovství republiky a také světa ve slalomu i ve sjezdu.“ (Obr. 2) (Vltava v obrazech, 2013).



Obr. 2: Historický záběr kajakáře z prvního závodu na Lipenských peřejích (zdroj: Vltava v obrazech, 2013).



Obr. 3: Současný záběr kajakáře ze závodu na Lipenských peřejích (autor: Pavel Doležal).

Na vybraném úseku řeky, Lipenských peřejích, se jezdí především závody ve slalomu a sjezdu na divoké vodě (Obr. 3). Prvních několik desítek metrů (pokud je průtok vody roven závodnímu) je proud klidnější, nachází se zde jen malé množství kamenů, které mohou potencionálně loď poškodit. Následně se vzrůstajícím se převýšením zrychluje i proud a sportovec najíždí do zatáčky s první náročnou peřejí, kde je pro „probublvanou“ vodu náročnější odhadnout pozici balvanů pod hladinou. Postupně se závodník dostává do další pasáže klidných „bazénů“, které začínají pod mostem a můžou být komplikované pro své turbulentní proudění a vytváření tzv. karfiolů, popř. bubláků. Na konci se nachází nejtěžší pasáž, „Váňův skok“ (WW III+), kde je důležitý správný nájezd. V této peřeji se nachází velké množství rozsáhlých balvanů a pod nimi vodou zaplňující se skuliny. Při nesprávném nájezdu hrozí rozbití lodě, převrácení sportovce a případné problémy s jeho záchranou.

## 3.2 Informační zdroje pro kanoisty

Pro vodáky je důležitá znalost vodního terénu ještě před tím, než se na vodu vydají. Využívají k tomu množství informačních zdrojů, vodáckých průvodců i předpovědi počasí a průtoků. Zmíněných zdrojů, ze kterých kanoisté mohou čerpat aktuální informace o vodních stavech, říčních průtocích i teplotách vody, existuje mnoho. Mezi tuzemské patří především webové portály jednotlivých povodí – Povodí Labe, Povodí Vltavy, Povodí Ohře, Povodí Odry a Povodí Moravy. Jelikož je v praktické části zkoumáno koryto Vltavy, bude dále popsáno především Povodí Vltavy. Do významných zdrojů dále spadají Český Hydrometeorologický Ústav (ČHMÚ), speciální vodácké webové stránky a různé mobilní aplikace.

### Povodí Vltavy

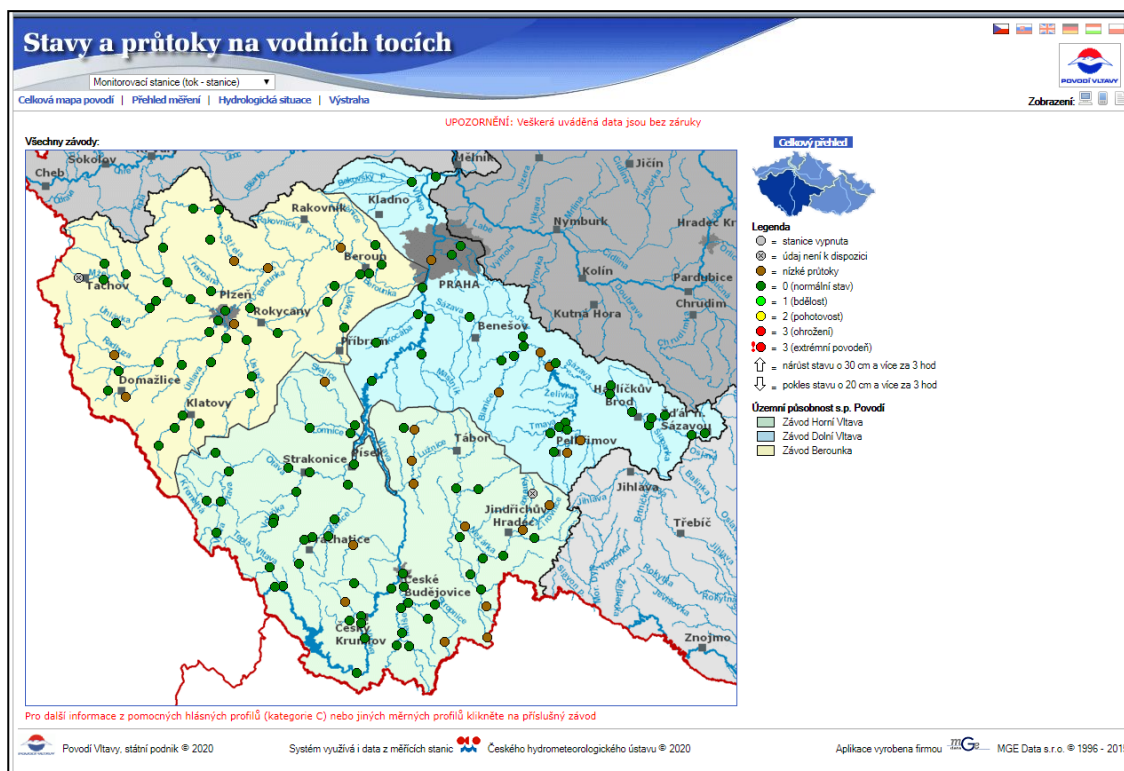
Povodí Vltavy, dále jen PVL, je státní podnik, který spravuje rozsáhlou plochu o třech územních působnostech. Závod Horní Vltava, Závod Dolní Vltava a Závod Berounka. PVL má za cíl zlepšovat možnosti všestranného využívání povrchových a podzemních vod v celém hydrologickém povodí Vltavy tak, aby zůstalo významným místem zdravého životního prostředí a plnohodnotného života lidí (Povodí Vltavy, 2013). Mezi hlavní funkce PVL patří provoz a údržba vodních děl, které jsou ve vlastnictví státu, zjišťování a hodnocení stavu povrchových a podzemních vod, zajišťování ochrany před povodněmi apod.

Na oficiálních webových stránkách [www.pvl.cz](http://www.pvl.cz) se může široká veřejnost dozvědět informace o:

- vodních stavech a průtocích (Obr. 4)
- povodňových stavech
- jakosti povrchové vody
- vodních dílech a mimořádných manipulacích
- plánování v oblasti vod
- veřejných zakázkách

Na stejné či podobné bázi fungují všechny další výše uvedené povodí v ČR.



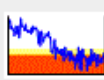

Veškerá data týkající se hydrologické situace, aktuálního stavu na vodních tocích a nádržích, informace o jakosti vody, vyhodnocení povodní apod. jsou monitorovány díky síti měřicích stanic. Tato síť je tvořena stanicemi všech povodí a stanicemi ČHMÚ. Sledují se nejen výše zmíněné prvky, ale také sedimenty a plaveniny, teploty vody apod. ČHMÚ má také svoji webovou aplikaci, kde prezentuje aktuální vodohospodářská data.



Obr. 4: Snímek obrazovky webové aplikace PVL (zdroj: Povodí Vltavy - Stav a průtoky, 2020).

### Další weby, portály, aplikace

Dalším hojně využívaným zdrojem je vodácký web [www.raft.cz](http://www.raft.cz) (2021), obsahující v sekci *Sjízdnost* pravidelně aktualizovanou tabulku s přehledem aktuálního vodního stavu vybraných řek (Obr. 5) a dalších informací. Web obsahuje podobný souhrn dat i z Polska, Slovenska, Slovinska, Chorvatska, Bosny a Hercegoviny, Černé hory a Bulharska. Je na místě také zmínit nejrozšířenější českou mapovou aplikaci, [Mapy.cz](http://Mapy.cz), která nabízí plánování vodáckých tras, říční kilometrů a bodově vyznačené jezy ve vodních tocích.

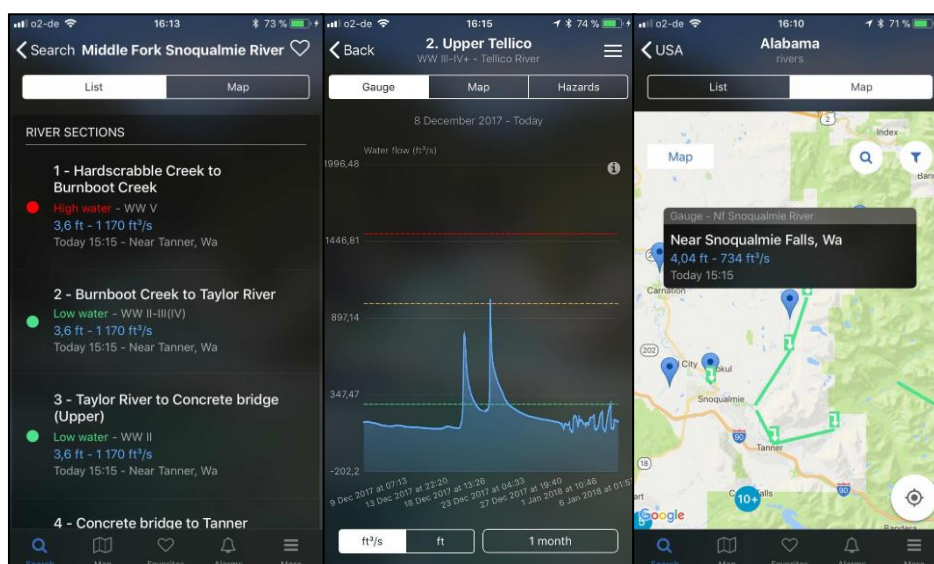
Název	Úsek	Limit	Aktuálně	Měřeno	Tend.	Stav	Tepl.	
Berounka	horní (z Plzně)	85 cm	<a href="#">96cm</a> 5,37 m <sup>3</sup> /s		22. května 16:00 (Plzeň B.H.)	↓		16°C
	dolní (z Roztok)	75 cm	<a href="#">75cm</a> 9,91 m <sup>3</sup> /s		22. května 16:00 (Beroun)	↓		18°C

Obr. 5: Snímek obrazovky tabulky průtoků (zdroj: raft.cz, 2020)

Co se týče informačních zdrojů z jiné části Země, USA má svojí neziskovou organizaci jménem *American Whitewater*, založenou v roce 1954 s přibližně 6000 členy a 100 přidruženými sportovními kluby (American Whitewater, 2021). Posláním této organizace tkví v ochraně a v obnově amerických divokých řek a v rozšiřování příležitostí tyto vodní toky bezpečně splouvat. Tato organizace má svůj webový mapový portál ([www.americanwhitewater.org](http://www.americanwhitewater.org)), kde dokumentuje sjízdné vodní toky, podává přehled o

vodních stavech, statistických datech záchranných akcí a také varuje před nebezpečnými překážkami či peřejemi formou bodu v mapě a jeho stručného popisu.

V návaznosti na webové portály a aplikace existuje v našich evropských podmínkách německá aplikace RiverApp (Obr. 6), podávající informace o téměř 16,000 řekách z více než 15 států Evropy a taktéž ze Severní Ameriky. Tato hybridní mobilní aplikace je primárně určena pro vodáky a rybáře. Ti si mohou vybrat řeku, na níž jsou zájmové měřicí místo a sledovat průtoky, výšku vody, zobrazit si jí na mapě a nastavit si například upozornění na situaci, až průtok v řece převyší minimální hranici vhodnou k splutí.



Obr. 6: Snímky obrazovky mobilní aplikace RiverApp (zdroj: RiverApp | River levels App, 2020)

Jak bylo naznačeno v podkapitole *Orientace na vodních tocích*, v České republice existuje v papírové podobě *Vodácký průvodce Česko* (Obr. 7) (Jančar, Novák, 2005). Je to první ucelená publikace v oblasti vodácké turistiky. Obsahuje kilometráž všech českých a moravských řek, která je doplněna přehlednou mapou, samostatnými průvodci po vybraných řekách, informacemi o bezpečnosti, sjízdnosti a obtížnosti. Také jsou zde uvedeny informace o potřebném vybavení na vodu, v neposlední řadě rady a návody na opravu lodě a řešení krizových situací. Všechny mapy v průvodci jsou z kartografického vydavatelství firmy SHOCart, spol. s.r.o.





Obr. 7: Mapa z Vodáckého průvodce Česko (zdroj: Jančar, Novák, 2005)

### 3.3 Zkoumání koryt řek v rámci DPZ

Existují i modernější a přesnější metody a technologie pro zkoumání koryt řek, pro tvorbu vizuálních výstupů a statistiky než pouze papírové mapy, tabulky a grafy. Jedná se o technologie, které dokážou přesněji pořizovat data a reprezentovat realitu.

Dálkový průzkum Země (dále pouze DPZ) je technologie, díky které došlo k radikální transformaci mapování a analyzování zemského prostředí (Marcus a Fonstad, 2010). Současné přístroje a softwary jsou schopné pořizovat a zkoumat spojitá data v různých prostorových měřítkách. V návaznosti na obrovské množství dat se přichází na nové přístupy a chápání geomorfologických procesů, které pomáhají pokrýt celý rozsah fluvialní struktury a fluvialních funkcí (Lane et al. 1994).

Pro DPZ existuje, stejně jak pro další vědní obory, několik možných definic:

- DPZ se zabývá shromažďováním informací o objektech bez fyzického kontaktu s nimi. Termín DPZ je omezen na metody, které využívají elektromagnetické záření jako prostředku ke zjišťování objektů a k měření jejich charakteristik (Sabins, 1978).
- DPZ je věda i umění získávat užitečné informace o objektech, plochách či jevech prostřednictvím dat měřených na zařízení, která s těmito zkoumanými objekty, plochami či jevy nejsou v přímém kontaktu (Lillesand a Kiefer, 2008)

Princip DPZ tkví v interakci mezi dopadajícím zářením a následným odrazem od zkoumaného objektu. Hlavním činitelem pro DPZ je elektromagnetické záření, které působí na objekt zájmu. Obecné využívání metod DPZ ve fyzické geografii zkoumal např. P. Tarolli (2014) a v rámci zkoumání fluvialních systémů např. Carbonneau a Piégay (2012).

Zmíněný princip DPZ je především o pořizování dat. Jejich následná úprava už podléhá určitým metodám a využívají se jiné technologie. Úprava pořízených dat může vést k tvorbě digitálních a později i fyzických modelů.

### **3.3.1 Současné způsoby tvorby modelů koryta**

Kromě DPZ technologií, které mohou být jak aktivní (např. sonar, LIDAR), tak pasivní (fotogrammetrie), se při zkoumání koryt řek využívá také batymetrická měření.

Batymetrie je vědní obor a technologie zkoumající hloubku vodních ploch. Slouží k sestavování kapacit vodních toků a nádrží, mapování sedimentů apod. Práci, reflektující praktické využití batymetrie ve stanovení morfologie dna vodní nádrže, se zabýval Marval, Hejduk, Dušková et al. (2018). U říčního batymetrického měření se naráží na komplikaci v rámci potřebné hloubky pro správné měření, jelikož technologie byla původně vytvořena pro zkoumání hlubších vod (dna oceánů, jezer apod.). Výstupní data z těchto měření na mělkých říčních tocích jsou proto často nepřesná.

Pro stanovení podrobného modelu mělkých koryt je potřeba využít jiných technologií a přístupů než výše zmíněná batymetrie. Například pozemní využívání diferenciální GPS (Brasington et al., 2000) nebo totální stanice (Lane et al., 1994; Milne and Sear, 1997; Koljonen et al., 2012). Dále je vhodné laserového skenování (LIDAR) v zeleném pásmu (Kinzel et al., 2013) a využití sonaru, který jako jeden z aktivních metod DPZ přenáší zvukové vlny skrz vodní hmotu, které se odráží od dna zpět (Guerrero and Lamberti, 2011; Kasvi et al., 2017b). Časem a rychlostí, které stráví jedna zvuková vlna od vyslání po přijetí se stanovuje hloubka.

Řeka se může zmapovat také pomocí leteckých snímků (Legleiter, 2013), ovšem výsledek nemusí být tak přesný. Podstatným milníkem v analýzách obrazu je využití textury a různých částí elektromagnetického spektra pro diferencování fluvialního charakteru řek. Detailní zkoumání koryta řeky a jeho sedimentace za pomoci analýzy textury proběhlo na řece Sainte-Marguerite (Québec, Kanada), kde zkoumané území dosahovalo 80 km délky (Carbonneau et al., 2004). Zmíněná práce mimo jiné poukazuje i na problematiku vzrostlé vegetace, která zasahuje do území koryta řeky a tím je mapování lehce znehodnoceno.

Legleiter (2012) použil ve svém výzkumu kombinaci laserového skenování a batymetrie pro doplnění hloubek jednotlivých „bazénů“ v řece. Legleiter potvrdil, že hloubky těchto bazénů byly v minulosti značně podceňovány pro jejich obecné ovlivňování charakteru řeky.

#### **Pořizování obrazových dat pomocí UAV**

Zkratkou UAV (Unmanned Aerial Vehicle) se v odborné literatuře označují veškerá bezpilotní letecká zařízení. UAV technologie je založená na používání leteckých modelů bez lidské posádky v zařízení (Dunford, 2009). „Poměrně široká definice UAV zahrnuje mnoho platform jako jsou letadla, vrtulníky, heliové balóny, motorové paraglidy apod. Pokud se použije pojem UAV fotogrammetrie, je nutné doplnit, že je absolutně nezbytné, aby všechny výše zmíněné platformy měly dostatečnou schopnost získávat

fotogrammetrická data, a to buď manuálně, v poloautomatickém či zcela automatickém režimu.“ (Mířijovský 2013, s. 8-9). Sběr dat pomocí využití dronu je rychlý a efektivní. Dron je řízen letovým plánem a uživatel se ani nemusí nacházet přímo ve zkoumané oblasti. To přináší výhodu zejména v rámci snímkování hůře dostupných míst, jako jsou v případě této bakalářské práce právě koryta řek. Mapování pomocí UAV je výhodné především v případech silného proudění vody v korytech a v územích jež jsou špatně či zcela nepřístupné.

Nejtypičtějším produkty pořizovanými technologiemi UAV jsou (Kerle, Heuel a Pfeifer, 2008):

- **fotografie** samotná, poskytující okamžitý situační pohled a je základem pro kvalitativní průzkum nebo pro sledování historických posloupností,
- **stereofotografie**, která dává kvalitativní 3D dojem, pokud byly fotografie pořízené přibližně paralelně,
- několik překrývajících se fotografií dávají za vznik **mozaikám** a **panoramatickým fotkám** s různou perspektivou,
- **ortofoto** jako jeden z hlavních výstupů fotogrammetrických procesů vzniká z fotografie, která projde tzv. ortorektifikací (odstranění geometrického zkreslení snímku způsobeného nestejnou vzdáleností nebo výškou terénu).

Všechny tyto produkty vznikají na základě práce s fotografií, ovšem z těchto původních obrazů je možno přímo vygenerovat 3D informace jako jsou 3D body, 3D linie, atd. Existuje také možnost automatického generování digitálních modelů reliéfu.

Důležité je zmínit, že data nemusí být pořizována pouze z fotoaparátu, ale také z termokamer (Thermal Remote Sensing, TRS), z multispektrálních radiometrů (kamery typu FLIR, Forward Looking Infrared Cameras) a dalších. Záleží na dostupné výbavě, účelu pořizování dat a následnému použití.

### **Druhy výstupů**

Hlavním digitálním výstupem snímkovacího procesu jsou fotografie nesoucí prostorovou informaci, které se v následném postprocessingu zkompletují a může se s nimi dále pracovat. Toto seskupení je zbaveno tzv. outlier fotek, tj. fotek, které vznikly při vzletu, přistávání apod. Fotkám je nastavena projekce a souřadnicový systém shodný se souřadnicovým systémem vličovacích bodů, podle kterých se fotky také posouvají a zarovnávají, upravuje se nadmořská výška, nastavuje se rozlišení.

Z takto očištěných a zarovnaných fotek je možno vytvořit soustavu bodů – point cloud neboli husté mračno tří-dimenzionálních bodů, které jsou získány vzorkováním hranic objektu a slouží pro rekonstrukci povrchů ve tvaru trojúhelníkové sítě (Linsen, 2001).

Z trojúhelníkové sítě již lze vytvořit polygonální model, ze kterého je dále tvořen 3D model a generují se textury. Mezi další možné výstupy trojúhelníkové sítě se řadí dlaždicový model i digitální model reliéfu, který je ovšem možný generovat i z mračna bodů. Digitální model reliéfu (dále pouze DMR) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskretních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) bodů (Geoportál ČÚZK, 2010). Z DMR může být po ortorektifikaci vygenerováno ortofoto a ortomozaika (více ortofot složených do jednoho souboru) (Gisat, 2021).

### **Využití digitálních modelů reliéfu**

3D vizualizace DMR je dnes již nezbytnou součástí nejrůznějších plánování, modelování, predikování. Kadlčíková (2007) ve své práci zmiňuje několik aplikací DMR:

- DMR jako podklad pro tematické vrstvy
- DMR při modelování situace v územním rozvoji
- DMR při simulaci jevů a procesů
- DMR v dynamické vizualizaci

Digitální modely koryt řek jsou vytvářeny např.: pro účely vodohospodářských staveb, protipovodňových opatření, ochrany vod, říčního pirátství, erozí, geologie, zavlažování, výsadby ryb, slapových jevů a mnohých dalších.

DMR je v této bakalářské práci využit zejména k přípravě modelu pro 3D tisk a k simulacím proudění vody, na kterých se podílí vodohospodářské pracoviště ČVUT.

### **3.3.2 Technologická podpora kanoistiky**

Pro posílení představitivosti kanoisty mohou být využity kvalitní 3D modely. Od takových 3D modelů je požadováno, aby co nejpřesněji reprezentovaly reálné prostředí. Výsledné modely mohou mít jak digitální, tak i fyzikální podobu.

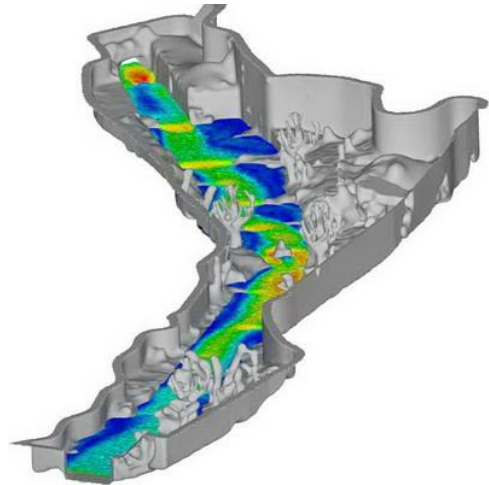
Především fyzikálním modelům koryt řek a umělých vodních kanálů se věnují vědci na Katedře zdravotního a ekonomického inženýrství na Fakultě stavební ČVUT. Mimo hlavní projekty hydraulických optimalizací, které hydrologické výzkumné pracoviště řeší, se člen katedry Prof. Ing. Jaroslav Pollert, Ph.D. zabývá fyzickými modely koryt řek (Obr. 8) a následnému matematickému modelování proudění (Obr. 9), prototypování umělých slalomových drah a tvorbou 3D CFD (Computational Fluid Dynamic) modelů. Publikace *Využití 3D scanování koryta toku pro CFD posuzování stavu vodního toku podle ekologických kritérií* (Pollert, Klímová, Doležalová et al., 2013) popisuje přesný postup modelování reálného vodního toku, resp. jeho koryta, od pořízení dat až po matematický model proudění

V rámci „Studie proveditelnosti rekonstrukce umělé slalomové dráhy v Kadani“, která je v současnosti vytvářena firmou Optiflow Solutions ([www.optiflow.cz](http://www.optiflow.cz)), taktéž vedená panem profesorem J. Pollertem, jsou vytyčeny jasné stavební cíle projektu. Prozatímní dokumentace uvádí, že zkoumaná oblast (cca 200 m dlouhá) byla nafocena pomocí dronu a následně byl fotogrammetricky vytvořen 3D model. Model se vytiskl na 3D tiskárně a byl doplněn o nové prvky (překážky, úpravy břehu). Pro tento projekt byla zvolena inovativní technologie tzv. digitálního dvojčete, která spočívá v digitální kopii terénu, kterou je možné měnit v průběhu projektu a ověřovat, zdali vyhovuje všem požadavkům (Optiflow Solutions s.r.o., 2021).





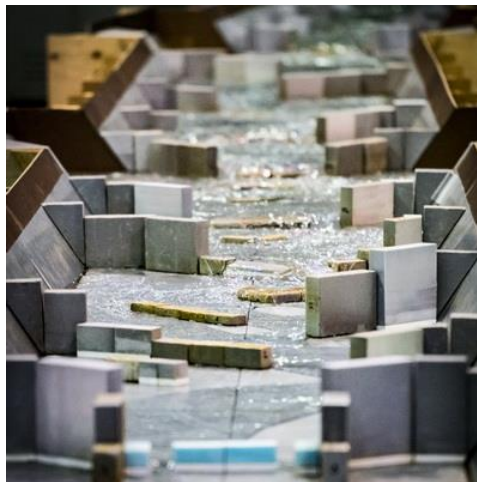
Obr. 8: Fyzický model budoucí slalomové dráhy v Kadani (zdroj: autor).



Obr. 9: Matematický model proudění slalomové dráhy v Kadani (zdroj: Optiflow, 2021).

Mezi nejznámější projekty firmy Optiflow Solutions a hydrologického pracoviště ČVUT patří tvorba fyzikálních modelů umělých slalomových drah pro olympijské hry v Rio de Janeiru (2016) (Obr. 10) a v Tokiu (2020).

Do nových vizualizačních nástrojů, které se mohou využít pro podporu staveb, radí profesor Pollert i virtuální (VR) a rozšířenou realitu (AR). Dle George Coatse (1992) je VR elektronická simulace prostředí zprostředkovaná skrze brýle upevněné na hlavě a příslušenství a umožňuje uživateli interagovat s reálnými trojrozměrnými situacemi. AR je oproti tomu kombinací reálného prostředí s počítačem generovanými prvky (Furht, 2011).



Obr. 10: Model umělé slalomové dráhy Rio de Janeiro (zdroj: Optiflow, 2021).

Ze současného stavu řešené problematiky vyplývá, že neexistuje žádný 3D digitální vodácký průvodce, který by znázorňoval potencionální místa ohrožení, či ideální místa splutí vybraného úseku. Zkoumání koryt řek cíleně pro podporu kanoistů (nikoli kanoistiky jako sportu) nikdy neprobíhalo. Tato práce a zejména její praktická část objevuje nové přístupy v rámci podpory vodáckého sportu a samotných sportovců. Má sloužit jak závodníkům, tak amatérům v predikci případného ohrožení na životě. Poukazuje na hlavní překážky v korytě, na jejich velikost, nejhlubší místa, největší výškový spád. Cílem vytvořeného průvodce je, aby všichni, kteří se chtějí vydat na tento úsek, byli obeznámeni s místním terénem prostřednictvím vytvořeného 3D virtuálního vodáckého průvodce.

## 4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

Praktická část této bakalářské práce zahrnuje především tvorbu 3D vodáckého průvodce. Vodácký průvodce měl uživatelům představovat model suchého koryta řeky, pro lepší představu překážek na dně, orientační body a vyznačenou linii ideálního projetí. Jelikož byla pro vznik modelu použita metoda fotogrammetrie, výběr zkoumaného území musel splňovat několik podmínek:

- „suché“ koryto,
- málo vegetace zasahující do koryta,
- významné místo vodácké turistiky a vodáckého sportu,
- potenciální ohrožení na životě v případě neznalosti charakteru toku.

### 4.1 Koryto Vltavy pod v.n. Lipno I

Po konzultaci s profesionálními sportovci i s Vodní záchrannou službou ČČK Český Krumlov, p.s. bylo vybráno území řeky Vltavy nacházející se pod vodní nádrží Lipno I. Pracovně pojmenované území, Lipenské peřeje, je 615 m dlouhé a má převýšení 9 m. Úsek je začátkem mezinárodně známých Čertových proudů, které se nachází jen pár km pod zkoumanou částí řeky. Je specifický svou náročností, nárazovou obsazeností a okolním prostředím.

#### 4.1.1 Fotogrammetrické zpracování koryta

Prvním krokem v tvorbě 3D modelu koryta bylo pořízení vlastních dat pomocí UAV technologie. V rámci plánování letu a přípravy snímkování byla provedena kontrola lokality a bylo oficiálně požádáno o letecké povolení státního podniku PVL. Počáteční informace o vybrané lokalitě, jako přibližná velikost, případné překážky a umístění, byly zjištěny pomocí aplikací Google Earth a Mapy.cz a jejich satelitních a leteckých snímků.



Obr. 11: Průzkum oblasti koryta (zdroj: autor).

Po příjezdu do snímaného území a krátkém zorientování v terénu (Obr. 11) probíhalo umístění vřícovacích bodů. Na základě těchto bodů byly později počítány prvky vnější orientace.

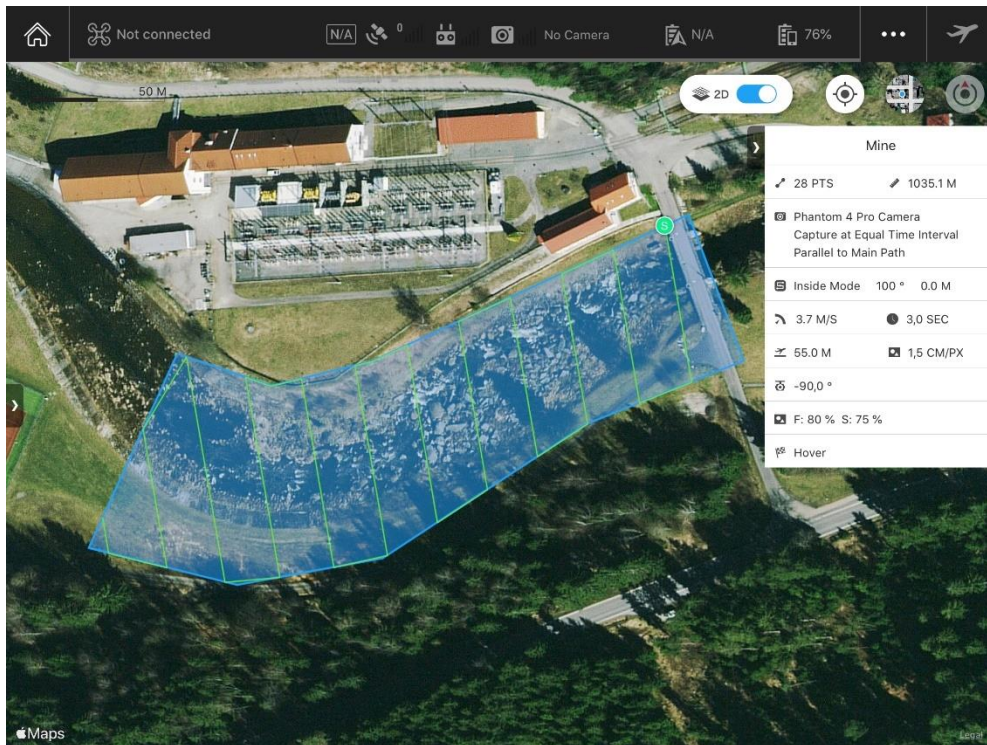
Vřícovací bod je prvek, který se objevuje na snímku a jehož poloha je ve zvoleném souřadnicovém systému známa (Miřijovský, 2013). Pro účely tohoto snímkování byly použity nabarvené CD disky (bíločerné), které byly rovnoměrně rozmístěny po celém zájmovém území (Obr. 12). Sedm vřícovacích bodů na levém břehu řeky a sedm na pravém. Tyto body se následně zaměřovaly geodetickou metodou RTK (Real Time Kinematic) s GNSS přijímačem Trimble s důrazem na co nejmenší polohovou odchylku. Vřícovací body byly ukládány do CSV souboru v souřadnicovém systému S-JTSK.



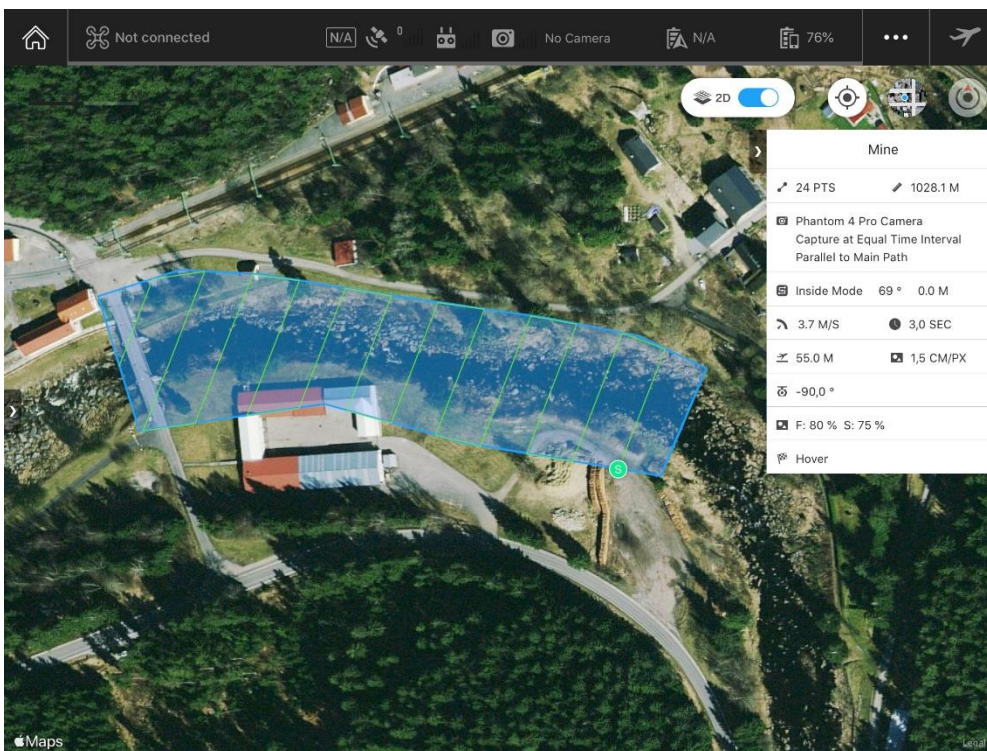
*Obr. 12: Pohled z dronu na vřícovací bod (zdroj: autor)*

Snímkování bylo prováděno dronem DJI Phantom 4 Pro. Tento dron patří mezi kvadrokoptéry a je vybaven 4K Ultra HD kamerou. Dron má svůj vlastní systém pro detekci překážek a je schopen reagovat okamžitě v případě blížící se kolize. Jeho maximální rychlost se ohybuje okolo 20 m/s a maximální letový čas je cca 30 min.





Obr. 13: Letový plán vygenerovaný k prvému letu (zdroj: autor).



Obr. 14: Letový plán vygenerovaný k druhému letu (zdroj: autor).

Dalším krokem byla příprava leteckých plánů a nastavování parametrů samotného snímkování. Lety probíhaly dva, a to z důvodu jak měnících se povětrnostních podmínek, tak kontroly výstupů z prvního letu pro dodržení požadované kvality. Výška snímkování byla stanovena na 55 m s rozlišením 1,5 cm/px při frekvenci snímkování 3 snímky za sekundu. Software ke dronu DJI GS PRO (Obr. 13, 14) si automaticky vytvořil tzv. waypointy, neboli průletové body, a letové osy. Průletové body jsou body se souřadnicemi X, Y, Z, kterými musí UAV systém proletět a letová osa je myšlená čára, která spojuje jednotlivé waypointy (Mířijovský, 2013). Lety probíhaly v automatickém režimu při dohlížení prostřednictvím řídicího tabletu a vizuálního sledování dronu. Z obou letů bylo pořízeno celkem 179 snímků.

Pro tvorbu 3D modelu území bylo nejprve zapotřebí aerotrianglace, neboli výpočet prvků vnější orientace. Tato část se považuje za nezbytnou z důvodu kartografického využití modelu. Největší roli v aerotriangulaci zaujímají právě vřícovací body a jejich souřadnice, ty byly ve formě CSV souboru nahrány do SW Agisoft Metashape společně se všemi snímky. Probíhalo manuální srovnávání bodů podle jejich umístění na snímcích a následně zarovnání fotek. Po finální kontrole mohlo dojít na převedení fotek do tzv. point cloudu s parametry Quality: High a Depth filtering: Mild. Po určitém časovém kontinuu bylo vygenerováno celkem 30,594,322 bodů. Následovala automatická klasifikace bodů, která body rozdělila podle úhlových a vzdálenostních parametrů do skupin země, vegetace, auta, budovy, silnice apod. Jelikož tento způsob klasifikace nerozdělil exaktně všechny body do zmíněných skupin, muselo proběhnout i manuální přerozdělení. Dalším krokem bylo odstranění nepotřebných skupin bodů, které v budoucím 3D modelu neměly žádnou funkci. Jednalo se o auta, vegetaci a také o budovy a most, které se modelovaly zvlášť a do výsledného 3D modelu se přidaly až v dalších fázích práce (více v kapitole 3.1.2 Tvorba doplňujících dat). Následně byly také odstraněny chybné body, které vznikly na lesklých zvlněných vodních plochách z důvodu odraženého slunečního záření a body z širšího okolí, které by nebyly relevantní pro budoucí model. Bylo tím myšleno zúžení území pouze na zkoumanou oblast říčního koryta a jeho bezprostředního okolí.

Z takto upraveného mračna bodů mohlo dojít k tvorbě spojitého digitálního TIN modelu (Obr. 15). Nastavení parametrů Surface type: Arbitrary (3D), Face count: Medium, Interpolation: Default a v rámci parametru Point Classes byly označeny pouze požadované skupiny. Vzniklo tak přes dva milióny TIN ploch, které pokrývaly zkoumanou



Obr. 15: Vytvořený TIN model s texturou (zdroj: autor).



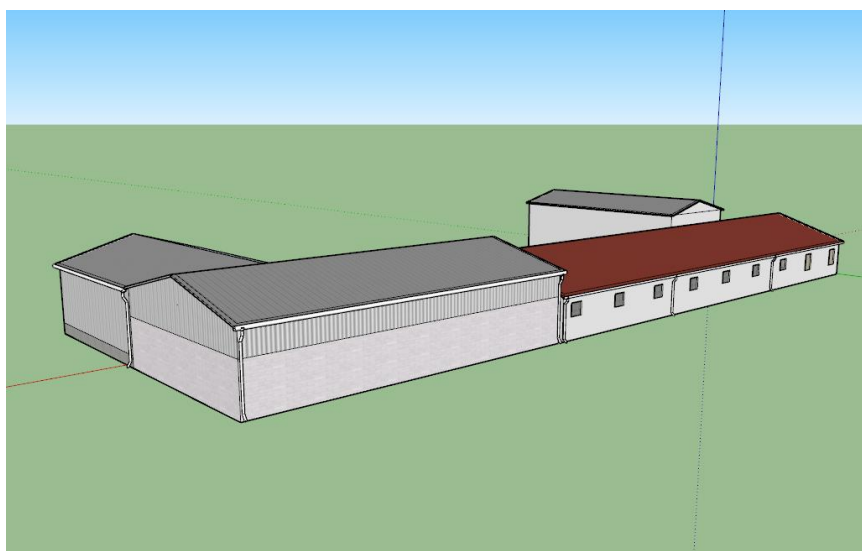
oblast. 3D model dále prošel ještě několika úpravami geometrie, přesněji nástroji Smooth Mesh a Close Holes. Nástroj Smooth mesh zjemňuje povrch a byl použit na všech vodních plochách v modelu, které svými odrazy slunečních paprsků vytvářely anomálie. Velikost parametru Strength se rovnala 120 a bylo povoleno automatickým úpravám hranic TIN sítě. Nástroj Close Holes umožnil rekonstrukci modelu v rámci chybně vygenerovaných otvorů, které se vytvořily na místech s nedostatečným počtem bodů. Jednalo se opět o místa na vodní hladině, kde v předešlých krocích docházelo k odstraňování vychýlených skupin mračna bodů. Tento nástroj umožňuje uzavřít zmíněné otvory a vyplnit je extrapolovanými daty, aby bylo dosaženo celistvého modelu. Při nastavování parametrů je možné kontrolovat stupeň přesnosti v závislosti na velikosti otvorů, které mají být v modelu uzavřeny.

Pro budoucí využití dat pro simulaci proudění v korytě, byl z klasifikovaného mračna bodů také vytvořen DMR. Přes nástroj Build DEM, používající interpolační metodu IDW (Inverse distance weighting ) byl následně digitální model vyexportován ve formátu TIFF. Přehledný popis jednotlivých kroků zpracování dat nabízí diagram:



#### 4.1.2 Tvorba doplňujících dat

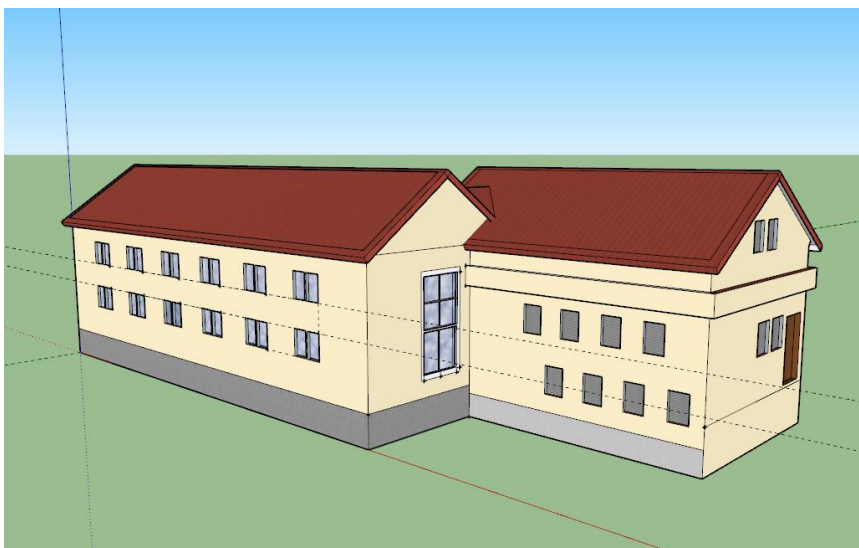
Vzhledem k nepřesnému zachycení především stavebních objektů ve výsledném modelu byly zvlášť vytvořeny 3D modely budov a mostu. Jelikož snímání UAV metodou probíhalo pouze v jedné výškové hladině, vertikální data ze stran budov a mostu nedosahovaly patřičné kvality jako samotné koryto. Proto bylo rozhodnuto pro samostatné vymodelování těchto objektů v demo verzi programu SketchUp Make 2017.



Obr. 16: Model budovy PVL vytvořený v programu SketchUp (zdroj: autor).

## Modely budov

Nejprve byla modelována budova PVL (Obr. 16), která je situována na pravém břehu Vltavy ve střední až spodní části zkoumaného území, sekundárně pak budova skupiny ČEZ, a. s. (Obr. 17). Prvním krokem byl náčrtek půdorysu. Pro přesné vzdálenosti bylo v programu Agisoft Metashape Professional vytvořeno ortofoto celého území, které sloužilo jako vyměřující podkladová vrstva. Výškové hodnoty byly získány z mračna bodů. Pro ještě věrohodnější dojem se detaily na budovách, jako např.: střechy, okna, dveře, okapový systém apod., zkoumaly z fotek pořízených v den snímkování oblasti a z fotek pořízených během každoročně konajících se závodů od různých autorů publikovaných veřejně na internetu.



Obr. 17: Model budovy ČEZ, a. s. vytvořený v programu SketchUp (zdroj: autor).

## Model mostu

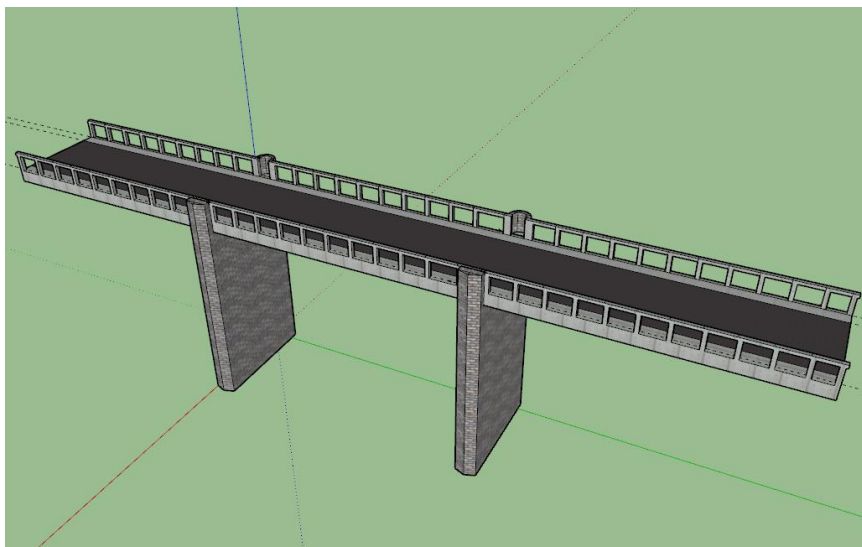
První část modelování mostu (Obr. 18) spočívala ve vyměřování mostovky. Její rozměry byly také brány z ortofota, stejně jako u modelů budov. Jakmile se mostovka zhotovila, začala tvorba pilířů. Délky pilířů byly přebírány z mračna bodů, stejně jako výšky u budov. Zde byly pro modelování brány v potaz ještě dvě další skutečnosti:

- sklon mostovky, díky výškovému rozdílu mezi levým a pravým břehem
- rozdílné zasazení pilířů do podloží

Poslední prvek, který byl modelován, bylo zábradlí. Jeho architektonický styl byl převzat z několika fotek nalezených na internetu. Byly dodělané sloupky a oblouky, aby výstup co nejlépe reprezentoval realitu.



Na všechny modely byla aplikována věrohodná textura z výběru programu SketchUp. Během tvorby se kladl důraz na prostorovou přesnost, aby v budoucích krocích zasazování modelů do výsledného 3D modelu koryta jednotlivé rozměry souhlasily.



Obr. 18: Model mostu vytvořený v programu SketchUp (zdroj: autor).

### 4.1.3 Zkompletování modelů v ArcGIS Pro

Do Local Scene v programu ArcGIS Pro se postupně importovaly všechny modely. Jelikož vrstva koryta byla georeferencovaná, musel být nastaven identický souřadnicový systém, tj. S-JTSK v Křovákově zobrazení i v Local Scene. Přes posuny a úpravy offsetů se dosáhlo výsledného reprezentativního modelu reality.

#### Import koryta

Před importem se musela vrstva koryta nejprve exportovat z programu Agisoft Metashape Professional do vhodného formátu, který by byl kompatibilní. Proběhlo zkoušení jednotlivých typů, až se dosáhlo nejlepšího výsledku s formátem COLLADA (formát DAE). COLLADA™ (COLLABorative Design Activity) definuje schéma založené na XML, které usnadňuje přepravu 3D datových zdrojů mezi aplikacemi bez ztráty informací (COLLADA Overview – The Khronos Group Inc, 2021).

Po exportování modelu ve formátu DAE se mohl finálně importovat do Local Scene přes nástroj *import 3D files* (Obr. 19). Do Local Scene byla jako podkladová vrstva promítnuta 3D webová služba DMR 5G ze serveru ČÚZK a také vrstva ortofota, která sloužila jako textura 3D digitálního modelu. I přes relativní výškovou přesnost této vrstvy se musel model po posazení na podkladovou vrstvu zvednout o 6 m. Díky tomuto posunu bylo zachováno celé koryto i s jeho nejhlubšími částmi.



Obr. 19: Vložení vrstvy koryta řeky do Local Scene (zdroj: autor).

### **Import budov a mostu**

Modely vytvořené v demo verzi programu SketchUp byly vyexportovány ve formátu SKP. Pro jejich import do Local Scene byl použit nástroj Workbench z desktopové extenze Data Interoperability. Pro zpřístupnění této extenze je třeba speciální licence.

Modely budov a mostu nenesly žádnou prostorovou informaci, a tak se po importování musely přes nástroj Modifý: Move manuálně přesunout do zájmové oblasti. Tam se otáčely podle své osy tak, aby byly detailně umístěny na určené místo. Bylo nutné i posunutí ve vertikálním směru.

### **ArcGIS online Web Scene**

Po spojení všech částí vznikla 3D scéna s vrstvou koryta obohacenou o tři 3D modely, které plnily funkci autentičnosti a dobré prostorové orientace. Pro budoucí účely online prezentace pro širokou veřejnost byla scéna nahrána do webového prostředí ArcGIS Online. Zde musel výsledný 3D model projít ještě několika úpravami, zejména v rámci odsazení koryta, který se nedokázal z Local Scene v ArcGIS Pro přenést. Další adaptace probíhaly v závislosti na vlastnostech nahrávání ortofoto dlaždic. Jelikož se ve webovém prostředí nahrávaly dlaždice ortofota postupně, limitovaly tím možnosti plynulého přibližování a oddalování modelu. Při přibližování docházelo k nepravidelnému promítání podkladových dlaždic, které mizely a při oddálení se zase příliš dlouho nahrávaly. Tato komplikace byla vyřešena ořezem ortofota i digitálního modelu na menší území, které dostatečně sloužilo k potřebné orientaci v mapě. Byla ponechána část vodní nádrže Lipno I., také několik km hlavní silnice vedoucí podél vodního toku. Ořez zaručil rychlejší

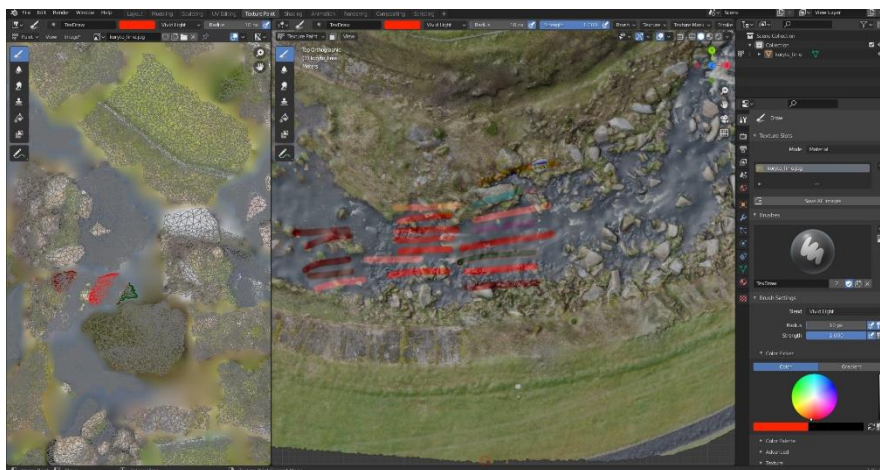
nahrávání vrstev a odstranil potíže se zobrazováním ortofota. Z Local Scene vznikla tedy připravená Web Scene v ArcGIS Online.

## 4.2 Virtuální realita

Pro vytvoření vodáckého průvodce korytem řeky byla vybrána metoda prezentace pomocí virtuální reality. Ta byla realizována pomocí webové aplikace Sketchfab, kam se postupně nahrál model koryta a později i upravená textura. Výstup nabízí uživatelům pohled na téměř prázdné koryto. Představuje dno se všemi překážkami, které by je mohly jakkoliv ohrozit. Díky zakreslení doplňkových navigačních prvků je uživatelům umožněno plánovat svoji ideální stopu a lépe se na řece orientovat.

### 4.2.1 Navigační prvky v korytě

Vymezení navigačních prvků, které se vložily do nahraného interaktivního modelu ve webové aplikaci Sketchfab, bylo nezbytné pro jeho celkovou výukovou funkcionalitu. Princip spočíval v propojení přírodních těles v reálném prostředí, podle kterých se vodáci na řece orientují, a jejich modelovaných kopií. Čím rychleji teče proud ve sjížděném úseku, tím blíže se musí pro pohled vodáka vybrané navigační prvky nacházet. V případě zkoumaného úseku jsou proto vybrány především větší kameny v korytě nebo v jeho blízkosti. Ty určují směr najíždění do peřejí nebo mezi nimi musí sportovec svoji loď projet.



Obr. 20: Vytváření linie ideálního průjezdu – zkouška zvýraznění (zdroj: autor).

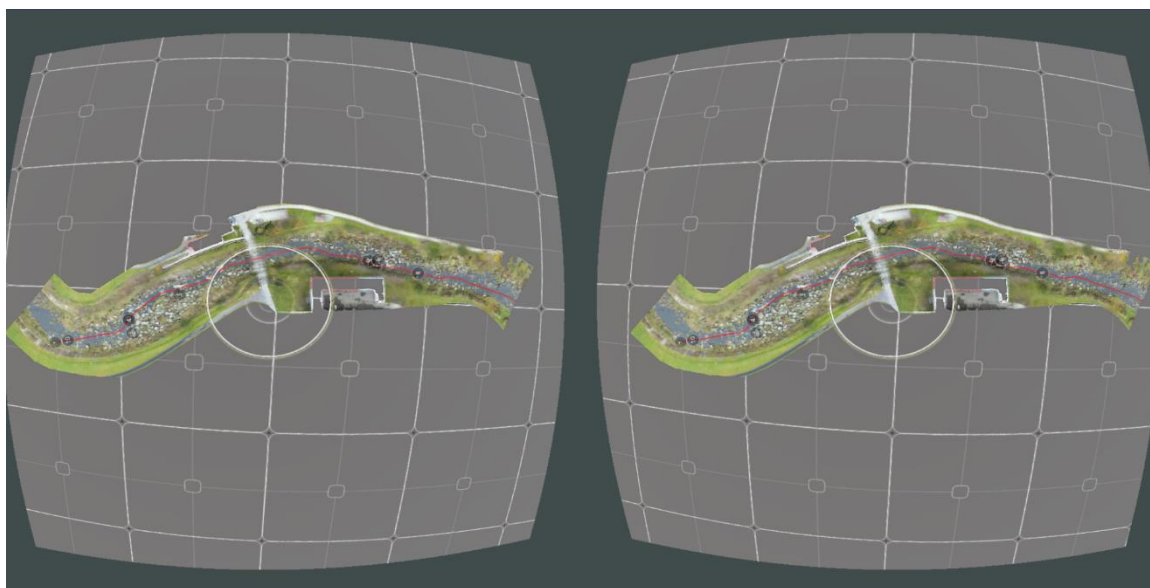
Při určování kamenů, které byly označeny jako orientační, bylo pracováno s printscreeny videa z tréninkové jízdy francouzského sportovce (Maxence Barouh), který zde v roce 2019 vyhrál mezinárodní závod ve sprintu ve sjezdu na divoké vodě. Na fotkách z tohoto média se na vybrané kameny umístily polygony vytvořené v programu Adobe Illustrator. Byly přidány také číslice, shodující se s vloženými anotacemi přidanými ve webové aplikaci Sketchfab. Obrázky byly později nahrány na cloudové úložiště Google Drive. Ke zmíněným anotacím nabízí Sketchfab vložení krátkého komentáře, kam byly přidány URL adresy odkazující na JPEG soubory z cloudového úložiště.

Následovala tvorba linie ideálního projetí daného úseku. Ta byla vytvořena ve free and open source programu Blender. Model byl nejprve vyexportován z programu Agisoft Metashape do formátu OBJ společně s texturou ve formátu JPEG. Nahrán do Blenderu byl pomocí nástroje *Import Wavefront (.obj)*. Dalším krokem byla úprava geometrie a

nahrání textury skrz editační mód Texture Paint. Možnost zakreslovat linii (Obr. 20) pomocí nástroje *Draw* do textury rozložené na 3D modelu koryta byla považována za výhodnou. Linie byla vytvořena podle video předlohy výše zmíněného jezdce s ohledem na autorky osobní zkušenost se sjížděním vybraného úseku.

Textura byla vyexportována z programu Blender ve formátu JPEG a byla nahrána do aplikace Sketchfab k již připravenému 3D modelu.

Promítnutí modelu ve virtuální realitě lze přímo z webové stránky Sketchfab (Obr. 21) nebo ze stejnojmenné mobilní aplikace, která má tu výhodu, že nabízí lepší konfiguraci ovládacích prvků. Model lze zobrazit z webového prohlížeče i pomocí připojeného VR headsetu.



Obr. 21: Promítnutí VR z webové stránky Sketchfab (zdroj: autor).

### 4.3 Story mapa

Vodácký průvodce, který je hlavním cílem této bakalářské práce, je prezentován formou Story mapy díky platformě ArcGIS StoryMaps. Story mapa je webová aplikace, která nese příběh kombinující text, interaktivní mapy a další multimediální obsah. Pro svoji multifunkčnost byla vybrána jako hlavní nosič veškerých zjištěných informací a vytvořených výstupů, které jsou prezentovány na třech snímcích.

#### Úvodní snímek

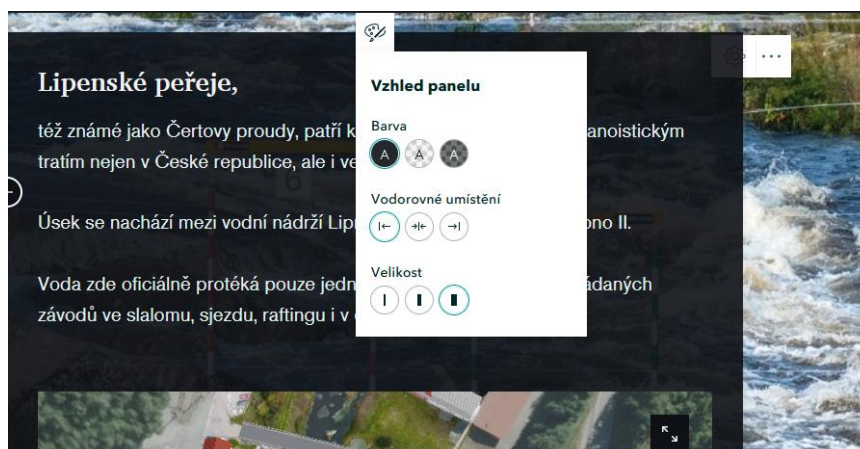
Hlavním cílem úvodního snímku byla vizuální přitažlivost/působivost na uživatele. Z tohoto důvodu bylo sestřiháno video z autorských prací z použitých softwarů a z tréninkové jízdy natočené pomocí GoPro kamery. Video tréninkové jízdy je pak celé vloženo v jedné z následujících částí story mapy. Byl také vybrán vhodný nadpis a podnadpis, který má předávat základní charakteristiku webové aplikace.

#### Vložená Web Scene

Do prvního snímku story mapy byla vložena podkladová fotka závodníka projíždějícího zkoumaným úsekem (autor fotografie: Pavel Doležal). Na levé straně byl následně přidán



panel s vytvořenou webovou scénou, viz. podkapitola ArcGIS Online. Nastavení šířky panelu bylo v tvůrčím prostředí omezené, i přes to byla zvolena jeho nejširší varianta (Obr. 22). Společně s tím se nastavil i úvodní pohled na 3D model. Uživatel má možnost si webovou scénu roztáhnout do celé šíře webové aplikace.



Obr. 22: Šířka panelu ve Story mapě (zdroj: autor).

### Textové informace

Druhému snímku byla ponechána stejná podkladová fotka jako prvnímu. Obsah snímku byl zaplněn základní charakteristikou zkoumaného území, především fyzikálních vlastností proudu a stupni obtížnosti ve sjezdu.

Informace o každoročně konaných závodech provázané s tímto snímekem se přidaly i do závěru story mapy.

### Průvodce korytem

3D interaktivní průvodce korytem, který byl v předchozích krocích nahrán do webové aplikace Sketchfab, se vložil do třetího snímku. Výhodou ArcGIS StoryMaps byla možnost otevření modelu se všemi nástroji přímo ve snímku, aniž by se otevírala nová karta prohlížeče, která by vedla na nahraný model ve Sketchfab. Do levé části se vložilo pole s názvem „Průvodce korytem“, které má odkazovat na interaktivní model. Společně s textem se do pole přidal také odkaz na video tréninkové jízdy skrz celé zkoumané území. Do zápatí story mapy se doplnil text, který opodstatnil její vznik, a tiráž.

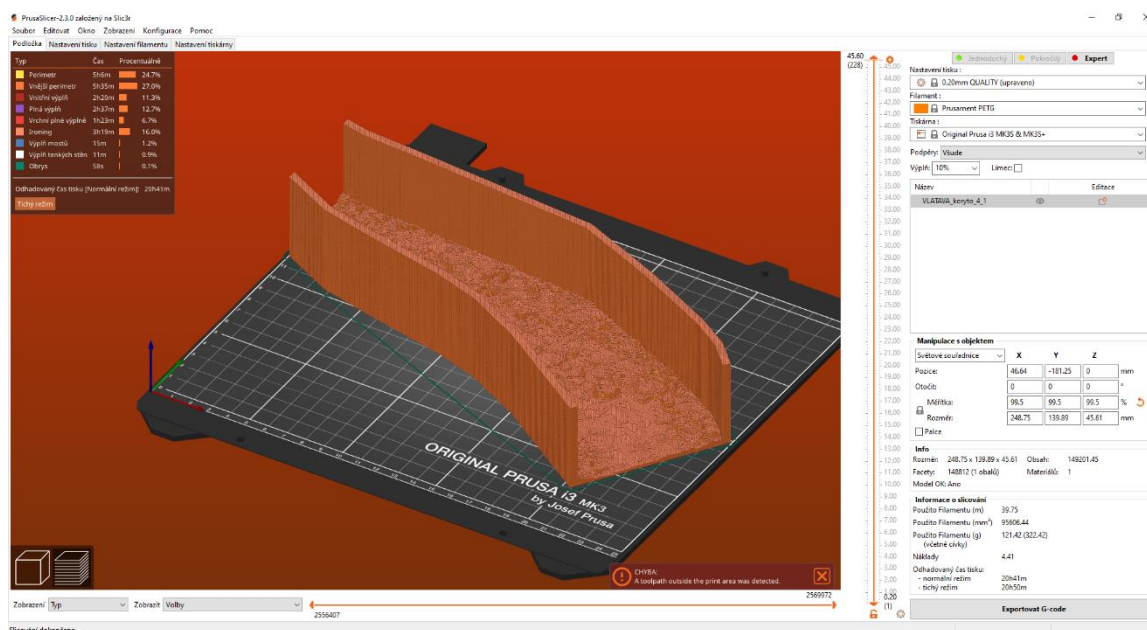
## 4.4 3D tisk koryta pro simulaci průtoku

Hlavním cílem vytvoření fyzického modelu koryta řeky byla simulace průtoku zmenšeným korytem řeky. Následující podkapitoly informují o přípravě modelu a samotného experimentu.

### 4.4.1 Zpracování modelu

Model koryta byl nejprve v programu Agisoft Metashape oříznut o nepotřebné okolí, tj. okolí, které v reálu nezatopí závodní průtok vody ( $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Zúžený model byl upraven tak, aby okolní pixely nesly výslednou nadmořskou výšku stěn modelu. V programu QGIS pomocí extente DEM3D byl vyexportován do formátu STL, kdy došlo i k vygenerování podstavy a vyvýšení bočních stran koryta. V programu 3D Builder byl model doplněn o textové informace a rozřezán. Zvýšené okolí modelu bylo vytvářeno z důvodu plánované fyzické simulace proudění a prevence přetečení. Výsledné měřítko modelu je 1 : 500. V první části modelu byl vytvořen otvor o průměru 12 mm pro umístění přírodní hadice.

Takto upravený model byl dále importován do softwaru PrusaSlicer (verze 2.3.0)(Obr. 23), který vytvořil G-code pro tisk na 3D tiskárně Prusa i3 MK3S. Pro tisk byl použit materiál PET-G černé barvy.



Obr. 23: Finální příprava jedné části modelu koryta na 3D tisk (zdroj: autor)

#### 4.4.2 Příprava modelu pro simulaci průtoku

Všechny čtyři vytisknuté části musely být ze svých sousedních stran obroušeny. Obroušenými stranami se přilepily k sobě tak, aby vznikl kompaktní model koryta řeky. Mezi tím, než bylo přípustné s korytem dále manipulovat, byl vypočítán přibližný průtok, který odpovídá závodnímu, tj.  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  pro poměr 1 : 1, na připravený model 1 : 500. Výpočet se odvíjí od vzorce Froudova kritéria podobnosti:

$$Fr = \frac{gl}{v^2}$$

kde  $l$  je charakteristická délka,  $g$  je gravitační zrychlení a  $v$  charakteristická rychlost proudění. Froudovo kritérium patří mezi základní bezrozměrná kritéria hydrodynamiky (Hasal, Schreiber, Šnita, et. al, 2007). Cílem je, aby se Froudovo kritérium rovnalo stejnému číslu jak při zadání hodnot z reálného prostředí, tak i z hodnot modelu (Pollert, 2001).

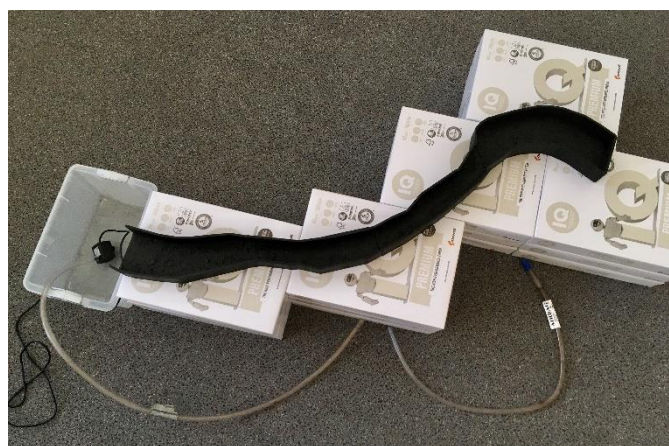
Po konzultacích s profesorem Pollertem z experimentálního pracoviště ČVUT se vypočítala hodnota Froudova kritéria pro zkoumané území a fyzický model a následná hodnota průtoku v modelovaném korytě, která se rovnala  $0,0036 \text{ l/s}$ , tj.  $3,6 \text{ ml/s}$ . Tato hodnota se následně vynásobila třiceti, aby se dosáhlo měřitelného výsledku za půl minuty. V dalších krocích byla prováděna zkouška průtoku, která se odvíjela od objemu vody proteklé za půl minuty.

### 4.4.3 Experiment simulace průtoku

K samotnému experimentu bylo za potřebí nádoby, která byla naplněna vodou společně s čerpadlem, které skrz hadici přečerpávalo vodu z nádoby na začátek koryta. Model byl posazen na podstavu vysoké tak, aby voda z poslední části koryta mohla volně stékat do připravené nádoby (Obr. 24).

Důležitým krokem experimentu bylo zjištění správného stlačení přívodní hadice, aby se výsledný průtok rovnal vypočtenému, tj. muselo stéct do nádoby 108 ml za 30 s. Na stlačování hadice byly použity truhlářské svorky. Nejprve stékala voda do jiné nádoby po dobu 30 s a ta byla následně vážena. Tak se postupnou úpravou utahování hadice dosáhlo přibližné hodnoty 112 ml za 30 s, což pro účely experimentu bylo vyhodnoceno jako dostačující.

Při natékání vody do koryta byly pozorovány zejména místa s největším spádem z důvodu potvrzení fyzikálních a gravitačních vlastností vody i v tak malém modelu. Následně byly více prohlíženy také překážky v korytě a jejich stupeň zatopení.



Obr. 24: Postavení jednotlivých komponent experimentu (zdroj: autor).



## 5 VÝSLEDKY

Hlavním výsledkem práce se stal 3D průvodce koryta řeky Vltavy v jedné z její nejděsivější části, pracovně pojmenované jako Lipenské peřeje. Ty se nachází pod v. n. Lipno I. a svoji obtížností se zařazují do kategorie WW III+. 3D průvodce je prezentovaný ve formě story mapy, kde jednotlivé části představují použití moderních vizualizačních nástrojů a analýz pro podporu v kanoistickém sportu (plný odkaz: <https://storymaps.arcgis.com/stories/58576d1ed7eb455daace0793f800bc67>).

Zkoumaným úsekem protéká dostatečné množství vody pro splutí pouze pár dní v roce a je časově náročné prozkoumat všechny náročné pasáže ještě před vyplutím. Vodácký průvodce nabízí možnost detailního rozboru koryta řeky a všech pevných překážek na dně, které mohou sportovce ohrozit.

Modely, použité ve Story mapě, byly zpracovány z vlastních dat. Tato data byla získána pomocí metody DPZ s využitím UAV. Díky stereofotogrammetrické metodě zpracování dat vznikl detailní model koryta řeky.



Obr. 25: Kompletní webová mapová scéna (zdroj: autor).

První část Story mapy je tvořena z 3D webové scény koryta a doplňkových modelů budov a mostu (Obr. 25). Ta byla vytvořena z důvodu dobré prostorové představitivosti a podobnosti s reálným prostředím. Webová scéna je složena z celkově šesti vrstev. Jedná se o digitální model DMR 5G s texturou ortofoto ČR poskytnutým ČUZK. Tyto dvě vrstvy byly oříznuty na relevantní prostředí okolo řeky. Ořez proběhl z důvodu příliš dlouhého nahrávání dlaždic obou vrstev a znemožňoval přiblížení 3D modelu aniž by podkladové vrstvy mizely. Do digitálního modelu byla umístěna 3D vrstva koryta řeky, zvýšená o 6 m z důvodu zachování si svého detailního zpracování dna. Další tři vrstvy jsou vrstvy vymodelovaných budov a mostu. Stavby byly vymodelovány extra v demo verzi programu SketchUp a jelikož nebyly georeferencované, musely být po přidání do scény jednotlivě ručně posunuty na svá patřičná místa.

V následující části story mapy je uživatelům nabídnut náhled do 3D modelu koryta řeky obohaceného o orientační prvky a linii ideálního projetí (Obr. 26). Tento interaktivní 3D model koryta je zobrazován bez budov a mostu. Prostřednictvím aplikace Sketchfab nabízí model uživatelům informace vložené do bodových prvků očíslovaných od čísla 1 až 10.





Obr. 26: Pohled na virtuální 3D model se všemi navigačními prvky (zdroj: autor).

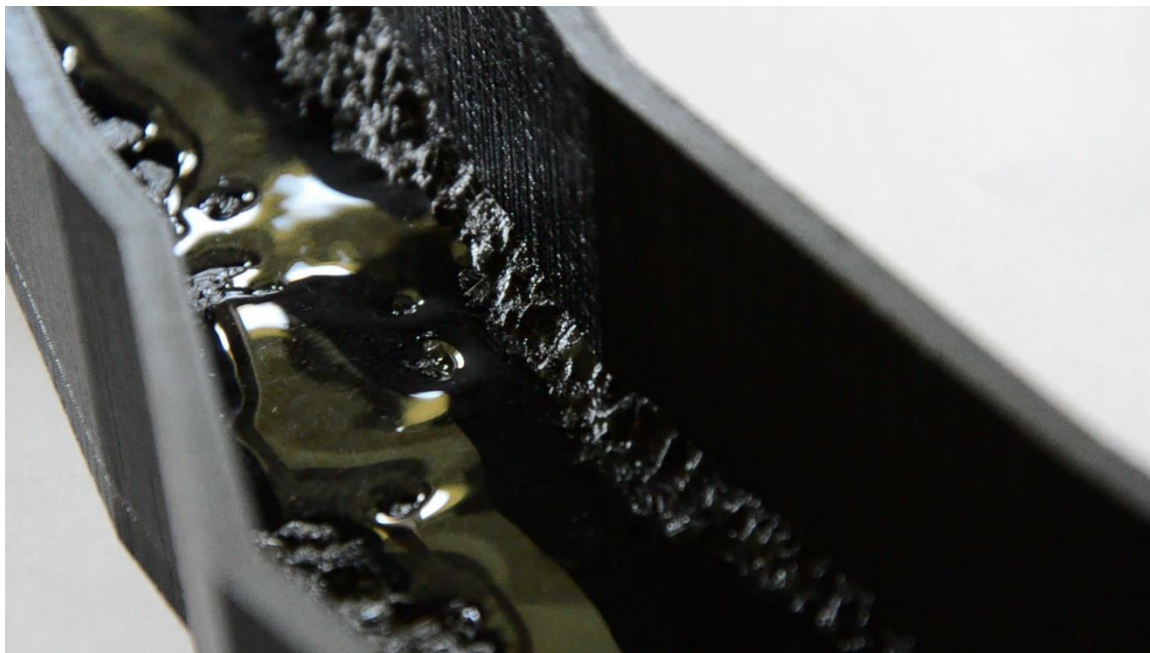
Jsou to informace týkající se umístění obvyklého startu a cíle každoročně konaných slalomových a sjezdových závodů. Dále také URL adresy na obrázky z pohledu kanoisty, ke kterým jsou dokresleny polygony zatopených kamenů vyznačených v modelu (Obr. 27). Posledním prvkem, který je zakomponován do textury modelu, je linie ideálního projetí zkoumaným úsekem. Význam slova ideální v tomto případě znamená nejbezpečnější a přibližně nejrychlejší. Linie byla vytvořena analýzou videa z tréninkové jízdy francouzského závodníka (Maxence Barouh), který zde vyhrál mezinárodní závod ve sjezdu na divoké vodě v roce 2019. Uživatel má díky vytvořené linii možnost detailně nahlédnout na riskantní průjezdy a inspirovat se tak v plánování své vlastní stopy. Jedna z funkcionalit webové aplikace Sketchfab, která je se Story mapou synchronizována, je možnost vizualizace modelu ve virtuální realitě. Uživatel k tomu může použít svůj vlastní VR headset nebo pouze chytrý telefon s nainstalovanou aplikací Sketchfab.



Obr. 27: Porovnání pohledu z modelu na peřej a z fotografie videa (zdroj: autor)

Ve story mapě se nachází doprovodný text, který charakterizuje Lipenské peřeje a informuje uživatele o nadcházejících závodech. Byl přidán také odkaz na YouTube na nahrané video výše zmiňovaného francouzského závodníka a jeho tréninkové jízdy, kterou si mohou uživatelé pustit během své virtuální prohlídky korytem řeky.

Mezi fyzické výstupy této práce patří reálný 3D model koryta řeky (1 : 500), ve kterém proběhla simulace vodního průtoku. Koryto bylo zhotovené ze čtyř částí vytištěných na 3D tiskárně Prusa i3 MK3S. Model má zvýšené všechny boční strany, které měly bránit úniku vody při jeho napouštění. Díky výpočtu hodnoty Froudova kritéria byl určen experimentální průtok vody v modelovaném korytě, který se poměrově shodoval s reálným závodním průtokem v korytě s měřítkem 1 : 1. Důvod tohoto experimentu tkvěl v pozorování proudění vody a úrovně zatopení jednotlivých částí koryta. Výstupem experimentu je krátké video představující proudění v modelu koryta se zaměřením na peřej „Váňa“ (Obr. 28) (plný odkaz: <https://www.youtube.com/watch?v=LIHv2RW4jcY>).



*Obr. 28: Snímek z videa z experimentu průtoku vody – peřej Váňa (zdroj: autor)*

## 6 DISKUZE

Název práce nese zároveň její poslání, podpora kanoistiky. Podpora je v tomhle ohledu myšlena jako pomoc v dané oblasti za pomoci moderních technologií. Prezentace těchto technologií a metod v oblasti sportu pro zainteresovanou veřejnost je myšleným benefitem. Ovšem je nutné zmínit, že jednotlivé kroky mohly být řešeny odlišně a v závislosti na jiném postupu se mohlo dosáhnout jiných či lepších výsledků.

Získání vlastních dat pomocí UAV metody se zdála jako ta nejlepší a nejefektivnější volba. Je důležité podotknout, že se jednalo o pořizování fotografií, ze kterých se získalo mračno bodů. Pokud by snímkování probíhalo pomocí laserového skenování (LIDAR), vznikla by zajisté přesnější data, díky kterým by model více odpovídal realitě. V snímané oblasti koryta, které bylo popisováno jako „suché“, se voda tak jako tak nacházela. Musel být zachován minimální průtok ( $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). I přes konzultace s pracovníky PVL, kteří regulování průtoku měli na starosti, se nepodařilo dohodnout úplné vypnutí vody. Pokud by se v korytě nevyskytovala v době snímání žádná voda, která zatápěla mnoho míst, bylo by snímání přesnější.

Výsledná webová scéna byla značně ovlivněna rozdílem výšek DMR 5G a vrstvou vymodelovaného koryta. Koryto muselo být celé zvednuto o 6 m pro zachování celého dna. V okrajových místech pak vrstva koryta neleží na podkladové vrstvě. Tento krok byl pro kompaktní vizualizaci dna nevyhnutelný.

Původní záměr tvorby 3D modelů budov a mostu byla jejich implementace do všech výsledných 3D modelů. Ovšem po konzultaci s Ing. Liborem Peškou z PVL bylo doporučeno vynechat budovu ČEZ, a.s. z důvodu leteckého povolení pro snímkování. To bylo uděleno pouze na oblast řeky Vltavy od PVL. 3D model budovy ČEZ, a. s. tak nebyl přidán do 3D virtuálního průvodce. Toto rozhodnutí bylo aplikováno i na budovu PVL.

3D virtuální průvodce nabízí možnost detailního nahlédnutí na dno koryta řeky. Díky aplikaci Sketchfab jsou zakreslena orientační místa, která byla tvořena z pohledu kanoisty a jeho potřeby orientace. Zakreslená ideální stopa je odvozena z videa kanoisty a jeho tréninkové jízdy společně se zkušenostmi autorky práce. Zde se nabízí možnost tvorby ideální stopy skrz detailnější výzkum. Například zkoumání spádu a nejrychlejšího průtoku v dané části řeky, dále podle hloubky zatopení dané části atd. Časová náročnost těchto analýz nedovolovala jejich provedení a důkladné prostudování možností tvorby ideální průjezdové stopy. Vizualizace ideální stopy je v případě téměř prázdného koryta užitečná. Poukazuje na velikosti jednotlivých překážek a jejich rozložení, které nejsou pod přetékající vodou při závodním průtoku vidět. Zde se ovšem nabízí možnost opětovného pořízení dat, tentokrát při zmíněném závodním průtoku vody. Tvorba dalšího modelu, který by dokázal porovnat rozdíly a nahrál by se do prostředí rozšířené reality, kterou by následně měl uživatel možnost použít přímo v terénu, by byla ještě užitečnější. Zmíněný krok nabádá k jeho budoucímu rozpracování a vyzkoušení v praxi.

Při zamýšlení nad tvorbou simulace proudění byla první možnost její tvorba v již známém programu Blender. Byly vyzkoušeny různé fyzikální pluginy pro věrohodnou vizualizaci průtoku. Pro technologickou náročnost a sofistikovanost programu Blender bylo opuštěno od zmíněné první možnosti simulace. V návaznosti na komunikaci s panem profesorem Pollertem bylo objasněno, že pro zachycení fyzikálních vlastností proudící vody, je zapotřebí hlubších znalostí, zkušeností a jiného softwaru. Od věrohodného matematicko-fyzikálního modelu se ale neupustilo. Jelikož byla navázána spolupráce s ČVUT a se zmíněným panem profesorem Jaroslavem Pollertem, který vede experimentální hydro-ekologické pracoviště, bylo navrženo vytvoření digitální simulace

proudu na tamním pracovišti. V době kompletování práce je původní TIN model koryta vstupem pro modelování na zmíněném pracovišti.

Jelikož jedním z cílů práce byl výtisk koryta na 3D tiskárně, bylo rozhodnuto, že se využije i pro vlastní experiment proudění. Fyzický model koryt měl poměr oproti reálnému prostředí byl 1 : 500 a díky výpočtu Froudova kritéria bylo jasné, jaký průtok bude nutný k experimentu. Během simulace voda nevytvářela žádné vlny a válce, které se nacházejí na řece, a to především kvůli svému povrchovému napětí. Co bylo vizualizováno dobře, byla hranice zatopení jednotlivých částí koryta, která se více méně shodovala s reálem. Reálný stav byl pozorován z videí ze závodů MČR ve slalomu na divoké vodě 2019. Je velice pravděpodobné, že pokud by měl model větší měřítko (např.: 1 : 100), tvořily by se na hladině určité útvary podobající se vlnám a válcům. Tento krok je do budoucna považován za proveditelný a autorka práce na něm bude dále pracovat.

## 7 ZÁVĚR

Cílem práce bylo vytvoření prezentace vybraného úseku koryta řeky za použití pokročilých vizualizačních nástrojů. Výstupy jsou použity na podporu kanoistiky s důrazem na upozornění na nebezpečné úseky koryta řeky.

První část práce spočívala v detailním prozkoumání dané problematiky. Přesněji, zdali bylo dříve zkoumáno koryto za účelem podpory kanoistického sportu. Z hlediska sportu bylo zkoumáno, ale především pro stavební účely. Zkoumání koryt řek cíleně pro podporu kanoistů (nikoli kanoistiky jako sportu) nikdy neprobíhalo. Dále bylo dohledáno mnoho vědeckých prací, které objasňovaly principy snímání koryt řek pomocí UAV, a to zejména pro účely hydrologické a hydromorfologické.

Vybraný úsek řeky Vltavy, Lipenské peřeje, se stal ideálním modelovaným místem pro jeho každoroční nárazovou vodáckou vytiženost. Vlastní získaná data téměř suchého koryta umožnila modelování jeho digitální repliky a následné prezentace ve webové mapové scéně společně s extra vymodelovanými modely budov a mostu.

Následovaly analýzy koryta zkoumající ideální linii průjezdu kanoisty a její následné zakreslení do 3D virtuálního modelu. Ideální bylo v tomto případě myšleno jako nejbezpečnější a nejefektivnější stopa skrz zkoumaný úsek řeky. Zkoumaly se jednotlivé překážky na dně a video tréninkové jízdy kajakáře, od které se odvíjela ta nejlepší trasa mezi balvany a dalšími překážkami. Jelikož se v úseku nachází divoké peřeje, které je potřeba znát ještě před vyplutím, byly společně s linií průjezdu zaneseny do modelu i důležité orientační body. Uživatelům je prostřednictvím fotek a zakreslených polygonů u těchto bodů ještě více přiblížen charakter řeky a její obtížnost. Celý tento 3D virtuální model je uživatelům nabídnut k nahlédnutí také prostřednictvím virtuální reality.

Tyto hlavní grafické výstupy byly shromážděny za účelem vytvoření informativní Story mapy, která bude sloužit zainteresované veřejnosti jako vodácký průvodce Lipenských peřejí.

Mezi dalšími vytyčenými cíli byl 3D tisk i následná vizualizace pravděpodobného zaplavení koryta. Tyto cíle byli naplněny prostřednictvím experimentu. Po výtisku a slepení částí modelu koryta v měřítku 1 : 500 byl simulován proud vody, který se poměrově rovnal  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  v reálném prostředí. Během experimentu bylo natočeno krátké video, představující průtok vody se zaměřením na nejtěžší peřej ve zkoumaném úseku a její zaplavení.

Práce představuje originální využití moderních technologií nejen z oblasti geoinformatiky. Slouží zde především pro podporu kanoistiky, která má jako druhý nejúspěšnější olympijský sport velkou členskou základnu. Kromě profesionálů mohou využít výsledků této práce i turisté, kteří se na vodu vydávají nepravidelně.

## POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

*100 let kanoistiky v českých zemích*. Praha [i.e. Velké Přílepy]: Olympia, 2013. ISBN 978-80-7376-354-1.

*American Whitewater* [online]. 629 W Main St Sylva, NC 28779: American Whitewater, c1999-2021 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.americanwhitewater.org/>

BRASINGTON, J., B. RUMSBY a R. MCVEY. Monitoring and modelling morphological change in a braided gravel-bed river using high resolution GPS-based survey. *Earth Surface Processes and Landforms*. 2000, 25(9), 973-990. Dostupné z: doi:10.1002/1096-9837(200008)25:9<973::AID-ESP111>3.0.CO;2-Y

CARBONNEAU, P., S. LANE a N. BERGERON. Catchment-scale mapping of surface grain size in gravel bed rivers using airborne digital imagery. *Water Resources Research*. 2004, 40(7). Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1029/2003WR002759>

CARBONNEAU, P. a H. PIÉGAY. *Fluvial remote sensing for science and management*. Hoboken, NJ: John Wiley, 2012. ISBN 978-0-470-71427-0.

COATES, G. A virtual sho. In: *Program from Invisible Site*. CA, San Francisco. Březen 1992.

COLLADA Overview - The Khronos Group Inc. *The Khronos Group Inc* [online]. 9450 SW Gemini Drive #45043 Beaverton, OR 97008-6018 USA: Khronos Group, 2021 [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <https://www.khronos.org/collada/>

DUNFORD, R. Potential and constraints of Unmanned Aerial Vehicle technology for characterization of Mediterranean riparian forest. *International Journal of Remote Sensing*. 2009, 30(19), 4915-4935.

FURHT, B. *Handbook of Augmented Reality*. Springer-Verlag New York, 2011. ISBN 978-1-4614-0064-6.

Geoportál ČÚZK [online]. Pod sídlíštěm 1800/9, 182 11, Česká republika: Český úřad zeměměřický a katastrální, c2010 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz>

Gisat [online]. 2021 [cit. 2021-03-14]. Ortorektifikace. Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/zpracovani-dat/ortorektifikace>.

GUERRERO, M. a A. LAMBERTI. Flow field and morphology mapping using ADCP and multibeam techniques: survey in the Po River. *J. Hydraul. Eng.* 2011, (137), 1576-1587. Dostupné z: doi:10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000464

HASAL, P., I. SCHREIBER a D. ŠNITA. *Chemické inženýrství I*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2007. ISBN 978-80-7080-002-7.

JANČAR, V. a I. NOVÁK. *Kilometráž českých a moravských řek: vodácký průvodce*. Zlín: SHOCart, 1998. ISBN 80-7224-065-x.

JANČAR, V. a I. NOVÁK. *Vodácký průvodce Česko*. Zádveřice 48, 763 12 Vizovice: SHOCart spol., 2005. ISBN 80-7224-500-7.

KADLČÍKOVÁ, J. DMR a jeho vizualizace. In: *Symposium GIS Ostrava 2007* [online]. VŠB - TUO: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta hornicko-geologická, Institut geoinformatiky, 2007, s. 1-15 [cit. 2021-03-15]. ISSN 1213-239X.

Dostupné z:

[http://gisak.vsb.cz/GIS\\_Ostrava/GIS\\_Ova\\_2007/sbornik/Referaty/Sekce7/Kadlcikova\\_GIS-Ostrava07.pdf](http://gisak.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2007/sbornik/Referaty/Sekce7/Kadlcikova_GIS-Ostrava07.pdf)

KASVI, E., L. LAAMANEN, E. LOTSARI a P. ALHO. Flow patterns and morphological changes in a sandy meander bend during a flood - spatially and temporally intensive ADCP measurement approach. *Water*. 2017, (9), 106.

KERLE, N., S. HEUEL a N. PFEIFFER. Real-time data collection and information generation using airborne sensors. *Geospatial information technology for emergency response* [online]. Taylor & Francis, London, 2008, January 2008, ISPRS Book series(6), 43-74 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/230674336\\_Real-time\\_data\\_collection\\_and\\_information\\_generation\\_using\\_airborne\\_sensors](https://www.researchgate.net/publication/230674336_Real-time_data_collection_and_information_generation_using_airborne_sensors)

KINZEL, P., C. LEGLEITER a J. NELSON. Mapping river bathymetry with a small footprint green LiDAR: applications and challenges. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 2013, (49), 183-204.

KOLJONEN, S., A. HUUSKO, A. MÄKI.PETÄYS, P. LOUHI a T. MUOTKA. Assessing habitat suitability for juvenile Atlantic salmon in relation to in-stream restoration and discharge variability. *Restor. Ecol.* 2012, 21, 344-352.

LANE, S., K. RICHARDS a J. CHANDLER. Developments in monitoring and terrain modelling of small-scale riverbed topography. *Earth Surface Processes and Landforms*. 1994, 19, 349-368. Dostupné také z:

[https://www.researchgate.net/publication/280627223\\_PE\\_RS\\_August\\_Review\\_Remote\\_Sensing\\_and\\_Image\\_Interpretation\\_7th\\_Edition](https://www.researchgate.net/publication/280627223_PE_RS_August_Review_Remote_Sensing_and_Image_Interpretation_7th_Edition)

LEGLEITER, C. Remote measurement of river morphology via fusion of LiDAR topography and spectrally based bathymetry. *Earth Surface Processes and Landforms*. 2012, 37(5), 499-518.

LEGLEITER, C. Mapping river depth from publicly available aerial images. *River Research and Applications*. 2013, 29(6), 760-780.

LICHTÁG, P. a ROSTÁK. Vltava, Čertovy proudy - letní tradice. *České noviny* [online]. 2003 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/vltava-certovy-proudy-letni-tradice/28690>



LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W., CHIPMAN, J. W.. *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York: John Wiley and Sons, 2008. ISBN 978-0-470-05245-7

LINSEN, L. *Point cloud representation*. Univ., Fak. für Informatik, Bibliothek, 2001. Universität Karlsruhe, Germany.

MARCUS, W. a M. FONSTAD. Remote sensing of rivers: the emergence of a subdiscipline in the river sciences. *Earth Surface Processes and Landforms*. 2010, 35(15), 1867–1872.

MARVAL, Š., T. HEJDUK, K. DUŠKOVÁ, et al. Batymetrické měření pro stanovení morfologie dna vodní nádrže. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* [online]. 2018, 60(6) [cit. 2021-04-21]. ISSN 03228916. Dostupné z: doi:10.46555/VTEI.2018.09.002

MILNE, J. a D. SEAR. Modelling river channel topography using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*. 1997, 11(5), 499-519.

MIRIJOVSKÝ, J. *Bezpilotní systémy: sběr dat a využití ve fotogrametrii*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci pro katedru geoinformatiky, 2013. Terra notitia. ISBN 978-80-244-3923-5.

OPTIFLOW SOLUTIONS S.R.O. Studie proveditelnosti rekonstrukce umělé slalomové dráhy v Kadani. *Optiflow* [online]. Trojská 782/53, 182 00 Praha 8: Optiflow Solutions, 2021 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://optiflow.cz/project/studie-proveditelnosti-rekonstrukce-umele-slalomove-drahy-v-kadani/>

POLLERT, J. Vodní stavitelství a Olympijské hry v Sydney 2000 -Penrith Whitewater Stadium. (Water structures and Olympic Games 2000 -Penrith Whitewater Stadium ). *Vodní hospodářství*. 2001, 51(4), 90-91. ISSN 1211-0760.

POLLERT, J., M. KLÍMOVÁ, L. DOLEŽALOVÁ, K. KRÍŽ, J. NÁBĚLKOVÁ a D. KOMÍNKOVÁ. *Využití 3D scanování koryta toku pro CFD posuzování stavu vodního toku podle ekologických kritérií*. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7, Praha 6, 16629, 2013.

*Povodí Vltavy - Stavby a průtoky* [online]. Povodí Vltavy, státní podnik, c2021 [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/portal/SaP/pc/>

Profil státního podniku. *Povodí Vltavy* [online]. Praha 5: Povodí Vltavy, 2013 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/profil-statniho-podniku>

*RiverApp | River levels App* [online]. Münchner-Kindl-Weg 34, 81547 München Germany, c2021 [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <https://www.riverapp.net/en>

SABINS, F. F. A review of: "Remote Sensing: Principles and Interpretation". *International Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis, 1980, 1980/07/01, 307-308. Dostupné z: doi:10.1080/01431168008948242



STRAMOVÁ, A. *Návrh atlasu pro extrémní kanoistiku na divoké vodě*. 2014. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie. Vedoucí práce Jaroš, Jakub.

STUDNIČKA, P., L. PLZÁKOVÁ a V. TINKOVÁ. *Možnosti vodáckého využití řeky Vltavy v obci Loučovice a jejím okolí ve vztahu k projektu "Čertovy proudy Loučovice"*. Praha: VŠH, 2013.

TAROLLI, P. High-resolution topography for understanding Earth surface processes: opportunities and challenges. *Geomorphology*. 2014, (216), 295–312.

Vltava v obrazech. In: *Hledání ztraceného času* [televizní dokument]. ČT2, 24.2.2013.

*Vodácký průvodce www.raft.cz* [online]. b.r. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.raft.cz/>

## **PŘÍLOHY**

# SEZNAM PŘÍLOH

## Volné přílohy:

- Příloha 1 Poster
- Příloha 2 DVD
- Příloha 3 fyzický 3D model koryta řeky
- Příloha 4 Story mapa

## Popis struktury DVD

Adresáře:

text\_prace

    plachtova\_bp

vstupni\_data

    snimkovani\_vltava

vystupni\_data

    dmr\_koryta

    model\_koryta

    budova\_CEZ

    budova\_PVL

    most

    simulace\_prutoku

poster