

UNIVERZITA KARLOVA

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Kartografie a geoinformatika



Lukáš Nekola

**NÁVRH ONLINE GEOINFORMAČNÍHO SYSTÉMU RYBNÍČNÍ
OBLASTI SE ZAMĚŘENÍM NA POŘÍZENÍ A ZPRACOVÁNÍ
PROSTOROVÝCH DAT**

**DESIGN OF ONLINE GEO-INFORMATION SYSTEM OF A POND
AREA WITH FOCUS ON SPATIAL DATA ACQUISITION AND
PROCESSING**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Lukáš Brůha, Ph.D.

Praha 2020

Vysoká škola: Univerzita Karlova v Praze

Fakulta: Přírodovědecká

Katedra: Aplikované geoinformatiky a kartografie

Školní rok: 2019-2020

Zadání bakalářské práce

pro Lukáše Nekolu

obor Geografie a kartografie

Název tématu: Návrh online geoinformačního systému rybníční oblasti se zaměřením na pořízení a zpracování prostorových dat

Zásady pro vypracování

Práce navrhne online geoinformační systém rybníční oblasti. Bude proveden sběr tematických prostorových dat v oblasti včetně měření hloubek rybníka. Vlastní pořízená data budou analyzována jak z hlediska hodnocení přesnosti a vhodnosti pro účely práce, tak i z hlediska obsahového (analýza změn hloubek, zanášení rybníka). Prostorová data budou připravena pro online distribuci a bude využit vhodný technologický i kartografický prostředek pro jejich online prezentaci.

Rozsah grafických prací: Dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: cca 50–55 stran

Seznam odborné literatury:

ARSENI, M. (2019): *Testing Different Interpolation Methods Based on Single Beam Echosounder River Surveying. Case Study: Siret River*. ISPRS Int. J. Geo-Inf., 8, 11; <https://doi.org/10.3390/ijgi8110507>

ČESÁK, J., ŠOBR, M. (2005): *Metody batymetrického mapování českých jezer*. Geografie: Sborník ČGS, 110, 3, 141–151.

CHILDS, C. (2004): *Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst*. ArcUser, 27, 3, 32–35.

JEŽEK, J. (2015): *Geostatistika a prostorová interpolace*. Karolinum, Praha.

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Lukáš Brůha, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 19.11.2019

Termín odevzdání bakalářské práce: podzim 2020

Platnost tohoto zadání je po dobu jednoho akademického roku.

.....

Vedoucí bakalářské práce

.....

Vedoucí katedry

V Praze dne 13. 8. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 20. 5. 2020

.....

Lukáš Nekola

Poděkování

Tímto odstavcem bych rád poděkoval vedoucímu mé práce, Mgr. Lukáši Brůhovi, Ph.D., za věnovaný čas, cenné rady a připomínky. Dále RNDr. Miroslavu Šobrovi, Ph.D. a Ing. Miroslavu Čábelkovi za poskytnuté přístroje, data a konzultace. Velké poděkování patří také mé rodině a kamarádům, kteří mě podporovali při zpracování bakalářské práce.

Abstrakt

Získání batymetrických dat, jejich zpracování a následná vizualizace dosažených výsledků v prostředí internetu pomocí technologie ArcGIS Online definují obsah zhotovené bakalářské práce. Ve výchozí teoretické části je kladen důraz jednak na osvětlení jednotlivých interpolačních metod, druhá na způsoby měření, pomocí kterých lze získat požadované datové podklady. V metodické části je detailně popsáno pořízení dat, jejich zpracování a následnou interpolaci v softwaru ArcGIS Pro. Jednotlivé výstupy interpolačních metod jsou následně zhodnoceny a porovnány. Součástí řešení je i návrh webové mapové aplikace ESRI technologie. ArcGIS Online a její součásti Web AppBuilder, Survey123 a StoryMaps byly využity pro její implementaci. Aplikace cílí na potenciálního návštěvníka lokality se záměrem rybaření na okraji města Humpolce, kde se nachází měřená rybníční oblast. Lze ji využít i jako nástroj pro podporu vodohospodářské správy.

Klíčová slova: online GIS, batymetrie, pořízení prostorových dat, zpracování prostorových dat

Abstract

Acquisition of bathymetric data, their processing and subsequent visualization of the achieved results in the internet environment using ArcGIS Online technology, this is the proposed bachelor thesis in epitome. The theoretical background of the thesis, explains the nature of interpolation methods and discusses their applicability to bathymetric data. The work's methodology focuses on data acquisition, processing and interpolation in ArcGIS Pro software. The individual outputs of the interpolation methods are evaluated and compared. Introduced solution also includes the design of a web map application based on ESRI technology. ArcGIS Online and its components, namely the Web AppBuilder, Survey123 and StoryMaps, were used to implement it. The application is focused on a potential visitor with the intention of fishing on the outskirts of the town of Humpolec, where the pond area of interest is located. It can also be used to support water management.

Keywords: online GIS, bathymetry, spatial data acquisition, spatial data processing

Obsah

Seznam použitých zkratk	10
Seznam obrázků	11
Seznam tabulek	11
1. Úvod	12
2. Batymetrie	14
2.1. Vymezení pojmu	14
2.2. Historie batymetrických průzkumů	14
3. Teoretická východiska mapování hloubek	16
3.1. Metody sběru dat	16
3.1.1. Měření hloubek	16
3.1.1.1. Olovnice (cejlovaná lať)	17
3.1.1.2. Echolot	17
3.1.1.3. LIDAR	19
3.1.2.1. Polární metoda	20
3.1.2.2. Ortogonální metoda	20
3.1.2.3. Metoda protínání vpřed	20
3.1.2.4. Totální stanice	21
3.1.2.5. GNSS	22
3.1.2.6. Letecká fotogrammetrie	23
3.2. Interpolace	23
3.2.1.1. IDW	24
3.2.1.2. Kriging	25
3.2.1.3. Spline	26
3.2.1.4. Metoda nejbližšího souseda	27
3.2.1.5. Metoda přirozeného souseda	28
3.2.1.6. Trend	29
3.2.1.7. Topo to Raster	30
4. Popis lokality	33
5. Metody pořízení a úpravy dat	34
5.1. Mapování hloubek	34
5.2. Mapování břehové linie	35
5.3. Zpracování dat batymetrického mapování	36
5.4. Zpracování dat břehové linie	37
5.5. Datová sada z roku 2009	39

6.	Interpolace hloubek	40
6.1.	Zpracování interpolačních metod	40
6.1.1.	IDW	40
6.1.2.	Kriging.....	41
6.1.3.	Spline	41
6.1.4.	Metoda přirozeného souseda	42
6.1.5.	TIN	42
6.1.6.	Topo to Raster	42
6.2.	Kartografické zpracování.....	42
6.3.	Validace výsledků interpolačních metod	43
7.	Návrh online webové aplikace	44
7.1.	Příprava dat	44
7.1.1.	Úlovy.....	44
7.1.2.	Sedimentace rybníční oblasti	46
7.1.3.	Vizualizace datových sad.....	48
7.2.	Tvorba aplikace	49
7.2.1.	Úlovy na sportovním rybářském revíru.....	49
7.2.2.	Zanášení sportovního rybářského revíru	50
8.	Výsledky a diskuse.....	53
9.	Závěr.....	55
10.	Zdroje:	57
	Seznam příloh.....	63

Seznam použitých zkratek

3D	Trojdimenzionální
CZEPOS	Sít' permanentních stanic GNSS České republiky
CV	Křížová validace (cross-validation)
ČR	Česká republika
ČRS MO	Český rybářský svaz místní organizace
ČOV	Čistička odpadních vod
DGPS	Diferenciální globální polohový systém (Differential Global Positioning System)
DMT	Digitální model terénu
GIS	Geografický informační systém (geographic information system)
GNSS	Globální družicový polohový systém (Global Navigation Satellite System)
GLONASS	Globální družicový navigační systém (GLObal NAVigation Satellite System)
GPS	Globální polohový systém (Global Positioning System)
IDW	Vážená inverzní vzdálenost (inverse distance weighting)
LIDAR	Light Detection And Ranging
ME	Průměrná chyba (mean error)
SONAR	SOund Navigation And Ranging
RMSE	Střední kvadratická chyba (root mean square error)
TIN	Nepřavidelná trojúhelníková síť (triangulated irregular network)
UTM	Universal Transversal Mercator
WGS 84	Světový geodetický systém 1984 (World Geodetic System 1984)

Seznam obrázků

- Obr. 1 Vytyčení příčných profilů dle známých bodů břehové linie
- Obr. 2 Porovnání mnopaprscitého a jednopaprscitého sonaru
- Obr. 3 Mapování břehové linie pomocí totální stanice
- Obr. 4 Závislost zjišťovaného bodu na vzdálenosti a hodnotách vzorků
- Obr. 5 Porovnání metody Spline (plná čára) s IDW (tečkovaně)
- Obr. 6 Regularized (černě) a Tension (šedě) Spline
- Obr. 7 Zobrazení Delauneyho triangulace (plná čára) a Thiessenových polygonů (čárkovaně)
- Obr. 8 Ilustrace interpolační metody Trend
- Obr. 9 Delaunay triangulace
- Obr. 10 Pohled na hráz rybníku Hadina (vlevo) a na jeho mělké části (vpravo)
- Obr. 11 SonTek RiverSurveyor M9
- Obr. 12 Trimble GeoExplorer 6000
- Obr. 13 Změřená hloubka (černě) a břehová linie (červeně)
- Obr. 14 Datová sada hloubek z roku 2009 a břehové linie v roce 2019
- Obr. 15 Dotazník vytvořený za účelem získání datové sady o úlovcích
- Obr. 16 Vrstva intervalů hloubek v roce 2019
- Obr. 17 Vrstva intervalů hloubek v roce 2009
- Obr. 18 Vrstva sedimentů v roce 2019
- Obr. 19 Aplikace s názvem „Úlovky na sportovním rybářském revíru“
- Obr. 20 Aplikace s názvem „Zanášení sportovního rybářského revíru“
- Obr. 21 Úvodní strana aplikace s názvem „Hadina – aplikace sportovního rybářského revíru“

Seznam tabulek

- Tab. 1 Tabulka bezrozměrné veličiny RMSE jednotlivých interpolačních metod..... 43

1. Úvod

Hlavní motivací pro vyhotovení bakalářské práce, byla tvorba online geoinformačního systému se zaměřením se na rybniční oblast ve městě Humpolec, kde se nachází sportovní rybářský revír Hadina. Problematika se týká tvorby již zmíněného online geoinformačního systému, který využívá datových sad hloubek o dvou časových horizontech a rekordních úlovcích. Podstatná část se zabývá tvorbou datové vrstvy nesoucí batymetrické informace získané terénním šetřením, jehož popis lze využít jako návod ke zpracování obdobného tématu vodohospodářskou sférou. Z důvodu využití prostředí webového GIS lze výstup ze studentské práce začlenit do trendu, kterým se geoinformační systémy postupně ubírají.

Tématem a hlavním cílem práce je navrhnout online geoinformační systém rybniční oblasti. Systém bude cílit na dvě hlavní oblasti – vodohospodářskou správu a rybářství. Tento systém poskytne vodohospodářské správě podporu pro rozhodování v problematice hloubky vodního díla a jejího vývoje v čase, tj. poskytne informaci o rychlosti zanášení vodního díla. Druhým zaměřením systému pak bude poskytnout informace o rybářské aktivitě v oblasti a navrhnout interaktivní způsob sběru informací od rybářů samotných. Navržený systém umožní online distribuci a vhodnou grafickou prezentaci pořízených prostorových dat.

Struktura vyhotovené práce začíná vysvětlením pojmu batymetrie, její historií a postupně směřuje k části zabývající se teoretickými východisky. Ta popisují možnosti sběru hydrologických dat se zaměřením na batymetrii a břehovou linii, ale také se věnují jednotlivým interpolačním metodám, které doplňuje TIN a popis hodnocení kvality interpolace, resp. vhodnosti jednotlivých interpolačních metod pro batymetrická data. Metodice předchází popis zkoumané lokality. Součástí metodiky bakalářské práce je následující část, která se zabývá samotným terénním průzkumem v roce 2019 a následným zpracováním nově pořízených dat. Zpracována byla rovněž historická datová sada nesoucí batymetrické informace z roku 2009. Nutnou součástí je provedení jednotlivých interpolací a následné vyhodnocení výsledků. Poslední část se zabývá tvorbou aplikace v prostředí ArcGIS Online, jeho služeb Web AppBuilder for ArcGIS a StoryMaps. V této části je taktéž popsána tvorba datové sady obsahující úlovky rybářů.

Pro účel získání požadovaných informací terénním byl využit přístroj RiverSurveyor M9 a Trimble GeoExplorer 6000. Pro úpravu, popř. korekci, posloužily programy ArcGIS Pro 2.5.0., Pathfinder Office 5.2 a RiverSurveyor live.

2. Batymetrie

Následující část bakalářské práce se věnuje batymetrii a její definici. Další podkapitola se zaměřuje na historické měření hloubek a historickou tvorbu batymetrických map.

2.1. Vymezení pojmu

Batymetrie je pojem, který představuje základ vědy o hydrografii. Hydrografie je disciplína, pomocí níž se zjišťují především fyzikální vlastnosti vodních útvarů. Její součástí není pouze batymetrie a výzkum fyzikálních vlastností, ale také studium tvarů a vlastností pobřeží. Nedílným prvkem se stává určení charakteristik mořských proudů, přílivů a vlnění, které je způsobené více faktory. (NOAA 2018)

Samotný pojem batymetrie podle slovníku Merriam Webster (2020) říká, že se jedná o měření hloubky vody na různých místech, ale také si lze pod pojmem představit samotnou informaci vzniklou měřením hloubek. Další definice dle Cambridge Dictionary (2020) říká, že batymetrií je „měření nebo studium hloubky vody v oceánu, moři nebo jezeru, které se podílí na tvorbě globální terénní mapy s batymetrií“. Tuto definici doplňuje portál Dictionary.com (2020), podle nějž se nejedná pouze o měření hloubky vody v oceánu, moři a jezeru, ale ve všech rozsáhlejších vodních útvarech.

2.2. Historie batymetrických průzkumů

Batymetrie jako moderní věda byla poprvé prováděna britským průzkumníkem Jamesem Clarkem Rossem v roce 1840 (Dierssen, Theberge 2014) a jej následoval Matthew Fontaine Maury, který je považován za jednoho ze zakladatelů moderní batymetrie amerického námořnictva (Smoot 2001). Podle Dierseena a Theberga (2014) byl Matthew Fontaine Maury prvním zhotovitelem batymetrické mapy. Přesnost mapy byla vypovídající, nicméně nesla informace o spoustě rysů mořského dna.

První batymetrická měření byla prováděna technologií *line and sinker*, která spočívá ve změření hloubky pomocí závaží přivázaného na původně konopném laně. Kvůli lepší odezvě byl později využíván klavírní drát, který navíc oproti původnímu konopnému lanu nereagoval na mořské proudy a drift lodí (Dierseen, Theberge 2014). Systém využívaný klavírní drát se nazývá *Thomson Sounding Machine* a spočívá v kladení odporu na cívku, která se po dosažení závaží, připevněného na drátu, mořského

dna přestane odvíjet. Vynálezce, který byl později znám jako lord Kelvin, uvedl přístroj v praxi roku 1872 v Biskajském zálivu (Theberge 2014).

3. Teoretická východiska mapování hloubek

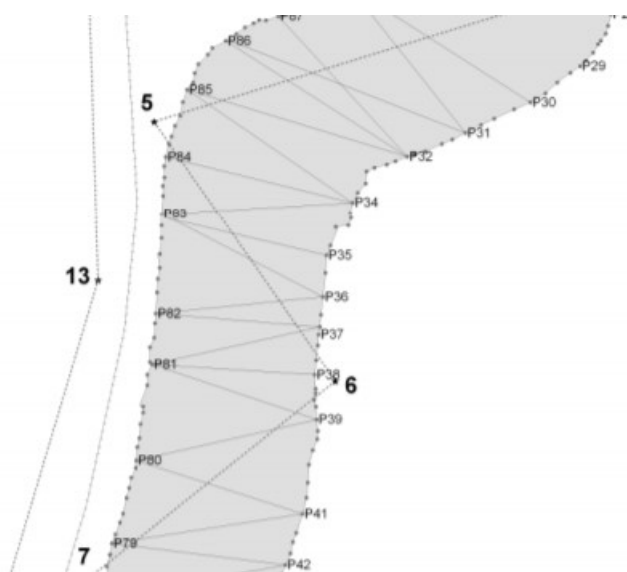
Následující část bakalářské práce se věnuje definování teoretických východisek, které souvisejí především se sběrem batymetrických informací a jejich následujícím zpracováním. Získávání batymetrických dat lze rozdělit podle podávajících informací na měření hloubek a určení břehové linie. Primárním teoretickým východiskem zpracování získaných dat je myšlen popis interpolačních metod a jejich porovnání.

3.1. Metody sběru dat

Následující část batymetrické práce se věnuje způsobům sběru dat týkajících se vodních ploch a podrobněji je vysvětluje. Kapitoly se člení na část metod měření hloubek a měření břehové linie. Jedná se o část, která je stěžejní pro vyhotovení bakalářské práce.

3.1.1. Měření hloubek

Měření hloubek lze provádět dvěma základními způsoby. Prvním způsobem je měření v příčných profilech. Předpokladem pro uskutečnění této metody jsou známé body břehové linie o souřadnicích x a y , mezi kterými je nataženo lano. Druhým předpokladem, který ovšem platí u všech měření, je hrubá představa o rozložení hloubek. Na již zmíněném laně, které je neprůtažné, jsou vyznačeny značky dle určitého intervalu, u kterých se provádí samotné měření. Velikost intervalu je závislá na velikosti jezera, avšak hodnota větší než 5 metrů se nepoužívá. Pro zaznamenání jednotlivých bodů lze využít echolot či cejlovanou lať (olovnici) (Česák, Šobr 2005).



Obr. 1 Vytyčení příčných profilů dle známých bodů břehové linie

(Zdroj: Česák, Šobr 2005)

Druhou metodu představují zařízení GNSS sloužící pro záznam polohy jednotlivých měření. Výhoda této metody spočívá v rovnoměrnějším pokrytí měření vodní plochy, ale také v menší časové náročnosti (Huggett 2008, cit. v Hulec 2017). Podmínkou pro využití je dobrý příjem družicového signálu, na jehož základě je přístroj postaven (Česák, Šobr 2005). Vzhledem k velikosti měřené plochy a k prostředí, které vykazuje dobrý příjem družicového signálu se druhá popisovaná metoda jeví jako lépe využitelná pro sběr dat dané oblasti. Následující odstavce se především věnují konkrétním způsobům zaznamenání informací týkajících se hloubek vodních ploch. Popsány jsou výhody a nevýhody.

3.1.1.1. Olovnice (cejlovaná lať)

Podle Česáka a Šobra (2005) spočívá metoda sběru dat olovnicí v natažení lana s vyznačenými intervaly, které určují místa, na kterých se budou měřit batymetrické informace. Jedná se o ruční metodu měření hloubek. Dle Nováka et al. (2017) lze také nad hladinu natáhnout měřičské pásmo a na vybraných místech spouštět svislým směrem olovnici, kterou kopíruje druhé pásmo, pomocí něhož se zjišťují hloubky.

Popisovaný typ měření dat je v dnešní době využíván pouze okrajově. Důvodem je nedostatečná rychlost měření a neexistence mechanismu, který by dokázal automaticky zaznamenávat hodnoty. Další nevýhodou je neposkytnutí představy o charakteristikách měřené lokality a nemožností interpretace lokálních terénních anomálií (Novák et al., 2017). Nicméně Česák a Šobr (2005) dodávají, že využití této metody je žádoucí v místech s hloubkou menší 40 cm a v místech s vodní vegetací, kde za pomoci echolotu může být výsledná informace o hloubce zobrazena. Namísto olovnice lze taktéž využít cejlovanou lať, která má na svém konci umístěnou lopatku znemožňující proniknutí latě do bahnitého dna.

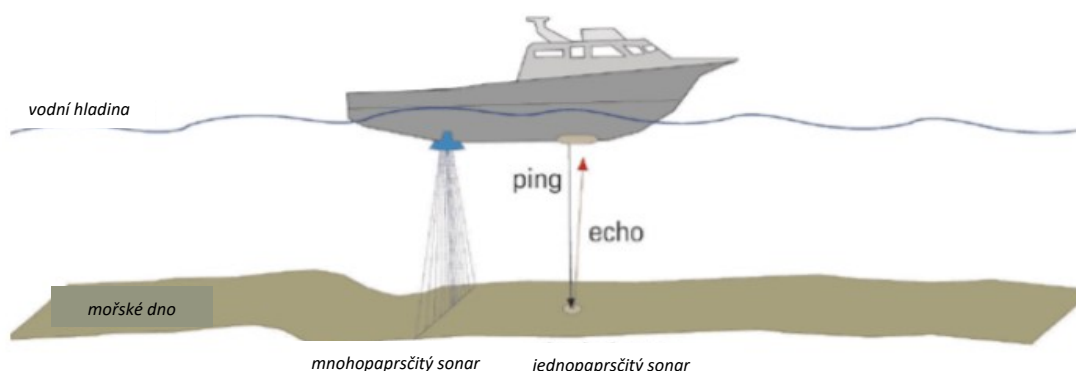
3.1.1.2. Echolot

Za echolot neboli sonar lze označit přístroj využívající zvukové vlny odražené a vysílané, které slouží k měření hloubek a lokalizaci objektů. Sonarové systémy pracují na velmi podobném principu jako radary, protože fungování je založeno na šíření vln mezi přijímačem a cílem. Lze rozdělit sonary na aktivní a pasivní. Pasivní sonar funguje na principu vyzáření energie ze zkoumaného objektu, kdežto aktivní operuje s šířením akustických vln z vysílače a jejich odražením od cílového objektu zpět (Hodges 2010).

Pro správné použití je nutné znát rychlost zvuku šířící se ve vodě. Tato veličina se mění především v závislosti na hloubce a na teplotě vody (Popielarczyk, Templin 2014). Existuje mnoho druhů sonarů, přičemž základní rozdělení lze provést na jednopaprscitý, mnohopaprscitý a parrasound.

Jednopaprscitý sonar využívá pouze jediného paprsku, který má tvar kuželu. Úhel záběru se pohybuje od 10° do 30° . Nevýhodou, která často znemožňuje jeho využití pro tvorbu plošné batymetrie, je odraz zvukové vlny od výše položeného dna, kdy je znemožněno poznání charakteristiky prostředí pod úrovní změřeného místa (Novák et al., 2017)

Mnohopaprscitý sonar funguje na stejném principu jako jednopaprscitý, ovšem je umožněno rychlejší zmapování dna vodní plochy. To je způsobeno díky 120° úhlu záběru a existenci více paprsků v jeden okamžik. Aplikuje se především na změření hlubokých oceánských oblastí. Ovšem pořizovací cena je mnohonásobně vyšší než u předchozího zmiňovaného (Novák et al., 2017).



Obr. 2 Porovnání mnohopaprscitého a jednopaprscitého sonaru
(Zdroj: <https://coastal.er.usgs.gov/capabilities/shipboard/sonar/bathysonar.html>
vlastní úprava)

Posledním popisovaným je tzv. parrasound, který se spíše využívá pro zkoumání mocnosti sedimentů na dně vodní plochy. Pracuje na parametrickém principu. Metodu lze využít pro geodetický průzkum nebo mapování biotopů (Novák et al., 2017).

Výhoda oproti ostatním způsobům měření je maximální hloubka, kterou je schopen samotný přístroj zachytit. Avšak na mělkých vodních plochách se využití echolotu nedoporučuje. Příčina je plynoucí z minimální hloubky měření dosahující hodnoty 40 cm.

Jednou z podstatných výhod je kombinace sonaru s GPS přístrojem, což umožňuje záznam hodnot a poté rychlejší získání požadovaných dat (Česák, Šobr 2005).

3.1.1.3. LIDAR

Pojem LIDAR definuje typ skeneru, pomocí kterého lze snímat povrch pod vodní hladinou. Guenther (2004) píše, že „se jedná o techniku pro měření hloubek mírně průzračných pobřežních vod a jezer z nízkých nadmořských výšek pomocí skenovacího, pulzního laserového paprsku.“ Technologie je založena na principu zpětného odrazu paprsku v závislosti na čase. Dá se konstatovat, že se jedná o technologii, která umožňuje snímání především mělkých vod. V poslední době se metoda vyvinula na tolik, že přesnost výšky (resp. hloubky) lze určit s maximální odchylkou 10 cm. Maximální udávaná hloubka, kterou je schopen LIDAR zachytit je přes 50 m v závislosti na výkonnosti systému, průhlednosti a proudění vody v dané lokalitě (Novák et al., 2017).

Letecké batymetrické laserové skenování povrchu, jak se tato metoda také nazývá, emituje laserové paprsky ve dvou úrovních spektra. První úroveň je blízká infračervená část spektra o vlnové délce 1064 nm a druhá část emitovaného záření se nachází v zelené části s vlnovou délkou 532 nm a slouží pro průchod vodní hladinou a zjištění potřebných batymetrických informací. Naopak záření první zmiňované vlnové délky je charakterizováno pohlcením vodní hladinou (Novák et al., 2017).

Mezi výhody této metody patří rychlost, nízké náklady na pořízení dat, bezpečnost, ale také flexibilita. Na rozdíl od ostatních typů batymetrického průzkumu lze LIDAR využít v dalších oborech, jako je například ochrana životního prostředí či sledování využívání zdrojů. Oršulák a Pacina (2010) doplňují využití o tvorbu 3D modelů měst, mapování historických památek či o sledování elektrického vedení. Co se týká nákladů, uvádí se od 15 do 30 % oproti standartním nákladům na průzkum. Další kladnou vlastností je malá velikost získaného pixelu, díky čemuž se vytváří mapy s vysokým rozlišením. Udává se, že LIDAR je schopen zaměřit až 20 bodů /m² (Novák et al., 2017). Nicméně nevýhodou může být měření vodní plochy, kde je nedostatečná čistota vody (Guenther 2004).

3.1.2. Měření břehové linie

Informace o břehové linii je často důležitá pro správné změření hloubek dané lokality (Česák, Šobr 2005). Za další využití se jeví vymezení hranice vodní plochy v procesu vizualizace po aplikaci interpolačních metod. V následující části jsou popsány nejčastěji využívané a dobře použitelné metody sběru dat týkajících se břehové linie. Stejně jako v kapitole 3.1.1. jsou klasifikovány výhody, ale také nevýhody jednotlivých metod.

3.1.2.1. Polární metoda

Polární metoda je definována jako způsob podrobného měření, při kterém se ze stanovisek zaměřuje poloha jednotlivých bodů polárními souřadnicemi (VÚGTK 2020). Podrobněji problematiku popisuje Čada (2020), který uvádí, že poloha je určena díky vodorovnému úhlu zjišťovaném mezi orientačním směrem a bodem, který je určován. Druhým parametrem je délka mezi měřeným bodem a stanovištěm. Jedná se o základní metodu. Podle Kučery (2014) je metoda pro vymezení břehové linie vhodná v případě, pokud je nutné změření velkého množství bodů. Ovšem podmínkou je široký rozhled teodolitu či totální stanice.

3.1.2.2. Ortogonální metoda

Na rozdíl od polární metody ortogonální metoda spočívá v měření pravoúhlých souřadnicích a využívá se polygonového pořadu. Polygonový pořad je lomená čára v prostoru, která se skládá z vodorovných úhlů, stran a délek. Metoda je definována pojmy staničení a kolmice. Staničení udává vzdálenost po kolmici od určitého bodu břehové linie ke straně polygonového pořadu, kdežto staničení vyjadřuje vzdálenost paty definované kolmice po počátek strany pořadu. Co se týká měření břehové linie, je nutné vést jednotlivé strany co nejbližší břehové linii a zároveň by její délka neměla přesáhnout 2 m (Česák, Šobr 2005). Dle Kučery (2014) je ortogonální metoda složitější, déle trvající, ale hlavně méně přesná oproti polární metodě.

3.1.2.3. Metoda protínání vpřed

Metoda protínání vpřed je použitelná především z důvodu existence bodů, které jsou člověku nepřístupné, ale také se používá pro zjištění polohy osamocenému předmětu. Princip spočívá ve změření směrů či délek ze dvou známých stanovisek (Čada 2020). Z důvodu časové náročnosti a realizace se nedoporučuje k mapování břehové linie (Kučera, 2014).

3.1.2.4. Totální stanice

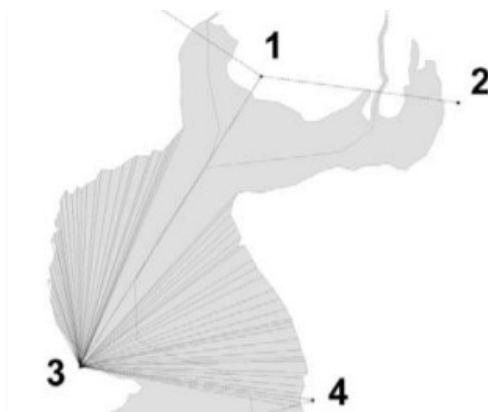
Za geodetickou totální stanicí lze označit přístroj měřící délky, vodorovné a svislé úhly. Dále je schopen zaznamenávat ve své paměti naměřená data a provádět s nimi matematické operace. Po přenesení dat do paměti počítače jsou výsledkem souřadnice x , y , z udávající jednotlivé body břehové linie, kde souřadnice z vyjadřující nadmořskou výšku by měla vždy udávat hodnotu nadmořské výšky hladiny. Důležitý je postup před počátkem samotného měření, kdy se zjišťují souřadnice výchozího bodu. Ten lze provádět několika způsoby (Česák, Šobr 2005).

První způsob spočívá ve vytvoření volného polygonového pořadu vedoucího od známého zhušťovacího či trigonometrického bodu. Samotný pořad směřuje ke měřené vodní ploše. Před jeho tvorbou je nutností orientace, která se provádí na jiný trigonometrický či zhušťovací bod (Česák, Šobr 2005).

Druhá metoda spočívá ve zjištění souřadnic za pomoci GPS přístroje. Je využitelná především v případech, pokud v dané lokalitě neexistuje trigonometrický či zhušťovací bod. Orientace se taktéž provádí na jiný určený bod pomocí GPS přístroje nebo podle kompasu na jednu ze světových stran (Šobr a Česák, 2004). Nevýhodou je chyba způsobená nepřesností, která dosahuje hodnot od 1 do 10 m (Černý, Steiner 2003; cit. v Česák, Šobr 2005).

Třetí metoda je závislá na vytvoření vlastního souřadného systému, kde souřadnice x , y , z jsou rovny 0. Orientace se provádí dle kompasu na sever (Česák, Šobr 2005).

Samotné měření jednotlivých bodů břehové linie je prováděno z více stanovisek v případě větších a nepřehledných jezer. Pokud se jedná o malou a přehlednou vodní plochu, postačí pouze výchozí bod. V obou případech je nutností předem zvolení míst, odkud se budou jednotlivá měření provádět. Podmínkou je dohled na sousední stanoviště. Po jejich určení jsou jednotlivé body břehové linie zaměřeny v závislosti na lineárním (méně bodů) či nepravidelném průběhu (více bodů). Samotný bod se zjišťuje odrazným hranolem, se kterým manipuluje figurant. V nepřístupných lokalitách lze zaměřit břehovou linii pomocí laserového paprsku (Česák, Šobr 2005).



Obr. 3 Mapování břehové linie pomocí totální stanice

(Zdroj: Česák, Šobr 2005)

Za výhodu lze pokládat měření celé břehové linie vodní plochy z několika míst v závislosti na velikosti a tvaru vodní plochy. Za nevýhodu se jeví nutnost generalizace související s odrazným hranolem a přítomným figurantem, který jím manipuluje. Co se týká laserového paprsku využitelného v místech s překážkami, nevýhoda je plynoucí z maximální vzdálenosti, kterou je laser schopen zaznamenat (Česák, Šobr 2005).

3.1.2.5. GNSS

Metoda GNSS je metodou fungující na principu určení vodorovné vzdálenosti mezi družicí a vysílačem ve formě GPS přijímače. GPS přijímač musí komunikovat minimálně se 3 družicemi. Následně je vytvořena pomyslná kulová plocha kolem družice s poloměrem zjištěné vzdálenosti družice-přijímač. Průsečík všech kulových ploch družice udává místo měření na povrchu Země. GNSS metoda jako taková neposkytuje dostatečnou přesnost, a tudíž je nutné využití postprocessingu. Postprocessing funguje za pomoci DGPS, která upravuje chyby vzniklé měřením. DGPS je utvořena sítí stanic s anténou umístěnou ve známém bodě. Tyto stanice měří polohu 24 hodin denně a fungují na principu počítání korekce změřené polohy od skutečné. Data z referenčních stanic jsou volně dostupná a lze korekci provést v kancelářském prostředí. Přesnost jednotlivých dat po zpřesnění dosahuje řádu v milimetrech (Oršulák, Pacina 2010). Systém pro korekci dat v ČR se nazývá CZEPOS, který využívá 55 stanic. Z nich se 28 nachází na území ČR. Z této hodnoty lze zaznamenat 5 lokalit, na kterých jsou klasifikované tzv. externí stanice sloužící k vědeckým účelům (ČÚZK, 2020). Vzhledem ke snadné ovladatelnosti, rychlosti měření a možnosti postprocesingu zajišťující kvalitní přesné měření se jedná o metodu dobře využitelnou pro účel bakalářské práce.

3.1.2.6. Letecká fotogrammetrie

Letecká fotogrammetrie využívá ke zhotovení snímků pasivní senzor, který závisí na vyzařované energii zemským povrchem. Podle Kučery (2014) může být metoda letecké fotogrammetrie využita pro mapování břehové linie za předpokladu nezastínování požadovaného prostoru vegetací (Kučera, 2014). Balsavias (1999) dodává, že pro odstranění nedostatku lze použít 2 snímky téže oblasti.

3.2. Interpolace

Podle GIS Resources (2013) se pojmem interpolace rozumí odhad hodnot v neznámých bodech za použití známých bodů se známými hodnotami. Jak je uvedeno dále v textu, známé a neznámé body jsou data s prostorovou složkou (geografická data) jako je například nadmořská výška, místa naměřených srážek či chemické koncentrace.

Interpolace se provádí dvěma základními způsoby. Prvním způsobem je interpolace provedena ve fázi přípravy dat. Druhý způsob souvisí s prostorovou analýzou. Právě druhý z uvedených způsobů se nejčastěji provádí za pomoci GIS (Sárközy 1999).

Podle Childse (2004) existují dvě kategorie interpolačních technik. První technikou je tzv. deterministická interpolace, která spočívá v měření bodů a pozdějších matematických formulacích přímo ze zjištěných údajů na daných místech. Mezi tuto kategorii spadá například metoda IDW, kdežto o druhou kategorii se například opírá Kriging. Ježek (2015) uvádí, že „do deterministické kategorie se zařazují metody založené na formálních požadavcích interpolační funkce“. Jako formální požadavek si lze představit výslednou hladkost, spojitost, tvar, ale také snadný výpočet. Druhá kategorie interpolačních metod se nazývá statistická a lze ji definovat jako tu metodu, která využívá míry pravděpodobnosti a statistické úvahy. Samotná interpolace je tedy jakýmsi odhadem, který je charakterizovaný statistickými vlastnostmi jako je například střední hodnota či směrodatná odchylka.

Existuje mnoho interpolačních technik, nicméně nedá se tvrdit, že by některá z nich měla výsadní postavení. Důležitým aspektem je použití více metod současně s možností výběru nejlepší varianty. Pro posouzení vhodnosti interpolace v dané oblasti se využívají formální pravidla, či definice chyby interpolace a výběr té metody, která obsahuje

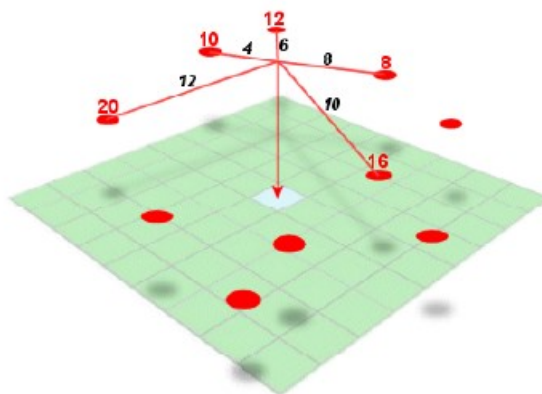
nejmenší chybu. Samozřejmě se nesmí opomenout vizuální posouzení výsledku s ohledem na subjektivní znalosti (Ježek 2015).

3.2.1. Metody interpolace

Následujících několik podkapitol se věnuje vysvětlení a objasnění pojmů, které definují jednotlivé interpolační metody. Podstatnou částí je objasnění výhod a nevýhod plynoucích z jejich využití se zaměřením na tvorbu batymetrických map.

3.2.1.1. IDW

První interpolační metodou je IDW, která nese v anglickém jazyce název *Inverse Distance Weighted*. Prvním, kdo sestrojil základní verzi IDW, byl Donald Shepard (1968) za účelem vytvoření jednoduché interpolační metody nerovnoměrně rozložených dat. Jak již bylo popsáno v kapitole 3.2. jedná se o deterministickou metodu interpolace fungující na základě lineárně vážené sady vzorků, kde přiřazená váha je odvozena ze vzájemné vzdálenosti vstupního a výstupního bodu (Childs 2004), jak lze vidět na 4. obrázku. V této metodě platí nepřímá úměra, jelikož čím je výstupní bod vzdálenější, tím má na něj vzorkovací bod menší vliv (Ježek 2015). Z tohoto tvrzení vyplývá, že je třeba zajištění dostatečné hustoty sady vzorkovacích bodů.



Obr. 4 Závislost zjišťovaného bodu na vzdálenosti a hodnotách vzorků

(Zdroj: <http://www.geography.hunter.cuny.edu/~jochen/GTECH361/lectures/lecture10/3Dconcepts/Inverse%20Distance%20Weighted.htm>)

Za jednu z nejvýznamnějších výhod IDW lze považovat fakt, že po aplikaci se výchozí hodnoty udržují nad změřenými vzorky (Childs 2004). Ovšem problém nastává při shlukování vzorkovacích bodů, kdy má technika sklon k vytvoření izolovaných a soustředných izolinií. Tento jev se v literatuře objevuje pod pojmem *Bull's eyes*. Navíc zmiňovaný nedostatek je zveličen nadbytečným vlivem vstupních hodnot při výpočtu (Křikavová, 2014). Dalším nedostatkem, který je nutné zmínit, je přítomnost maximální

a minimální hodnoty celkové interpolované plochy nacházející se ve vzorkovacím souboru (Ježek 2015).

Jedná se o interpolační metodu s výraznou mezioborovou využitelností (Childs 2004). Jak již bylo zmíněno, pro vypovídající výsledek interpolace je důležitou součástí vzorkovacího souboru informace o minimální a maximální hloubce. Neexistence vzorkovacích bodů nesoucí zmiňované informace zapříčiňuje zploštění v nejvyšších místech dané lokality. Z důvodu častého uspořádání vzorkovacích bodů v příčných profilech je průběh samotné interpolace ovlivňován hodnotami ve směru sběru dat. Tato problematika je řešitelná pravidelně rozmístěnými vzorkovacími body (Kučera 2014).

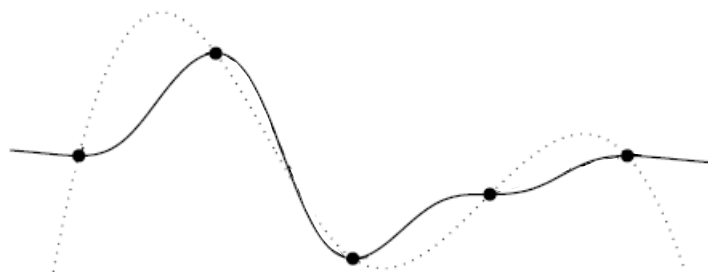
3.2.1.2. Kriging

Druhou interpolační metodou je tzv. Kriging vytvořený Matheronem v roce 1976 z důvodu zajištění odhadu vydatnosti ložisek rud. Jedná se o jednu ze statistických metod interpolace založené na váženém průměru. Na rozdíl od IDW dochází k optimalizaci za pomoci tzv. variogramu, který slouží k minimalizaci chyby odhadu (Ježek, 2015). Za variogram je označována funkce, která definuje, že body s menší vzájemnou vzdáleností si jsou podobnější než ostatní (Al-Adamat, Al-Mashagbad, Salameh 2012). Má složitý význam z důvodu většího množství dílčích typů interpolace, kterých Heap a Li (2008) uvádí celkem 22.

Child (2004) uvádí, že metoda je velmi často užívaná ve vědách spojených se zdravotnictvím, geologií, ovšem uplatnění nalezne i v oblasti životního prostředí. Nicméně Kriging je také jednou z použitelných metod pro interpolaci batymetrických dat a následnou vizualizaci. Jedním z důvodů je interpolace procházející samotnými naměřenými body (Kučera, 2014). Navíc lze konstatovat, že aplikace statistických interpolátorů má dlouhou tradici v oblasti utváření batymetrických map (Tveito 2002, cit. v Forsythe, Dennis a Marvin 2004). Výstup je validován, tudíž rozebíraná metoda oproti jiným dokáže určit chybu, která je spojená s prostorovým odhadem (Forsythe, Dennis a Marvin, 2004). Nabízí se srovnání s předešlou deterministickou metodou IDW popisovanou v kapitole 3.2.1.1. Ferreira, Rodrigues, Rosa a Santos (2017) popisují, že IDW nelze považovat za srovnatelnou s Krigingem v oblasti batymetrických výstupů. Důvodem jsou významnější chyby ve výsledku deterministické kategorie interpolace bez závislosti na celkovém počtu vzorkovacích bodů.

3.2.1.3. Spline

Spline se řadí mezi deterministické interpolační metody využívající matematické křivky, které utváří požadovaný povrch po jednotlivých částech. Metoda operuje se dvěma primárními požadavky, na které poukazuje obr. 5, přičemž první říká, že výsledná křivka (povrch) by měla procházet vzorkovacími body. Druhá podmínka se týká zachování minimální křivosti (Kádlčíková 2007). Z těchto důvodů Ježek (2015) přirovnává spliny k ohebnému plechu, který je proložen body. Podrobněji fungování interpolační metody popisuje Kříkavová (2009), která vysvětluje, že určitá část určovaného povrchu je definována polynomickou funkcí vycházející z lokálních hodnot. Nicméně za předpoklad lze považovat zajištění spojitosti mezi sousedními polynomickými funkcemi.



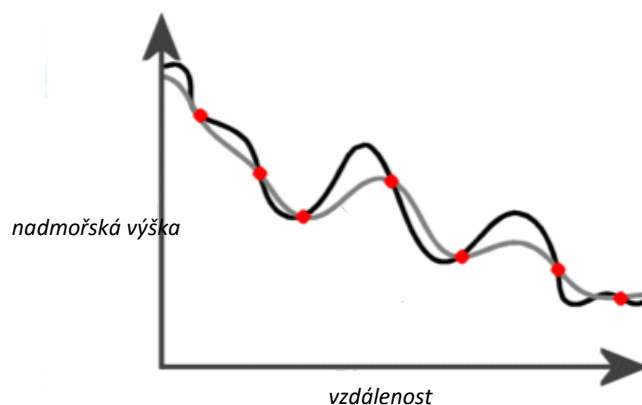
Obr. 5 Porovnání metody Spline (plná čára) s IDW (tečkovaně)

(Zdroj: Ježek 2015
vlastní úprava)

Podle Childse (2004) existují dva základní typy splinu, přičemž první typ je tzv. regularized Spline. Jedná se o takový, který začleňuje do výpočtů první, druhou i třetí derivaci. Druhý je tzv. tension Spline obsahující pouze první a druhou derivaci ve svých výpočtech. Nicméně kalkuluje s více body. To způsobuje vytvoření hladších povrchů za cenu delšího trvání samotného procesu interpolace. Jednotlivé typy porovnává obrázek č. 6.

Podle Voženílka (2007, cit. v Kádlčíkové 2009) lze definovat nevýhodu, která říká, že „výsledný povrch je nerealisticky hladký díky vyhlazení bariér a skoků, proto je vhodný pouze pro interpolaci hladkých povrchů.“ Tento problém je především způsoben jednotlivými polynomy nízkého stupně, které jsou mezi sebou hladce vázány (Ježek 2015). Ovšem za výhodu viditelnou na obr. 6 lze považovat určení hodnoty vyšší, než nesou naměřené vzorkovací body, což se nedá konstatovat například u metody IDW. Za důvod považujeme fakt, že oproti IDW, který ke zhotovení povrchu využívá vážený

průměr, Spline nabývá schopnosti odhadu vyšší hodnoty. Tato schopnost ovšem souvisí s podmínkou zachování minimální křivosti (Kučera 2014).



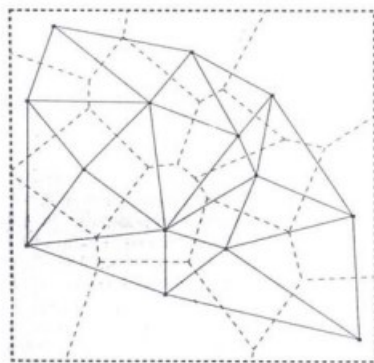
Obr. 6 Regularized (černě) a Tension (šedě) Spline

(Zdroj: geography.hunter.cuny.edu/~jochen/GTECH361/lecture10/3Dconcepts/Spline_files/image002.gif
vlastní úprava)

Interpolační metoda Spline může být využívána pro sestavení batymetrických map, nicméně za předpokladu, že se v dané lokalitě nebudou vyskytovat náhlé změny hloubek. Spline si nedokáže poradit s povrchem, který se vyznačuje náhle se měnící hloubkou, protože metoda je konstruována pro zachování podmínky minimální křivosti (Kučera 2014). Podle Medveda (2010), který nazývá Spline metodou minimální zakřivenosti, je poskytnuta možnost extrapolace batymetrických map, která dokáže odhadnout hodnoty mimo oblast známých dat. Zároveň z výsledků Medvedovova výzkumu vyplývá, že oproti metodě Kriging a IDW určuje extrémní minimální a maximální hodnoty.

3.2.1.4. Metoda nejbližšího souseda

Pomocí této metody se hodnota na nezměřené lokaci získává od hodnoty jí nejbližší. Postup je založen na Delaunay triangulaci a následném vytvoření Thiessenových polygonů (Dobrovolný 2005). Dle Novotné (2014), která používá alternativní název pro tyto tvary, tj. Voronoi polygony, vytvoří metoda podle každého naměřeného bodu jeho vlastní prostor. Samotný postup je takový, že je utvořena spojnice mezi jednotlivými sousedními naměřenými body a je vymezen střed spojnic, jejímž propojením jsou sestavena jednotlivá území.



Obr. 7 Zobrazení Delauneyho triangulace (plná čára) a Thiessenových polygonů (čárkovaně)

(Zdroj: <http://gis.fzp.ujep.cz/files/9.Prednaska.pdf>)

Tato metoda je absolutně nevhodná pro tvorbu batymetrických map z důvodu vytvoření nespojitých ploch. Argumentem jejich vytvoření je plocha odpovídající Thiessenovému polygonu, které je přiřazena hodnota dle vzorkovacího bodu. Sloučením více ploch vzniká terén, u kterého nelze předpokládat výskyt na dně vodní plochy (Kučera, 2014).

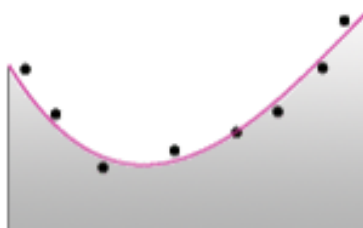
3.2.1.5. Metoda přirozeného souseda

Natural Neighbor interpolation poprvé představil Sibson (1981), který říká, že zhotovení techniky bylo zapříčiněno vytvořením nového způsobu výpočtu hodnot z okolních vzorkovacích bodů, kdy je automaticky určen počet sousedů v závislosti na geometrických vlastnostech dané datové sady. Je takovou interpolační metodou, která stejně jako předchozí využívá po kompletaci Voronoi diagramy, ale navíc pracuje s metodou váženého průměru, kterou využívá v závislosti na sousedních vzorkovacích bodech. Metoda je neparametrická (Elfat, Fan, Koltun, Krishnan 2005). Je úspěšná z toho důvodu, že kombinuje vlastnosti metody nejbližšího souseda a zároveň TINu a má řadu kladných vlastností. Jedna z nich popisuje, že na rozdíl od metody nejbližšího souseda vytváří spojitý výstup. Jelikož se řadí do deterministických metod, nezáleží na statistice a není vyžadováno velké množství výstupních bodů. Jednou z velkých výhod je fakt, že se jedná o neparametrickou metodu a dokáže se přizpůsobit změně hustoty a prostorovému uspořádání vzorkovacího souboru (Heap, Li 2008). Avšak pokud ve vzorkovacím souboru jsou body rozmístěny pravidelně, výstup bude více odpovídat reálnému stavu (Křikavová, 2009).

Z práce Dosta a Mannaerts (2008), který se zaměřil na tvorbu batymetrické mapy jezera Tana vyplývá, že metoda přirozeného souseda se řadí mezi nejúčinnější pro účel tvorby batymetrické mapy. Autor tento fakt zjistil pomocí dvou samotných interpolací, kde každá obsahovala 50 % náhodně vybraných vzorkovacích bodů. Následným vzájemným porovnáním dvou výsledků byly zjištěny rozdíly mezi nimi. Tyto kroky byly provedeny u všech interpolačních metod a rozdíly mezi dvěma výsledky vyjádřeny v procentech, které posloužily k jejich porovnání. Za příčinu konečného kladného výsledku přirozeného souseda je považován hladký průběh interpolace. Druhou příčinou je fakt, že nevyvozuje trendy a tím pádem odlehle hodnoty.

3.2.1.6. Trend

Trendem je nazývaná statistická metoda interpolace prostorových dat, která využívá ke zhotovení regresní přizpůsobení nejmenších čtverců. Výstupem interpolace je velmi shlazená plocha, která ovšem zřídka prochází vstupními body (Childs 2004). Samotný výsledek si lze představit jako kus papíru, který kopíruje zemský povrch. Průběh interpolační křivky lze definovat jako součet rozdílů hodnot od skutečné hloubky, která je výše položená než vymodelovaný povrch a součet rozdílů hodnot od skutečné hloubky položené níže než vymodelovaný povrch (ESRI 2016a). Tento jev je vyobrazen na obr. 8.



Obr. 8 Ilustrace interpolační metody Trend

(Zdroj: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-trend-works.htm>)

Samotná interpolační metoda se dá využít pro postupné jevy, jako je například kvalita ovzduší či směr větru. Ovšem využívá se také pro zkoumání globálních či dlouhodobých trendů (ESRI 2016a). Trend je přizpůsoben extrapolaci (odhad hodnot na odlehlých místech), ale jedná se o aproximující metodu. Tento fakt zapříčiňuje možný velmi nízký (záporný) odhad hodnot v okrajových částech zkoumaného prostředí (Křikavová 2009). Z těchto důvodů je Trend nevhodný pro tvorbu výstupu batymetrického mapování.

3.2.1.7. Topo to Raster

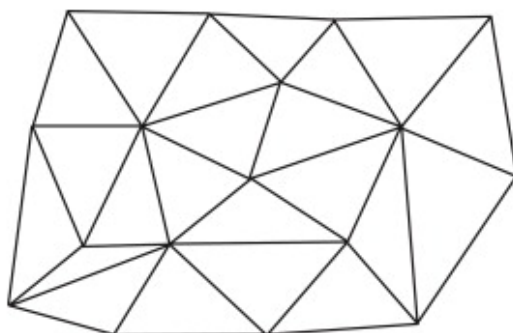
Interpolační metoda Topo to Raster byla zhotovena společností ESRI (Oršulák, Pacina 2010) pro odhad hodnot při DMT z volně dostupných dat, které převážně představují vrstevnice (Child 2004). ESRI (2016b) dodává, že kromě liniové vrstvy představující vrstevnice, lze za vstupní data považovat bodové či polygonové vrstvy. Vstupní hodnoty v prostředí ArcGIS jsou využity k rasterizaci fungující na principu vyhotovení mozaiky z pixelů nad naměřenými hodnotami (Kolář 2003).

Topo to Raster vykazuje značné množství výhod oproti předešlým zmiňovaným. Hlavním důvodem je kombinace jejich kladných vlastností. Jednou z nich je lokální efektivnost jako u metody IDW. Avšak popisovaná metoda je také definována bez ztráty návaznosti povrchu v rámci globálních interpolačních metod. Tuto vlastnost Topo to Raster sdílí s metodami Kriging a Spline. Z těchto důvodů je výstupem hladký povrch, který kopíruje náhlé změny vodního dna. Další výhodou říká, že body s nulovou hloubkou budou obsaženy pouze v místě břehové linie (Oršulák, Pacina 2010).

Podle Kučery (2014) je interpolační metoda Topo to Raster v prostředí stojatých vod dobře využitelná. Křikavová (2009) dodává, že jedna z předností popisované metody pro tvorbu batymetrické mapy je zanedbání dat, které mají hodnotu souřadnice z (nadmořskou výšku) odlišnou od potřebné k vypovídajícímu výstupu.

3.2.2. TIN

Nepravidelná trojúhelníková síť, v anglickém jazyce *Triangulated Irregular Network* (TIN), je známa od roku 1973, kdy byla poprvé zkonstruována Thomase K. Poikerem pro samotnou topologii. Nicméně v roce 1973 byla vyvinuta do podoby, která dokázala reprezentovat sklon s ostatními atributy a stala se klíčovým elementem v softwarech GIS (Mark 1997). Jedná se o povrchový model, který je vyhotoven ze vstupních bodů a vytvořených čar. Samotný proces tvorby spočívá ve vytvoření nepřekrývajících se trojúhelníků, které jsou lokalizovány po celé zkoumané oblasti. Podle Bayera (2008) je využito tzv. Delaunay triangulace, která zajišťuje vytvoření takového trojúhelníku, uvnitř kterého neleží žádný vstupní bod, ale zároveň se snaží o tvorbu takového obrazce, který se se svým charakterem blíží rovnostrannému trojúhelníku (Li, Liang, Wang 2012).



Obr. 9 Delaunay triangulace

(Zdroj: Liu, Mu, Yan 2012)

Výhody plynoucí z daného způsobu reprezentace povrchu vyjadřují, že hodnoty vstupních bodů se vždy vyskytují na původním místě. Za druhou kladnou vlastnost lze považovat relevantní výsledek vytvořený i z nepravidelně rozmístěných vzorkovacích bodů (Jones, Kidner, Ware 1994). TIN je využitelný pro účel tvorby batymetrické mapy v případě, že je využito dostatečně hustého souboru vstupních bodů (Kučera 2014).

3.2.3. Hodnocení kvality interpolace

Velmi důležitou částí bakalářské práce, která ovlivňuje rozhodování o kvalitě interpolačních metod a nastavení parametrů jednotlivých interpolátorů, je hodnocení kvality. Jednou z možností hodnocení je subjektivní názor, ovšem při tomto způsobu je považováno za nutné znát danou zkoumanou oblast. Proto se za lepší variantu jeví využití objektivního druhu hodnocení (Kučera 2014).

Pro objektivní hodnocení se nejčastěji využívá tzv. cross-validation (CV), neboli křížové validace. Funguje na základě posouzení možné reprodukce původních dat. *Leave-one-out cross validation* je konkrétním typem CV a jeho podstata spočívá ve vynechání náhodného datového bodu, který nebude využit pro samotnou interpolaci. Vynechaný bod s reálnou hodnotou slouží k porovnání s odhadnutou hodnotou. Tento postup je postupně proveden u všech známých bodů. Mezi samotné ukazatele se především řadí průměrná chyba a střední kvadratická chyba (Ježek 2015).

Průměrná chyba (m_e), vyjádřena jako aritmetický průměr všech rozdílů předpovědaných hodnot od skutečných, říká, že čím je hodnota blíže k nule, tím je výsledek přesnější. Je vyjádřena kladným či záporným znaménkem vyjadřující podhodnocení či nadhodnocení výsledku. Nicméně vzniklý výsledek může být ovlivněn

odlehlými vstupními body a z tohoto důvodu je využívána střední kvadratická chyba (rmse) (Ježek 2015).

$$me = \frac{1}{n} \sum [z(x_i) - z'(x_i)]$$
$$rmse = \sqrt{\frac{1}{n} \sum [z(x_i) - z'(x_i)]^2}$$

Vzorce vyjadřující průměrnou a střední kvadratickou chybu obsahují neznámou n , která vyjadřuje celkový počet známých bodů využitých pro interpolaci. Proměnná $z(x_i)$ je skutečnou naměřenou hodnotu v daném místě, kdežto $z'(x_i)$ je odhadnutá hodnota pomocí určité interpolace.

4. Popis lokality

Rybniční oblast se nachází v kraji Vysočina v lokalitě na severovýchodním okraji města Humpolce. Oblast je charakterizována mnoha vodními plochami, nicméně pro účel bakalářské práce posloužil rybník Hadina, který je evidovaný jako průtočná retenční vodní nádrž, vyskytující se na vodním toku Pstružný potok. Zároveň se jedná o vodní plochu s největším objemem zadržené vody v dané lokalitě. V okolí rybníku, který posloužil pro zpracování bakalářské práce, se nachází koňské závodiště všestrannosti a také zastavěná plocha části obce Čejov.

Rybník byl vybudovaný za účelem prevence před povodněmi a ochranou ČOV pod retenční nádrží. Za vedlejší účel lze označit akumulaci, krajinnotvornou, ekologickou či estetickou funkci. Nicméně nezbytnou funkcí je rekreační využití, které je spojeno se sportovním rybolovem, který zajišťuje ČRS MO Humpolec. Nadmořská výška vodní hladiny rybníku Hadina je při běžném provozu 494,30 m n. m. Při této kótě je velikost vodní plochy udávána 116 090 m². Historie rybníku sahá do roku 2009.



Obr. 10 Pohled na hráz rybníku Hadina (vlevo) a na jeho mělké části (vpravo)

(vlastní zdroj)

5. Metody pořízení a úpravy dat

V následujících 4 podkapitolách byla popsána metodika sběru a úpravy získaných dat.

5.1. Mapování hloubek

První část průzkumu dané oblasti spočívala v měření hloubek na rybníku Hadina. Pro tento účel byl využit systém RiverSurveyor M9 vyvinutý firmou SonTek. Součástí celkového systému je echolot, integrovaná a referenční GPS. RiverSurveyor M9 dokáže zaznamenat hodnoty měřených hloubek v rozsahu 0,2–80 m a k tomuto účelu využívá mnohopaprstčitý sonar vyzařující zvukové vlny o frekvenci 5 Mhz do 9 směrů. Výrobce udává vertikální přesnost měření 4 cm. Co se týká horizontální přesnosti, lze konstatovat, že je menší než 1 m bez využití referenční GPS, ovšem jejím zařazením do celkového systému dosahuje přesnost do 2 cm. Výhodou je, že veškeré naměřené hodnoty se ukládají do paměti přístroje. Další výhody vyplývají ze značné rychlosti zaznamenávání, velkého počtu naměřených hodnot, ale také z dostatečné přesnosti měření. Omezení nastává v minimální možné měřené hloubce, která již byla uvedena.



Obr. 11 SonTek RiverSurveyor M9

(Zdroj: <https://www.xytem-analytics.no/sontek-riversurveyorreg-s5-m9/>)

Samotné měření bylo prováděno 11. 9. 2019. Referenční GPS sloužící ke zpřesnění výsledků byla připevněna na stativu na břehu vodní nádrže a echolot s integrovanou s integrovanou GPS byl umístěn na plováku, který byl tažen za hliníkovou loď. Hliníková loď nesla elektromotor zajišťující konstantní rychlost pohybu. Z důvodu chladného počasí a nedostatečné kapacity baterií napájející referenční GPS a echolot bylo nutné rozdělit celkové měření do 8 úseků. Samotný proces mapování probíhal přibližně 5 hodin

a 30 minut, kdy měření bylo provedeno každou sekundu. Celkový počet naměřených bodů dosáhl hodnoty 16334.

V průběhu zjišťování informací spojených s měřením hloubek na rybníce Hadina se vyskytlo několik omezení. Z důvodu špatné součástky, kterou byl kabel na propojení antény a přijímače GPS, potřebné ke správnému fungování referenční GPS, byla funkčnost přístroje připevněného na stativu během měření omezena a přesnost samotného měření polohy nebyla dostačující. Zároveň nastal problém související s minimální zaznamenanou vodní hloubkou. Tato skutečnost byla umocněna nedostatečně vysoko položenou vodní hladinou z důvodu záměrného snížení zadrženého objemu vody. Zmiňovaný fakt je také spojen s problémem nemožnosti pohybu v nejmělkých místech retenční vodní nádrže. Souvisejícím nedostatkem se jevil přílišný ponor využití hliníkové lodi. Mělká místa byla lokalizována především v místech břehové linie a jihovýchodní části retenční vodní nádrže. Z těchto popsaných důvodů byla nutností pozdější úprava dat.

5.2. Mapování břehové linie

Pro účel zmapování břehové linie byla využita metoda GNSS spočívající ve využití přístroje GeoExplorer 6000 společnosti Trimble, který využívá software Trimble Access. Popisovaný přístroj přijímá signál GNSS Glonass a GPS a dokáže operovat s 220 kanály. Podle výrobce je přesnost při samotném měření dat o horizontálních souřadnicích menší než 1 m. Při využití postprocesingu je kvalita výstupu zlepšena a přesnost by neměla přesahovat hodnotu 50 cm. Důvodem upřednostnění této metody před ostatními bylo jednoduché použití a rychlost měření. Za další výhodu lze považovat kvalitu naměřených dat s využitím korekce. Nevýhoda spočívá v nedostatečně přesném určení nadmořské výšky při porovnání s ostatními metodami sběru dat, nicméně tyto hodnoty nebyly stěžením pro zpracování bakalářské práce.



Obr. 12 Trimble GeoExplorer 6000

(Zdroj: <https://www.geobusiness.cz/trimble-uvvedl-geoexplorer-6000/>)

Samotné mapování bylo prováděno ve dnech 9. 11. 2019 a 12. 11. 2019. Celkem bylo změřeno 846 jednotlivých bodů reprezentujících břehovou linii. První den bylo získáno 683 hodnot a druhý den pouhých 163. Intervaly mezi jednotlivými měřeními byly různé v závislosti na průběhu břehové linie. Průměrný interval měření celé vodní nádrže je 2,17 m. Průběh hráze se jevil lineárněji než ostatní břehové části, a proto byly intervaly mezi jednotlivými body větších rozměrů než v ostatních částech rybníku. Vzhledem ke značné ploše měřené vodní nádrže probíhal proces mapování břehové linie přibližně 6 hodin.

GNSS přístroj v důsledku dobré polohy měřené vodní nádrže, ale také volnému prostoru vykazoval velké množství družic podílejících se na výsledné kvalitě zaznamenaných souřadnic. Nicméně i s tímto faktem vykazovala jednotlivá data chyby měření pohybující se v rozmezí několika metrů, avšak negativní skutečnost vyřešila pozdější již zmíněná korekce.

5.3. Zpracování dat batymetrického mapování

Jak již bylo zmíněno v kapitole 5.1. přesnost naměřených surových dat za pomoci přístroje RiverSurveyor M9 a jeho součástí byla nedostatečná. Problém nastal ve špatném zaznamenaní polohopisných souřadnic z důvodu nefunkční referenční GPS, ale také neznámé chyby transformace celých měřených úseků. Tudiž byla nutností jejich úprava. Samotné zpřesnění souřadnic naměřených dat bylo prováděno v programu ArcGIS Pro. za pomoci funkce transform feature. Popisovaná funkce slouží primárně k transformaci datové sady do určitého souřadnicového systému. Pro úpravu naměřených dat a následný proces samotné transformace měřeného úseku do správné podoby byla vytvořena vrstva link feature sloužící k vymezení kontrolních bodů (počátek a konec úseku). Po úpravě

vznikly úseky jednotlivých měření, které byly nadbytečné, a proto nebyly použity pro samotné vyhotovení interpolačních metod.

Za další podstatný krok se jevila úprava souřadnice z, kterou představuje naměřená hloubka. Jak již bylo zmíněno v kapitole 5.1., v době batymetrického průzkumu byla nadmořská výška vodní hladiny o 14 cm pod provozní hladinou, tudíž jednotlivým datům byla přičtena zmíněná hodnota. Další úprava taktéž spočívala v úpravě změřené hloubky, kdy stěžením krokem je přičtení hodnoty 10, která vyjadřuje ponoření echolotu pod vodní hladinou během měření. Nicméně tato část úpravy dat nebyla provedena v programu ArcGIS Pro, nýbrž již v programu RiverSurveyor live, který slouží k převodu dat z přístroje do počítačové podoby. Tento krok provedl RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D. Poslední fáze úpravy daného typu dat spočívá v odstranění duplikovaných bodů vzniklých při velmi pomalém pohybu. K tomu účelu je vhodná funkce *delete identical*. Po odstranění nadbytečných úseků a duplikovaných dat bylo použito 13 285 bodů vhodných pro následné vyhotovení jednotlivých interpolačních metod. Nevýhodou již popsané pozdější úpravy je nemožnost posouzení polohové přesnosti z důvodu neexistence mapového podkladu ze současnosti. Avšak pro dostatečné posouzení byla využita příloha projektové dokumentace obsahující hloubnice při vybudování retenční vodní nádrže v roce 2010, nicméně za nevýhodu lze považovat sedimentaci během posledních 10 let, která může ovlivnit hloubku vodní plochy. Samotný postup porovnání spočívá v porovnání polohy několika změřených bodů s polohou hloubnice s odpovídající hloubkou. Z posouzení vyplývá, že data mají polohovou přesnost do 5 m, což je dostačující hodnota, protože v dané lokalitě se nevyskytují náhlé změny reliéfu dna vodní plochy.

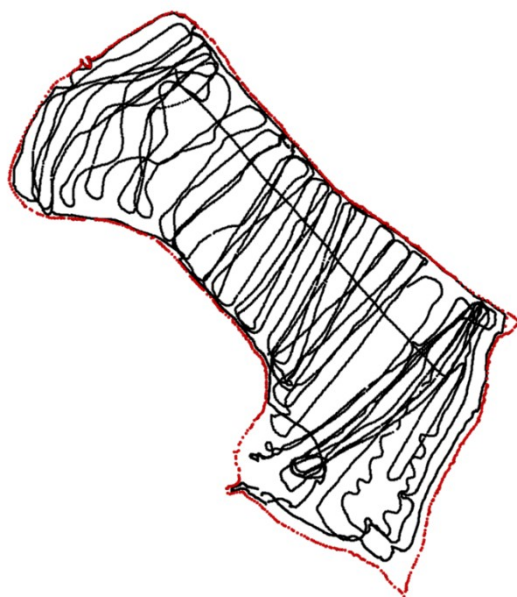
5.4. Zpracování dat břehové linie

Surová data naměřená přístrojem Trimble GeoExplorer 6000 vykazovala odchylku od skutečné polohy. Z tohoto důvodu byla stěžení částí úpravy naměřených dat již zmíněná korekce, kterou kvůli nemožnosti vlastního využití programu Pathfinder Office 5.2 provedl pan Ing. Miroslav Čábelka. Pro samotnou korekci posloužila data ze dvou stanic s družicovými systémy GPS a GLONASS. Konkrétně se jedná o stanici v Jihlavě a Jindřichově Hradci, které využívají přijímač LEICA GR30. Samotný postup spočívá ve stažení naměřených dat z GNSS přístroje a získání korekcí z internetového prostředí.

Po aplikaci naměřených hodnot v programu Pathfinder Office 5.2 vznikly samotné opravy uloženy v souboru s formátem .cor sloužícího pro závěrečný export. Exportovaná finální dat byla uložena jako .shp a .mdb.

Z úpravy a přiložených souborů od Ing. Čábelky vyplývá, že téměř 92,03 % naměřených dat má přesnost do 15 cm. Hodnota 1,52 udává procentní zastoupení naměřených dat po korekci s přesností do 30 cm. S odchylkou od skutečné hodnoty 0,3 až 0,5 m bylo vyhotoveno 5,63 % bodů. Přesnost do 1 m je udávána u 0,72 % datového souboru a pouhých 0,1 % dat má nedostatečnou přesnost do 2 metrů. Udané hodnoty jsou vyjádřeny z celkového počtu naměřených hodnot během dvou dní. Co se týká porovnání jednotlivých datových sad v rámci dvou dní, z přiložených souborů vyplývá, že druhý den byly všechny hodnoty naměřeny s přesností do 15 cm. Co se týká celkového zhodnocení, lze předpokládat, že výsledné body po vyhotovení úpravy pomocí korekce jsou při posouzení polohové přesnosti kvalitní a dobře využitelné pro zpracování bakalářské práce.

Posledním krokem zpracování byla transformace do správného souřadnicového systému, kterým je WGS 84 UTM 33N. Ve stejném souřadnicovém systému jsou vizualizována data měřených hloubek vodní nádrže Hadina.



Obr. 13 Změřená hloubka (černě) a břehová linie (červeně)

(Zdroj: vlastní)

5.5. Datová sada z roku 2009

Pro tvorbu vrstev sloužících k interpretaci a kartografické vizualizaci v později vytvořené webové aplikaci byla vyhotovena datová sada nesoucí batymetrické informace o vodní nádrži Hadina z roku 2009, kdy byla vybudována. Požadované informace byly získány ze zapůjčené projektové dokumentace, která obsahovala přílohu se zakreslenými příčnými profily rybníku. Příčné profily transformované do správné podoby v programu ArcGIS Pro byly o souřadnicovém systému WGS 84 UTM 33. Každý příčný profil obsahoval několik bodů s hodnotami nadmořských výšek původně využitých pro vytvoření představy o podobě vodního dna. Tento jev byl následně využit pro vytvoření bodové datové sady, ze které byla zhotovena batymetrická mapa. Před využitím určité interpolační metody byla z důvodu neexistujícího vypovídajícího podkladu pro vytvoření břehové linie v roce 2009 využita datová sada vzniklá měřením o 10 let později, která využívala hodnotu hloubky 0. Celkový počet bodů, které později posloužily k vytvoření batymetrického výstupu zobrazující podobu vodní nádrže Hadina v roce 2009 nabýval 1038.



Obr. 14 Datová sada hloubek z roku 2009 a břehové linie v roce 2019

(Zdroj: vlastní)

6. Interpolace hloubek

Pro interpolaci naměřených dat byl využit již zmíněný program ArcGIS Pro. Zpracovány byly metody, které byly popsány v kapitole 5.1. Zpracování interpolačních metod ve zmíněném programu lze provést v několika toolboxech, ovšem pro účel vytvoření výstupu v rastrovém formátu byla využita nadstavba 3D Analyst Tools. Z důvodu nezaznamenaných hloubek v místech břehu byla sloučena datová sada vycházející z přístroje RiverSurveyor M9 s dvěma soubory naměřených hodnot břehové linie, kterým byl přidán atribut hloubky s hodnotou 0. Po jejich vyhotovení byly jednotlivé výsledky oříznuty polygonovým souborem, jehož okraj vyjadřuje naměřené body břehové linie.

6.1. Zpracování interpolačních metod

Následující část bakalářské práce se zabývá provedením interpolačních metod a jejich validací v programu ArcGIS Pro. Princip a fungování je popsán v kapitole 5.1. U všech metod, které byly využity, byl nastaven parametr ovlivňující velikost pixelu na hodnotu 0,1. Z toho důvodu je rozlišovací schopnost vyhotovených rastrů 10 cm.

Z důvodu malého počtu vzniklých bodů z příčných profilů vodní plochy v roce 2009 za účelem interpolace byla většina v kapitole 4 popsaných interpolačních metod nevyužitelná a vykazovala zavádějící výsledky. Jediným vhodným výstupem pro pozdější zpracování se jevila rastrová vrstva zhotovená pomocí interpolační metody Natural Neighbour. Pro interpolaci datové sady z roku 2019 byla využita většina interpolačních metod, nicméně deterministická metoda Trend vykazovala nevypovídající výsledky z důvodu jejího určení pro globální interpolaci. Druhý způsob interpolace nevhodící se pro účely bakalářské práce je metoda nejbližšího souseda spojená s tvorbou nespojitých jevů. Kapitoly 6.1.1. až 6.1.6. se věnují problematice interpolačních metod využitých nad sadou bodů vzniklou měřením v roce 2019.

6.1.1. IDW

První interpolační metoda, která vykazuje relativně kvalitní výsledky v oblasti zpracování naměřených dat na vodní nádrži Hadina je IDW. Kromě již zmíněné velikosti pixelu lze nastavit několik dalších parametrů. Prvním v pořadí je parametr power, který ovlivňuje vliv vzdálených bodů na predikci určité hodnoty. Pro účel vyhotovení správné interpolace byla použita hodnota 1, protože vyšší hodnoty vykazovaly příliš mnoho zlomů na dně

rybníka. Tento fakt byl zjištěn pozdější validací. *Search radius* neboli poloměr vyhledávání, který lze považovat za další důležitý parametr, byl zvolen variabilní a celkový počet bodů využitých pro odhad byl stanoven na hodnotu 30. Maximální vzdálenost vyhledávání bodů nebyla definována. Na první pohled si lze povšimnout, že vytvořená interpolace obsahuje několik nedostatků (viz příloha 1). Vyobrazuje nedostatečnou predikci hloubek v oblasti břehové linie. Druhý problém souvisí s nejvyšší interpolovanou hodnotou, která za pomoci interpolátoru byla určena o 20 cm nižší, než je skutečná hodnota.

6.1.2. Kriging

U geostatistické metody Kriging, která vychází ze stejného základu jako předchozí popisovaná, je za hlavní definovaný parametr považován využitý semivariogram, u kterého lze nastavit několik vlastností. Jednou z nich je druh. Byla využita metoda Ordinary Kriging, která předpokládá neznámý průměr hodnot v okolí zjišťovaného bodu. Pro vypovídající výsledek správného zpracování bylo využito sférického modelu, který se jeví jako nejvhodnější pro správný průběh interpolační křivky. Stejně jako u IDW byl nastaven variabilní poloměr vyhledávání. Ovšem parametr počtu bodů, které byly využity pro predikci určitého bodu, byl definován hodnotou 20, protože příliš velké hodnoty zobrazovaly nereálně hladký průběh vytvořené interpolace (viz příloha 1). Stejně jako u předchozí zmiňované metody byla zachycena maximální hodnota téměř o několik desítek centimetrů menší.

6.1.3. Spline

Spline, řadící se mezi deterministické metody, vykazoval taktéž vypovídající výsledek. Použitý byl tzv. Regularized Spline, vytvářející hladší povrchy než Tension Spline, který je podrobněji popsán v kapitole 5.1.3. Voleným parametrem je tzv. weight, který vyjadřuje váhu třetích derivátů. Čím je vyšší hodnota, tím hladší je výsledný povrch. Pro účel vytvoření batymetrické mapy se za nejlepší variantu jevila váha 1. Poslední vlastností, kterou lze ovlivnit výsledek, je volba počtu bodů ovlivňující predikovanou hodnotu v daném místě. Čím větší je zvolená hodnota, tím hladší je povrch. Z tohoto důvodu se na každém určovaném místě podílelo 50 okolních vzorkovacích bodů. Narozdíl od výsledků Krigingu a IDW je Spline charakterizovaný hladším průběhem interpolační křivky, což lze zpozorovat v příloze 2.

6.1.4. Metoda přirozeného souseda

Natural Neighbor je metodou, u které se nenastavuje značné množství parametrů, jako u předchozích zmiňovaných. Jediné nastavení se týká již zmíněného prostorového rozlišení výstupného rastru. Podle subjektivního zhodnocení výsledku interpolace podle 4. přílohy se dá konstatovat, že předpovídané hodnoty jsou velmi blízké realitě a nelze pozorovat výrazné odchylky (příloha 2).

6.1.5. TIN

Nepravidelná trojúhelníková síť je vytvořena bez udání parametrů. Konečný výsledek podle subjektivního pohledu závisějšího na znalosti dané lokality lze považovat za relevantní. Ovšem problém nastává v oblasti břehové linie, kde je lokalizováno mnoho menších oblastí s hodnotou vyšší, než je hladina vodní nádrže (příloha 3).

6.1.6. Topo to Raster

Zpracování interpolační metody Topo to Raster v programu ArcGIS Pro se vyznačuje velkým množstvím možných parametrů, které ovlivňují konečný výstup. Prvním parametrem je popsán typ vstupních bodů. V případě vyhotovení kvalitního výstupu byl popsán jako výška bodu, anglicky point elevation. Značnou výhodou od ostatních interpolačních metod je možnost určení minimální a maximální možné hodnoty predikce jednotlivých pixelů. Minimální hodnota 0 představovala hodnotu vodní hladiny. Maximální hodnota nebyla definována z důvodu možnosti výskytu reálné vyšší hodnoty, než která byla zaznamenána. Druhou výhodou je možné odstranění nežádoucích náhlých změn, kterou zajišťuje parametr drainage enforcement. Poslední definovaná vlastnost ovlivňující počet iterací taktéž má vliv na intenzitu náhlých změn. Hodnota byla nastavena na 30. Ostatní parametry byly ponechány s výchozími hodnotami. Výsledek je velmi podobný výstupu metody Natural Neighbor, jak lze vidět v příloze 3.

6.2. Kartografické zpracování

Výstupy z jednotlivých interpolátorů byly zpracovány do mapové podoby se všemi náležitostmi (příloha 1, 2, 3). Celkem byly vyhotoveny 3 mapové výstupy, přičemž každý prezentuje 2 interpolační metody. Jednotlivé interpolační metody byly rozděleny do intervalů o velikosti 25 cm, což lze považovat za hodnotu, která nese dostatečné informace, ale zároveň je zachována přehlednost mapy. Z důvodu vizualizace

batymetrické mapy se nejlepší variantou jevílo použití odstínů modré barvy pro znázornění jednotlivých intervalů, přičemž místa s největšími hloubkami se jevíla jako nejtmaší. Problém zaznamenání hodnoty hloubky 0 a menší v oblasti břehové linie byl vyřešen vytvořením odlišného intervalu, který byl zvýrazněn šedou barvou. Břehová linie obklopující interpolovanou plochu nebyla zgeneralizována z důvodu prezentace výsledků měření. Obsah doplňuje informace o maximální predikované hloubce, ale také pojmenování interpolačních metod. Samozřejmostí je tiráž, měřítko, legenda a název vypracované mapy.

6.3. Validace výsledků interpolačních metod

Validace výsledných interpolací byla prováděna taktěž v programu ArcGIS Pro. Z datového souboru sloužícího pro samotnou interpolaci bylo náhodně vybráno 5 % vzorkovacích bodů, které byly využity pro porovnání skutečných a odhadnutých hodnot. Ze zbylých dat byly za pomoci interpolačních metod zkonstruovány jednotlivé podoby zkoumané oblasti. Dosažené výsledky sloužily pro porovnávání se střední kvadratickou chybou vypočítanou jako rozdíl skutečných a predikovaných hodnot v daných místech, která představují 5 % náhodně vybraných bodů sloužících pro validaci.

V tabulce č. 1 jsou uvedeny hodnoty středních kvadratických chyb jednotlivých interpolačních výstupů. Vyjadřuje, že nejrelevantnějším výsledkem je výstup nepravidelné trojúhelníkové sítě převedené do rastrové podoby. Podobnou hodnotou RMSE je taktěž vyjádřena interpolační metoda Natural Neighbor. Naopak za nejméně nekvalitní výsledek uvažovat metodu IDW. Tyto fakty lze podložit subjektivním zhodnocením, které dohledat v kapitolách 8.1.1., 8.1.4., 8.1.5. Nicméně všechny vzniklé výstupy můžeme považovat za kvalitní, čemuž nasvědčují velmi nízké hodnoty blížíící se hodnotě 0 použitého ukazatele, což je způsobeno velkým množstvím vzorkovacích naměřených bodů.

IDW	Kriging	Spline	Natural neighbor	TIN	Toto to Raster
0.125	0.116	0.098	0.058	0.050	0.082

Tab. 1 Tabulka bezrozměrné veličiny RMSE jednotlivých interpolačních metod
(Zdroj: vlastní)

7. Návrh online webové aplikace

Následující kapitola se zabývá procesem tvorby webové aplikace se zaměřením na sportovní rybářský revír. Online geoinformační systém byl vytvářen nástrojem ArcGIS Online a jeho součástmi Web AppBuilder for ArcGIS, StoryMaps a ArcGIS Survey123.

Web AppBuilder je službou ArcGISu Online, pomocí které je uživatel schopen poskytovat určitou webovou mapu, ale především funkcionality s ní spojené koncovým uživatelům. V definované službě byly vytvořeny dvě aplikace, přičemž první zmiňovaná týkající se dosažených úlovků na sportovním rybářském revíru Hadina využívá pro sběr dat službu ArcGIS Survey123. Jedná se o službu v kontextu bakalářské práce sloužící ke sběru dat koncovými uživateli pomocí dotazníku. Druhá aplikace využívá datovou sadu vzniklou měřeními, které popisuje kapitola 7. Poslední zmíněná služba StoryMaps byla využita z důvodu kompletnosti aplikací vytvořených Web AppBuilderem. Nedílnou součástí závěrečné podoby se stala šablona služby StoryMaps s názvem Map Journal Builder sloužící primárně účelu tvorby interaktivního příběhu.

7.1. Příprava dat

Samotné tvorbě online geoinformačního systému předcházela fáze přípravy dat pro webové aplikace. Veškeré vrstvy byly přidány do ArcGISu Online ve formě hostované služby, která zajišťuje přístup k datům odkudkoliv z prostředí internetu a zároveň do jisté míry nahrazuje ArcGIS Server.

7.1.1. Úlovky

Jak již bylo popsáno výše, pro sběr dat týkajících se úlovků, které využívá aplikace k analýze výsledků dotazníku, byla využita služba ArcGIS Survey123 ve verzi 3.9.149 z důvodu vytvoření dotazníku pod názvem *Kde to bere na Hadině*. Za značnou výhodu lze považovat automatickou aktualizaci vzniklé datové sady uložené ve službě ArcGIS Online. Dotazník je určen koncovým uživatelům, kteří zaznamenali rekordní exemplář rybního druhu na rybníku Hadina. Své odpovědi mohou zaznamenat v internetovém prostředí či mobilní aplikaci. Podstatnou součástí dotazníku je nastavení jeho sdílení mezi širokou veřejností z důvodu možnosti získání záznamu od uživatele, který nemá přístup k softwaru společnosti ESRI. Možnost zaznamenání více výsledků jedním uživatelem je funkcionalitou, která je nezbytnou součástí pro dané téma.

Dotazník obsahuje 6 otázek sloužících pro získání informací týkajících se rybích úlovků v dané rybniční oblasti. V závislosti na uvážení koncového uživatele se může jednat o anonymní odpověď, avšak své jméno může zaznamenat v první otázce. Druhá a třetí otázka se týká určení rybiho druhu a období, kdy byl daný exemplář zaznamenán. Z důvodu primárního využití těchto informací pro analýzy v již zmíněné webové aplikaci byly jmenované otázky označeny jako povinné. Čtvrtá a pátá otázka je stejně jako první dobrovolná v závislosti na možnostech a vybavení lovce, které ovlivňují získané informace týkající se délky a hmotnosti úlovků. Nastavení možností zaznamenávání veličin je omezeno na číselné hodnoty, přičemž délku úlovku lze formulovat pouze celými čísly. Za poslední, nicméně nejdůležitější část dotazníku, se jeví zaznamenání místa úlovku. K tomuto účelu slouží interaktivní mapové pole, které lze zaznamenat společně s ostatními otázkami na obrázku 15.

Z důvodu neexistence datové sady týkající se úlovků na popisované retenční vodní nádrži byl vytvořen umělý vzorkovací soubor dat s ohledem na osobní znalosti a zkušenosti s rybolovem.

Kde to bere na Hadině?

Jste rybář/ka?
Zaznamenal/a jste pro Vás velikostně zajímavý úlovek na sportovním rybářském revíru Hadina v Humpolci?
Podělte se s námi o svůj rekordní kousek!
Následující dotazník slouží pro sběr dat k webové aplikaci HADINA - úlovky na sportovním rybářském revíru.

Otázky označené * jsou označené jako povinné.

Jak se jmenujete?
Uvedte příjmení a křestní jméno v tomto pořadí.

Jaký druh ryby jste ulovil/a?*

<input type="radio"/> amur	<input type="radio"/> candát	<input type="radio"/> jeseter
<input type="radio"/> kapr	<input type="radio"/> lín	<input type="radio"/> okoun
<input type="radio"/> sumec	<input type="radio"/> štika	<input type="radio"/> ostatní

V jaký měsíc jste úlovek zaznamenal/a?*

-Please Select-
▼

Jaké délky Váš úlovek nabýval?
Délku uveďte v cm.

Jaké hmotnosti Váš úlovek nabýval?
Hmotnost uveďte v kg.

Kde jste daný úlovek zaznamenal/a?*
V přiložené mapovém náhledu označte místo úlovku **na vodní ploše**, nikoliv lokaci rybářského posedu na břehu vodní nádrže.

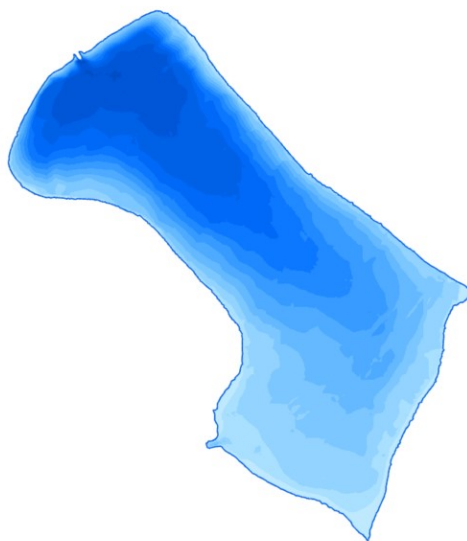
Odeslat

Obr. 15 Dotazník vytvořený za účelem získání datové sady o úlovcích
(Zdroj: vlastní)

7.1.2. Sedimentace rybníční oblasti

Pro webovou aplikaci věnující se sedimentaci a porovnání hloubek mezi lety 2009 a 2019 bylo zapotřebí tvorby vrstev nesoucí potřebné informace. Narozdíl od předchozích dat tvořených koncovými uživateli bylo využito desktopového softwaru ArcGIS Pro.

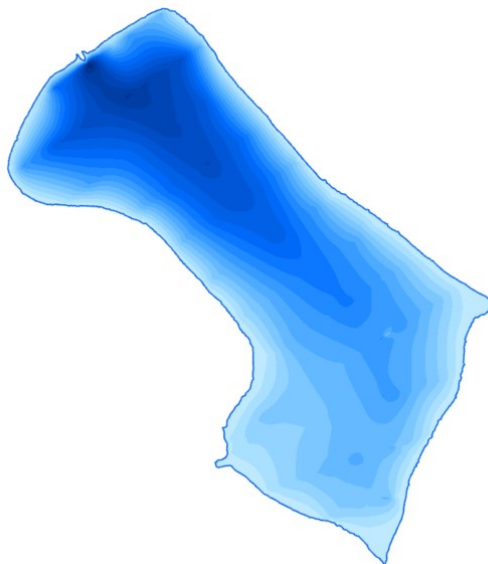
Za první vrstvu sloužící pro vysvětlení problematiky sedimentace lze považovat batymetrickou mapu z roku 2019, přičemž data sloužící pro její tvorbu byla získána v rámci bakalářské práce, a to způsobem, který byl popsán v 7. kapitole. Důležitým krokem se jevil rozhodovací proces mezi výsledky jednotlivých interpolačních metod tvořící mapové pole. Nejvhodnější ze všech použitých se stala metoda Natural Neighbour pro příznivý výsledek validace popsané v kapitole 8.3, ale také nevypovídajících výstupů z jiných metod vrstvy z roku 2009. Před již zmíněným procesem konvertování rastrového souboru do formátu polygonové vrstvy byla stěžejním postupem reklasifikace rastrového datového souboru dle použitých intervalů ve webové aplikaci, které nabývaly hodnoty 25 cm.



Obr. 16 Vrstva intervalů hloubek v roce 2019
(Zdroj: vlastní)

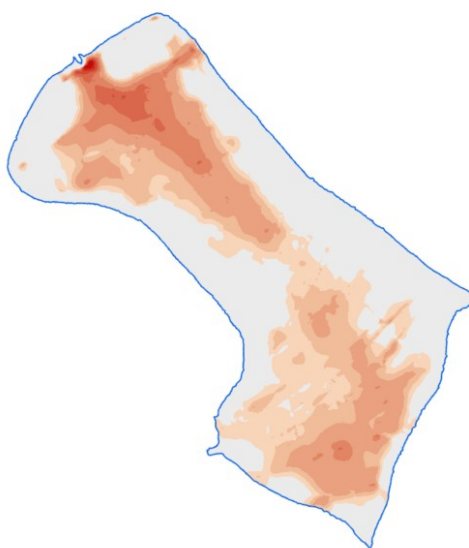
Příprava druhé vrstvy vyobrazující batymetrické informace z roku 2009 započala obdobně jako první zmíněná. Zásadním rozdílem byl menší počet vstupních bodů sloužících pro vytvoření dílčího výstupu. Podkladem pro tvorbu vstupních bodů se staly příčné profily obsažené v projektové dokumentaci zapůjčené ČRS MO Humpolec. Tedy konečný počet bodů nabýval hodnoty pouhých 1038, přičemž většina dosahovala hodnoty 0, která vymezila břehovou linii. Na sadu bodů byla aplikována již definovaná

interpolační metoda Natural Neighbour. Intervaly hloubek vzniklé reklasifikací dosahovaly stejných rozpětí jako v případě batymetrické mapy vyhotovené nad novější datovou sadou.



*Obr. 17 Vrstva intervalů hloubek v roce 2009
(Zdroj: vlastní)*

Lze konstatovat že třetí a zároveň poslední polygonová vrstva vytvořená použitím desktopového softwaru ArcGIS Pro je vyhotovená z předcházejících zmíněných souborů. Jedná se o polygonovou vrstvu vyobrazující množství sedimentů utvořenou rozdílem hodnot pixelů rastrů reprezentující hloubky v roce 2009 a 2019. Z důvodu menšího vertikálního rozsahu byly taktéž před konvertováním do polygonové podoby zvoleny menší intervaly pro výstup o hodnotách 10 a 20 cm.



*Obr. 18 Vrstva sedimentů v roce 2019
(Zdroj: vlastní)*

Pro smysluplné doplnění bylo využito vrstvy břehové linie, která byla zaznamenána pomocí přístroje společnosti Trimble popsáném v kapitole 5.2. Původní liniová vrstva byla doplněna o její zgeneralizovanou podobu sloužící pro zobrazení v menším měřítku v rámci vytvořené dílčí webové aplikace.

7.1.3. Vizualizace datových sad

Po přípravě datových sad a jejich publikaci ve formátu hostované vrstvy pomocí služby ArcGIS Online byly vytvořeny dvě webové mapy zabývající se již zmíněnou sedimentací a zaznamenanými úlovkami s využitím dotazníku. Úpravu vektorových vrstev v prostředí ArcGIS Online lze rozdělit do tří kroků, které se dále člení na nastavení měřítka viditelnosti či zobrazení hostované vrstvy, vyskakovacích oken (pop-up window) a kartografické vizualizace.

První webovou mapou, která je připojena k aplikaci týkající se sedimentace a porovnání hloubek v rozmezí 10 let, tvoří vektorové vrstvy sedimentace, intervalů hloubek z roku 2009 a 2019 a v předchozí kapitole popsáné břehové linie. Sedimentaci reprezentuje intervalové rozdělení, přičemž odstíny červené určují vertikální rozměr sedimentů. Hloubky v roce 2009 a 2019 jsou prezentovány v odstínech modré barvy. Všechny popsáné polygonové vrstvy mají nastavené měřítko viditelnosti do rozměru mapy s přibližnou hodnotou 1: 20 000. Již zmíněná vyskakovací okna, která se se aktivují při přímé interakci s mapovým polem, jsou povolena pouze u vrstvy intervalů z roku 2020 co se týká polygonů, nicméně liniové vrstvy vymežující břeh také tuto funkcionalitu zahrnují. Rozsah viditelnosti neupravené linie, která odpovídá skutečnosti je srovnatelná s již popsánými částmi webové mapy, avšak nastavení zjednodušeného průběhu liniové vrstvy je nastaveno na viditelnost do měřítka 1:75 000.

Druhou webovou mapu využívá aplikace zabývající se úlovkami na sportovním rybářském revíru. Stejně jako v mapovém zobrazení, které se zabývá zanášením, webová mapa vytvořená primárně pro prezentaci úlovek také obsahuje vrstvy břehové linie a intervalů hloubek z roku 2019, jelikož rozšiřují přehled o úlovcích. Nastavení těchto doplňujících vektorových vrstev je totožné s druhou webovou mapou, avšak vyskakovací okna jsou zablokována z důvodu nesouvisejících informací s úlovkami. Hostovaná služba získaná prostřednictvím služby ArcGIS Survey123 je ve webové mapě duplikovaná.

Za příčinu lze považovat vytvoření druhé vrstvy, která je v menším měřítku. Zároveň disponuje nastavením shlukování jednotlivých bodů dle lokality, přičemž jednotlivý shluk obsahuje informaci o celkovém počtu úlovků v okolí nově vytvořeného bodu. Původní zobrazení, které lokalizuje jednotlivá místa úlovků, je viditelné při větším měřítku. Obě vrstvy jsou vizualizovány zelenou barvou, která je dobře viditelná na modře vyobrazeném pozadí představující intervaly hloubek.

7.2. Tvorba aplikace

Závěrečná aplikace je vytvořena pomocí služby StoryMaps a její šablony Map Journal. Jejími dílčími částmi, ke kterým má koncový uživatel přístup, jsou aplikace vytvořené pomocí služby Web AppBuilder nesoucí názvy Úlovky na sportovním rybářském revíru a Zanášení sportovního rybářského revíru. Přímé odkazy na webové aplikace jsou zaznamenané v příloze 4.

7.2.1. Úlovky na sportovním rybářském revíru

První dílčí aplikace zabývající se prezentací záznamů z dotazníku pomocí widgetů, které jsou nedílnou částí služby Web AppBuilder, je závislá na nastavení filtru úlovků. Popisovaný widget, pomocí kterého koncový uživatel nabývá možnosti nastavení zobrazení úlovků dle rybiho druhu a data úlovku, působí na všechny ostatní prvky mapového obsahu. Z důvodu podání relevantních informací koncovému uživateli byly ostatní widgety typu infographic. Po vyhotovení filtrace uživatel obdrží sdělení nejen o maximální délce a hmotnosti úlovku, ale také průměru těchto dvou veličin. Doplňující informací se stala hodnota počtu vyfiltrovaných záznamů koncovými uživateli. Za nedílnou součást lze považovat dva kruhové diagramy, jejichž primárním cílem je poukázání na druhové složení požadovaných úlovků a jejich období zaznamenání. Všechny doposud zmíněné widgety jsou vyobrazeny pomocí šablony dashboard, která na rozdíl od ostatních dostupných nabývá možnosti automatického vyobrazení widgetů při spuštění. Mapové pole doplňují widgety ve formě tlačítek, které jsou prvotně určeny obecnější akcím. Za obecnější akci můžeme pokládat nastavení podkladové mapy, prozkoumání legendy nebo měření vzdáleností. Za velmi nápomocný widget, především pro uživatele mobilních zařízení, se dá považovat určení polohy daného přístroje. Koncový uživatel nabývá možnosti přiblížení či oddálení mapového obsahu, či dokonce

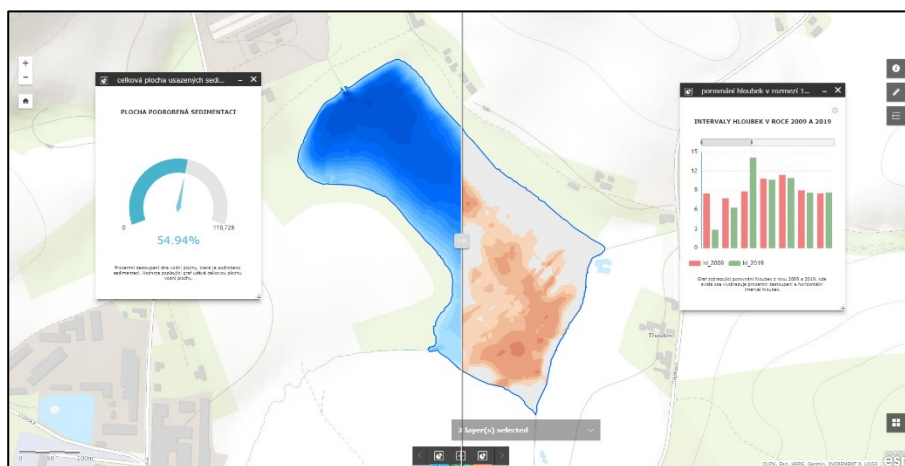
zachycení původního zobrazení. Na 19. obrázku, vedle již probraných funkcionalit lze zaregistrovat grafické měřítko.



Obr. 19 Aplikace s názvem „Úlovky na sportovním rybářském revíru“
(Zdroj: vlastní)

7.2.2. Zanášení sportovního rybářského revíru

Druhá aplikace, vytvořená pomocí Web AppBuilderu zabývající se zanášením sportovního rybářského revíru, je vyhotovena jednodušším způsobem nežli předchozí zmiňovaná. Za důvod můžeme především považovat nenáročnost a neexistenci rozsáhlé datové sady, na které by bylo možné aplikovat značné množství analytických funkcí. Avšak stejně jako v případě předchozí aplikace, si lze povšimnout dvou widgetů typu infographic. První z těchto dvou widgetů podává informaci prostřednictvím grafického znázornění o procentním zastoupení vodního dna, které v posledních 10 letech postihla sedimentace. Druhý z infographic widgetů vyjadřuje porovnání hloubek mezi lety 2009 a 2019 formou sloupcového grafu, kdy se velikost vertikální osy projevuje procentním zastoupením vzhledem k celkové rozloze vodní plochy. Horizontální osa podává informaci o intervalu hloubek. Poslední z widgetů, který je neobvyklým typem swipe, je určen k prozkoumání hloubek z roku 2009 a 2019, ale také je zde možnost prozkoumání sedimentace. Koncový uživatel nabývá možnosti volby vrstvy, na kterou zaměří svou pozornost. Stejně jako v předchozí aplikaci, uživatel smí upravit mapové zobrazení obecnějšími tlačítky. Důležitým prvkem mapového obsahu je návod k obsluze widgetu typu swipe, který jak již bylo sepsáno, umožňuje prozkoumání vrstvy sedimentace a intervalů hloubek v roce 2009.

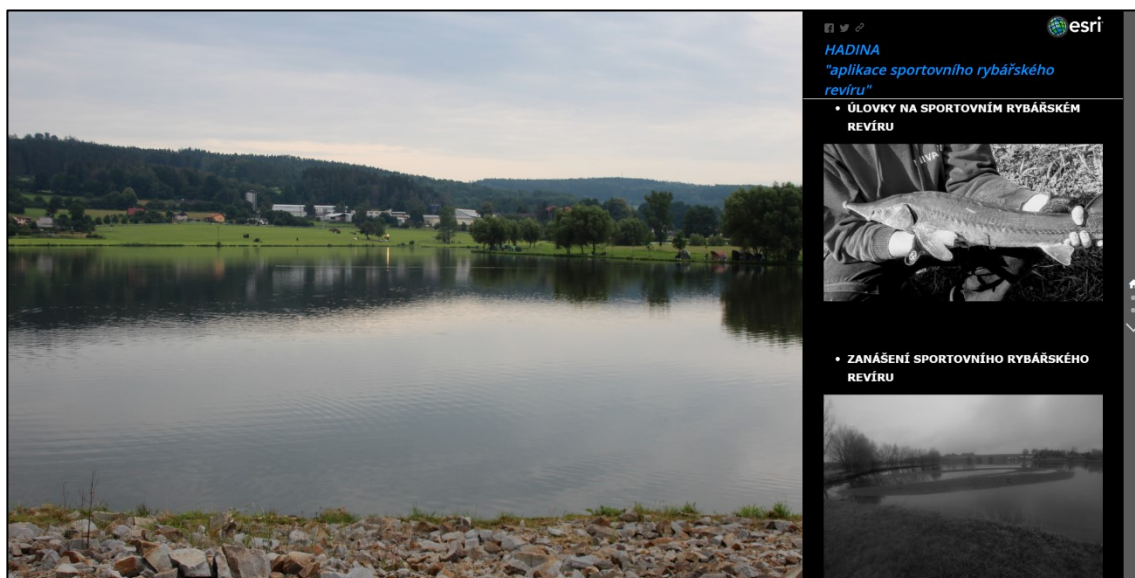


Obr. 20 Aplikace s názvem „Zanášení sportovního rybářského revíru“

(Zdroj: vlastní)

7.2.3. Map Journal Builder

Poslední část tvorby online geoinformačního systému je primárně založena na sjednocení dílčích aplikací vytvořených pomocí Web AppBuilderu. Závěrečnou podobu lze rozdělit do tří částí. Lze si povšimnout průvodní fotografie rybářského revíru, která je v ostatních úsecích nahrazena aplikacemi vytvořených Web AppBuilderem. Na pravé straně je panel zabírající 25 % celkového zobrazení a zahrnuje stručný popis vyobrazené části. Součástí jsou tlačítka, jejichž primární funkce slouží sdílení aplikace na sociálních sítích Facebook a Twitter. Ostatní dva úseky prezentují vytvořené dílčí aplikace popsané v kapitolách 9.2.1. a 9.2.2., přičemž jejich popis je obsažen na již zmíněném pravém panelu. Vysvětlení aplikace určené pro rybáře je vytvořeno k atraktivnosti pro potenciálního návštěvníka. Primárně jsou vyjmenované důvody, které byly podnětem pro návrh aplikace, ale také odkaz na dotazník popsany v kapitole 7.1.1. Z důvodu možného zaznamenání úlovku z mobilního zařízení je součástí QR kód pro přístup do služby Survey123. Druhou přiloženou aplikaci doplňuje popis sběru potřebných dat, použití interpolační metody, ale také způsob vyhotovení vrstvy, která představuje sedimentaci.



Obr. 21 Úvodní strana aplikace s názvem „Hadina – aplikace sportovního rybářského revíru“

(Zdroj: vlastní)

8. Výsledky a diskuse

Následující část se věnuje výsledkům bakalářské práce, jejich popisu, ale také diskusi. Pořízená batymetrická data se dají považovat za první výsledek. Datová sada nesoucí informace o hloubkách v roce 2009 vznikla pomocí příčných profilů přiložených v původní projektové dokumentaci, kdežto data z roku 2019 byla získána vlastním měřením. Kromě batymetrických dat byla sesbírána i data nesoucí informaci o průběhu břehové linie. Z měření uskutečněných v roce 2019 byly zhotoveny interpolační metody, které byly následně pomocí validace porovnány. Stěžejní částí před návrhem webové aplikace popsané v kapitole 7 byla příprava geodatabáze v softwaru ArcGIS Pro sloužící k importování datových vrstev do prostředí internetu. Geodatabáze obsahuje vrstvy vizualizující hloubky ve dvou časových horizontech, které vznikly ze získaných dat, břehovou linii, ale také později vytvořenou polygonovou vrstvou podávající informaci o sedimentaci sportovního rybářského revíru. S aplikací ve formě online geoinformačního systému souvisí také bodová vrstva zaznamenávající informaci o rybích úlovcích, která je produktem služby Survey123.

Samotná webová aplikace byla zhotovena pomocí webového rozhraní ArcGIS Online. Pro její tvorbu byla využita služba webového GIS s názvem Web AppBuilder for ArcGIS, která obstarává fungování dílčích aplikací zabývajících se úlovky na sportovním rybářském revíru a změnou hloubek v rozmezí 10 let. Obě aplikace jsou utvořeny k průzkumu popsaných datových sad a jejich hlubšího poznání formou analýz. Pro seskupení dílčích aplikací posloužila šablona služby StoryMaps s názvem Map Journal.

Následující 3 odstavce se zaobírají diskusí a zhodnocením postupů v rámci bakalářské práce. Pro sběr dat z roku 2019 byly vybrány metody GNSS s odpovídajícími součástmi. Podobnou tematikou se zabírala práce Hulce (2017), který se taktéž zaměřil na získání informací o vodní ploše. V obou případech bakalářských prací byl využit přístroj RiverSurveyor M9 pro sběr dat nesoucích informace o změřených hloubkách, nicméně technologie využita pro mapování v roce 2014 využívala dálkové ovládání, které se jeví výhodnější z důvodu přesnějšího pohybu, ale také možnosti mapování mělkých míst, která jsou ve vodní nádrži nacházející se v Humpolci hojně zastoupena. Co se týká měření břehové linie, dá se předpokládat, že vzhledem k přesnosti a rychlosti získání informací se jedná o nejpřijatelnější formu terénního průzkumu. Datová sada nesoucí

informace o původních hloubkách v roce 2009 vzniklá z příčných profilů nedosahovala takového počtu vstupních bodů. Z tohoto důvodu můžeme předpokládat, že výstup z později provedené interpolace nedosahuje svou přesností kvality první zmiňované datové sady. Bodová vrstva zaznamenávající rybí úlovky vytvořená službou Survey123 je důležitou součástí webové aplikace s názvem „Úlovky na sportovním rybářském revíru“. Výhoda služby oproti ostatním technologiím spočívá ve snadném propojení s technologií ArcGIS Online a její automatické aktualizaci.

Kučera (2014) se zabíral porovnáním jednotlivých výsledků, které plynou z dostupných interpolátorů v softwaru firmy ESRI. Po aplikaci interpolačních metod v rámci mé bakalářské práce na vstupní data bylo zjištěno, že kvalita jednotlivých výstupů je srovnatelná s prací z roku 2014. Lze konstatovat, že jednotlivé výsledky jsou dostačující pro tvorbu batymetrických map daného měřítko, ovšem problém nastává s kvalitou transformace dat, která byla provedena před samotným spuštěním interpolátorů. Transformace souborů do správné podoby byla ovlivněna především subjektivními znalostmi dané lokality a kontrolními body, za které lze považovat počátek a konec jednotlivých úseků měření. Pro data s přesnějšími polohovými souřadnicemi by bylo zapotřebí nového měření s kvalitní součástí, která při původním sběru dat nebyla z důvodu nefunkčnosti využita.

Jak již bylo definováno ve výsledcích práce, webové aplikace byly zhotoveny službou společnosti ESRI Web AppBuilderem a sjednoceny pomocí šablony MapJournal. Web AppBuilder na tvorbu dílčích webových aplikací bez potřebné znalosti skriptovacího jazyka nabízí značné množství widgetů sloužících vytvoření interaktivnosti. Co se týká nedostatků popisované technologie, můžeme konstatovat nesprávnou funkčnost některých widgetů, které by měly být opraveny ze strany poskytovatele. Šablona služby StoryMaps s názvem Map Journal posloužila především ke sjednocení dílčích aplikací. Za výhodu použité technologie lze považovat relativně snadnou použitelnost bez využití skriptovacího jazyka, ale také tvorbu úvodní strany, která koncovému uživateli podává informace o aplikaci.

9. Závěr

Hlavním cílem této práce byla tvorba webové aplikace se zaměřením na sportovní rybářský revír v Humpolci. Avšak samotnému vyhotovení předcházela produkce datových sad potřebných ke zhotovení webové aplikace. Jelikož část aplikace se zabývala sedimentací a porovnáním hloubek o dvou časových horizontech, byly obstarány stěžejní vrstvy s potřebnými atributy. Novější datové sady vzniklé v roce 2019 zajišťovali informace ohledně již zmíněných hloubek, ale také nesly popis o průběhu břehové linie. Pro jejich vyhotovení bylo zapotřebí terénního průzkumu, který využíval přístroje SonTen River Surveyor M9 obstarávající batymetrické údaje a Trimble GeoExplorer fungující na principu GNSS přístroje, což je technologie hodící se pro zaznamenání břehové linie. Starší datová sada byla zhotovena pomocí zapůjčené projektové dokumentace, jejíž součástí je příloha zobrazující příčné profily vodní nádrže v roce 2009, ze kterých vznikla požadovaná bodová vrstva. Nedílnou částí, která následovala po získání potřebných dat s vypovídajícími informacemi v roce 2019, byla jejich úprava. Břehová linie byla podrobena korekci, po níž naměřené lokality vykazovali vysokou přesnost. Získané souřadnice batymetrických údajů byly zaznamenány s nízkou přesností a z toho důvodu byla provedena transformace pomocí kontrolních bodů. Následovaly výstupy z interpolačních metod, které byly validací pracující se střední kvadratickou chybou porovnány. Nejpřijatelnější výstup vykazovala interpolační metoda Natural Neighbour, ale také nepravidelná trojúhelníková síť (TIN). Jako další datová sada využitá pro dílčí aplikaci určenou rybářům byla zkompletována pomocí služby Survey123. Jedná se o automaticky aktualizovaná data o rybářských úlovcích, která s využitím dotazníkového šetření zaznamenávají koncoví uživatelé. Již zmíněná webová aplikace, kterou považujeme za primární cíl, byla utvořena z definovaných datových vrstev. Její funkcionality je založena na analýzách, které koncovému uživateli podávají informace o sedimentaci, porovnání hloubek a úlovcích. Web AppBuilder posloužil k účelu tvorby dílčích aplikací o úlovcích a zanášení rybníka a šablona Map Journal ke sloučení a k závěrečné prezentaci.

Výsledky sepsané bakalářské práce byly přínosné nejen do prostředí geoinformatiky v oblasti hydrologie a webového GIS, ale především dodaly poznatky široké veřejnosti. Zaznamenání dat ze strany koncového uživatele, jejich analýza a prezentace v prostředí internetu, to vše nabízí produkty společnosti ESRI, pomocí

kterých je aplikace, která je primárním výsledkem bakalářské práce, sestavena. Využití v ní najdou rybářské organizace či členové vodohospodářské sféry, kteří řeší problematiku týkající se sedimentace. Aplikace nalezne svou využitelnost v oblasti prezentace rybářských úlovků nejen na soukromých revírech. V neposlední řadě se práce může stát návodem k tvorbě podobné informační služby bez využití programovacích či skriptovacích znalostí se zaměřením na vodní plochy, protože práce s využitelnými ESRI technologiemi je velmi intuitivní a nenáročná oproti ostatní metodám. V mém osobním zájmu je pokračovat na projektech na téma objasnění a lokalizace dosažených úlovků ve formě webové aplikace, protože se v poslední době jedná o velmi podstatné téma v prostředí rybářského cechu. Podobné aplikace mohou být užitečné nejenom sportovním rybářům, ale také rybářským organizacím, které by byly obeznámeny s poměrem nasazených a lovených rybích jedinců.

10. Zdroje:

AL-ADAMAT, R., AL-MASHAGBAD, A., SALAMEH, E. (2012): *The use of Kriging with GIS Environment to Investigate Groundwater Quality in the Amman-Zarqa Basin/Jordan*. Research Journal of Environmental and Earth Sciences, 2, 1, 177–185.

ARCDATA (2020): *ArcGIS Pro*, <https://www.arcdata.cz/produkty/arcgis/desktopovy-gis/arcgis-pro> (cit. 12. 05. 2020)

BAUDYŠ, P (2010): *Katastr a nemovitosti, 2. vydání*. C. H. Beck, Praha.

BAYER, T. (2008): *Algoritmy v digitální kartografii: 1.vyd.* Praha, Karolinum.

Cambridge Dictionary (2020): *Bathymetry*, <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/bathymetry> (cit. 26. 04. 2020)

CADET et al. (2018): *A machine learning approach for reliable prediction of amino acid interactions and its application in the directed evolution of enantioselective enzymes*. Scientific Reports, 8, 1–15.

ČADA, V.: *Přednáškové texty z geodézie*, <https://kgm.zcu.cz/studium/gen1/html/index.html> (cit. 26. 04. 2020)

ČESÁK, J., ŠOBR, M. (2005): *Metody batymetrického mapování českých jezer*. Geografie: Sborník ČGS, 110, 3, 141–151.

ČERNÝ, J., STEINEJ, I. (2003): *GPS od A do Z*. eNav, Praha.

DICTIONARY.COM (2020): *Bathymetry*, <https://www.dictionary.com/browse/bathymetry> (cit. 26. 04. 2020)

DIERSEEN, H. M., THEBERGE, A. E. (2014): *Bathymetry: History of Seafloor Mapping*. In: WANG, Y. (ed.): *Encyclopedia of Natural Resources: water*. CRC Press, Boca Raton, 644–648.

DENNIS, M., FORSYTHE, K. W., MARVIN, CH. H., (2004): Comparison of Mercury and Lead concentrations in lake Ontario (1968–1998) and lake Erie (1971–1997/98) using a GIS-Based Kriging Approach. *Water quality research journal*, 39, 3, 190–206.

DOBROVOLNÝ, P. (2005): *Geostatistika – Metody prostorové interpolace*. PřF MUNI, Brno.

DOST, R. J. J., MANNAERTS, C. M. M. (2008): Generation of Lake Bathymetry using sonar, satellite imagery and GIS. In: Dangermond, J. (ed.): *Proceedings of the 2008 ESRI International User Conference: GIS, Geography in Action, Water Resources*, San Diego.

EFRAT, A., FAN, Q., KOLTUN, V., KRISHNAN, S., VENKATASUBRAMANIAN S. (2005): Hardware-assisted Natural Neighbor Interpolation. *ALLENEX*, 7, 111–120.

ESRI (2016a): How Trend works, <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-trend-works.htm> (cit. 26. 04. 2020)

ESRI (2016b): Topo to Raster, <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/topo-to-raster.htm> (cit. 26. 04. 2020)

ESRI (2020): ArcGIS Pro: Next generation desktop GIS, <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview> (cit 12. 05. 2020)

ESRI (2019): Understand the relationship between ArcGIS Enterprise and ArcGIS Online, <https://enterprise.arcgis.com/en/portal/latest/administer/windows/choosing-between-an-arcgis-online-subscription-and-portal-for-arcgis.htm> (cit. 12. 05. 2020)

FERREIRA, Í. O., RODRIGUES, D. D., ROSA, L. M. F., SANTOS, G. R. (2017): *Bathymetric surfaces: IDW or Kriging?* *Boletim de Ciências Geodésicas*, 23, 3, 493–508.

GIS Resources (2013): *Interpolation*,

http://www.gisresources.com/gis_interpolation_techniques_2/ (cit. 26. 04. 2020)

GUENTHER, G. C. (2004): *Airborne lidar bathymetry*. In: Maune D. F., Amar Nayegandhi, A. (ed.): *Digital Elevation Model Technologies and Applications: The Dem User's Manual*. ASPRS, Bethesda, 253–320.

HEAP, A. D., LI, J. (2008): *A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists*. Geoscience Australia, Canberra.

HULEC, F., (2017): *Nová batymetrická mapa Odlezenského jezera*. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoinformatiky PřF UK, Praha.

HUGGETT, B. (2008): *Bathymetric Map of a Small, Alpine Lake in Yosemite National Park*. Humboldt State University, Arcata.

HODGES, R. P. 2010. *Underwater acoustics: analysis, design, and performance of sonar*. Hoboken, NJ: J. Wiley, 2010.

HODGES, R. P. (2010): *Underwater acoustics: analysis design, and performance of sonar*. WILEY, Hoboken.

CHILDS, C. (2004): *Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst*. *ArcUser*, 27, 3, 32–35.

KOLÁŘ, J. (2003): *Geografické informační systémy 10*. ČVUT, Praha.

KŘIKAVOVÁ, L. (2009): *Interpolace bodových dat v GIS*. Bakalářská práce. Katedra mapování a kartografie ČVUT, Praha.

JEŽEK, J. (2015): *Geostatistika a prostorová interpolace*. Karolinum, Praha.

JONES, D. B., KIDNER, D. B., WARE, J. M. (1994): *The Implicit Triangulated Irregular Network and Multiscale Spatial Databases*. *The Computer Journal*, 37, 1, 43–57.

KÁDLČÍKOVÁ, J. (2007): *Testování a výběr interpolačních metod DMR v závislosti na typu georeliéfu*. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, 7, 2, 14–18.

KUČERA, M. (2014): *Kartografické a geoinformační zhodnocení současných batymetrických map*. Bakalářská práce. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie PŘF UK, Praha.

KUTÁLEK, S. (2005): *Katastr nemovitostí I. – modul 2 – geometrický plán*. Fakulta stavební VUT, Brno.

LIU, Y., MU, X., YAN, G. (2012): *Geometric Processing and Positioning Techniques*. In: Li, X., Liang, S., Wang, J. (ed.): *Advanced remote sensing*. Boston, Academic Press, 33–74.

MARK, D. M. (1997): *The history of geographic information systems: invention and re-invention of triangulated irregular networks (TINs)*. *Proceedings of the Annual Conference and Exposition GIS/LIS, Cincinnati*, 267–272.

MCCORQUODALE, J. A., TOMZCAK, M. (1997): *GIS Supported Mapping and Modeling of the St. Clair River Contaminated Sediments*. IAGLR, Buffalo.

MEDVED, I., et al. (2010): *Usporedba metoda interpolacije batimetrijskih mjerenja za pracenje promjena volumena jezera*. *Geodetski list*, 64, 2, 71–86.

MERRIAM-WEBSTER (2020): *Bathymetry*, <https://www.merriam-webster.com/dictionary/bathymetry> (cit. 26. 04. 2020)

NOAA (2018): *What is bathymetry?* <https://oceanservice.noaa.gov/facts/bathymetry.html> (cit. 25. 04. 2020)

NOVÁK, P. [et al.] (2017). *Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží pro stanovení jejich zásobních kapacit a sledování množství a dynamiky sedimentů*.

Certifikovaná metodika výsledků výzkumu, vývoje a inovací. Výzkumný ústav meliorizací a ochrany půdy, Praha.

NOVOTNÁ, M. (2014): *Geografické informační systémy v humánní geografii*. Západočeská univerzita, Plzeň.

ORŠULÁK, T., PACINA, J. (2010): *3D modelování a virtuální realita, 1. vyd.* Centrum pro virtuální realitu a modelování krajiny, Ústí nad Labem.

POPIELARCZYK, D., TEMPLIN, T., (2014): *Application of integrated GNSS/hydroacoustic measurements and GIS geodatabase models for bottom analysis of Lake Hancza*. Pure and Applied Geophysics, 171, 997–1011.

SÁRKÖZY, F. (1999): *Gis function – interpolation*. Periodica polytechnica civil engineering, 43, 1, 63–86.

SHEPARD, D. (1968): *A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data*. Proceedings ACM National Conference, 23, 517–524.

SIBSON, R. (1981): *A brief description of natural neighbour interpolation*. In: Barnett, V. (ed.): *Interpreting Multivariate Data*. John Wiley and Sons, Chichester, 21-36.

SMOOT, N. CH. (2001): *Ocean Survey Program (OSP) Bathymetry History: Jousting with Tectonic windmills*. Himalayan Geology, 22, 1, s. 65–80.

THEBERGE, A. E. (2014): *George Belknap and the Thomson Sounding Machine*, <https://www.hydro-international.com/content/article/george-belknap-and-the-thomson-sounding-machine> (cit. 25. 04. 2020)

TOMZCAK, M. (1998): *Spatial Interpolation and its Uncertainty Using Automated Anisotropic Inverse Distance Weighting (IDW) – Cross-Validation/Jackknife Approach*. Journal of geographic Information and Decision Analysis, 2, 2, 18–30.

VOŽENÍLEK, V. et al. (2001): *Integrace GPS/GIS v geomorfologickém výzkumu*.
Univerzita Palackého, Olomouc.

VÚGTK (2005–2020): *Polární metoda*, http://www.vugtk.cz/slovník/4035_polarni-metoda (cit. 26. 04. 2020)

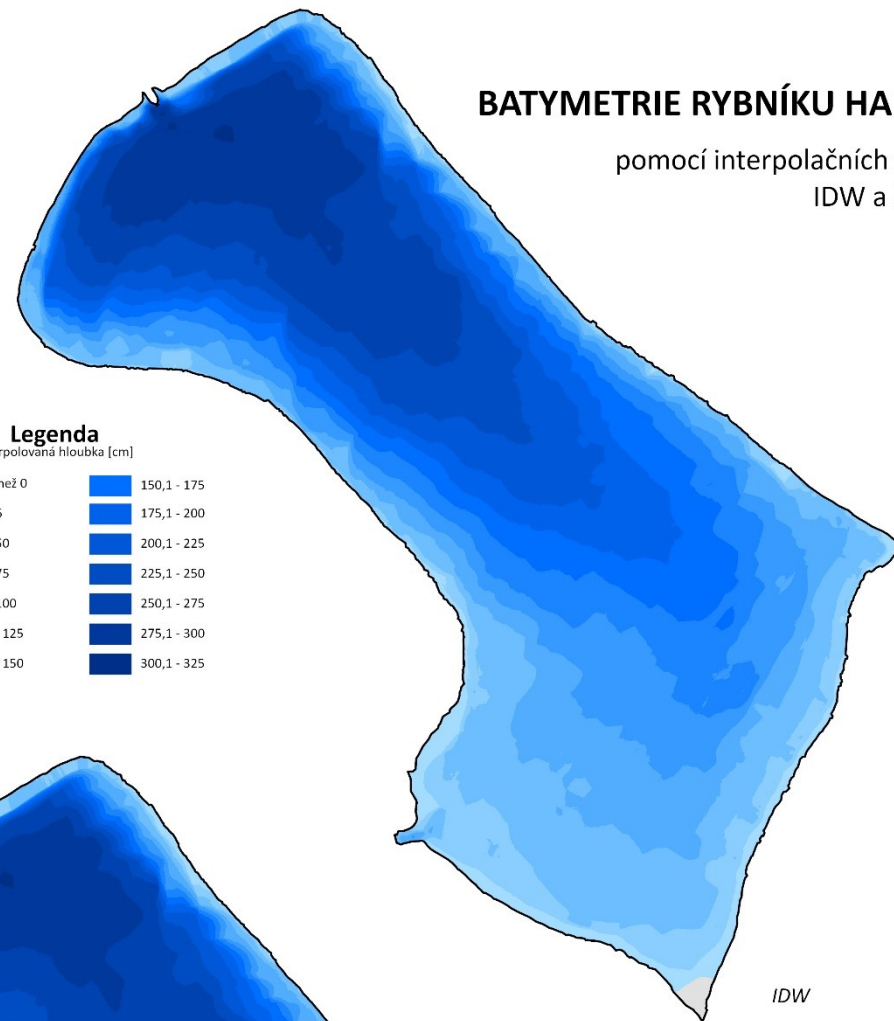
Seznam příloh

- Příloha 1** Batymetrie rybníku hadina pomocí interpolačních metod IDW a Kriging
- Příloha 2** Batymetrie rybníku hadina pomocí interpolačních metod Spline a Natural Neighbor
- Příloha 3** Batymetrie rybníku hadina pomocí interpolační metody IDW a TINu
- Příloha 4** Odkazy na webové aplikace

Příloha 1

BATYMETRIE RYBNÍKU HADINA

pomocí interpolačních metod
IDW a kriging

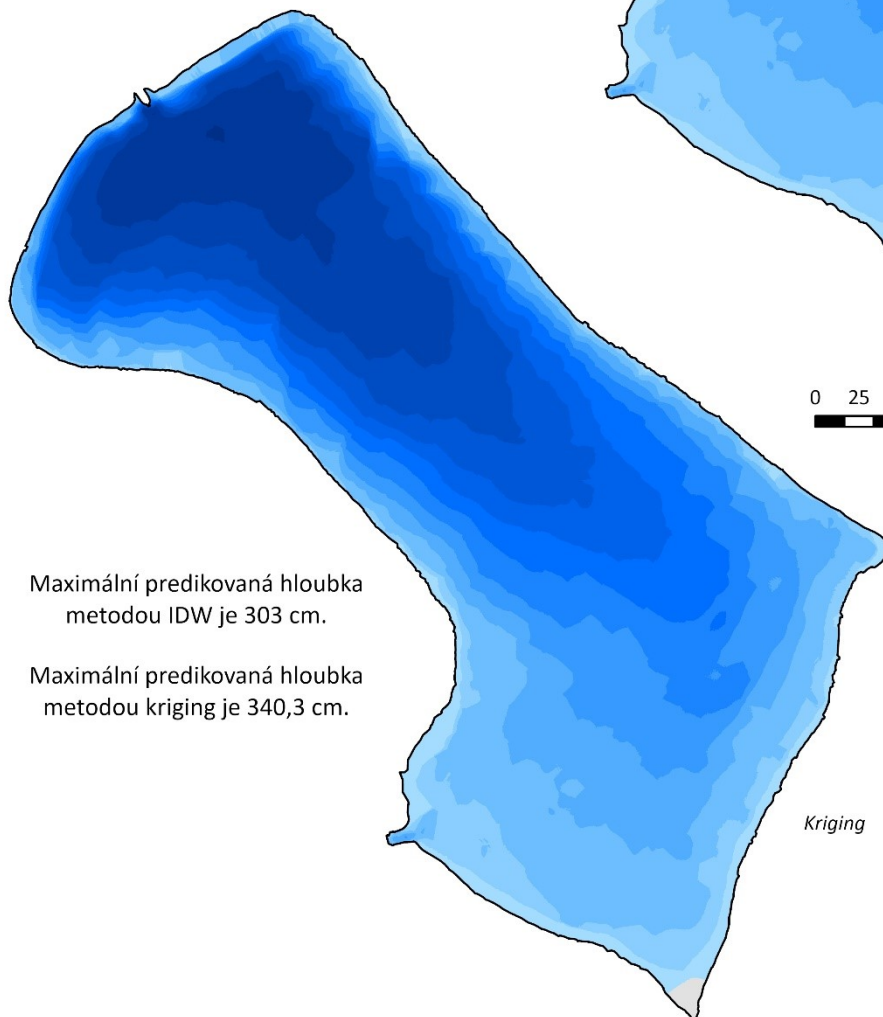


IDW

Legenda

interpolovaná hloubka [cm]

menší než 0	150,1 - 175
0,1 - 36	175,1 - 200
36,1 - 50	200,1 - 225
50,1 - 75	225,1 - 250
75,1 - 100	250,1 - 275
100,1 - 125	275,1 - 300
125,1 - 150	300,1 - 325



Kriging

Maximální predikovaná hloubka
metodou IDW je 303 cm.

Maximální predikovaná hloubka
metodou kriging je 340,3 cm.

Lukáš NEKOLA
Humpolec 2020

Příloha 2

BATYMETRIE RYBNÍKU HADINA

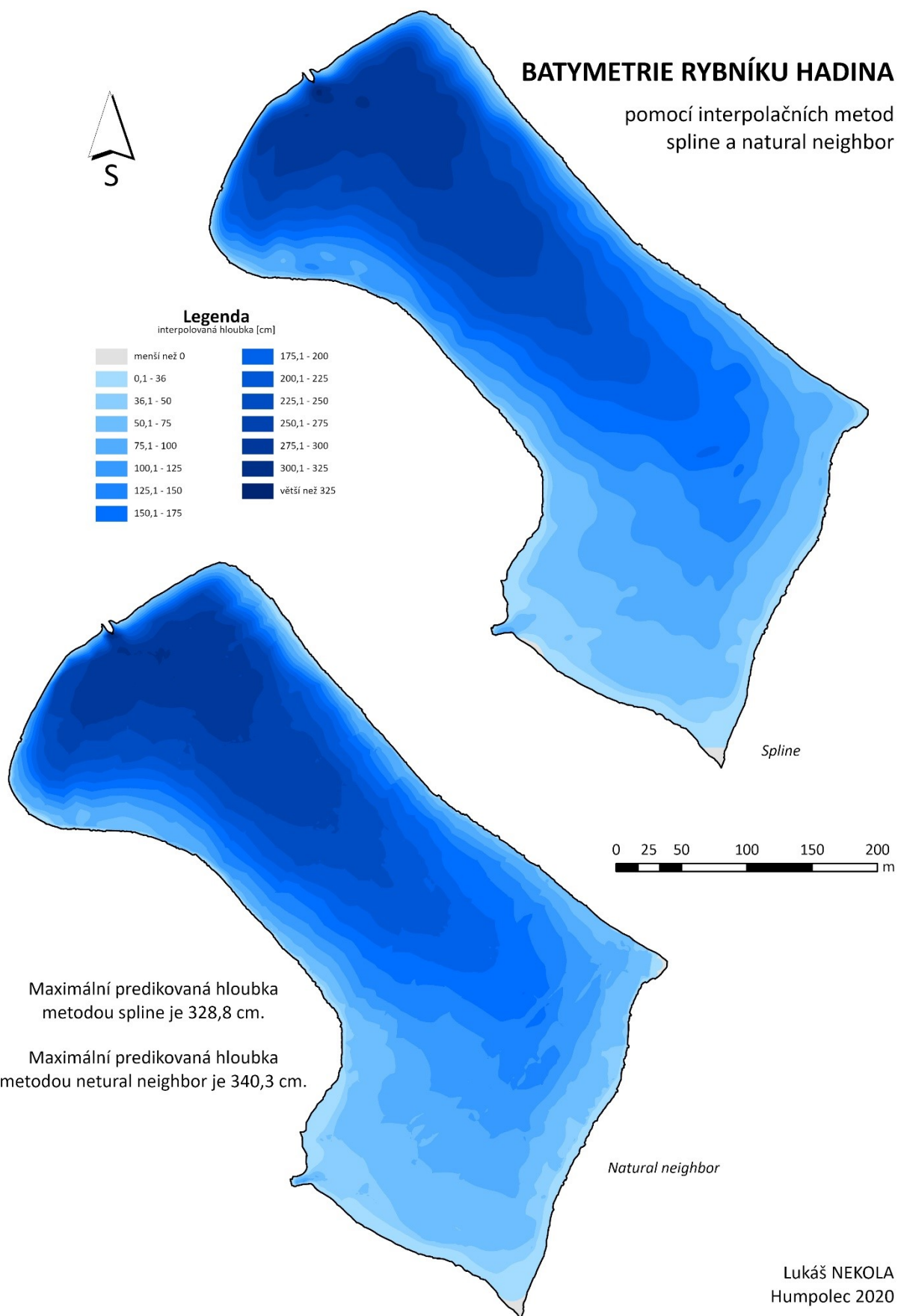
pomocí interpolačních metod
spline a natural neighbor



Legenda

interpolovaná hloubka [cm]

menší než 0	175,1 - 200
0,1 - 36	200,1 - 225
36,1 - 50	225,1 - 250
50,1 - 75	250,1 - 275
75,1 - 100	275,1 - 300
100,1 - 125	300,1 - 325
125,1 - 150	větší než 325
150,1 - 175	



Lukáš NEKOLA
Humpolec 2020

Příloha 3

BATYMETRIE RYBNÍKU HADINA

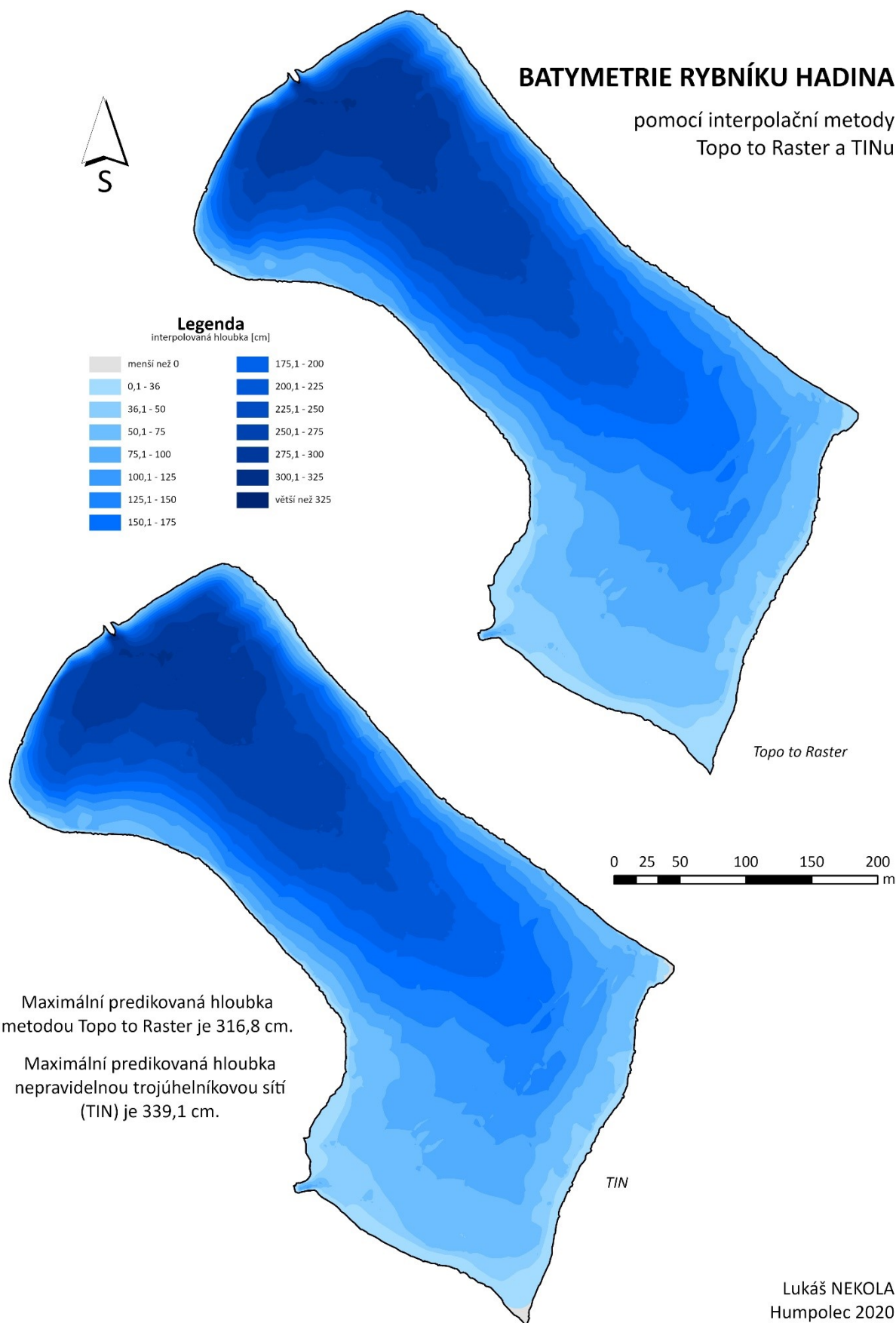
pomocí interpolační metody
Topo to Raster a TINu



Legenda

interpolovaná hloubka [cm]

menší než 0	175,1 - 200
0,1 - 36	200,1 - 225
36,1 - 50	225,1 - 250
50,1 - 75	250,1 - 275
75,1 - 100	275,1 - 300
100,1 - 125	300,1 - 325
125,1 - 150	větší než 325
150,1 - 175	



Lukáš NEKOLA
Humpolec 2020

Příloha 4

odkaz na dílčí aplikaci *Úlovky na sportovním rybářském revíru*

<https://cuni.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=45d04fe853684d97bb84df37aa2bbc4d>

odkaz na dílčí aplikaci *Zanášení sportovního rybářského revíru*

<https://cuni.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=853ced4bb1344e13a31edb184ae6831f>

odkaz na konečnou aplikaci *Hadina „aplikace sportovního rybářského revíru“*

<https://arcg.is/...Gu0>