

UNIVERZITA KARLOVA

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie (bakalářské studium)

Studijní obor: Geografie a Kartografie



Michal Matyáš

HODNOCENÍ POLOHOVÉ PŘESNOSTI PODZEMNÍCH VODNÍCH TOKŮ V ZABAGED

POSITIONAL ACCURACY ASSESSMENT OF UNDERGROUND WATER
COURSES IN ZABAGED

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Jakub Lysák, Ph.D.

Praha, 2018

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením školitele RNDr. Jakuba Lysáka, Ph.D., a že jsem uvedl a řádně citoval všechny použité prameny.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne 14. května 2018

.....

Michal Matyáš

Poděkování

Na tomto místě bych rád upřímně poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce RNDr. Jakubovi Lysákovi, Ph.D., za čas, který mi věnoval, za jeho podnětné připomínky, rady a ochotu. Dále bych rád poděkoval ČÚZK za zapůjčení dat ze ZABAGED, Dagmar Otevřelové za poskytnutí dat z IPR a Luboši Stárkovi za poskytnutí dat z JESO. V neposlední řadě děkuji také své rodině za podporu během studia a své přítelkyni, která mi byla oporou při psaní této práce.

Hodnocení polohové přesnosti podzemních vodních toků v ZABAGED

Abstrakt

Cílem této práce je poskytnout komplexní pohled na podzemní vodní toky očima topografa a kartografa, s důrazem na hodnocení polohové reprezentace tohoto jevu. První část práce je věnována podrobnému seznámení s vlastnostmi datové sady ZABAGED a rešerši dalších zahraničních topografických databází, s důrazem na reprezentaci a zobrazování podzemních vodních toků na topografických mapách středních a velkých měřítek. Ve druhé části je představeno pět základních metod porovnávání polohové přesnosti linií v geoinformačních systémech. Praktická část práce obsahuje návrh typologie podzemních vodních toků, jakožto ucelený obraz různých forem, který slouží pro správné vyhodnocení analýzy polohové přesnosti na vybraném relevantním vzorku úseků podzemních vodních toků v ZABAGED v poslední části této práce.

Klíčová slova: podzemní vodní tok; polohová přesnost; topografická databáze

Positional accuracy assessment of underground water courses in ZABAGED

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to provide a comprehensive view of underground water courses through the eyes of a topographer and a cartographer with an emphasis on the evaluation of the position representation of this phenomenon. The first part of the thesis is devoted to the detailed introduction to ZABAGED datasets and to the research of other foreign topographic databases with an emphasis on the representation and display of underground water courses on topographic maps of medium and large scale. In the second part of the thesis, there are presented five basic methods of comparison of positional accuracy of lines in geoinformation systems. The practical part of the thesis includes a proposal of typology of underground water courses, as a comprehensive concept of different types of underground water courses, which is used for the correct evaluation of the position accuracy analysis on the selected relevant sample of the underground water courses in ZABAGED in the last part of this work.

Keywords: underground water course; positional accuracy; topographic database

Obsah

Seznam obrázků	7
Seznam tabulek.....	8
Seznam grafů	8
Seznam zkratek.....	9
1 Úvod.....	10
2 Podzemní vodní toky v topografických databázích	11
2.1 Česko	11
2.2 Slovensko.....	14
2.3 Německo	16
2.4 Nový Zéland.....	19
2.5 Kanada.....	21
2.6 OSM	23
2.7 INSPIRE	24
2.8 Vybrané návrhy typologií.....	25
3 Metody porovnávání polohové přesnosti linií.....	28
3.1 Mean distance method (MDM).....	29
3.2 Hausdorff distance method (HDM)	29
3.3 Simple buffer overaly method (SBOM)	30
3.4 Points intermediate method (PIM).....	31
3.5 Double buffer overlay method (DBOM).....	32
4 Návrh typologie podzemních vodních toků	33
4.1 Vlastní typologie	33
4.1.1 Úseky v zástavbě	34
4.1.2 Meliorační odvodňovací systémy	35
4.1.3 Propustky.....	35
4.1.4 Náhony vodních elektráren a továren	36
4.1.5 Vodohospodářské soustavy.....	37
4.1.6 Shybky.....	37
4.1.7 Ostatní.....	37
4.2 Analýza relativního zastoupení.....	38

5	Metodika	42
5.1	Lokality	42
5.1.1	Moravský kras	42
5.1.2	Praha	42
5.2	Data	43
5.2.1	JESO	43
5.2.2	IPR	44
5.3	Metodika měření	44
6	Výsledky měření polohových odchylek	47
7	Diskuze	52
8	Závěr	56
	Zdroje	58
	Seznam příloh	62

Seznam obrázků

Obrázek 1: Vodní toky na ZM 10	13
Obrázek 2: Podzemní vodní toky na ZM 10	14
Obrázek 3: Shybka na ZM 10.....	14
Obrázek 4: Vodní toky v ZBGIS	16
Obrázek 5: Vodní toky na DTK10.....	18
Obrázek 6: Shybka na DTK10	19
Obrázek 7: Vodní toky a kanály na Topo50	20
Obrázek 8: Ponor na Topo50.....	20
Obrázek 9: Potrubí na Topo50.....	21
Obrázek 10: Vodní toky na CanTopo50.....	22
Obrázek 11: Propad na CanTopo50	22
Obrázek 12: Vodní toky v databázi OSM	24
Obrázek 13: Návrh typologie podzemních vodních toků	26
Obrázek 14: Metody určování polohové přesnosti.....	28
Obrázek 15: Plochy uzavřené liniemi X a Q	29
Obrázek 16: Hausdorffova vzdálenost pro množiny bodů A a B	30
Obrázek 17: Hausdorffova vzdálenost v případě linií	30
Obrázek 18: Single buffer method.....	31
Obrázek 19: Double buffer method.....	32
Obrázek 20: Rudické propadání.....	34
Obrázek 21: Motolský potok.....	34
Obrázek 22: Meliorační odvodňovací opatření.....	35
Obrázek 23: Propustek	35
Obrázek 24: Náhon k MVE Spálov	36
Obrázek 25: Potrubí vodních elektráren	36
Obrázek 26: Shybka na Veličce	37
Obrázek 27: Zatrubnění Bíliny.....	38
Obrázek 28: Soutok podzemních vodních toků.....	46
Obrázek 29: Podzemní úseky Punkvy, Sloupského potoka a Bílé vody.....	47
Obrázek 30: Průběh Jedovnického potoka	49
Obrázek 31: Průběhy podzemních vodních toků	50

Seznam tabulek

Tabulka 1: Typologie vodních toků v ZABAGED	13
Tabulka 2: Kódování objektů v ZBGIS.....	15
Tabulka 3: Atributy vodních toků v ZBGIS	16
Tabulka 4: Vodní toky v databázi OSM	23
Tabulka 5: Návrh atributů ponorů	27
Tabulka 6: Relativní zastoupení typů podzemních vodních toků	40

Seznam grafů

Graf 1: Souvislost délky úseku s hodnotou polohové odchylky	48
Graf 2: Funkce kumulované pravděpodobnosti.....	49
Graf 3: Hodnoty kumulované pravděpodobnosti pro obě strany zvlášť	51

Seznam zkratek

ATKIS	Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
DIGEST	Digital Geographic Information Exchange Standard
DTK	Deutsche Topografische Karte
GIS	Geographic Information System
GNSS	Global Navigation Satellite System
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in Europe
IPR	Institut plánování a rozvoje hl. m. Prahy
JESO	Jednotná evidence speleologických objektů
KTO ZBGIS	Katalóg tried objektov ZBGIS
MK	Moravský kras
LINZ	Land information New Zealand
NRCan	Natural Resources Canada
OSM	OpenStreetMap
WMS	Web Map Service
ZABAGED	Základní báze geografických dat
ZBGIS	Základná báza údajov pre geografický informační systém
ZM 10	Základní mapa ČR v měřítku 1 : 10 000

1 Úvod

Námět pro napsání tohoto tématu mi dal vedoucí této práce dr. Jakub Lysák. Téma mě zaujalo z důvodu spojení digitální kartografie, matematiky a přírodní sféry. Dalším důvodem pro zvolení tohoto tématu byla představa alespoň částečného praktického využití výsledků práce.

Prostorové databáze se staly nedílnou součástí mnoha současných geografických, kartografických, územně-plánovacích a dalších disciplín. Databáze se s rozvojem informačních technologií neustále zlepšují a umožňují stále přesnější zachycení reality. Určení polohové přesnosti, jakožto jedné z nejdůležitějších vlastností celkové kvality prostorových dat, je důležité i pro stále se zvyšující míru sdílení a užívání dat pro jiné účely, než byly původní záměry jejich producentů.

Cílem bakalářské práce je poskytnout komplexní pohled na podzemní vodní toky, a to jak přírodní, tak i umělé, očima topografa a kartografa, s důrazem na hodnocení kvality reprezentace tohoto jevu v databázi ZABAGED (*Základní báze geografických dat*). Při psaní práce je kladen důraz na specifika tohoto fenoménu, která jsou charakteristická pro Česko.

První část práce obsahuje rešerši, týkající se reprezentace podzemních vodních toků v našich a zahraničních digitálních topografických databázích. Součástí této části práce je i ukázka znázorňování podzemních vodních toků na topografických mapách středních a velkých měřítek, které vycházejí ze zmíněných topografických databází.

V další části práce je představeno pět základních metod porovnávání polohové přesnosti linií v geoinformačních systémech. Cílem této části je představit různé přístupy k hodnocení polohové přesnosti linií. Všechny metody v této části jsou založeny na porovnávání průběhu dvou linií z nezávislých databází.

Hlavním cílem praktické části je zhodnocení polohové přesnosti podzemních vodních toků ZABAGED ve vybraných testovacích územích. Vlastnímu měření polohové přesnosti předchází návrh klasifikace podzemních úseků vodních toků v ZABAGED, jakožto základní seznámení s problematikou podzemních vodních toků na našem území. Zároveň tento návrh slouží jako podklad pro identifikaci vhodného vzorku referenčních dat ze ZABAGED, pro praktické provedení měření polohové přesnosti této datové sady. Cílem práce je též vyhodnocení polohové přesnosti v závislosti na typu jednotlivých úseků, kde se předpokládá vyšší přesnost u umělých podzemních vodních toků než v případě přírodních.

2 Podzemní vodní toky v topografických databázích

Tato část práce se věnuje podzemním vodním tokům v digitálních topografických databázích vybraných států. Důraz je kladem na reprezentaci podzemních vodních toků v těchto databázích a jejich zobrazování na topografických mapách středních a velkých měřítek. Státy, respektive jejich databáze, byly vybrány zejména na základě dostupnosti dat, ale důraz byl kladen i na zastoupení různých částí světa. V závěru této kapitoly je představena iniciativa Evropské komise INSPIRE (*Infrastructure for Spatial Information in Europe*), která stanovuje obecná pravidla pro založení infrastruktury prostorových dat. Poslední částí jsou návrhy typologií a kartografických reprezentací objektů, souvisejících s podzemními vodními toky, které byly popsány ve vybraných bakalářských pracích.

2.1 Česko

Nejpodrobnější základní geografickou databází na území Česka je ZABAGED. Tato databáze je spravována ČÚZK (*Český úřad zeměměřičský a katastrální*) ve veřejném zájmu (ČÚZK, 2018b). ZABAGED je koncipována jako objektově orientovaná databáze, jejíž prostorová složka původně vznikla digitalizací ZM 10 (*Základní mapa ČR v měřítku 1:10 000*) a následně je aktualizována s využitím různých zdrojů informací, zejména ortofot. Její popisná složka je aktualizována topografy, případně přejímána z oborových bází správců dat jednotlivých kategorií územních jevů např. Ředitelství silnic a dálnic ČR, Správa železniční dopravní cesty (Neumann, 1993).

Již v roce 1991 byla vypracována koncepce Základní báze geografických dat, jako reakce na snahu o častější vydávání aktuálních topografických map sledovaného druhu. O rok později byla zahájena vývojová a experimentální fáze a její společenský význam byl potvrzen usnesením Komise vlády České republiky pro státní informační systém (Šíma, 2016). V roce 1993 došlo k vyhotovení rastrového kartografického modelu, označovaného jako ZABAGED/2, jako rastrové podoby ZM 10. V dalších letech se ZABAGED/2, později označovaný jako rastrová ZM 10, stal nejužívanějším produktem Zeměměřičského úřadu. Od roku 1994 se rozběhlo naplňování ZABAGED zejména pomocí vektorizace ZM 10, které probíhalo až do roku 2004 (Černohorský, 2013). Avšak již od přelomu tisíciletí jsou objekty pravidelně celoplošně revidovány a aktualizovány. Na podkladu dat dálkového průzkumu Země, z veřejně dostupných zdrojů na internetu, šetřením vybraných informací u místních orgánů veřejné správy a terénního šetření probíhá tzv. plošný (periodický) způsob aktualizace. První vlna celoplošné aktualizace

probíhala v letech 2001 až 2005. Perioda aktualizace byla postupně zkrácena na tříletou. Každoročně jsou vytvářeny letecké měřické snímky a barevná ortofoto pro celé území Česka. Velký důraz je kladen také na využití výstupů z informačních systémů veřejné správy. Vybrané typy objektů jsou aktualizovány průběžně ve spolupráci s primárními správci těchto dat formou tzv. průběžného způsobu aktualizace (ČÚZK, 2018). Velkým milníkem byla integrace databáze Geonames. Jedná se o bezšvovou databázi geografických jmen České republiky. Geonames obsahuje kompletní soubor prostorových a popisných informací o standardizovaných geografických jménech (ČÚZK, 2017). Do budoucna je cílem zvýšit absolutní polohovou přesnost vybraných typů objektů až na $m_{xy} < 0,75$ m, aby ZABAGED byla optimalizovaným podkladem pro úlohy územního plánování (Šíma, 2016).

Obsah databáze je uspořádán ve třech úrovních, a to v kategoriích, typech a attributech. Toto uspořádání je zaneseno v *Katalogu objektů ZABAGED*. V současné době existuje 122 typů geografických objektů v 8 kategoriích zařazených do polohopisné nebo výškopisné části ZABAGED (ČÚZK, 2018b). Každému typu objektu náleží zvláštní katalogový list. V jeho záhlaví je uvedena kategorie objektu včetně pořadového čísla, typu a kódu objektu, které ve většině případů vychází z normy DIGEST (*Digital Geographic Information Exchange Standard*). Definice objektu se přebírá z nejnovějšího vydání české technické normy nebo technické oborové normy (Plischke, Uhlíř, 1997). Významnou položkou je též geometrické určení objektu (bod, linie, osa linie, plocha nebo centroid plochy). Každý objekt má též určenou geometrickou přesnost (A až E) a také je zde uveden zdroj geometrických a popisných dat. Závěrečná část je věnována atributům, které blíže definují daný objekt (ČÚZK, 2018a).

V současné době se v kategorii *Vodstvo* nachází 12 typů objektů. Některé hydrografické jevy však můžeme nalézt i v jiných kategoriích. Vodní toky jsou v *Katalogu objektů ZABAGED* definovány jako „vodní útvar na zemském povrchu, popř. pod ním, pro který je charakteristický stálý nebo dočasný pohyb vody v korytě ve směru celkového sklonu terénu a který je napájen z vlastního povodí nebo z jiného vodního útvaru. Jedná se o vody trvale (příp. občasně) tekoucí mezi břehy buď v korytě přirozeném (popř. upraveném) – např. řeky a potoky, nebo v korytě umělém – např. průplavy, vodní kanály a náhony“ (ČÚZK, 2018a). Původním zdrojem geometrických dat byly ZM 10 a ZVM 50 (*Základní vodohospodářská mapa ČR v měřítku 1 : 50 000*). Nyní slouží k získávání geometrických dat letecké měřické snímky, ortofoto, šetření v terénu a letecké laserové skenování, které umožnilo přesnější zachycení toků v hlubokých údolích. Většina vodních

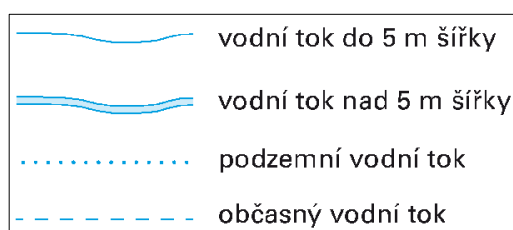
toků se řadí svou geometrickou přesností do úrovně B. Tato úroveň obsahuje objekty, jejichž poloha je v terénu jednoznačně určitelná a střední polohová chyba dosahuje hodnoty do 5 m. Podzemní vodní toky jsou řazeny do úrovně E, která se vztahuje k objektům nejnižší přesnosti, jejichž polohová přesnost dosahuje velice proměnných hodnot (ČÚZK, 2018a).

Typ objektu *Vodní tok* obsahuje osm atributů. Další dělení tohoto typu objektů umožňují atributy VYDATTOK_P a TYPTOKU_P (ČÚZK, 2018a). Hodnoty, kterých mohou atributy nabývat jsou zaneseny v tabulce 1.

VYDATTOK_P	občasný vodní tok
	stálý vodní tok
TYPTOKU_P	povrchový splavný
	povrchový nesplavný
	podzemní

Tabulka 1: Typologie vodních toků v ZABAGED
Zdroj: Pressová, 2017, vlastní zpracování

Kartografické reprezentace vodních toků na ZM 10 jsou zobrazeny na obrázku 1. Reprezentace stálých povrchových vodních toků se odvíjejí od jejich šířky. Vodní toky, které jsou širší než 5 m jsou zobrazeny plošně. Rozlišení, zda se jedná o splavný či nesplavný vodní tok, není znázorněno přímo symbolem vodního toku, ale jeho popisem. Splavné vodní toky jsou popsány verzálkami a popis nesplavných vodních toků je malými písmeny.



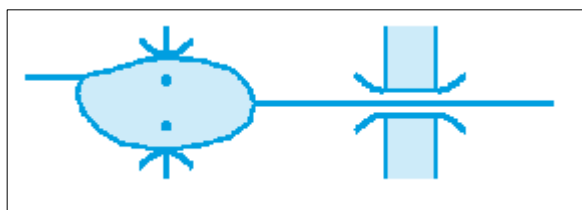
Obrázek 1: Vodní toky na ZM 10
Zdroj: ČÚZK, 2016a

Podzemní a občasný vodní toky jsou na současné ZM 10 vždy zobrazeny liniovým symbolem nehledě na jejich šířku. Na obrázku 2 je průřva Ploučnice, kde se vodní tok širší než 5 metrů dostává pod a poté znovu zpět na povrch. Vpravo na současné ZM 10 je podzemní vodní tok zobrazen jednou linií, avšak na původní analogové ZM 10 (vlevo) je část toku pod povrchem zobrazena dvěma tečkovanými čarami, které lépe vystihují průběh toku, než je to na současné ZM 10.



Obrázek 2: Podzemní vodní toky na ZM 10
vlevo: analogová ZM 10, *Zdroj:* ÚAZK, 2010
vpravo: současná ZM 10, *Zdroj:* ČÚZK, 2010

Jako podzemní vodní toky lze též označit objekty shybek, které se stejně jako vodní toky nachází v kategorii *Vodstvo*. Shybky, neboli podtoky, jsou potrubí vedená napříč pod dnem umělé vodní cesty, případně přirozeného vodního toku. Kartografické reprezentace těchto objektů jsou, stejně jako vodní toky, závislé na jejich šířce (obr. 3).



Obrázek 3: Shybka na ZM 10
vlevo: shybka do 5 m šířky, vpravo: shybka nad 5 m šířky
Zdroj: ČÚZK, 2016a

2.2 Slovensko

ZB GIS (*Základná báza údajov pre geografický informační systém*) je prostorovou objektově orientovanou bází dat, která je referenčním základem národní infrastruktury prostorových informací. Vytváří lokalizační a geometrický základ pro tvorbu tematických nadstavbových geografických informačních systémů a je závazný pro tvorbu státních základních a tematických mapových děl (ÚGKK, 2017c). Společně s ISGZ (*Informační systém geodetických základov*) a ISKN (*Informační systém katastra nehnuteľností*) tvoří *Informačný systém geodézie, kartografie a katastra*, který je řízen *Úraden geodézie, kartografie a katastra* (ÚGKK, 2016).

Rozsah údajů o objektech, které jsou spravovány v rámci ZB GIS, určuje *Katalóg tried objektov* (KTO ZB GIS). Tento katalog se svou strukturou velmi podobá Katalogu objektů ZABAGED, kde každá třída objektu má svůj list. KTO ZB GIS byl vytvořen s cílem co nejlepšího vystihnutí národního prostředí a jeho specifik. Logická struktura katalogu,

stejně jako specifikace objektů a atributů, dodržuje kódování FACC (*Feature Attribute Coding Catalogue*) podle DIGEST. DIGEST určuje jasnou strukturu báze údajů a kódování na úrovni:

- 1) Kategorie (jedno písmeno A až Z)
- 2) Subkategorie (jedno písmeno A až Z)
- 3) Objekt (trojčíslí od 000 po 999)
- 4) Atribut (kód složený z třech písmen A až Z)
- 5) Hodnota atributu (číslo, interval čísel, text)

V tabulce č. 2 můžeme vidět vysvětlený kód BH140 LOC8, pod kterým jsou v databázi zaneseny povrchové vodní toky.

B	kategorie	Vodstvo
H	subkategorie	Vnútrozemské vody
140	objekt	Vodný tok
LOC	kód atributu	Poloha objektu
8	hodnota atributu	Na povrchu terénu

Tabulka 2: Kódování objektů v ZBGIS
Zdroj: ÚGKK, 2017b, vlastní zpracování

Kartografické reprezentace uvedené v této části práce vycházejí ze *Zobrazovacího katalógu pre ZB GIS*. Tento katalog byl vytvořen s cílem poskytnutí informací o zobrazování objektů ZB GIS a je navázán na aktuální KTO ZB GIS. Tento katalog je vytvořen výlučně pro zobrazování na digitálních zobrazovacích jednotkách, konkrétně pro službu *Mapový klient ZBGIS*. Celkem v ZB GIS nalezneme 104 tříd objektů, které jsou rozděleny do 10 kategorií. Subkategorie podrobněji definují kategorizaci objektu. Kategorie *Vodstvo* obsahuje 8 subkategorií (ÚGKK, 2017b). Třídou objektu *Vodný tok* najdeme v KTO pod kódem BH140. Vodní toky jsou reprezentovány osou liniového objektu na hladině. V případě, že vodní tok dosahuje šířky větší než 15 m, je kromě linie vodního toku též reprezentován třídou objektu *Vodná plocha toku*. V ZB GIS má objekt třída objektu vodní tok 7 atributů. Atributy důležité pro kartografické reprezentace vodních toků můžeme vidět v tabulce 3. Atribut HYC (*Hydrologická charakteristika*) dělí vodní toky podle sezónního výskytu vody. Atribut LOC (*Poloha objektu*) udává polohu objektu vzhledem k povrchu a atribut TUC (*Identifikátor užívání*) rozděluje vodní toky podle funkce.

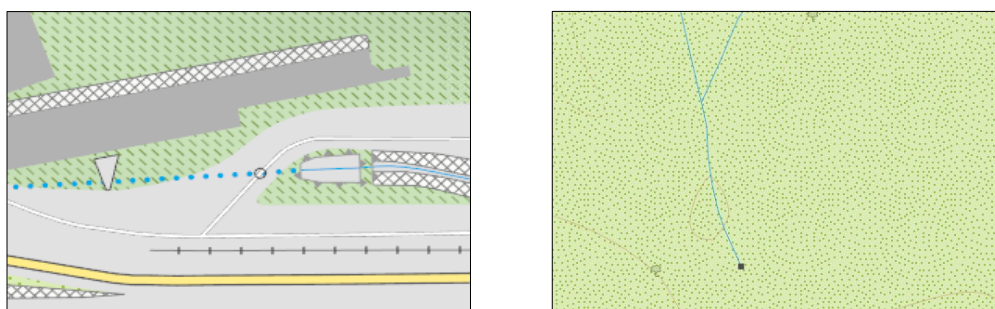
HYC	celoročný
	občasný
LOC	krytý, pokrytý
	na povrchu terénu
TUC	splavný
	nesplavný

Tabulka 3: Atributy vodních toků v ZBGIS

Zdroj: ÚGKK, 2017b, vlastní zpracování

Podzemní vodní toky jsou v databázi zaneseny jen v případě, že pod povrch byly svedeny uměle. Přírodní podzemní vodní toky v databázi nenajdeme. Místa, kde dochází k průsaku přírodních vodních toků pod povrch jsou zaznačena bodovým objektem *Ponor rieky* (obr. 4). Podzemní vodní toky jsou též zaznamenány jen v případě, že jejich délka přesahuje 30 m. Kartografické reprezentace (obr. 4) se téměř neliší od reprezentací na ZM 10. Jediným rozdílem je zobrazení vodních toků plošným symbolem až od 15 m jejich šířky.

Údaje o polohové přesnosti lze vyčíst z atributu *Presnosť horizontálna*. V případě podzemních vodních toků nabývá hodnoty 997, což značí pouze odhadovanou polohu a průběh objektu. Tato hodnota se používá, pokud polohu objektů není možné určit s větší přesností než 5 m (ÚGKK, 2017a).



Obrázek 4: Vodní toky v ZBGIS

vlevo: podzemní vodní tok, vpravo: ponor vodního toku

Zdroj: ÚGKK, 2018

2.3 Německo

Pracovní skupina zeměměřičských správ spolkových zemí Německa – AdV (*Amtlichen deutschen Vermessungswesens*) vytvořila topograficko-kartografický informační systém ATKIS (*Amtlich Topographisch Kartographisches Informationssystem*). Společně s datovými sítěmi AFIS (*Amtliche Festpunktinformationssystem*) a ALKIS (*Amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem*) tvoří nezbytnou součást systému

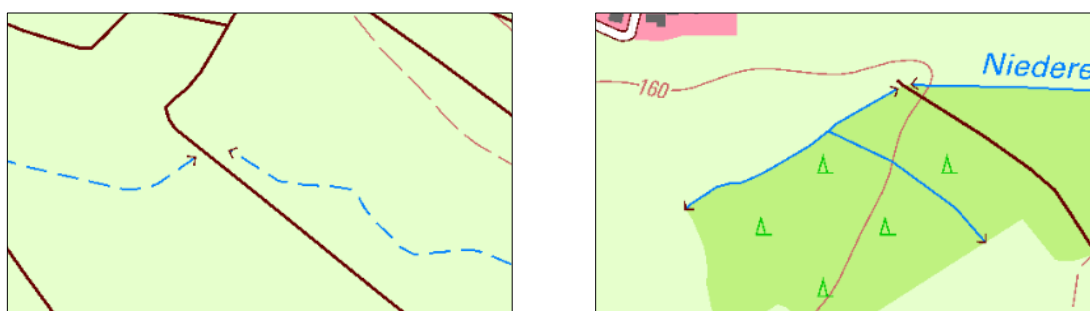
geografických dat Německa – GDI-DE (*Geodateninfrastruktur Deutschland*). Topografická data jsou v databázi ATKIS rozdělena do čtyř hlavních kategorií: digitální modely krajiny (*Digitale Landschaftsmodelle*), digitální modely terénu (*Digitale Geländemodelle*), digitální topografické mapy – DTK (*Digitale Topografische Karten*), digitální ortofota (*Digitales Orthophotos*) (AdV, 2018b).

Stavebním kamenem celé databáze ATKIS je základní model krajiny – Basis-DLM (*Digitales Basis-Landschaftsmodell*). Jedná se o vektorový model krajiny odpovídající svojí podrobností měřítku 1 : 10 000 (AdV, 2018c). Z tohoto modelu jsou vytvářeny oficiální topografické mapy Spolkové republiky Německo (*Amtliche Topographische Karten der Bundesrepublik Deutschland*) od měřítka 1 : 10 000 po 1 : 1 000 000 (AdV, 2018a).

Jednotlivé objekty databáze jsou včetně atributů popsány v katalogu objektů ATKIS (*Objektartenkatalog für das Digitale Landschaftsmodell Basis*), který byl v rámci projektu *Homogenizace základních geografických dat na hranicích mezi Svobodným státem Sasko a Českou republikou* přeložen do češtiny (Neubert, Šidlichovský, 2011). Katalog objektů má hierarchickou strukturu. Všechny objekty jsou rozděleny do 7 oblastí. Ty jsou dále klasifikovány do skupin typů objektů, které jsou následně členěny podle typů funkcí objektů. Každý objekt je poté určen čtyřmístným kódem. Vedle katalogu objektů byl vytvořen též katalog mapových znaků ATKIS – *Signaturenkatalog* (ATKIS-SK), který existuje v několika verzích podle příslušného měřítka. V tomto dokumentu jsou uvedeny doporučené reprezentace jednotlivých objektů v ATKIS, které se však vždy nemusí plně shodovat se zobrazováním objektů na DTK. Pro možné srovnání s kartografickými produkty jiných zemí byla pro tuto práci vybrána rastrová mapa v měřítku 1 : 10 000 (DTK10) (AdV, 2016a).

Skupina objektů vodní tok (*Wasserlauf*) náleží do oblasti vodstvo (*Gewässer*). Tato oblast zahrnuje vodou pokryté plochy. Vedle vodních toků najdeme v této oblasti skupiny objektů jako kanál (*Kanal*), osa vodního toku (*Gewässerschse*), moře (*Meer*) atd. Všechny tyto objekty jsou geometricky ohraničené břehovou linií při středním stavu vody. V případě moře je to střed mezi břehovou linií při přílivu a při odlivu. Vodní tok je podle katalogu vodstvo tekoucí po zemském povrchu nebo pod ním. Skupina objektů vodní tok je kartograficky reprezentována osou vodního toku nebo plochou tekoucích vod. Nejdůležitějším atributem osy vodního toku je „šířka vodstva“. Podle šířky je osa na mapě vyobrazena ve třech různých podobách: třída 3 (šířka 0–3 m), třída 6 (šířka 3–6 m) a třída 12 (6–12 m). Pokud šířka vodního toku přesáhne 12 m, je zobrazen jako plocha tekoucích

vod (obr. 3). Kromě atributu šířka vodstva (*Wasserbreite*) nalezneme u osy vodního toku informaci o hydrologickém stavu, který rozděluje vodní toky na stálé, občasné, či zda se jedná vyschlé řečiště. Atribut účel (*Funktion*) slouží k odlišení kanálů od běžných vodních toků. Posledním atributem je směr toku (*Fließrichtung*), který je na mapě znázorněn šipkou. Nejpodstatnějším atributem vodního toku pro tuto bakalářskou práci je poloha vůči povrchu (*Lage zur Erdoberfläche*). Pokud se vodní tok nachází pod zemským povrchem, může nabývat hodnot zatrubněný (*verrohrt*), podzemní (*unterirdisch*) nebo zakrytý (*bedeckt*). Tyto úseky podzemních vodních toků však nejsou na mapách žádným způsobem zakresleny a vodní tok je v těchto úsecích přerušen (obr. 5).



Obrázek 5: Vodní toky na DTK10

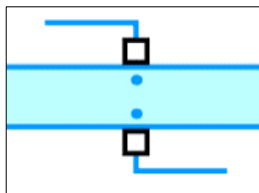
vlevo: občasný vodní tok, vpravo: povrchový a podzemní vodní tok

Zdroj: GeoSN, 2018

Část podzemních vodních toků je v katalogu objektů zařazena do oblasti zvláštní údaje o vodstvu (*Besondere Angaben zum Gewässer*). Do této oblasti jsou zařazeny úseky průsaku (*Sickerstrecke*). Podle definice jsou úseky průsaky vodní toky, které protékají neuzpevněnou horninou. Nachází se zde pouze úseky delší než 500 m. V mapě jsou označeny počáteční a koncová místa průsaků, a to hnědým „zobáčkem“, stejně jako místa ponorů ostatních vodních toků (obr. 5). Jako podzemní vodní toky též můžeme označit vodohospodářské stavby (*Bauwerk im Gewaesserbereich*), u kterých atribut účel (*Bauwerksfunktion*) nabyde hodnot propust (*Durchlass*), trubková propust (*Rohrdurchlass*) nebo shybka (*Düker*). Propust je stavba, kterou protéká voda pod překážkou, ležící na zemském povrchu (komunikace, zastavěná plocha) nebo pod zemským povrchem v otevřené zemědělské krajině či po zemském povrchu zakrytě. Shybky jsou pak křižovatky, kde je vodní tok veden pod jiným vodním tokem, vodní plochou, terénním zlomem nebo hluboko uloženou překážkou. Fungování shybek je založeno na principu spojených nádob. Na DTK10 jsou propusti označeny stejně jako

podzemní vodní toky (obr. 5). Kartografickou reprezentaci shybek můžeme vidět na obrázku 6 (AdV, 2008), (AdV, 2018d).

Polohová přesnost povrchových vodních toků dosahuje hodnoty ± 3 m. Hodnota střední polohové chyby u konkrétního objektu však není v žádném atributu blíže specifikována (AdV, 2018d).



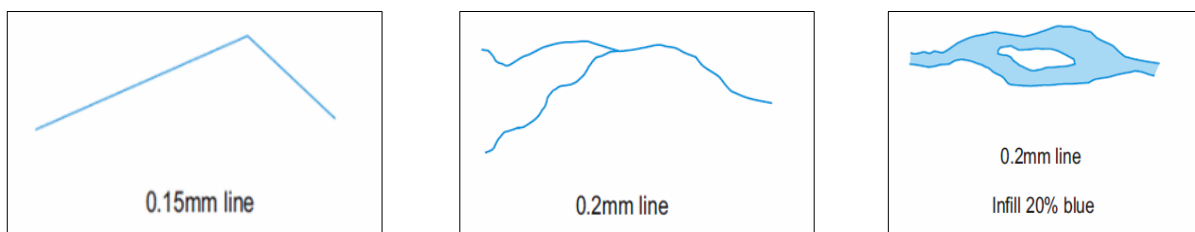
Obrázek 6: Shybka na DTK10
Zdroj: AdV, 2016b

2.4 Nový Zéland

Národní mapovací agenturou na Novém Zélandu je *Land Information New Zealand* (LINZ), která spravuje digitální topografickou databázi *New Zealand Topographic Data* (NZTopo). Tato databáze je vyhotovena v měřítku 1 : 50 000 a slouží jako základ pro topografické mapy v měřítku 1 : 50 000 (Topo50), 1 : 250 000 (Topo250) a 1 : 500 000 (Topo500). Veškerá data v této databázi jsou volně k dispozici, a to buď ve vektorové nebo rastrové podobě (LINZ, 2018e). Databáze používá objektově orientovaný model, kde jsou objekty seskupeny do tříd. Databáze v současné době obsahuje přibližně 5 800 000 objektů reálného světa, které dohromady tvoří více než 140 typů. Polohová přesnost objektů v databázi při měřítku 1 : 50 000 se pohybuje okolo 22 m (LINZ, 2018d). Pro usnadnění orientace v databázi vydává LINZ dokument *Data Documentation Guide* (LINZ, 2018a). V tomto dokumentu je popsána struktura databáze a mimo jiné jsou zde objekty rozděleny do 7 kategorií. Jednotlivé objekty jsou poté popsány v dokumentaci *New Zealand Topographic Data Dictionary* (LINZ, 2018c). Zde jsou objekty definovány, včetně jejich kartografických reprezentací na mapě Topo50. U každého třídy objektů je také seznam atributů a jejich hodnot, kterých mohou nabývat. Jednotlivé třídy objektů jsou často doplněny fotografiemi.

Většina hydrografických prvků je zařazena do skupiny objektů vodstvo (*Hydrography Objects*). Třída vodní toky (*Watercourse*) je v databázi dělena na 6 objektů: kanál (*Canal*), stoka (*Drain*), žlab (*Flume*), ledotok (*Ice stream*), řeka (*River*), kanál pro dopravu vody (*Water race*). Žádný z těchto objektů však neobsahuje atribut informující

o jeho poloze vůči povrchu. Řeky a kanály mohou být reprezentovány linií nebo polygonem. Liniový znak se použije v případě, že jejich šířka není dostatečná k tomu, aby byly na mapách v měřítku 1 : 50 000 zobrazeny plošně. Kartografické reprezentace řek a kanálů se liší pouze v případě liniového zakreslení (obr. 7).



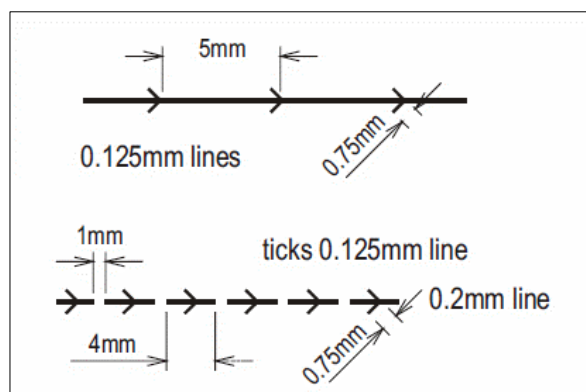
Obrázek 7: Vodní toky a kanály na Topo50
vlevo: liniový symbol kanálů, uprostřed: liniový symbol řek, vpravo: plošný symbol pro řeky a kanály
Zdroj: LINZ, 2018c

Místo, kde dochází k propadání vodního toku pod povrch, je v databázi označeno jako ponor (*Soakhole*). Na mapách jsou zobrazeny pouze vybrané ponory, které jsou významné svou velikostí nebo umístěním. Kartografický znak ponoru má podobu šipky v místě, kde voda mizí pod povrch (obr. 8).



Obrázek 8: Ponor na Topo50
Zdroj: LINZ, 2018b

Do výběru byly zařazeny i úseky podzemních vodních toků, které jsou v databázi označeny jako potrubí (*Pipeline*), neboť tyto úseky odpovídají svým charakterem některým úsekům podzemních vodních toků v databázi ZABAGED. U objektů potrubí nalezneme v atributu využití (*pipeline_use*) informaci o látce, která je transportována v potrubí (voda, plyn, ropa, pára ...). Atribut viditelnost (*pipeline_visibility*) značí, zda se jedná o povrchové nebo podzemní potrubí. Na obrázku 9 můžeme vidět možné kartografické reprezentace potrubí přepravující jiný materiál než plyn (LINZ, 2018c).



Obrázek 9: Potrubí na Topo50
 nahoře: povrchové potrubí, dole: podzemní potrubí
 Zdroj: LINZ, 2018c

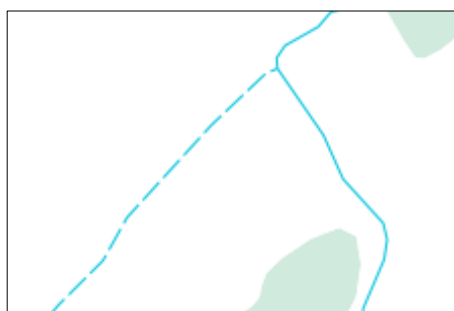
2.5 Kanada

Národní topografickou databází pro území Kanady je CanVec. Tato prostorová geodatabáze je spravována ministerstvem přírodních zdrojů Kanady (*Department of Natural Resources – NRCAN*). Z této databáze jsou následně tvořeny topografické mapy (CanTopo) v měřítcích 1:50 000 a 1:250 000. CanVec je nástupcem Národní topografické databáze NTDB (*National Topographic Data Base*), ze které převzala většinu objektů. Mezi další zdroje dat patří iniciativa Geobase, projekt Mapping the North a družicové snímky (NRCAN, 2016). CanVec obsahuje více než 90 typů objektů, které jsou rozděleny do 8 tematických okruhů. Podrobnost zachycení objektů v databázi se pohybuje v rozmezí 1:10 000 a 1:50 000. Pro orientaci mezi objekty vydává NRCAN dokument *CanVec Feature Catalogue*. V tomto katalogu jsou popsány jednotlivé typy objektů spolu s atributy, kterých mohou nabývat (NRCAN, 2014). Veškerá data obsažená v CanVec jsou volně ke stažení. Většina vrstev však není dostupná v bežešvé podobě pro celé území Kanady (Government of Canada, 2018).

Jednočaré vodní toky (*Single line watercourse*) jsou v databázi řazeny do okruhu vodstvo (*Hydrography*). Do tohoto typu objektu jsou zařazeny kanály (*Canal*), potrubí pro přenos vody (*Conduit*), odvodňovací stoky (*Ditch*), přírodní vodní toky (*Watercourse*) a přílivové řeky (*Tidal river*). Jako polygon jsou v databázi zaneseny vodní toky se šířkou nad 25 m. Atributem, který je důležitý pro zakreslení na mapě je stálost průtoku (*Permanency*). Tento atribut udává, zda se jedná o stálý či občasný vodní tok (NRCAN, 2014).

Pravidla kartografických reprezentací jednotlivých objektů jsou zapsána v dokumentu *CanTopo Map Standards and Specifications*. Vodní toky jsou zde rozděleny

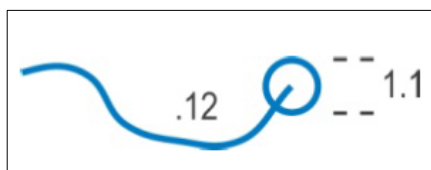
do 2 skupin. Do první skupiny (*Watercourse*) náleží přírodní vodní toky a umělé vodní toky pro účely odvodnění a zavlažování. Kromě potoků a řek užších než 25 m, do této skupiny náleží slepá ramena meandrů nebo anastomózní toky (obr. 10). Do druhé skupiny (*Conduit*) jsou zahrnuty úseky umělých vodních toků, které slouží k transportu vody, avšak k jinému účelu než odvodnění a zavlažování. Zde jsou zahrnuty například akvadukty, náhony nebo kanály pro splavování dřeva. Tyto úseky mohou být jak na povrchu, tak pod vrchem, avšak znázorňovány jsou pouze úseky mimo zastavěná území. Reprezentace těchto dvou skupin se liší v šířce linie, s tím že objekty náležící do druhé skupiny jsou znázorněny silnější linií (Charbonneau a kol., 2014).



Obrázek 10: Vodní toky na CanTopo50
Zdroj: NRCan, 2018

Databáze CanVec se nijak nezabývá podzemními vodními toky. U žádného typu objektu, souvisejícího s vodními toky nenajdeme atribut, který by informoval o poloze objektu vůči povrchu. Místa, kde dochází k přirozenému propadání vodního toku jsou v databázi zaznačena jako mizející tok (*Disappearing stream*). Tyto body jsou zařazeny mezi objekty, které narušují nebo brání přirozenému toku povrchové vody (*Hydrographic obstacle entity*). Kartografickou reprezentací je modré kolečko v místě ponoru (obr. 10). (NRCan, 2013).

Polohová přesnost objektů je uváděna jako interval minimální a maximální planimetrické přesnosti. Polohová přesnost objektů se vždy odvíjí od zdroje dat. V případě vodních toků se přesnost pohybuje od 10 do 40 m (NRCan, 2017).



Obrázek 11: Propad na CanTopo50
Zdroj: Charbonneau a kol., 2014

2.6 OSM

OSM (*OpenStreetMap*) je komunitní projekt zastřešený organizací OSMF (*OpenStreetMap Foundation*). Cílem tohoto projektu je tvorba volně dostupných geografických dat a následně jejich vizualizace do podoby topografických map (OSMF, 2018b). Do výběru byla tato databáze zařazena z důvodu své obsáhlosti, podrobnosti, využívanosti a volně přístupným datům. Jako zdroj dat je primárně využívám záznam z GPS přijímačů. Tyto data jsou doplněna z dalších digitalizovaných map nebo satelitních snímků, které jsou licenčně kompatibilní. Všechna data obsažená v OSM jsou poté poskytována pod licencí *Open Database Licence* (ODbl) (OSMF, 2012).

Databáze využívá topologickou datovou strukturu tvořenou čtyřmi základními elementy: uzel, cesta, vztah a značka. Právě značky (*Tags*) jsou nositelem popisných informací. Vzhledem k otevřenosti projektu neexistuje konečný počet značek a tím ani přesně daná struktura objektů v databázi. Avšak pro snadnější zařazení objektů a následnou vizualizaci se komunita dohodla na základní strukturu, která rozděluje všechny objekty do 26 skupin. Vodní toky jsou v databázi rozděleny na přírodní a umělé. Nejdůležitější objekty z této skupiny jsou shrnuty v tabulce 4 (OSMF, 2017b).

Otevřenost databáze se ukazuje i u vykreslování jednotlivých objektů, kdy si každý uživatel může přizpůsobit reprezentace svým potřebám. Ukázky kartografických reprezentací objektů v této části práce podléhají znakovému klíči *OpenStreetMap Carto*, který je zvolen jako základní na *mapovém portále OSM* (OSMF, 2017a).

V případě, že zdroje dat umožňují zaznamenat vodní tok jako plochu, využívá se atributu *riverbank*. Občasné vodní toky od stálých odlišuje atribut s hodnotou *intermittent=yes*. Pokud se jedná o podzemní vodní tok, je u objektů přidán atribut *tunnel*. Pomocí tohoto atributu mohou být podzemní vodní toky rozděleny na propustky *tunnel=culvert* nebo na jiné podzemní vodní toky *tunnel=yes*. Kartografické reprezentace těchto objektů lze vidět na obrázku 12.

Přírodní vodní toky	Umělé vodní toky
river	canal
stream	drain
wadi	ditch
drystream	

Tabulka 4: Vodní toky v databázi OSM
Zdroj: OSMF, 2017b

Místa, kde dochází k propadání vodních toků jsou označena jako *sinkhole=ponor* nebo jako *sinkhole=estavela*. Tyto objekty nejsou na mapách reprezentovány žádným speciálním symbolem.



Obrázek 12: Vodní toky v databázi OSM
vlevo: estavela, vpravo: podzemní vodní tok
Zdroj: OSMF, 2018a

Podobně jako na Novém Zélandu mohou být za podzemní vodní toky označeny některé úseky potrubí (*pipeline*), které jsou označeny jako *underground penstock*. Což jsou potrubí přepravující vodu z nádrží směrem k turbínám hydroelektráren. Tyto objekty jsou poté reprezentovány stejným symbolem jako podzemní vodní toky (obr. 11) (OSMF, 2017b).

Polohová přesnost vodních toků v databázi se odvíjí od zdroje dat. Pro území Česka byly objekty vodních toků získány z databáze DIBAVOD (Digitální báze vodohospodářských dat). Z tohoto důvodu odpovídá polohová přesnost vodních toků přesnosti objektů zanesených v ZABAGED (OSMF, 2016).

2.7 INSPIRE

Před návrhem vlastní typologie podzemních vodních toků v kapitole 4 je vhodné představit směrnici Evropské komise – INSPIRE. Tato iniciativa si klade za cíl vytvořit evropský legislativní rámec, který je potřebný k vybudování evropské infrastruktury prostorových informací. Stanovuje obecná pravidla pro založení infrastruktury prostorových dat, zejména pro podporu environmentálních politik a politik, které životní prostředí ovlivňují. Hlavním cílem INSPIRE je poskytnout větší množství kvalitních a standardizovaných prostorových informací pro vytváření a uplatňování politik Společenství na všech úrovních členských států.

V České republice je směrnice transponována novelou zákona 123/1998 Sb., o právu na informace o životním prostředí, která vyšla jako zákon č. 380/2009. Touto

novelou byl Ministerstvem životního prostředí zřízen *Národní geoportál INSPIRE*, který zpřístupňuje veřejnosti prostorová data, týkající se alespoň jednoho tématu z přílohy směrnice.



Součástí novely bylo i zřízení *Koordinačního výboru pro INSPIRE* (KOVIN). Tento poradní orgán ministra životního prostředí má za úkol koordinaci povinných poskytovatelů prostorových dat a implementaci INSPIRE včetně hodnocení pokroku začlenění (CENIA, 2015).

Součástí iniciativy INSPIRE jsou i předpisy týkající se obsahu a struktury dat. Informace týkající se vodních toků jsou uvedeny v dokumentu *Datová specifikace pro vodstvo (Data Specification on Hydrography)* (European Commission, 2014). Konkrétně jsou předpisy týkající se všech vodních toků obsaženy v části fyzické vody (*Physical Waters*). Směrnice INSPIRE v případě vodních toků (povrchových i podpovrchových) vyžaduje rozlišení vodních toků na úseky s přírodním charakterem a na úseky vytvořené člověkem. Avšak toto rozlišení může být značně problematické. Základním problémem je už samotné definování přírodních a umělých úseků. I v případě, že jako umělé vodní toky by byly označeny pouze kanály, které byly vytvořeny za účelem přívodu a odvodu vody či k dopravě, lze nalézt sporné případy. Příkladem může být Zlatá stoka na Třeboňsku, kdy se původně umělý vodní tok stal zcela přírodním. Opačná situace často nastává u vodních toků v sídlech, u kterých dochází k úpravám dna a břehů a jen těžko je lze stále označovat za přírodní. Avšak při zaměření pouze na podzemní vodní toky je toto rozdělení snazší. Jako přírodní podzemní vodní toky lze označit pouze ty úseky, kdy dochází k pronikání vodního toku pod zem bez jakéhokoliv zásahu člověka. Příkladem může být propadání vodních toků v krasových oblastech. Jako umělé podzemní vodní toky by byly označeny všechny ostatní úseky, kdy dochází například k zatrubnění nebo zakrytí vodního toku.

2.8 Vybrané návrhy typologií

Lucie Štysová (2013) ve své bakalářské práci navrhuje rozdělení úseků podzemních vodních toků na přírodní a umělé. Jako umělé jsou označeny toky, které jsou svedeny pod povrch přičiněním člověka. Důvodem tohoto rozdělení je chybné zakreslení některých úseků přírodních vodních toků. S ohledem na toto rozdělení navrhuje i změnu kartografické reprezentace (obr. 19), kde by došlo ke změně zakreslování úseků přírodních podzemních vodních toků, právě s ohledem na jejich nejistý průběh. V místech těchto úseků by byl vodní tok přerušen a místo, kde se vodní tok propadá, by bylo označeno novým symbolem pro ponor.

Tereza Poláková (2014) navrhuje přímo rozdělení na úseky s jistým či nejistým průběhem bez návaznosti na jejich původ. I když předpokládá rovnost mezi přírodním úsekem a úsekem s nejistým průběhem.

ZABAGED		KARTOGRAFICKÁ REPREZENTACE
KC_TYPTOKU		
Povrchový vodní tok	Podzemní vodní tok určený	
Povrchový vodní tok	Podzemní vodní tok nejistý	

Obrázek 13: Návrh typologie podzemních vodních toků
Zdroj: Štysová, 2013

Lucie Štysová (2013) též představuje návrh typologie pro již zmíněnou vrstvu ponorů, které nejsou v současné době v ZABAGED nijak řešeny. Ve svém návrhu vychází ze specifikace INSPIRE. V dokumentu *Data Specification on Hydrography* jsou ponory zařazeny do kategorie mizející bod (*Vanishing Point*). Obecně tyto body označují místa konce říční sítě, například ústí řeky do moře či bezodtokého jezera. Též do této kategorie náleží místa, kde vodní toky mizí pod zemský povrch.

Nejdůležitějším atributem nově navržené vrstvy ponorů je dle autorky podtyp objektu vodstva (tab. 5). Tento atribut může nabývat šesti hodnot – K (kras, přírodní), P (mimokras, přírodní), V (konec ve vodní ploše), M (konec v bažině, močálu), U (umělý) a CH (chybný). Dále autorka navrhuje v databázi uvádět jméno vodního toku, na kterém se ponor nachází, jméno ponoru a kód přenesený z databáze JESO (*Jednotná evidence speleologických objektů*).

Název atributu	Datový typ	Předmět atributu	Hodnota atributu	Význam hodnoty atributu
NAZEVTOKU	VARCHAR (60)	jméno vodního toku		
KC_PODTYPOBJEKTU VODSTVA	VARCHAR2(3)	podtyp objektu	K P V M U CH	kras, přírodní mimokras, přírodní konec ve vodní ploše konec v bažině, močálu umělý chybný
JMENO	VARCHAR2(80)	jméno přenesené z GEONAMES nebo JESO		
FID	VARCHAR2(40)	jednoznačný identifikátor objektu		
KOD	VARCHAR2(50)	kód objektu přenesený z JESO		

Tabulka 5: Návrh atributů ponorů

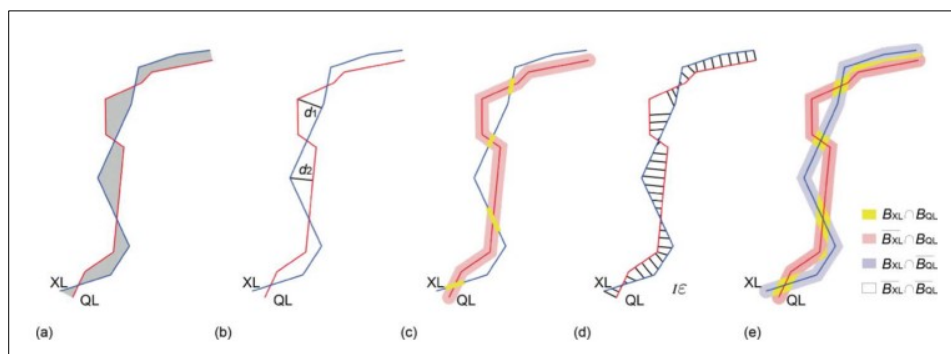
Zdroj: Štysová, 2013

3 Metody porovnávání polohové přesnosti linií

Polohová přesnost je jednou z nejdůležitějších vlastností prostorových dat. Tato kvalita je určena polohovou přesností jednotlivých objektů. Polohová přesnost kartografických produktů byla vždy velmi významná. Zájem o polohovou přesnost vzrostl s rozvojem globálních navigačních satelitních systémů (GNSS) a s potřebou pro větší interoperabilitu v rámci prostorových datových infrastruktur. (Ariza-López, Mozas-Calvache, 2012).

Určení polohové přesnosti, jakožto součásti celkové kvality prostorových dat, je důležité i pro zvyšující se míru sdílení a užívání dat pro jiné účely, než byly původní záměry jejich producentů. Jednotná pravidla pro hodnocení celkové kvality dat udává norma ISO 19157. Tato norma usnadňuje uživatelům porovnávání a výběr dat, které nejlépe vyhovují aplikačním potřebám a požadavkům. Kromě stanovení jednotného přístupu pro podávání zpráv o kvalitě dat popisuje tato norma i obecné postupy pro hodnocení kvality geografických dat včetně jejich polohové složky (ISO, 2013).

V této kapitole bude představeno pět základních metod pro porovnávání polohové přesnosti linií v geoinformačních systémech. Přehled metod slouží jako ukázka různých přístupů k měření polohové přesnosti liniových prvků a zároveň jako teoretický základ pro testování polohové přesnosti podzemních vodních toků v databázi ZABAGED na vybraných testovacích územích v praktické části této práce. Všechny tyto metody jsou založeny na porovnávání průběhu dvou linií z nezávislých zdrojů, které představují totožný objekt. Linie pocházející z přesnější databáze je poté označena jako kontrolní vzor neboli referenční linie. Dále popsány metodami jsou následně vypočítávány polohové odchylky průběhu těchto dvou linií. Názorně jsou tyto metody zobrazeny na obrázku 14. (Ariza-López, Mozas-Calvache, 2011).



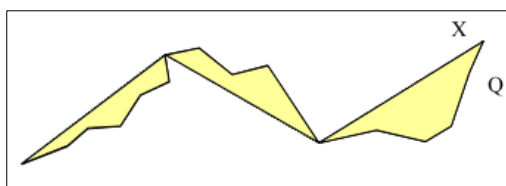
Obrázek 14: Metody určování polohové přesnosti

a) MDM b) HDM c) SBOM d) PIM e) DBOM

zdroj: Ariza-López, Mozas-Calvache, 2011

3.1 Mean distance method (MDM)

První z metod byla představena autory Turner, Skidmore (1992). Metoda je založena na odhadu hodnoty pásma epsilon (Perkal, 1956). Hodnota epsilon představuje průměrnou vzdálenost námi zkoumaných linií. Pro získání hodnoty je součet ploch uzavřených oběma liniemi dělen délkou referenční linie (obr. 15) (Ariza-López, Mozas-Calvache, 2011). Podobně tuto metodu definoval i McMaster (1987), který ji nazval jako *Areal Displacement*.



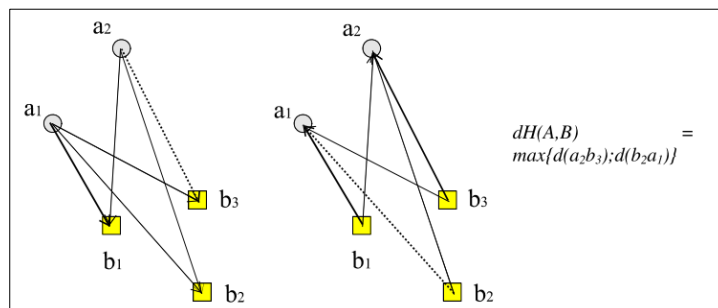
Obrázek 15: Plochy uzavřené liniemi X a Q
Zdroj: Ariza-López, Mozas-Calvache, 2012

3.2 Hausdorff distance method (HDM)

Tento způsob měření polohové přesnosti linií byl představen francouzskými autory Abbas, Grussenmeyer, Hottier (1995). Autoři tuto metodu navrhli i s ohledem na účinky kartografické generalizace a tvar prvků. Další francouzský autor Hangouët (1995) se ve svém výzkumu blíže věnuje vlastnostem této metody, jako je asymetrie, ortogonalita, citlivost. Právě díky svým vlastnostem je tato metoda často využívána pro automatické porovnávání silničních sítí (Mustière, Devogele, 2008).

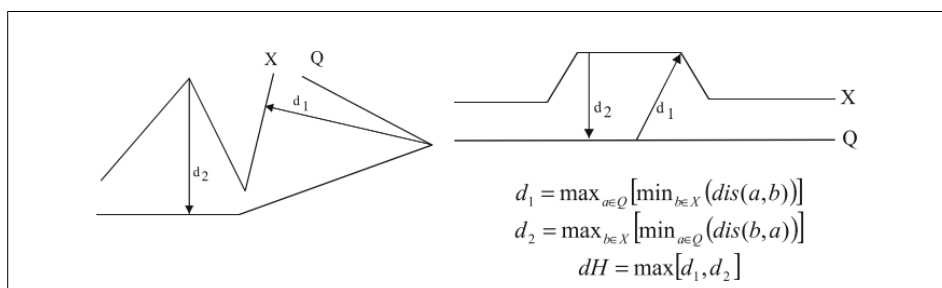
Metoda je založena na měření vzdáleností mezi dvěma množinami bodů. Vzdáleností je obvykle myšlena nejkratší možná spojnice dvou objektů, například polygonů. Z toho plyne, že vzdálenost dvou polygonů je rovna délce spojnice dvou nejbližších bodů obou polygonů. Avšak pouhá vzdálenost nevypovídá nic o tvaru objektů a jejich vzájemné poloze. Právě proto tato metoda využívá Hausdorffovu vzdálenost. Princip tohoto způsobu měření vzdáleností je ilustrován na obrázku 16. Vlevo vidíme euklidovské vzdálenosti mezi množinou bodů $A(a_1, a_2)$ a $B(b_1, b_2, b_3)$. Body množiny A mohou například reprezentovat krajní body line a body množiny B poté vrcholy polygonu. Nejkratší spojnici bodu a_1 a množiny bodů B je $d(a_1, a_2)$. Pro bod a_2 je to poté $d(a_2, b_3)$. Jako Hausdorffova vzdálenost bodů množiny A a bodů z množiny B je poté označena ta delší z nich, tudíž $dH(A \rightarrow B) = d(a_2, b_3)$. Na obrázku 14 vpravo je poté ilustrováno to samé, akorát pro opačný směr, kde $dH(B \rightarrow A) = d(b_2, a_1)$. Jako celková Hausdorffova vzdálenost množin

bodů A a B je poté označena ta delší z jednosměrných vzdáleností: $dH(A,B) = \max\{d(a_2,b_3), d(b_2,a_1)\} = d(b_2,a_1)$. Hausdorffova vzdálenost dvou množin bodů představuje tedy maximum z minimálních vzdáleností bodů ležících v různých množinách.



Obrázek 16: Hausdorffova vzdálenost pro množiny bodů A a B
Zdroj: Ariza-López, Mozas-Calvache, 2012

V případě, že se jedná o linie, je totéž aplikováno na zlomové nebo jiné známé body. Hausdorffova vzdálenost dvou linií je představovaná orientovanou úsečkou, která je buď kolmá na linii, ke které směřuje nebo směřuje na jeden z vrcholů druhé linie. Pro dvojici linií, kde řídicí je označena Q a kontrolovaná X , může být Hausdorffova vzdálenost spočítána jednosměrně $dH(Q \rightarrow X)$ nebo $dH(X \rightarrow Q)$ nebo obousměrně: $dH(QX) = \max[dH(Q \rightarrow X); dH(X \rightarrow Q)]$. Je důležité si uvědomit, že vzdálenosti $dH(Q \rightarrow X)$ a $dH(X \rightarrow Q)$ nejsou symetrické. Obecně platí, že kontrolovaná linie je blíže referenční než naopak. Princip v případě linií je demonstrován na obrázku 17 (Ariza-López, Mozas-Calvache, 2012).



Obrázek 17: Hausdorffova vzdálenost v případě linií
Zdroj: Ariza-López, Mozas-Calvache, 2012

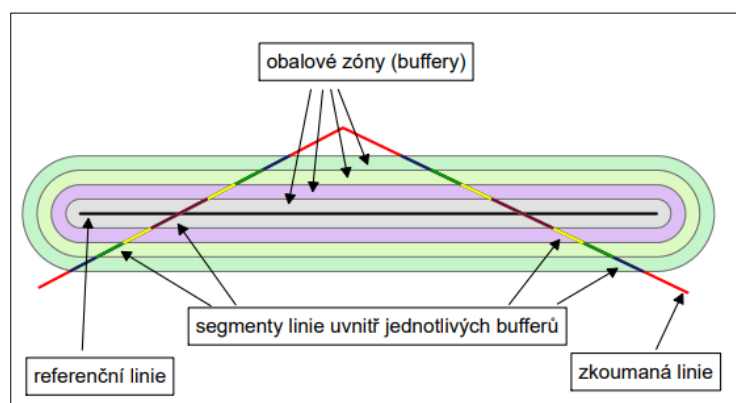
3.3 Simple buffer overaly method (SBOM)

Tato metoda byla poprvé popsána autory Goodchild, Hunter (1997). Kolem jedné z linií je vytvořeno pásmo (buffer) o určité šířce. Buffery se vždy tvoří okolo referenční linie, neboť ta je považována za polohově správnou a svým průběhem se více blíží reálnému objektu v krajině. Buffer je poté použit pro identifikaci segmentů druhé linie, které se nacházejí

uvnitř prostoru vymezeného bufferem. Délky segmentů v bufferu jsou poté dány do poměru s celkovou délkou kontrolované linie. Zvyšováním šířky bufferů kolem referenční linie lze získat funkci kumulované pravděpodobnosti, která se spočítá podle vzorce:

$$p(x) = \frac{\text{délka částí linie v bufferu}}{\text{celková délka linie}},$$

kde $p(x)$ je hodnota pravděpodobnosti výskytu linie v bufferu o šířce x . Při tvorbě bufferů, zvláště napravo a nalevo od referenční linie, lze získat informace nejen o vzdálenosti kontrolované linie od referenční, ale i údaje o délce úseků kontrolované linie, které se nacházejí napravo či nalevo od referenční linie. Šířka bufferů může být navyšována do námi předem stanovené šířky nebo určité hladiny pravděpodobnosti p (Heo a kol., 2008). Podle Ariza-López, Mozas-Calvache (2012) tato metoda často nadhodnocuje chyby, neboť měření chybových délek je kolmé na hranici bufferu. Ve skutečnosti však posunutí může být komplexnější. Názorné vytvoření bufferů a následné vymezení délek úsečků je ukázáno na obrázku 18.



Obrázek 18: Single buffer method

Zdroj: vlastní zpracování

3.4 Points intermediate method (PIM)

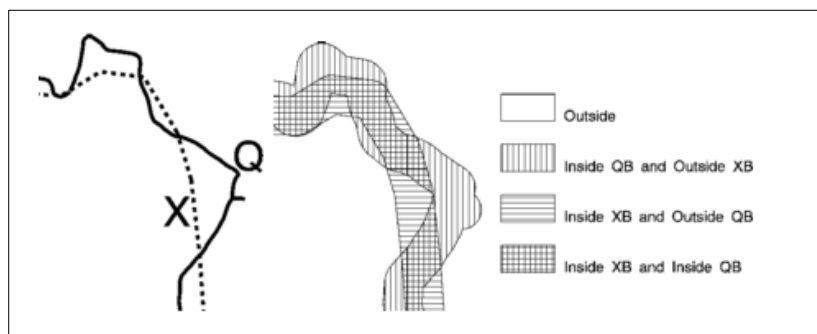
Tato metoda měření polohové přesnosti dvou linií byla poprvé představena norskými autory Langaas, Tveite (1999). Metoda spočívá v generování bodů na linii, které jsou vytvářeny po určité vzdálenosti e . Jsou vždy vytvářeny na linii, u které chceme zjistit polohovou přesnost. Následně jsou měřeny úsečky spojující daný bod a referenční linii. Nutnou podmínkou je kolmost úseček na referenční linii (obr. 14d). Z délek úseček poté mohou být spočítány základní statistické ukazatele, jako například průměr a směrodatná odchylka.

3.5 Double buffer overlay method (DBOM)

Tato metoda byla popsána stejnými autory jako metoda PIM. Na rozdíl od jednoduchého bufferu pracuje tato metoda s buffery okolo obou zkoumaných linií. Po vytvoření bufferů s rostoucí šířkou w okolo obou linií následuje jejich překrytí. Výsledkem této operace je vznik čtyř typů ploch (obr. 19). Tyto plochy následně slouží k analýze polohové přesnosti linií. Z ploch mohou být spočítány základní ukazatele jako obsah jednotlivých typů ploch, počet polygonů, celkový obvod atd. Tyto ukazatele jsou poté použity pro výpočet dalších ukazatelů jako oscilace, úplnost, zkreslení nebo průměrný posun, který se spočítá jako:

$$AD_{bw} = \pi bw \frac{X_{bw} \cap Q_{bw}}{X_{bw}},$$

kde AD_{bw} je průměrné posunutí při šířce bufferu bw . Q_{bw} je poté plocha bufferu okolo referenční linie o známé kvalitě a X_{bw} je plocha bufferu okolo linie, u které chceme zjistit polohovou přesnost. Odhad šířky prvního bufferu může být odvozen na základě znalosti polohové přesnosti referenčních dat. Šířka bufferů by měla být následně postupně navyšována, protože není možné předem určit optimální šířku bufferu. Navyšování šířky by mělo být ukončeno ve chvíli, kdy již nedochází ke změně výsledků. Autoři Goodchild a Hunter (1997) ve své práci zdůrazňují, že šířka bufferu by měla růst i v závislosti na délce zkoumaných linií. Důvodem je snaha o zahrnutí i odlehlých hodnot do výpočtů.



Obrázek 19: Double buffer method

Zdroj: Langaas, Tveite, 1999

4 Návrh typologie podzemních vodních toků

Cílem této části práce je představení různých podob podzemních úseků vodních toků obsažených v ZABAGED. Důvodem vytvoření této typologie není v primárně snaha o rozšíření struktury dat ZABAGED, ale vypracování uceleného obrazu různých podob podzemních vodních toků, který je důležitý k reprezentativnímu výběru dat pro hodnocení polohové přesnosti podzemních vodních toků v kapitole 6. Návrh typologie podzemních úseků vodních toků vychází z informací získaných při rešerši zahraničních databází a zároveň se snaží zohlednit specifika tuzemského prostředí. Snahou autora je vytvořit charakteristiky jednotlivých typů toků tak, aby mohly být dále identifikovány pomocí dat již obsažených v ZABAGED, případně dalších databází a zdrojů. Takto vytvořené charakteristiky mají za cíl usnadnění GIS (*Geographic Information System*) analýz, které rozřadí všechny úseky podzemních vodních toků v ZABAGED do níže popsaných kategorií. Tyto GIS analýzy jsou společně s výsledky relativního rozdělení blíže popsány v druhé části této kapitoly. Jednotlivé kategorie podzemních vodních toků jsou seřazeny podle toho, jaký je předpoklad jejich relativního zastoupení na všech podzemních vodních tocích.

4.1 Vlastní typologie

Základem celé typologie je rozdělení podzemních vodních toků na přírodní a umělé úseky. Jako přírodní úseky jsou označeny takové části podzemních vodních toků, které vznikly bez přičinění člověka. K samovolnému propadání dochází zejména v oblastech s krasovými horninami. Příkladem mohou být podzemní úseky Jedovnického potoka, který se dostává pod povrch ve známém Rudickém propadání (obr. 20). Dalším typickým příkladem je ponorná řeka Punkva. Jako umělé podzemní vodní toky jsou označeny všechny zbylé úseky podzemních vodních toků. Tyto úseky byly svedeny pod povrch činností člověka. Jako příklad lze uvést podzemní úseky Motolského potoka (obr. 21) či Botiče na území hlavního města Prahy.

K odlišení přírodních a umělých úseků je možné využít databáze JESO. Zřizovatelem této databáze je Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky (AOPK ČR) ve spolupráci se Správou jeskyní ČR a dalšími odborně kvalifikovanými organizacemi. Jedná se o informační systém krasových a pseudokrasových jevů. Jevy jsou v databázi děleny do tří kategorií, a to na jeskyně, závrtky a hydrologické jevy, kam patří ponory, propadání a vyvěračky. Právě objekty obsažené v poslední části mohou být použity pro

identifikaci přírodních úseků podzemních vodních toků. Důvodem tohoto základního rozdělení je předpoklad, že polohová přesnost umělých úseků bude vyšší než přírodních. Zároveň toto rozdělení respektuje strukturu vodních toků danou iniciativou INSPIRE.



Obrázek 20: Rudické propadání
Zdroj: ČÚZK, 2010; AOPK, 2018d

V další části budou představeny a charakterizovány možné typy forem umělých podzemních vodních toků, neboť přírodní úseky nemá smysl pro účely této práce dále dělit. Částečnou inspirací pro toto rozdělení se stala struktura vodních toků v kanadské databázi CanVec, kde jsou vodní toky rozděleny podle účelu, ke kterému slouží.

4.1.1 Úseky v zástavbě

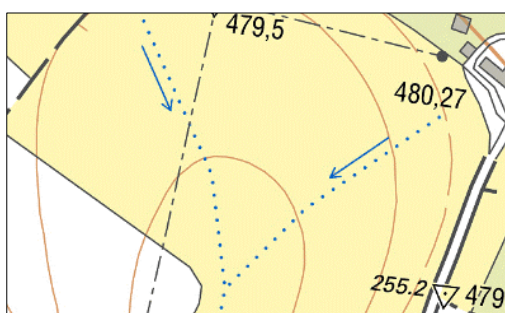
Prvním typem podzemních vodních toků jsou úseky nacházející se v zástavbě. Tyto úseky byly zatrubněny či zakryty z důvodu narušování ploch, vhodných například pro stavbu komunikací. Tyto úseky jsou často využívány i jako kanalizační stoky. V databázi ZABAGED není přímo zanesena plocha intravilánů, která by jasně vymezila tyto úseky. Pro její nahrazení lze vytvořit buffer okolo objektů budov, okolo ulic a ostatních ploch v sídlech zanesených v databázi ZABAGED. Příkladem podzemního úseku v zástavbě může být již zmíněný Motolský potok, který z velké části probíhá pod ulicí Plzeňská (obr. 21). U tohoto typu se předpokládá velká převaha v relativním zastoupením oproti zbylým kategoriím podzemních vodních toků.



Obrázek 21: Motolský potok
Zdroj: ČÚZK, 2010

4.1.2 Meliorační odvodňovací systémy

Do této kategorie patří úseky podzemních vodních toků, které byly vybudovány za účelem odvodnění určitého místa (obr. 22). Meliorace je obecně soubor různorodých opatření vedoucích ke zlepšení úrodnosti půd, které jsou přirozeně málo úrodné nebo u kterých došlo v důsledku nevhodných zásahů či působením vnějších činitelů ke snížení jejich produkční schopnosti (Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, 2003). Pro meliorační objekty je typické, že se jedná o vodní toky 1.řádu (podle Strahlera) a velmi často jsou jejich pramenné oblasti nebo počátky situovány uprostřed polí, luk a pastvin (zemědělských ploch), což pramení z jejich účelu.



Obrázek 22: Meliorační odvodňovací opatření
Zdroj: ČÚZK, 2010

4.1.3 Propustky

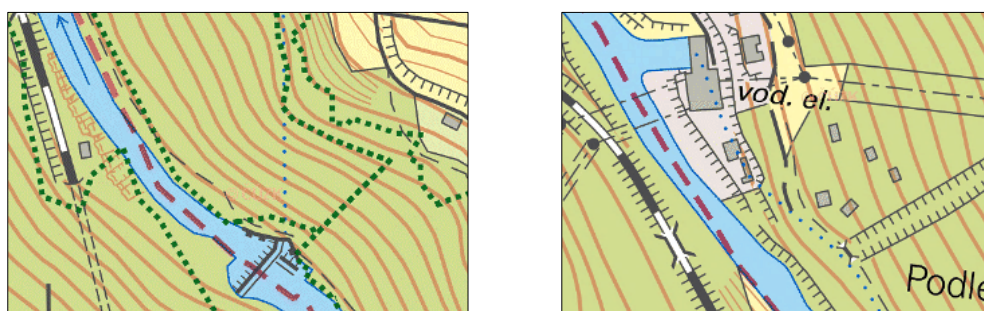
Podle ZABAGED jsou propustky mostní objekty s vodorovnou světlostí mostního otvoru do 2 m, které většinou slouží k příčnému převedení stálých nebo občasných vodních toků. Avšak mohou sloužit i pro migraci drobných živočichů pod komunikací či pro vedení pěší komunikace pod zemním tělesem komunikace. Tyto úseky obvykle bývají dlouhé několik metrů, jen ve výjimečných případech přesahují i 100 m. ZABAGED tyto objekty řadí do zvláštní vrstvy v kategorii komunikace.



Obrázek 23: Propustek
Zdroj: www.cenkov.cz

4.1.4 Náhony vodních elektráren a továren

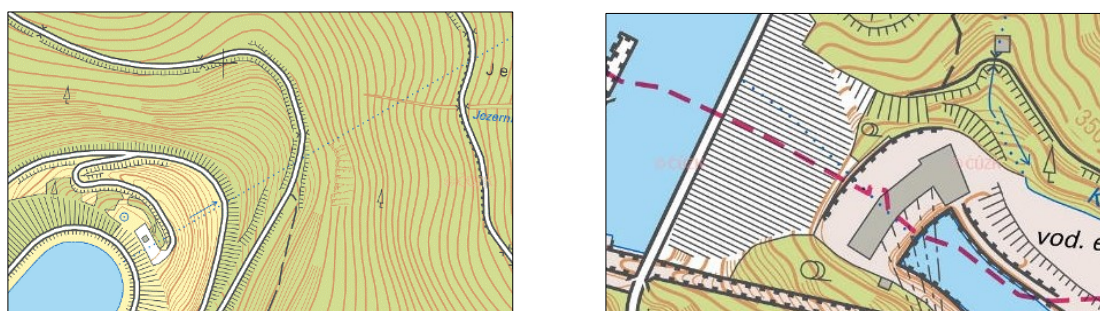
Do této kategorie jsou zařazeny úseky sloužící k transportu vody k vodním elektrárnám a továrnám. Tyto úseky podzemních vodních toků mají obvykle velice nízký sklon, a to zejména v případě náhonu vodních elektráren. Cílem je zvýšení rozdílu hladin před a za turbínou. Velmi často tyto úseky začínají u jezu, kde se oddělují od vodního toku, do kterého se po naplnění účelu velmi často vracejí. Příkladem může být náhon vedoucí k MVE Spálov (obr. 24).



Obrázek 24: Náhon k MVE Spálov

Zdroj: ČÚZK, 2010

Do této kategorie jsou zařazena i potrubí, která jsou přímo součástí vodních elektráren. Typický rysem těchto úseků je velmi příkrý sklon. Nejčastěji se vyskytují jako součást přečerpávacích elektráren. Příkladem může být přečerpávací elektrárna Dlouhé Stráně nebo Dalešice (obr. 26). Výskyt tohoto typu podzemních vodních toků je však na území Česka relativně omezený. Z tohoto důvodu byl tento typ podzemních vodních toků zařazen do společné kategorie s náhony vodních elektráren a továren a zároveň obě formy podzemních vodních toků plní velice podobnou funkci.



Obrázek 25: Potrubí vodních elektráren

vlevo: přečerpávací elektrárna Dlouhé Stráně, vpravo: přečerpávací elektrárna Dalešice

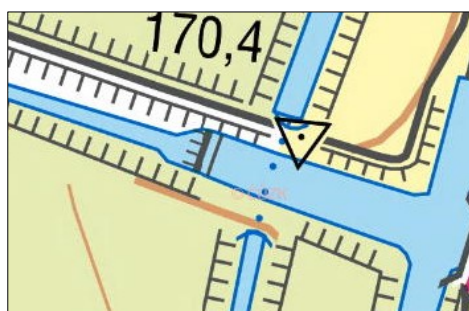
Zdroj: ČÚZK, 2010

4.1.5 Vodohospodářské soustavy

Úseky v této kategorii slouží pro vyrovnání vodních stavů vodních toků a nádrží. Vodohospodářské soustavy mají mimo jiné protipovodňovou funkci a též zásobují obce pitnou vodou. Příkladem je vodohospodářská soustava Podhora – Mnichov – Mariánské lázně. Úseky podzemních vodních toků v této kategorii patří mezi nejdelší úseky na celém území Česka. Jejich délka často dosahuje několika kilometrů. Typickým rysem těchto objektů je převod vody z jednoho povodí do druhého. Jedná se ve své podstatě o umělou bifurkaci vodního toku. Výskyt této formy podzemních vodních toků však není příliš častý. Pro vymezení všech objektů by byla nutná spolupráce se správcí povodí.

4.1.6 Shybky

Podtok neboli shybka je potrubí, které je vedené napříč pod dnem umělé vodní cesty, případně přirozeného vodního toku (ČÚZK, 2018a). V ZABAGED jsou tyto objekty zařazeny do jednoho typu objektu společně s akvadukty. Velmi často jsou shybky součástí kanalizační sítě. Příkladem může být shybka na Výtoni v Praze, kdy přechází kmenová stoka „K“ z pravého břehu Vltavy na levý. Avšak kanalizační shybky nejsou součástí ZABAGED, stejně jako další části kanalizačních sítí. Příkladem shybky ze ZABAGED je křížení vodního toku Velička s Baťovým kanálem (obr. 25). V ZABAGED je v současné době vedeno 142 shybek. Objekty shybek obvykle dosahují délky maximálně několika desítek metrů.

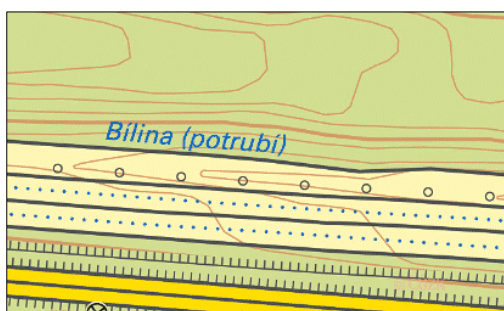


Obrázek 26: Shybka na Veličce
Zdroj: ČÚZK, 2010

4.1.7 Ostatní

Do poslední kategorie spadají úseky podzemních vodních toků, které nelze zařadit ani do jedné z výše zmíněných kategorií. Tato kategorie je zřízena z důvodu, aby každý podzemní tok mohl být zařazen do určitého typu. Příkladem podzemního vodního toku

náležícího do této kategorie může být zatrubněný úsek řeky Bíliny (obr. 27). Účelem tohoto úseku je ochrana proti zatopení míst povrchové těžby.



Obrázek 27: Zatrubnění Bíliny
Zdroj: ČÚZK, 2010

4.2 Analýza relativního zastoupení

Cílem této části práce je zjištění relativního zastoupení jednotlivých typů podzemních vodních toků v ZABAGED, popsanych v rámci návrhu typologie. Pro účely práce není důležité zjištění naprosto přesného výsledku, ale spíše jen přibližného zastoupení úseků v jednotlivých kategoriích. Nejdříve bude popsána metodika analýzy a následně budou představeny její výsledky. Podkladem pro analýzu byla vrstva podzemních vodních toků, která vznikla výběrem z vrstvy vodních toků podle atributu TYPTOKU_P a hodnoty „podzemní“. Objekty shybek a propustků nejsou součástí této vrstvy, a proto nebude přítomnost těchto dvou typů zjišťována. Pro zpracování analýzy bylo využito softwaru ArcGIS for Desktop ve verzi 10.6 poskytovaného americkou společností ESRI. Pro výběr jednotlivých kategorií bylo využíváno zejména dvou funkcí: *Select by location*, *Select by attribute*.

Prvním krokem bylo spojení úseků se stejnou hodnotou atributu IDVT. Tento identifikátor je přiřazován celému toku od pramene po ústí. Spojeny byly však pouze ty úseky, které mají společný vertex. Pro spojení bylo využito funkce *Dissolve*. Smyslem tohoto kroku bylo možné porovnání délek a zejména počtu úseků v jednotlivých kategoriích. Výběr jednotlivých typů probíhal vždy pouze z úseků, které nebyly v předchozích krocích klasifikovány. Tímto krokem se zabrání vybrání stejného úseků do více kategorií. Pro analýzu je velice důležité i pořadí, ve kterém byly jednotlivé kategorie vybírány. Pomocí správného pořadí výběru jednotlivých kategorií je možné eliminovat fakt, že není možné jednotlivé kategorie definovat tak, aby neobsáhly i prvky z jiných kategorií.

První vybranou kategorií byly přírodní úseky podzemních vodních toků. V ideálním případě, by tyto úseky byly odděleny pomocí vrstvy ponorů z JESO, avšak tato vrstva není veřejně dostupná. Z tohoto důvodu bylo využito vrstvy krasových ponorů, kterou v rámci své bakalářské práce vytvořila Lucie Štysová (2013). Z důvodu, že vrstva není přímo vázaná na počátky podzemních vodních toků v ZABAGED, byly vybrány všechny podzemní vodní toky, které probíhají do 40 m od těchto ponorů. Aby byly vybrány i úseky, které vznikají soutokem dvou podzemních vodních toků, byly zvoleny i úseky, které přímo navazují na již vybrané úseky.

Druhým vybraným typem byly úseky náhonů. Pro výběr této kategorie bylo nutné vytvořit vrstvu všech vodních toků, které byly stejně jako podzemní vodní toky sloučeny podle atributu IDVT. Následně byla vytvořena bodová vrstva začátků těchto toků pomocí funkce *Feature Vertices To Points*. Z těchto bodů byly následně vybrány pouze ty, které leží do vzdálenosti 30 m od jezů zanesených v ZABAGED. Pomocí funkce *Join* byly dále přiřazeny atributy vybraných počátků k vodním tokům, na kterých leží. Toto přiřazení proběhlo na základě shody identifikátorů. Následnou selekcí pouze těch toků, ke kterým byly přiřazeny atributy počátků, vznikla vrstva náhonů. Posledním krokem bylo vybrání podzemních vodních toků, které jsou kompletně součástí vrstvy náhonů. Po pokrytí i dalších podzemních vodních toků souvisejících s vodními elektrárnami, bylo využito bodové a plošné vrstvy elektráren ze ZABAGED. Z těchto vrstev byly nejdříve vybrány pouze vodní elektrárny pomocí atributu *PODTYPEL_P*. Ze zbývajících nevybraných podzemních vodních toků byly vybrány ty, které probíhají do 30 m od objektů v těchto vrstvách.

Pro oddělení podzemních úseků vodohospodářských soustav bylo nejprve nutné vytvořit bodovou vrstvu začátků a konců zbývajících podzemních úseků. Pro získání informace, ve kterém povodí začátek či konec leží, bylo využito polygonové vrstvy povodí IV. řádu z DIBAVOD (VÚV TGM, 2017). Pomocí funkce *Join* bylo vrstvě počátků a konců přiřazena informace o povodí, ve kterém se nachází. Následně opět pomocí funkce *Join* byly zbývajícím podzemním úsekům přiřazeny atributy jejich počátků a konců. Jako vodohospodářské soustavy poté byly označeny ty úseky podzemních vodních toků, u kterých se neshoduje povodí počátku a konce. Tento způsob však identifikoval pouze některé vodohospodářské soustavy. Vzhledem k tomu, že úseky tohoto typu podzemních vodních toků dosahují délkou většinou v řádech kilometrů, byly zbylé úseky seřazeny podle délky a nad pokladovou mapou prohlédnuto 30 nejdelších podzemních toků. Z těchto

toků pak byly vybrány další vodohospodářské soustavy. K tomuto kroku bylo přistoupeno z důvodu nedostatku informací z dalších zdrojů, zejména od správců povodí.

K vymezení podzemních vodních toků v zástavbě bylo využito vrstvy *budov* ze ZABAGED. Do této kategorie byly vybrány ty úseky, které probíhají do 30 m od těchto objektů v dané vrstvě. Velice podobného výběru by se dalo dosáhnout pomocí vrstev *ulic* v *sídlech* také obsažených v ZABAGED.

Posledním krokem bylo zvolení úseků spadajících do kategorie *meliorační odvodňovací systémy*. Pro výběr těchto objektů bylo využito vrstev *trvalý travní porost*, *orná půda* a *další nespecifikované plochy*. Do této kategorie podlé byly zařazeny úseky, které se nachází uvnitř těchto ploch nebo přes ně probíhají. Zbylé úseky byly zařazeny do kategorie *ostatní*.

typ	průměrná délka [m]	zastoupení (délka)	zastoupení (počet)	typ	průměrná délka [m]	zastoupení (délka)	zastoupení (počet)
přírodní úseky	1601	0,36 %	0,02 %	přírodní úseky	1601	0,38 %	0,04 %
náhony	98	0,61 %	0,61 %	náhony	98	0,64 %	1,05 %
úseky v zástavbě	147	47,43 %	31,54 %	úseky v zástavbě	147	49,87 %	53,93 %
meliorace	186	43,74 %	22,97 %	meliorace	186	45,99 %	39,27 %
vodohospodářské soustavy	3426	0,89 %	0,03 %	vodohospodářské soustavy	3426	0,94 %	0,04 %
ostatní	61	2,07 %	3,32 %	ostatní	61	2,18 %	5,67 %
shybky	18	0,05 %	0,26 %				
propustek	11	4,84 %	41,26 %				

Tabulka 6: Relativní zastoupení typů podzemních vodních toků
vlevo: výsledky analýzy včetně propustků a shybek, vpravo: výsledky analýzy
Zdroj: vlastní zpracování

Z počtu úseků a jejich délek v jednotlivých kategoriích byla vytvořena tabulka 6. V tabulce 6 vlevo je uvedeno relativní zastoupení podzemních vodních toků, které byly předmětem analýzy, doplněné o počty délky shybek a propustků. Tabulka 6 vpravo ukazuje pouze kategorie, které byly součástí analýzy. Relativní zastoupení jednotlivých kategorií bylo spočítáno dvěma způsoby. Sloupec zastoupení *délka* představuje podíl součtu délek všech úseků v kategorii na celkové délce všech úseků. Sloupec zastoupení *počet* je poté vztažen k počtu úseků v dané kategorii. Pro lepší pochopení vlastností jednotlivých kategorií byla přidána ještě průměrná délka úseků v jednotlivých kategoriích.

Z výsledku analýzy vyplývá jasná převaha *úseků v zástavbě* a *melioračních odvodňovacích systémů*. Společně tyto kategorie představují více než 90 % délky všech

úseků podzemních vodních toků. Vysoké hodnoty relativního zastoupení vyplývají zejména z jejich širokého vymezení. Zbylé kategorie jsou určeny specifitěji. V počtu úseků předčí obě tyto formy podzemních toků kategorie *propustků*, avšak vzhledem k jejich průměrné délce pouze 11 m, tvoří pouze necelých 5 % délky všech úseků podzemních vodních toků.

Počty i celková délka úseků ve zbývajících kategoriích je oproti výše uvedeným zanedbatelná. Nízké hodnoty jsou důsledkem úzkého vymezení těchto kategorií a též specifiky území Česka, a to zejména v případě *přírodních podzemních vodních toků*. Z hodnot relativního zastoupení kategorie *ostatní* v tabulce 6 vpravo, lze vyčíst, že se podařilo určit účel u více než 94 % všech úseků, které byly součástí analýzy. V případě pohledu na délky úseků v jednotlivých kategoriích se podařilo zařadit téměř 98 % délky všech úseků.

5 Metodika

V této kapitole bude popsáno praktické zjištění polohové přesnosti podzemních vodních toků v ZABAGED ve vybraných lokalitách. Postupně budou představena vybraná testovací území, referenční datové sady, a nakonec samotný postup vyhodnocování přesnosti.

5.1 Lokality

Pro výběr testovacích území bylo určeno několik kritérií. První podmínkou je relativně vysoké množství podzemních vodních toků v dané oblasti. Druhým kritériem je dostupnost přesnějších dat o průběhu podzemních vodních toků z nezávislých databází. Poslední podmínkou je zastoupení různých typů podzemních vodních toků ve vybraných oblastech, tak jak jsou popsány v předchozí kapitole.

Podle těchto kritérií byla vybrána dvě testovací území. První oblast je typická výskytem přírodních podzemních vodních toků, jejichž průběhy jsou známy díky četným speleologickým průzkumům. Druhá oblast je naopak bohatá na výskyt umělých podzemních vodních toků, jejichž průběhy pochází z výkresů územních a technických plánů.

5.1.1 Moravský kras

První územím je oblast Moravského krasu. Jedná se o nejrozsáhlejší a nejvíce zkrasovělé území Česka. Krasová oblast zaujímá pruh devonských vápenců severně od Brna. Většina vod, která přitéká z nekrasové části Dražanské vrchoviny, mizí na hranicích vápenců v propadáních do podzemí, kde během dlouhého geologického vývoje vytvořila složité jeskynní komplexy. Severní část je odvodňována říčkou Punkvou a jejími zdrojnicemi Bílou vodou a Sloupským potokem. Tyto vodní toky zde vytvořily systém Amatérské jeskyně, který (i s přilehlými jeskyněmi) měří téměř 35 km. Ve střední části Moravského krasu je hlavním jeskynním komplexem Rudické propadání – Býčí skála, které bylo vytvořeno podzemním tokem Jedovnického potoka (AOPK, 2018a). Pro konkrétní testování byly vybrány již zmíněné podzemní úseky Bílé vody, Sloupského potoka, říčky Punkvy a Jedovnického potoka. Tyto úseky byly zvoleny z důvodu jejich dobře zmapovaného průběhu.

5.1.2 Praha

Druhou testovací oblastí je území hlavního města Prahy. Jedná se o největší město Česka. Jeho katastrální výměra dosahuje téměř 500 km². Centrum Prahy se rozkládá v údolí Vltavy a jejích přítoků. Jejich erozní činnost vymodelovala členitý reliéf. Právě zmíněné

přítoky Vltavy musely být z velké části zatrubněny nebo zakryty, aby nenarušovaly rozrůstající se zástavbu. K nejdelším úsekům patří podzemní části Motolského potoka a Brusnice.

5.2 Data

V této části budou představeny použité zdroje referenčních dat a metodika jejich zpracování pro využití při měření polohové přesnosti podzemních vodních toků v ZABAGED. Pro kontrolu jejich polohové přesnosti bylo využito dat z JESO a dat poskytovaných Institutem plánování a rozvoje hlavního města Prahy (IPR). Pro zpracování dat bylo využito softwaru ArcGIS for Desktop.

5.2.1 JESO

Jako referenční zdroj průběhu podzemních vodních toků v oblasti Moravského krasu byla zvolena již zmíněná databáze JESO (AOPK, 2018b) a služba jejich ArcGIS serveru poskytovaná Správou jeskyní ČR (Správa jeskyní ČR, 2018). V rámci služby ArcGIS server je poskytováno pouze minimum veřejných dat, avšak jednou z volně dostupných vrstev je průběh podzemních úseků Jedovnického potoka. Pomocí softwaru ArcMap lze tuto vrstvu jednoduše stáhnout a uložit ve formátu shapefile. Pro získání průběhu podzemních úseků řeky Punkvy, Bílé vody a Sloupského potoka bylo využito půdorysných map jeskyní, které byly poskytnuty AOPK ČR pro účely této práce. Kromě půdorysu jeskyní jsou na těchto mapách zakresleny i průběhy zkoumaných vodních toků (příloha 3). Avšak tyto mapy nepokrývají celé průběhy podzemních úseků. Pro získání zbylých částí průběhu bylo využito prohlížeče JESOVIEW (AOPK, 2018c). Tento mapový prohlížeč slouží pro zobrazování objektů zanesených v databázi JESO. Veřejně dostupná je však jen část údajů, která je však dostačující pro účely této práce. V prohlížeči lze vybrat data z několika vrstev. Pro získání průběhu referenčních úseků bylo využito vrstvy obsahující půdorysy jeskyně, avšak bez zakreslení podzemních vodních toků (AOPK, 2018c). Pomocí mapového prohlížeče lze části mapy exportovat do formátu png. Tyto části mapy poté bylo nutné georeferencovat. Vzhledem k faktu, že mapový prohlížeč zobrazuje data v souřadnicovém systému S-JTSK, nebylo georeferencování příliš složité. Pro co nejpřesnější vektorizaci zbývajících úseků bylo využito informací o průběhu zkoumaných toků z webových stránek Speleologické skupiny pro výzkum Plániv (SSPVP), (SSPVP, 2018). Při samotné vektorizaci byly linie vedeny středem půdorysného zakreslení jeskyní podle průběhu, který je popsán na stránkách SSPVP. Postup získání průběhu podzemních

úseků z georeferencovaných podkladů není zcela ideální, avšak pro účely této práce je dostačující. Nejvhodnějším řešením by bylo nahrazení georeferencovaných map vektorovými daty, která však nejsou veřejně dostupná. Celková délka vybraných referenčních úseků podzemních vodních toků v Moravském krasu dosahuje přibližně 16 km.

5.2.2 IPR

Pro získání co nejpřesnějšího průběhu podzemních vodních toků na území města Prahy bylo využito dat poskytovaných IPR. V rámci poskytování dat pro studijní účely, byla pro tuto práci poskytnuta vrstva zatrubněných vodních toků ve formátu shapefile. Úseky podzemních vodních toků v této vrstvě se však ve všech případech přímo neshodují s úseky zanesenými v ZABAGED. Některé úseky z této vrstvy nejsou zaznamenány v ZABAGED, a naopak některé úseky podzemních vodních toků ze ZABAGED nejsou obsaženy v této vrstvě. Příkladem rozdílného vymezení je Radlický potok, který se vyskytuje v datech od IPR, ale ne v ZABAGED. Obráceným případem jsou podzemní úseky Štěrboholského potoka. Z tohoto důvodu bylo nejdříve nutné vybrat pouze úseky obsažené jak v referenční vrstvě od IPR, tak v ZABAGED. Celkem bylo zvoleno 92 úseků s délkou od 12 m do 4264 m a souhrnné délce přes 29 km.

5.3 Metodika měření

Pro stanovení polohové přesnosti byla použita metoda jednoduchého bufferu, která byla popsána v kapitole 3. V této metodě jsou vytvářeny buffery okolo kontrolních objektů pocházejících z referenčních databází a následně jsou hledány průsečíky těchto bufferů s kontrolovanými objekty. Důvodem volby této metody je podrobnost informací, kterou tato metoda udává. Kromě informací o procentuálním zastoupení kontrolované linie v určité vzdálenosti od referenční, lze snadno získat údaje i o výskytu kontrolované linie nalevo či napravo od referenční linie. Pomocí této metody lze též vypočítat hodnotu polohové odchylky i pro konkrétní úsek. Tato metoda je vhodná i pro zpracování velkého množství dat.

Na začátku analýzy polohové přesnosti byly vytvořeny dvě liniové vrstvy. Do první vrstvy (referenční) byly nahrány všechny úseky pocházejících z dat JESO a IPR. Do druhé vrstvy byly nahrány vybrané úseky podzemních vodních toků v ZABAGED. Pro usnadnění výpočtu byl napsán skript v jazyce Python (příloha 2). Účelem skriptu je zautomatizování

opakujících se operací. Podobného výsledku lze dosáhnout i v aplikaci ModelBuilder, která je součástí produktu ArcGIS for Desktop.

V prvním kroku byl vytvořen pomocí funkce *Buffer* pruh okolo každé linie obsažené v kontrolní vrstvě. Pro možnost zhodnocení, zda se kontrolovaná linie nacházela napravo či nalevo od kontrolní, byly vytvářeny buffery zvlášť pro pravou a levou stranu linie. Pro tento krok bylo nutné, aby úseky z kontrolní vrstvy byly vytvořeny vždy ve směru toku. Z důvodu, že začátky úseků v obou vrstvách nebyly ve všech případech totožné, bylo zvoleno zakončení typu *ROUND*, které vytvořilo půlkružnici okolo obou konců úseku.

V následujícím kroku byly hledány průniky vytvořených bufferů s úseky obsažených v kontrolované vrstvě. K tomuto kroku bylo využito funkce *Intersect*. Výsledkem této operace byla nová vrstva obsahující úseky, které se nacházely v jakémkoliv z vytvořených bufferů. Aby nedošlo ke zkreslení výsledků, bylo nutné z této vrstvy vybrat pouze úseky, které se nacházely v bufferech okolo odpovídajícího úseku. Tento problém mohl nastat při soutoku dvou podzemních úseků, kde došlo k průniku linie představující přítok a bufferu vytvořeného okolo úseku, do kterého se vlévá (obr. 28). Z důvodu vyhledání odpovídajících si úseků byl každý úsek určen jedinečným identifikátorem.

Pro snadnější výpočty byly v následujícím kroku pomocí funkce *Dissolve* spojeny všechny úseky nacházející se v jednostranném bufferu okolo stejnojmenného úseku. Následně byla spočítána jejich délka pomocí funkce *Add Geometry Attributes*. Z této hodnoty bylo spočítáno procentuální zastoupení kontrolovaného toku v jednostranném bufferu o dané šířce.

Celý tento sled kroků byl opakován a při každém opakování byla zvýšena šířka bufferu. Pro účely této práce byla nastavena šířka prvního jednostranného bufferu na 5 m. V každém následujícím opakování byla hodnota zvýšena o 5 m až do celkové šířky 250 m. Tato hodnota byla nastavena tak, aby pokryla více než 90 % délky všech kontrolovaných linií.

Vytvořené buffery lze též využít pro vypočítání polohových odchylek jednotlivých úseků. Pro výpočet velikosti polohové odchylky pro konkrétní úsek bylo nutné, aby kontrolovaný úsek byl kompletně obsažen ve vytvořeném bufferu. Z tohoto důvodu byl proveden ještě jeden cyklus tvorby bufferů, který vytvořil sérii obalových zón okolo úseků, které nebyly obsaženy kompletně v bufferu se šířkou 250 m. Šířka prvního jednostranného bufferu v tomto cyklu byla nastavena na hodnotu 255 a byla postupně

navyšována o 20 m při každém opakování až do hodnoty 895 m. V bufferech o této šířce jsou již obsaženy všechny kontrolované úseky.

Hodnota polohové odchylky byla vypočítána jako vážený průměr. Váhu pro šířky bufferů představovala délka úseku obsažená v bufferu dané šířky, od které byla odečtena délka úseku v bufferu, vytvořeného v předchozím kroku. Výpočet velikosti polohové odchylky tímto způsobem není zcela přesný, avšak pro účely této práce je zcela dostatečný. Pro přesnější výsledky by bylo nutné zmenšit šířku kroku při tvorbě bufferu. Z definice výpočtu odchylky též plyne, že reálná polohová chyba je vždy menší než chyba vypočítaná tímto způsobem.

Výsledky této metody byly zpracovány v programu Microsoft Office Excel, kam byly exportovány atributové tabulky výsledných vrstev.

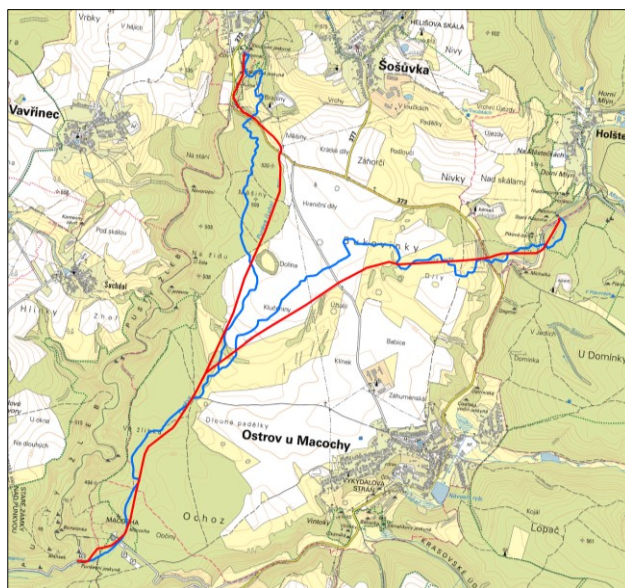


Obrázek 28: Soutok podzemních vodních toků
modře: průběh toků IPR, červeně: průběh toků ZABAGED, zeleně: buffer
žlutě: problematický úsek ležící v bufferech dvou úseků
zdroj: vlastní zpracování

6 Výsledky měření polohových odchylek

V této kapitole budou popsány výsledky analýzy polohové přesnosti podzemních vodních toků v ZABAGED ve vybraných testovacích územích. Před shrnutím výsledků je nutné zdůraznit, že průběhy toků v referenční vrstvě absolutně neodpovídají průběhu toků v realitě. Průběhy toků v referenční vrstvě by měly být pouze přesnější než v případě kontrolované vrstvy.

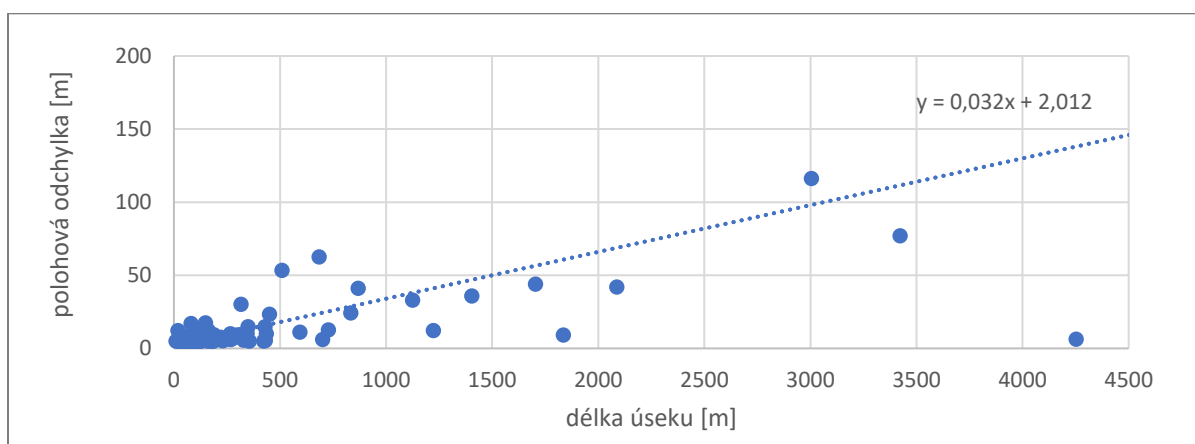
První závěry o rozdílnosti průběhu toků v referenční a kontrolované vrstvě lze vyvodit z jejich délek. Souhrnná délka všech 96 úseků podzemních vodních toků v referenční vrstvě dosahuje 45,6 km, zatímco délka úseků v kontrolované vrstvě pouze 41 km. Z toho plyne, že průběhy podzemních vodních toků jsou v ZABAGED více generalizovány. Velmi dobře je tento fakt vidět na příkladu Punkvy, Sloupského potoka a Bílé vody na obrázku 29.



Obrázek 29: Podzemní úseky Punkvy, Sloupského potoka a Bílé vody
červeně: kontrolované vrstva, modře: referenční vrstva
Zdroj: ČÚZK, 2010, vlastní zpracování

Pro přehlednější charakteristiku polohové přesnosti byl vytvořen graf kumulované pravděpodobnosti výskytu kontrolované linie od referenční neboli graf procentuálního zastoupení kontrolované vrstvy v určité vzdálenosti od referenční (graf 2). Čím příkřeji křivka na počátku stoupá, tím je polohová odchylka od dat ZABAGED menší. Křivka představující všechny úseky v kontrolované vrstvě má tvar logaritmické křivky. Z toho plyne, že relativně velká část úseků kontrolované vrstvy je zastoupena v poměrně malé vzdálenosti od úseků v referenční. Konkrétně 50 % délek všech

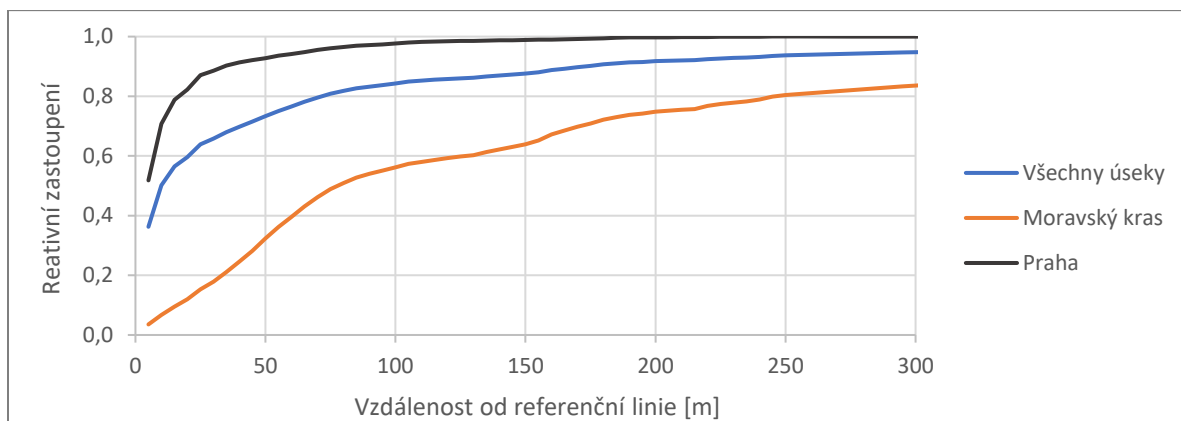
kontrolovaných úseků leží v průměru do 10 m od referenčních úseků. Do vzdálenosti 50 m je to poté přibližně 73 % a hladiny 90 % je dosaženo ve vzdálenosti 175 m. Pomocí výpočtu polohové odchylky pro jednotlivé úseky lze vypočítat i celkovou polohovou odchylku všech úseků, která v tomto případě dosahuje hodnoty 66 m. K ověření souvislosti mezi délkou všech úseků a hodnotou jejich polohové odchylky bylo využito Pearsonova korelačního koeficientu. Výsledná hodnota 0,72 potvrzuje silnou závislost těchto dvou proměnných. Pro přehlednost byl vytvořen graf 1, znázorňující tuto závislost. Avšak při zaměření pouze na umělé úseky podzemních toků nebyla souvislost délky a hodnoty polohové odchylky již přímo prokazatelná.



Graf 1: Souvislost délky úseku s hodnotou polohové odchylky

Zdroj: vlastní zpracování

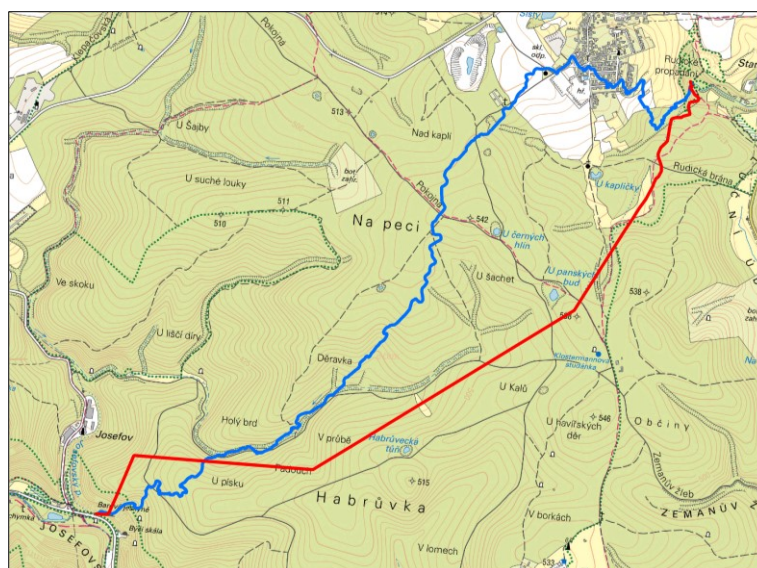
Díky tomu, že obalové zóny byly tvořeny zvlášť pro pravou a levou stranu, můžeme spočítat procentuální zastoupení kontrolovaných úseků napravo a nalevo od referenčních úseků. V námi vybraných testovacích územích leží 47 % délky všech úseků nalevo a 53 % napravo od referenčních úseků. Tento velmi vyrovnaný poměr by při velkém množství dat svědčil o absenci systematické chyby, která by se projevila posunem hodnocené vrstvy na jednu stranu od referenční ve směru toků. Při počtu 96 úseků je tento poměr spíše náhodný, jak bude ukázáno při bližším pohledu na obě testovaná území. Vyrovnaný poměr relativního zastoupení kontrolovaných úseků napravo či nalevo od referenčních však nutně neznamená stejnou polohovou přesnost na obou stranách. Z výsledných hodnot lze vyčíst, že úseky napravo od referenční dosahují menší polohové odchylky než úseky nalevo. Tento rozdíl je způsoben zejména velkou polohovou odchylkou Jedovnického potoka, kde se kontrolovaná linie nachází z velké části nalevo od referenční (obr. 30).



Graf 2: Funkce kumulované pravděpodobnosti

Zdroj: vlastní zpracování

Z grafu 1 lze též potvrdit náš předpoklad, že umělé podzemní vodní toky (Praha), dosahují větší polohové přesnosti než přírodní vodní toky (Moravský kras). Křivka kumulované pravděpodobnosti pro úseky na území Prahy roste velice rychle, kdy do vzdálenosti 15 m leží již téměř 80 % délky všech úseků. Naproti tomu do této vzdálenosti leží v Moravském krasu pouze 9 % délky všech úseků. Hodnota 90 % je v případě Prahy dosažena již ve vzdálenosti 35 m, kdežto v případě přírodních podzemních vodních toků je to až ve vzdálenosti 475 m od referenční linie. O velkém rozdílu mezi umělými a přírodními toky svědčí i jejich celkové polohové odchylky, kdy celková polohová odchylka v Praze dosahuje pouze 17 m, naproti tomu v Moravském krasu dosahuje odchylka hodnoty 170 m.

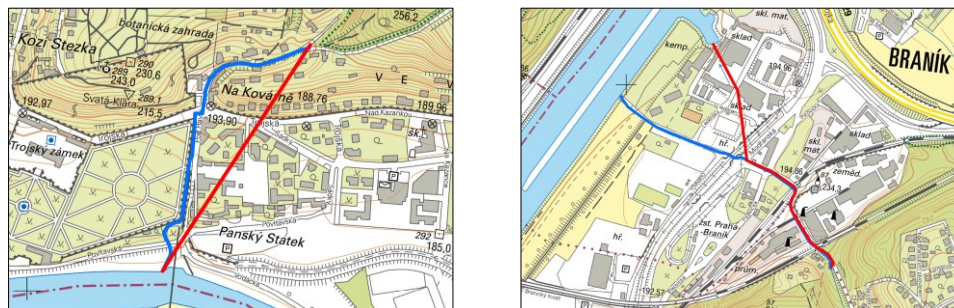


Obrázek 30: Průběh Jedovnického potoka

modře: referenční vrstva, červeně: kontrolovaná vrstva

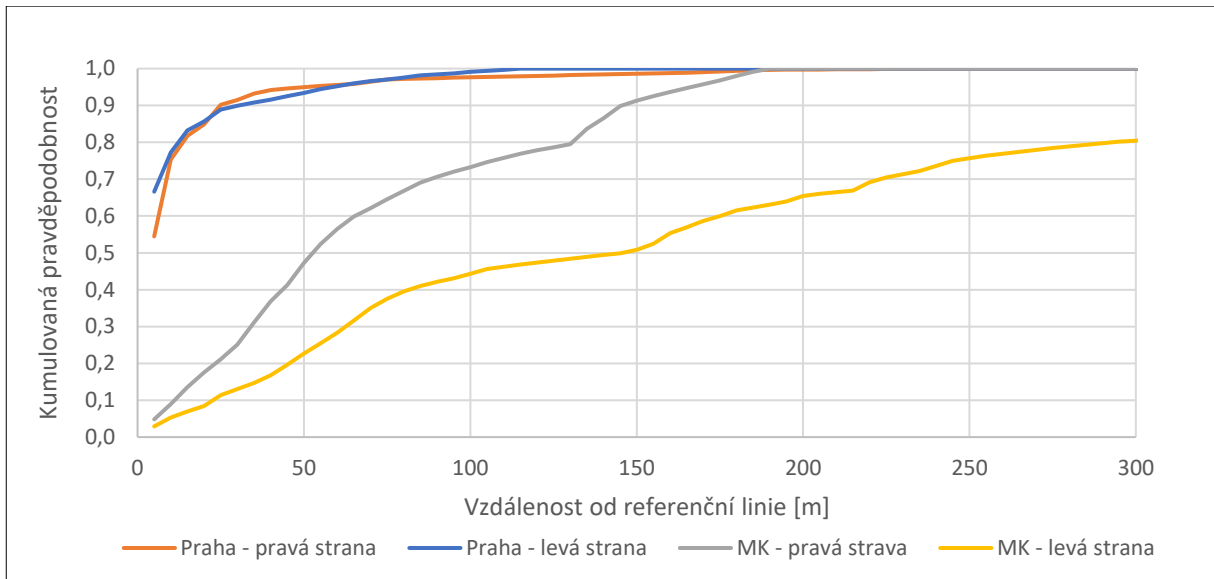
Zdroj: ČÚZK, 2010, vlastní zpracování

V případě podzemních vodních toků na území Prahy není poměr mezi délkou úseků napravo a nalevo od referenční linie již tak vyrovnaný. Napravo úseků v referenční vrstvě je zde 63 % délky úseků a nalevo 37 %. Důvodem tohoto rozdílu není systematická chyba, ale pouze rozdílné vymezení několika úseků v ZABAGED (obr. 31). Velikosti polohových odchylek jsou však na obou stranách přibližně stejné (graf 3). Více než polovina všech úseků má hodnotu polohové odchylky menší než 6 m. Jedná se však ve většině o kratší úseky. Velmi dobře je však v ZABAGED zanesen průběh nejdelšího úseku Motolského potoka, u kterého přesahuje hodnota polohové odchylky jen těsně 6 m. Naopak největší naměřenou hodnotu mají podzemní úseky Haltýřského a Branického potoka. V případě Haltýřského potoka je velká odchylka způsobena velmi generalizovaným průběhem úseku v ZABAGED. Velká odchylka Branického potoka je zapříčiněna odlišným vymezením druhé poloviny úseku (obr. 31). Přehled polohových odchylek 30 nejdelších úseků je zpracován v příloze 1.



Obrázek 31: Průběhy podzemních vodních toků
vlevo: Haltýřský potok, vpravo: Branický potok
modře: referenční vrstva, červeně: kontrolovaná vrstva
Zdroj: ČÚZK, 2010, vlastní zpracování

Poměr relativního zastoupení kontrolních úseků napravo a nalevo od referenčních v testovacím území Moravského krasu není vyrovnaný. Napravo je zde pouze 33 % délky kontrolovaných úseků. Důvodem nevyrovnanosti je již zmíněný Jedovnický potok (obr. 29). Ze stejného důvodu je i hodnota polohové odchylky na pravé straně menší než na levé (graf 3). Úsekem s nejmenší polohovou chybou je Punkva, u které polohová odchylka dosahuje přibližně 40 m. Naopak úsekem s největší polohovou odchylkou je již několikrát zmíněný Jedovnický potok.



Graf 3: Hodnoty kumulované pravděpodobnosti pro obě strany zvlášť
Zdroj: vlastní zpracování

7 Diskuze

Náplní této kapitoly je shrnutí jednotlivých cílů práce a jejich diskuze. První část práce byla věnovaná podrobné charakteristice datové sady ZABAGED a rešerši zahraničních topografických databází. Z rešerše topografických databází vyplývá velice rozdílný přístup k reprezentaci povrchových i podzemních vodních toků. Společným rysem všech vybraných databází je dělení vodního toku podle jeho vydatnosti na stálé a občasné. Podle způsobu dalšího dělení vodních toků lze rozdělit vybrané topografické databáze do dvou skupin. Vodní toky v první skupině jsou dále děleny podle jejich účelu. Do této skupiny náleží topografické databáze Kanady, Nového Zélandu a OSM. V případě topografických databází Česka, Slovenska a Německa nejsou vodní toky podle účelu dále děleny. Odlišný je i přístup k reprezentaci podzemních vodních toků. Nejvíce typů podzemních vodních toků rozeznává německá databáze ATKIS, naopak v případě Nového Zélandu a Kanady nejsou podzemní vodní toky nijak řešeny. Za nejúčelněji vytvořenou strukturu považuji strukturu vodních toků v databázi OSM, která dělí vodní toky podle účelu a pouze k nim přidává informaci, zda jsou na povrchu či pod ním. V praxi je však tento způsob dělení dodržen jen u některých úseků podzemních vodních toků v databázi OSM. Databázi ZABAGED lze z hlediska reprezentace podzemních vodních toků hodnotit převážně kladně, neboť jsou v ní zaneseny všechny podzemní úseky. Uchovávání podzemních vodních toků v databázi je důležité pro udržení celistvosti hydrografické sítě, a tím zachování databázové integrity. Avšak jak již bylo zmíněno, ZABAGED podzemní vodní toky dále nerozděluje. Možné dělení podzemních vodních toků bylo představeno v kapitole 4. Před rozšířením struktury vedení podzemních vodních toků v ZABAGED, by však bylo vhodné rozšířit i strukturu povrchových vodních toků. Do rozšíření struktury vodních toků by bylo vhodné zapracovat rozdělení na přírodní a umělé toky, které vychází z iniciativy INSPIRE, kterou jsme se jako Česká republika zavázali přijmout. Zavedení tohoto rozdělení by však nebylo jednoduché. Jeho problematika byla diskutována již v kapitole 2.

Součástí této části práce byla i rešerše zobrazování podzemních vodních toků na topografických mapách středních a velkých měřítek. Mapy podle zobrazování podzemních vodních toků lze rozdělit do tří skupin. První možností je znázorňování všech podzemních vodních toků, jako v případě ZM 10. Druhou možností je zakreslení jen vybraných úseků a poslední možností je vynechání všech úseků podzemních vodních toků. Tyto možnosti vychází ve většině ze způsobu reprezentací podzemních vodních toků

v topografických databázích, na které navazují. Otázkou zůstává, zda je vhodné a účelné zobrazovat všechny úseky podzemních vodních toků nebo jenom vybrané, neboť zobrazování podzemních vodních toků v zastavěných oblastech nemusí být zcela přehledné, a naopak znázorňování průběhů přírodních vodních toků, které jsou častokrát daleko od reálného místa průběhu též není úplně správné. Avšak vzhledem k tomu, že jedním z účelů zkoumaných topografických map může být zobrazování objektů zanesených v databázích, měly by být v mapách znázorněny všechny úseky podzemních vodních toků, které jsou zaneseny v databázi. Možnost zobrazování pouze vybraných úseků je poté otázka spíše odvozených topografických map.

V následující části bylo představeno pět základních metod porovnávání průběhu dvou linií. Cílem bylo představení různých přístupů měření a vyhodnocování polohových odchylek linií pro použití v geoinformačních systémech. Na základě této rešerše byla vybrána metoda pro vlastní hodnocení polohové přesnosti podzemních toků v ZABAGED. Metoda jednoduchého bufferu byla vybrána z důvodu způsobu, kterým popisuje odchylky dvou zkoumaných linií a zároveň nebyla příliš složitá na implementaci. V rámci dalších výzkumů by bylo zajímavé použít více metod a porovnat jejich výsledky, neboť každá metoda přistupuje k rozdílnému vymezení průběhu zkoumaných linií trochu z jiného pohledu.

Prvním cílem praktické části práce byl návrh typologie podzemních vodních toků. Cílem návrhu typologie bylo představit různé podoby podzemních úseků vodních toků na území Česka. Vytvoření typologie bylo důležité i z hlediska výběru testovacích území pro měření polohové přesnosti podzemních vodních toků v ZABAGED. Základem navržené typologie bylo rozdělení toků na přírodní a umělé. Toto základní dělení vychází z předpokladu, že umělé podzemní vodní toky budou vykazovat vyšší polohovou přesnost než přírodní podzemní vodní toky. Na navrženou typologii navázala analýza relativního zastoupení jednotlivých typů podzemních vodních toků. Hlavním výsledkem analýzy je dominance úseků v zástavbě a melioračních odvodňovacích soustav. Spolu tyto kategorie tvoří více než 90 % všech úseků podzemních toků. Vysoké procento podzemních vodních toků v zástavbě bylo očekáváno, avšak téměř stejné zastoupení úseků sloužících k odvodnění zemědělských ploch patří rozhodně mezi překvapivá zjištění analýzy. Takto vysoké zastoupení obou kategorií je dáno nejširším vymezením těchto typů. Zbylé kategorie podzemních vodních toků jsou charakterizovány mnohem specifičtěji. V rámci celé analýzy se podařilo přiřadit typ téměř 95 % všech úseků podzemních vodních toků.

Pro účely této práce, byly jednotlivé kategorie podzemních vodních toků při analýze vymezeny jen jedním způsobem. Pro podrobnější zkoumání by bylo vhodné pokusit využít více postupů, jak zařadit úseky do jednotlivých kategorií. Například použít jiné objekty ze ZABAGED pro jejich identifikaci nebo změnit hodnoty vzdáleností při hledání úseků podzemních vodních toků. Pomocí porovnání více postupů lze následně odvodit přesnější hodnoty relativního zastoupení jednotlivých kategorií. Z hodnot relativního zastoupení by poté mohly být zpětně upraveny navržené kategorie tak, aby se lépe vyrovnaly počty úseků v nich zastoupených. Výsledky těchto analýz by též mohly být využity i pro tvorbu návrhu rozšíření struktury podzemních vodních toků v ZABAGED. Návrh klasifikace podzemních vodních toků v této práci by však bylo nutné zjednodušit, neboť je pro účely ZABAGED příliš podrobný.

Vlastní testování polohové přesnosti podzemních vodních toků proběhlo ve dvou testovacích oblastech za použití metody jednoduchého bufferu, která byla popsána v rešeršní části práce. Pro podrobnější charakteristiky polohových odchylek byly vytvořeny buffery zvlášť napravo a nalevo od referenční linie. Cílem tohoto testování bylo zjistit přibližnou hodnotu polohové odchylky podzemních vodních toků v ZABAGED od referenčních úseků. Jako referenční data byly zvoleny průběhy podzemních vodních toků od IPR pro území hlavního města Prahy a data z JESO pro území Moravského krasu. V rámci měření polohové přesnosti byl jasně potvrzen předpoklad, že umělé podzemní vodní toky budou vykazovat vyšší míru přesnosti než přírodní podzemní toky. Velikost naměřené polohové odchylky byla v případě umělých podzemních toků téměř 10x menší než v případě přírodních podzemních toků. Z výsledků metody byly spočítány velikosti polohových odchylek i pro každý testovaný úsek zvlášť. Pomocí hodnot pro každý úsek byly identifikovány ty úseky, které mohly částečně zkreslit výsledky díky například rozdílnému vymezení počátků či konců. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, velikosti polohových odchylek nejsou díky zvolené metodě výpočtu zcela přesné a jsou mírně nadhodnocené. I přesto lze říct, že téměř všechny zkoumané umělé podzemní vodní toky lze zařadit do skupiny objektů s úrovní geometrické přesnosti C. Do této úrovně náleží objekty s hodnotou střední polohové chyby do 15 m. Více jak polovina úseků umělých podzemních vodních toků by dokonce náležela do úrovně B, kam spadají i téměř všechny povrchové vodní toky. V případě přírodních vodních toků lze očekávat postupné snížení hodnot polohových odchylek, neboť jak bylo ukázáno, již teď existují podklady s přesnějším průběhem toků a díky novým speleologickým objevům, jsou tyto podklady

ještě více zpřesňovány. V navazujících výzkumech by bylo vhodné se zaměřit na hodnocení polohové přesnosti i dalších typů podzemních vodních toků než jen úseků v zástavbě a přírodních vodních toků a na využití i dalších metod měření velikosti polohových odchylek. Pro tyto výzkumy by bylo nejdůležitější získání vhodných referenčních dat. Kromě dat z technických plánů, od správců sítí nebo jiných zdrojů v této práci zmíněných, se nabízí i možnost využití inerciálních navigačních přístrojů. Tyto přístroje jsou schopné zaznamenávat svou polohu bez závislosti na kontaktu s okolím. Mnohem méně složitou metodou je využití GNSS přístrojů a nepřímé usuzování průběhu toků, například z poloh poklopů kanálů navázaných na podzemních vodní toky. V závislosti na výsledcích těchto výzkumů by mohlo dojít ke změně úrovně geometrické přesnosti podzemních vodních toků v ZABAGED.

8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zpracování problematiky přírodních i umělých podzemních vodních toků z pohledu topografa a kartografa, se zaměřením zejména na hodnocení kvality reprezentace tohoto jevu v databázi ZABAGED.

První část práce byla věnována podrobnému seznámení s vlastnostmi datové sady ZABAGED, společně s rešerší dalších zahraničních topografických databází. V rámci této rešerše byly představeny různé přístupy k reprezentaci podzemních vodních toků v topografických databázích. Součástí této rešerše byla i ukázka zobrazování podzemních vodních toků na topografických mapách středních a velkých měřítek, které vycházejí ze zmíněných databází. V závěru této kapitoly byla představena iniciativa Evropské komise INSPIRE a její vztah ke struktuře dat podzemních vodních toků v ZABAGED.

Cílem následující kapitoly práce bylo představení základních metod pro porovnávání průběhu dvou linií pro použití v geoinformačních systémech. Celkem bylo představeno pět metod s rozdílným pohledem na hodnocení polohových odchylek dvou porovnaných linií. Z představených metod byla následně vybrána jedna pro vlastní testování polohové přesnosti podzemních vodních toků v ZABAGED.

První kapitola praktické části práce byla věnována představení návrhu typologie podzemních vodních toků. Cílem této části bylo zejména představení různých forem podzemních vodních toků na území Česka, spíše než návrh rozšíření struktury dat podzemních vodních toků v ZABAGED. Na návrh typologie navázala analýza relativního zastoupení jednotlivých typů podzemních vodních toků v ZABAGED. Výsledkem analýzy byla velká převaha zatrubněných či zakrytých úseků v zástavbě a překvapivě i melioračních odvodňovacích soustav, jejichž účelem je odvodnění zemědělských ploch.

Z návrhu a výsledků analýzy byly vybrány dvě pokusná území pro vlastní testování polohové přesnosti. Cílem bylo zhodnotit polohovou přesnost podzemních vodních toků v ZABAGED. Výsledky testování byl jasně potvrzen předpoklad vyšší polohové odchylky u přírodních podzemních vodních toků než u umělých úseků. Vypracováním analýzy velikosti polohových odchylek podzemních vodních toků byl splněn i poslední cíl stanovený v úvodu této bakalářské práce.

V kapitole diskuze byly poté shrnuty a diskutovány výsledky celé práce. V rámci diskuze byly nastíněny možné cíle dalších navazujících výzkumů a bylo diskutováno jejich možné využití v praxi.

Díky výsledkům této práce lze získat alespoň částečnou představu o polohové přesnosti podzemních vodních toků v ZABAGED. I přesto, že hodnoty polohových odchylek podzemních vodních toků dosahují velmi proměnných hodnot, je znalost jejich polohové přesnosti důležitá z hlediska rozšíření metadat o této konkrétní vrstvě dat. Podrobnější informace o datech mohou usnadnit výběr vhodných dat případným dalším uživatelům. Jedním z cílů ZABAGED je i využitelnost dat pro územní plánování. Z tohoto důvodu je nutné zvyšovat polohovou přesnost všech objektů v databázi včetně podzemních vodních toků.

V dalších letech je očekáváno postupné zvyšování jejich polohové přesnosti, zejména poté přírodních úseků, neboť jak bylo ukázáno této práce, již dnes existují data s přesnějším průběhem podzemních vodních toků. Důkazem postupného zvyšování polohové přesnosti jsou změny ve vymezení průběhu jednotlivých podzemních toků v ZABAGED, které byly pozorovány i během vypracovávání této práce.

Zdroje

- ABBAS, I., GRUSSENMEYER, P., HOTTIER, P. (1995): *Contrôle de la planimétrie d'une base de données vectorielle: une nouvelle méthode basée sur la distance de Hausdorff: la méthode du contrôle linéaire*. Bulletin SFPT, 137, 6–11.
- ADV (2008): *Dokumentace k modelování geoinformací úředního zeměměřictví*, http://geodat.ioer.info/fileadmin/download/Kataloge/ATKIS_3A_CZ.pdf (12. 3. 2018).
- ADV (2016a): *Signaturenkatalog ATKIS-SK10*, http://sg.geodatenzentrum.de/web_public/adv/sk/atkis/docAtkisSK10/SymbologyCatalog.html (12. 3. 2018).
- ADV (2016b): *Zeichenerklärung DTK10*, http://www.landesvermessung.sachsen.de/inhalt/produkte/karten/top/dtk10/grosszed_600.html (21. 3. 2018).
- ADV (2018a): *Amtliche Topographische Karten der Bundesrepublik Deutschland*, <http://mobile.adv-online.de/AdV-Produkte/Geotopographie/Amtliche-Topographische-Karten/> (12. 3. 2018).
- ADV (2018b): *Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem*, <http://www.adv-online.de/AdV-Produkte/Geotopographie/ATKIS/> (12. 3. 2018).
- ADV (2018c): *Digitales Basis-Landschaftsmodell*, <http://www.adv-online.de/AdV-Produkte/Geotopographie/DigitaleLandschaftsmodelle/Basis-DLM/> (12. 3. 2018).
- ADV (2018d): *Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens – ATKIS Katalogwerke*, <http://mobile.adv-online.de/AAA-Modell/Dokumente-der-GeoInfoDok/GeoInfoDok-7.0/> (19. 4. 2018).
- AOPK (2018a): *CHKO Moravský kras*, <http://www.ochranaprirody.cz> (17. 4. 2018).
- AOPK (2018d): *NPP Rudické propadání*, <http://www.ochranaprirody.cz/lokality/?idlokality=1185> (17. 4. 2018).
- ARIZA-LÓPEZ, F. J., MOZAS-CALVACHE, A. T. (2011): *New method for positional quality control in cartography based on lines. A comparative study of methodologies*. International Journal of Geographical Information Science, 25, 10, 1681–1695.
- ARIZA-LÓPEZ, F. J., MOZAS-CALVACHE, A. T. (2012): *Comparison of four line-based positional assessment methods by means of synthetic data*. GeoInformatica, 16, 2, 221–243.
- CENIA (2015): *INSPIRE*, <https://geoportal.gov.cz/web/guest/about-inspire> (11. 4. 2018).
- ČERNOHORSKÝ, J. (2013): *Dvacet let Zeměměřického úřadu*. Geodetický a kartografický obzor, 101, 7, 137–172.
- ČÚZK (2016): *ČÚZK – znakový klíč ZM 10*, <http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/znacky10.pdf> (21. 3. 2018).
- ČÚZK (2017): *Geonames – úvod*, [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(2cvnrndumvh2j22hnoxqz101a\)\)/default.aspx?mode=TextMeta&text=geonames_uvod&side=geonames&menu=26](http://geoportal.cuzk.cz/(S(2cvnrndumvh2j22hnoxqz101a))/default.aspx?mode=TextMeta&text=geonames_uvod&side=geonames&menu=26) (3. 3. 2018).
- ČÚZK (2018a): *Katalog objektů ZABAGED*, http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/ZABAGED_katalog/index.html (12. 3. 2018).

- ČÚZK (2018b): *Základní báze geografických dat České republiky – úvod*,
[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(2w4smmp1eiszvavmbtgpglk\)\)/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&head_tab=sekce-02-gp&menu=24](http://geoportal.cuzk.cz/(S(2w4smmp1eiszvavmbtgpglk))/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&head_tab=sekce-02-gp&menu=24) (3. 3. 2018).
- EUROPEAN COMMISSION (2014): *Data Specification on Hydrography – Technical Guidelines*,
<https://inspire.ec.europa.eu/Themes/116/2892> (11. 4. 2018).
- GOODCHILD, M., HUNTER, G. (1997): *A simple positional accuracy for linear feature*. International Journal of Geographical Information Science, 11, 3, 299–306.
- GOVERNMENT OF CANADA (2018): *Open government*, <https://open.canada.ca/en> (20. 3. 2018).
- HANGOUËT, J. F. (1995): *Computation of the Hausdorff distance between plane vector polylines*. XII International Symposium on Computer-Assisted Cartography, 1–10.
- HEO, J., KIM, J. W., PARK, J. S., SOHN, H.-G. (2008): *New Line Accuracy Assessment Methodology Using Nonlinear Least-Squares Estimation*. Journal of Surveying Engineering, 134, 1, 13–20.
- CHARBONNEAU, L., DONNER, J., FILION, G., PIERCE, N. (2014): *CanTopo map standards and specifications 1:50 000*. Geomatics Canada, Ottawa.
- ISO (2013): *ISO 19157 Geographic information – Data quality*,
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:19157:ed-1:v1:en> (4. 4. 2018).
- LANGAAS, S., TVEITE, H. (1999): *An accuracy assessment method for geographical line data sets based on buffering*. International Journal of Geographical Information Science, 13, 1, 27–47.
- LINZ (2018a): *Data Documentation Guide*,
<http://apps.linz.govt.nz/topo-data-dictionary/document/NZTopo-documentation-guide.pdf>
(12. 3. 2018).
- LINZ (2018c): *New Zealand Topographic Data Dictionary*,
<http://apps.linz.govt.nz/topo-data-dictionary/> (12. 3. 2018).
- LINZ (2018d): *NZTopo technical information*,
<https://www.linz.govt.nz/data/linz-data/topographic-data/nztopo-technical-information>
(12. 3. 2018).
- LINZ (2018e): *Topographic data*,
<https://www.linz.govt.nz/data/linz-data/topographic-data> (12. 3. 2018).
- MCMASTER, R. B. (1987): *The Geometric Properties of Numerical Generalization*. Geographical Analysis, 19, 4, 330–346.
- MUSTIÈRE, S., DEVOGELE, T. (2008): *Matching networks with different levels of detail*. GeoInformatica, 12, 4, 435–453.
- NEUBERT, M., ŠIDLICHOVSKÝ, P. (2011): *Homogenizace základních geografických dat na hranicích mezi Svobodným státem Sasko a Českou republikou*,
<http://geodat.ioer.info/index.php?id=15&L=1> (12. 3. 2018).
- NEUMANN, J. (1993): *Základní báze geografických dat České republiky*. Geodetický a kartografický obzor, 93, 5, 101–105.
- NRCAN (2014): *CanVec Feature Catalogue*,
ftp://ftp.geogratis.gc.ca/pub/nrcan_rncan/vector/canvec/archive/canvec+archive20151029/doc/CanVec+_en_feature_catalogue.pdf (15. 3. 2018).

- NRCAN (2016): *CanVec*,
https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/CanVec_en.pdf
(14. 3. 2018).
- NRCAN (2017): *CanVec - product specification*,
ftp://ftp.geogratis.gc.ca/pub/nrcan_rncan/vector/canvec/doc/CanVec_en_Specifications.pdf
(14. 3. 2018).
- OSMF (2012): *OpenStreetMap – blog*,
<https://blog.openstreetmap.org/2012/09/12/openstreetmap-data-license-is-odbl/>
(20. 3. 2018).
- OSMF (2016): *OSM – import DIBAVOD*,
https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Cs:Import_DIBAVOD (21. 3. 2018).
- OSMF (2017a): *OSM - carto*,
https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Standard_tile_layer (21. 3. 2018).
- OSMF (2017b): *OSM - map features*,
https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map_Features (21. 3. 2018).
- OSMF (2018b): *OpenStreetMap - about*, <https://www.openstreetmap.org/about> (20. 3. 2018).
- PERKAL, J. (1956): *On epsilon length*. Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences, 4, 399–403.
- PLISCHKE, V., UHLÍŘ, J. (1997): *Současný stav Základní báze geografických dat*.
Geodetický a kartografický obzor, 85, 8–9, 157–162.
- POLÁKOVÁ, T. (2014): *Znázorňování vodstva a souvisejících jevů ve státních mapových dílech*.
Bakalářská práce. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie PŘF UK, Praha.
- SSPVP (2018): *ZO 6–19 Plánivy*, <http://www.planivy.cz> (20. 4. 2018).
- ŠÍMA, J. (2016): *Základní báze geografických dat (ZABAGED) - dílo jedné generace českých zeměměřičů*.
Geodetický a kartografický obzor, 104, 4, 73–84.
- ŠTYSOVÁ, L. (2013): *Krasové jevy v topografických databázích a digitální kartografii*.
Bakalářská práce. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie PŘF UK, Praha.
- TURNER, B. J., SKIDMORE, A. K. (1992): *Map accuracy assessment using line intersect sampling*.
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 58, 10, 1453–1457.
- ÚGKK (2016): *Geodézia a kartografia*,
<http://www.skgeodesy.sk/sk/ugkk/geodezia-kartografia/> (12. 3. 2018).
- ÚGKK (2017a): *Katalóg tried objektov - KTO*,
http://www.skgeodesy.sk/files/slovensky/ugkk/geodezia-kartografia/zbgis/kto_zbgis_2013_4.pdf (12. 3. 2018).
- ÚGKK (2017b): *Katalóg tried objektov ZBGIS*,
<https://www.geoportal.sk/sk/udaje/udaje-zbgis/kto-zbgis/nova-web-stranka.html>
(12. 3. 2018).
- ÚGKK (2017c): *ZB GIS*,
<http://www.skgeodesy.sk/sk/ugkk/geodezia-kartografia/zb-gis/> (12. 3. 2018).
- VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY PRAHA (2003): *Meliorace: jejich poslání, význam a výsledky výzkumu*. Fontis, Praha.

Mapové a datové zdroje

- AOPK (2018b): *JESO*, <http://jeso.nature.cz/> (20. 4. 2018).
- AOPK (2018c): *JESOVIEW – Mapy jeskyní půdorys*,
<http://webgis.inmap.cz/jesoview/index.html> (20. 4. 2018).
- ČÚZK (2010): *Geoportál ČÚZK*, <http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/> (21. 3. 2018).
- GEOSN (2018): *Geoportal Sachsenatlas*,
<http://www.landesvermessung.sachsen.de/inhalt/produkte/online/geodatendienste.html>
(21. 3. 2018).
- LINZ (2018b): *LINZ data service*, <https://data.linz.govt.nz/> (21. 3. 2018).
- NRCAN (2018): *The Atlas of Canada – Toporama*,
<http://atlas.gc.ca/toporama/en/index.html> (21. 3. 2018).
- OSMF (2018a): *OpenStreetMap*, <https://www.openstreetmap.org/> (21. 3. 2018).
- SPRÁVA JESKYNÍ ČR (2018): *ArcGIS server Správy jeskyní ČR*,
<http://services7.arcgis.com/h9msdDWIb6Jkivr6/ArcGIS/rest/services> (5. 4. 2018).
- PŘIBIL, M. (2011a): *Mapa jeskyní Piková dáma a Spirálka*.
- PŘIBIL, M. (2011b): *Mapa jeskyně Třináctka*.
- PŘIBIL, M. (2011c): *Mapa Punkevních jeskyní*.
- PŘIBIL, M. (2011d): *Mapa Sloupsko-Šošůvských jeskyní*
- ÚAZK (2010): *Archivní mapy*,
<http://archivnimapy.cuzk.cz/uazk/pohledy/archiv.html> (21. 3. 2018).
- ÚGKK (2018): *Mapový klient ZBGIS*, <https://zbgis.skgeodesy.sk/mkzbgis/> (21. 3. 2018).
- VÚV TGM (2017): *DIBAVOD*, <http://www.dibavod.cz/index.php?id=27> (23. 4. 2018).

Seznam příloh

Příloha 1: Vybrané hodnoty kumulované pravděpodobnosti

Příloha 2: Python skript pro výpočet polohových odchylek dvou linií

Příloha 3: Mapy jeskyní Moravského krasu

Příloha 1: Vybrané hodnoty kumulované pravděpodobnosti

Název úseku	délka úseku [m]	vzdálenosti [m]										polohová odchylka [m]
		5	10	15	20	25	50	75	100	150	200	
Bílá voda	3422,91	0,04	0,08	0,12	0,15	0,21	0,43	0,64	0,72	0,78	1,00	77,0
Botič	700,89	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	6,0
Branický potok	684,57	0,54	0,57	0,58	0,59	0,60	0,64	0,67	0,72	0,80	0,90	62,5
Brusnice1	834,08	0,18	0,30	0,60	0,64	0,68	0,87	1,00	1,00	1,00	1,00	24,2
Brusnice2	868,19	0,15	0,19	0,23	0,30	0,37	0,64	0,93	1,00	1,00	1,00	41,0
Brusnice3	594,39	0,22	0,67	0,89	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	11,1
Haltýřský potok	510,19	0,10	0,14	0,17	0,20	0,28	0,51	0,72	0,92	1,00	1,00	53,4
Hostavický potok	298,05	0,22	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	9,1
Jedovnický potok	4672,82	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,13	0,21	0,27	0,37	0,42	331,4
Komořanský potok	451,03	0,13	0,39	0,42	0,54	0,64	0,92	1,00	1,00	1,00	1,00	23,3
Kopaninský potok	356,12	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,0
Kunratický potok	328,60	0,89	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,6
Lhotecký potok	1124,70	0,18	0,29	0,31	0,34	0,39	0,84	0,93	0,96	1,00	1,00	33,0
Libušský potok	1404,33	0,06	0,11	0,17	0,22	0,67	0,78	0,89	0,98	1,00	1,00	35,8
Malá Rokytka	435,54	0,36	0,65	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	10,0
Malá říčka	431,12	0,91	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,5
Měcholupský potok	728,30	0,38	0,57	0,77	0,83	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	12,5
Motolský potok 1	1836,08	0,42	0,80	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	9,2
Motolský potok 2	423,61	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,0
Motolský potok 3	4253,46	0,79	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	6,2
Punkva	2087,52	0,11	0,16	0,22	0,27	0,31	0,66	0,92	1,00	1,00	1,00	41,9
Rudolfova štola	1223,67	0,26	0,59	0,83	0,89	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	12,3
Řepský potok	344,56	0,42	0,54	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	10,2
Skalní potok	315,89	0,22	0,24	0,27	0,39	0,63	0,81	0,94	1,00	1,00	1,00	30,2
Slatinský potok 1	1705,33	0,27	0,58	0,63	0,66	0,68	0,72	0,76	0,81	0,90	1,00	44,0
Slatinský potok 2	349,87	0,24	0,38	0,55	0,87	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	14,8
Sloupský potok	3004,44	0,01	0,04	0,07	0,10	0,13	0,27	0,44	0,53	0,65	0,79	116,2
Větvený potok	429,32	0,58	0,71	0,73	0,76	0,79	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	14,9
Záběhlický potok	311,68	0,38	0,74	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	9,4
Prokopský potok	276,58	0,69	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	6,6
Všechny úseky	34131,27	0,28	0,42	0,49	0,52	0,57	0,68	0,77	0,81	0,85	0,90	78,2

Zdroj: vlastní zpracování