

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie (bakalářské studium)

Studijní obor: Geografie - kartografie



Renata HNYKOVÁ

**ANALÝZA POLOHOVÉ PŘESNOSTI LINÍ VODNÍCH
TOKŮ A ROZVODNIC Z GEOGRAFICKÝCH
DATABÁZÍ ČR**

**ANALYSIS OF ACCURACY OF STREAMS AND WATERSHED DIVIDES
CONTAINED IN THE GEOGRAPHIC DATABASES OF THE CZECH
REPUBLIC**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jakub JAROŠ

Praha 2013

Prohlášení

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

V Praze dne 19. 8. 2013

.....

Renata Hnyková

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Mgr. Jakubu Jarošovi za jeho věnovaný čas, cenné rady, připomínky a pomoc při zpracování. Dále potom děkuji Českému úřadu zeměměřickému a katastrálnímu za poskytnutá data. Díky také patří Ing. Kateřině Uhlířové za konzultaci a věnovaný čas. V neposlední řadě děkuji rodině za pomoc a podporu nejen při zpracování této práce, ale i v průběhu celého mého studia.

Analýza polohové přesnosti linií vodních toků a rozvodnic z geografických databází ČR

Abstrakt

Cílem práce je zhodnotit polohovou přesnost linií vodních toků a rozvodnic z geografických databází ČR. Data jsou porovnávána v několika geomorfologicky odlišných územích a je také zkoumán vliv výškové členitosti terénu na polohovou přesnost linií. V teoretické části práce jsou popsány metody vymezení linií vodních toků a rozvodnic a metody určené k porovnání polohové přesnosti linií. Dále je popsána metodika práce, která zahrnuje vymezení linií vodních toků a rozvodnic z DTM (digitální terénní model) pomocí nástroje ArcHydro a porovnání těchto linií s liniemi z dostupných databází. Data použitá k vytvoření DTM byla získána leteckým laserovým skenováním.

Klíčová slova: rozvodnice, vodní tok, polohová přesnost, DTM

Analysis of Accuracy of Streams and Watershed Divides Contained in the Geographic Databases of the Czech Republic

Abstract

The aim of this work is to evaluate positional accuracy of stream lines and watersheds in geographical databases of the Czech Republic. Data are compared in several geomorphologically different areas and the influence of terrain topography on positional accuracy of lines is also studied. The teoretical part of this work describes methods of stream lines and watersheds delimitation and methods designed for comparision of positional accuracy of lines. Furthermore, methodology of work involving stream lines and watershed delimitation in DTM (digital terrain model) by ArcHydro Tools and comparision of these lines with the lines in available databases is described. The data used for construction of DTM were obtained by Airborne Laser Scanning.

Key words: watershed, stream, position accuracy, DTM

OBSAH

Přehled použitých zkratk	6
Seznam obrázků	7
1 Úvod	8
2 Vymezení základních pojmů	9
3 Metody vyšetřování linií vodních toků a rozvodnic	11
3.1 Minulost	11
3.2 Současnost	12
3.2.1 D8	12
3.2.2 Multiple Flow	14
3.2.3 D-Infinity	15
4 Metody porovnání polohové přesnosti linií	16
4.1 Jednoduchý buffer	16
4.2 Dvojitý buffer	17
5 Vlastní výzkum	18
5.1 Data	18
5.1.1 DMR 4G	18
5.1.2 DIBAVOD	19
5.1.3 ČHMÚ	19
5.1.4 Popis lokalit	20
5.2 Metodika výzkumu	23
5.2.1 ArcHydro	24
5.2.2 Převod dat na rastr	24
5.2.3 Úprava vstupního DTM	25
5.2.4 Vymezení linií vodních toků a rozvodnic	26
5.2.5 Určení polohové přesnosti linií vodních toků a rozvodnic	27
6 Výsledky a diskuze	31
7 Závěr	39
Seznam zdrojů	40
Seznam příloh	42

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

BpV	Balt po vyrovnání
ČÚZK	Český úřad zeměměřičský katastrální
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
DMP	Digitální model povrchu
DMR	Digitální model reliéfu
DMÚ	Digitální model území
DSM	Digital Surface Model
DTM	Digital Terrain Model
ESRI	Environmental Systems Reseach Institute
SHP	Shapefile
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
TIN	Triangulated Irregular Network
VÚGTK	Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický
VÚV	Výzkumný ústav vodohospodářský
WGS 84	World Geodetic System 1984
ZABAGED	Základní báze geografických dat

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Postup při vymezení rozvodnic nad vrstevnicemi.....	12
Obr. 2 Jednotlivé kroky metody D8.....	14
Obr. 3 Názorná ukázka trojúhelníkových plošek používaných při metodě D-Infinity...	15
Obr. 4 Vymezení úseček uvnitř bufferu.....	17
Obr. 5 Dva různé způsoby vytváření bufferů.	28
Obr. 6 Ukázka editace vodních toků v lokalitách Maršov a Bor.....	30
Obr. 7 Linie rozvodnic vedené přes železnici.....	33
Obr. 8 Průběh rozvodnic v části území lokality Velemín.....	34
Obr. 9 Přerušení vodního toku v lokalitě Rožmitál.	35
Obr. 10 Rozvodnice v oblasti hlavního evropského rozvodí.....	36
Obr. 11 Rozdíl ve vymezení linií vodních toků v lokalitě Žandov.....	36
Obr. 12 Přerušení vodního toku v lokalitě Lužnice.	37
Obr. 13 Linie rozvodnic a vodních toků v části území lokality Říp.....	38

1 ÚVOD

Vodní toky a rozvodnice jsou základními hydrologickými prvky, které se využívají k mnoha analýzám. Slouží jako základ k získání dalších hydrologických dat, proto je důležité znát co nejpřesněji jejich polohu (ČHMÚ 2012). Nejjednodušší a i v dnešní době pravděpodobně nejpoužívanější způsob pro určení polohy rozvodnic je vymezení nad vrstevnicemi. Tato metoda je relativně dobře použitelná v oblastech s velkou výškovou členitostí, kde je snadné určit, kudy by měla rozvodnice v terénu probíhat. Složitější je to u rovinatých území, kde jsou pouze malé výškové rozdíly a je tudíž velmi složité určit průběh rozvodnice. Nepřesnosti v průběhu rozvodnice nad vrstevnicemi jsou také způsobeny nejasným průběhem terénu mezi liniemi vrstevnic, kartografických vyhlazením a generalizací linií a tím, že vrstevnice vznikají interpolací. Z těchto důvodů je vhodné hledat nové a přesnější metody vymezení těchto linií.

Základem pro přesné vymezení průběhu rozvodnic v terénu je znalost výškopisu. V dnešní době patří k nejmodernějším technologiím pro pořizování prostorových dat letecké laserové skenování (Uhlířová a Zbořil 2009). Výhodou těchto dat je, že zachycují i malé výškové rozdíly, které nejsou dle vrstevnic patrné, ale mají významný vliv na průběh rozvodnic.

Cílem práce bylo zjistit polohovou přesnost linií vodních toků a rozvodnic ze základních databází obsahující hydrologická data. Linie byly porovnávány s liniemi vygenerovanými nad DTM (digitální terénní model). V první části práce jsou představeny nejčastější metody, které se používají pro určování odtokových poměrů v povodí a také metody porovnání polohové přesnosti linií v prostředí geoinformačních systémů. V další části práce je podrobně popsána metodika, použitá data a charakteristika území, pro která proběhla analýza. V závěru práce je zhodnocení polohové přesnosti jednotlivých datových sad a jejich závislost na geomorfologických poměrech terénu.

2 VYMEZENÍ ZÁKLADNÍCH POJMŮ

Jak bylo předneseno v úvodu, tato práce se bude zabývat přesností linií vodních toků a rozvodnic. Proto je třeba si nejprve definovat základní hydrologické pojmy jako vodní tok, rozvodnice a povodí.

Vodní tok dle Demka (1987) vzniká při soustředění odtékající vody. Je to koryto s vodou, která odtéká z povodí, a to buď trvale, nebo po delší část roku. Vodní toky mohou být přirozené (bystřina, potok, řeka) nebo umělé (kanál, náhon). Určení polohy umělých vodních toků v krajině z DTM by bylo velmi obtížné, proto bude dále pracováno pouze s toky přirozenými.

Rozvodnice je pomyslná čára značící geografickou hranici mezi povodími a rozděluje odtok povrchové vody do sousedních povodí (Demek 1987). Existují dva základní druhy rozvodnic – orografická a hydrogeologická. Rozvodnice hydrogeologická je daná geologickým složením a průběhem nepropustných vrstev pod povrchem terénu. Z tohoto vyplývá, že jí z DTM nelze určit, a proto bude dále pracováno pouze s rozvodnicemi orografickými, které se vymezují podle tvaru reliéfu.

Posledním základním pojmem je povodí. Je to území vztahující se k určitému závěrovému profilu omezené rozvodnicí. Z této plochy má srážková voda vypadlá na kterékoli místo možnost stéci povrchově do říčního systému a protéci závěrovým profilem (Kemel a Kolář 1980).

Dále je také pracováno s DTM, proto je potřeba vymezit pojem terén a další související pojmy. Zkratka DTM je odvozena z angličtiny (digital terrain model) a jeho českým ekvivalentem je DMR (digitální model reliéfu). Doslovný překlad DTM se v češtině nepoužívá z důvodu odlišného chápání slova terén v české a anglické terminologii. Podle české definice je terén „část zemního povrchu (pevniny) tvořená terénním reliéfem pokrytým objekty jako např. porostem, vodstvem, komunikacemi, stavbami, technickými zařízeními“ (VÚGTK 2005-2013). V DTM je ovšem pracováno s částí zemského povrchu bez objektů, čemuž v češtině odpovídá definice pro terénní reliéf, který je vymezen jako „zemský povrch vytvořený přírodními silami nebo uměle bez objektů a jevů na něm, popř. pod ním a nad ním; je to souhrn terénních tvarů“ (VÚGTK 2005-2013). Definice DTM či DMR tedy zní „digitální reprezentace

zemského povrchu v paměti počítače složená z dat a interpolačního algoritmu, který umožňuje mj. odvozovat výšky mezilehlých bodů“ (VÚGTK 2005-2013). Digitální model pracující se zemským povrchem včetně objektů, které se na něm nacházejí, se nazývá DSM (digital surface model), jehož českou alternativou je DMP (digitální model povrchu).

3 METODY VYŠETŘOVÁNÍ LINIÍ VODNÍCH TOKŮ A ROZVODNIC

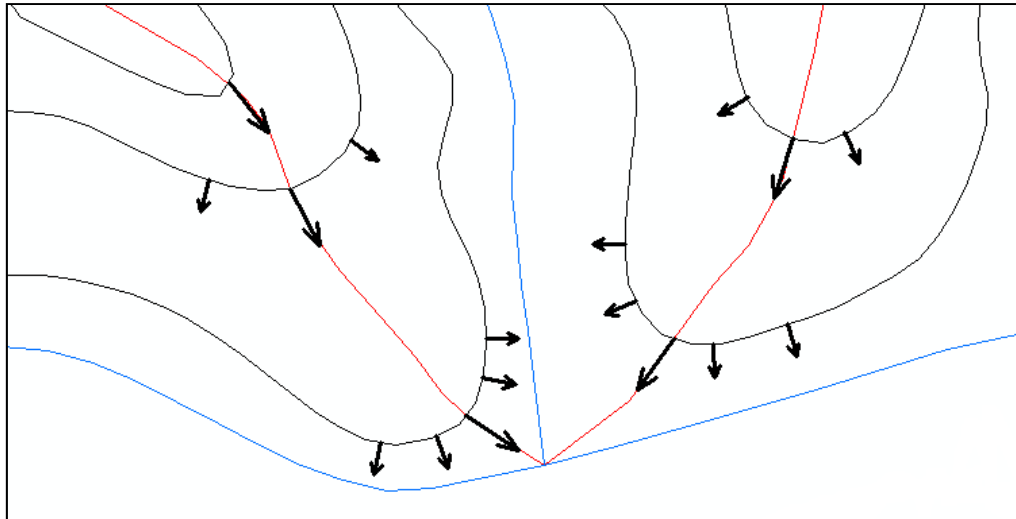
V předchozí kapitole byly vymezeny základní pojmy, s kterými bude dále pracováno. Nyní budou podrobněji popsány metody, kterými lze vyšetřovat linie vodních toků a rozvodnic. Dodnes jsou všechny využívány.

3.1 Minulost

Vodní toky se dříve odvozovaly ze starších topografických map a terénním průzkumem. V novějších dobách potom geodetickým měřením a určováním z ortofoto snímků. Poslední zmíněná metoda je i v současnosti jednou z nejpoužívanějších metod pro určení polohy vodních toků (Uhlířová a Nováková 2012).

Rozvodnice se určovaly z map znázorňující výškopis, nejčastěji tedy z map vrstevnicových nebo terénním průzkumem. Rozvodnice probíhá po obvodových nejvyšších místech povodí, úbočích, vrcholech, hřebenech a sedlech horstev tak, že odděluje sousedící povodí (Kemel a Kolář 1980). Její vymezení probíhá od závěrového profilu k nejvyšším místům povodí a je vždy kolmá na vrstevnice.

Od závěrového profilu je hledána nejbližší vrstevnice podle základního intervalu vrstevnic. Pro tuto vrstevnici jsou určeny normály v každém jejím bodě a je hledána taková normála, která směřuje do místa soutoku nebo ústí. Bodem, z kterého tato normála vychází, je následně vedena rozvodnice. Poté jsou vymezeny normály na další nejbližší vrstevnici směrem od soutoku a je hledán takový bod, z něhož vychází normála směrem k průsečíku předchozí vrstevnice s rozvodnicí. Postupně je vyšetřena každá vrstevnice až do nejvyšších míst povodí. Názorně je postup vymezení rozvodnic předveden na Obr. 1.



Obr. 1 Postup při vymezení rozvodnic nad vrstevnicemi. Modrou barvou jsou znázorněny vodní toky, červenou barvou rozvodnice a černou vrstevnice. Šipky znázorňují normály k vrstevnicím v daných bodech. (zpracování vlastní)

3.2 Současnost

V 80. letech se společně s nástupem výpočetní techniky objevila snaha vymyslet algoritmy pracující automaticky. Jeden z prvních představili v roce 1984 O'Callaghan a Mark a od této chvíle se vyvíjely stále nové a dokonalejší algoritmy pro výpočet odtokových poměrů z povodí. V této kapitole budou představeny ty nejběžněji používané.

Všechny algoritmy jsou založeny na určení největšího sklonu terénu vypočteného z DTM v rastrové podobě. K vypočtení největšího sklonu a následného směru odtoku je vždy využito všech osm okolních pixelů. Jednotlivé postupy se liší počtem pixelů, z kterých je sklon vypočítán, důležitostí jednotlivých pixelů a také tím, jak se vektor odtoku zachová, protože některé algoritmy dovolují bifurkaci toku (Endreny a Wood 2003).

3.2.1 D8

Nejstarší metodou pro určování odtokových poměrů z povodí je D8. Tuto metodu uvedli J.F. O'Callaghan a D. M. Mark ve svém článku z roku 1984. D8 je nejjednodušší z dále uvedených metod, proto je dodnes stále nejvíce používaná.

Využívá se především v oblasti geoinformačních technologií k určení odtokových poměrů v povodí (např. ArcGIS).

Algoritmus D8 pracuje v několika krocích, které budou postupně představeny. Prvním krokem je určení směru odtoku z pixelu. Odtok je veden ve směru největšího sklonu terénu, který se určuje podle výškové hodnoty okolních pixelů tak, že se hledá pixel s nejnižší výškovou hodnotou oproti řešenému pixelu. Důležité je si také uvědomit, že pixely sousedící diagonálně (dotýkají se pouze rohem) mají větší vzdálenost než pixely sousedící přímo (dotýkají se hranou), proto je třeba při určování směru největšího sklonu terénu vydělit jejich výšku velikostí úhlopříčky čtverce.

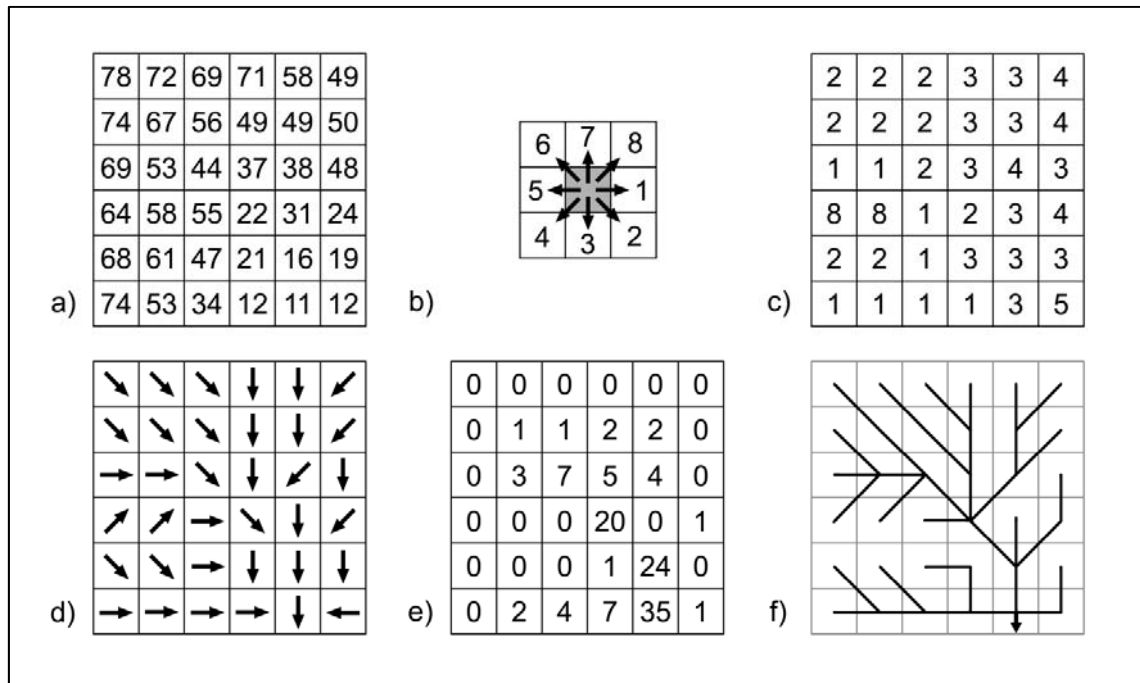
Jestliže již jsou zjištěny směry odtoku, následuje rozdělení pixelů do čtyř tříd (rozvodnice, průtočný pixel, soutok a bezodtokový pixel). Prvním typem pixelu je takový, který nemá žádný přítok (nesměruje do něho odtok z žádného okolního pixelu) a zároveň má určen směr odtoku. V tomto případě se jedná o pixel rozvodnice. Druhým typem pixelu je ten, který má právě jeden odtok i přítok. Takový pixel nazýváme průtočným pixelem. Třetí typ pixelu se označuje jako soutok a to v případě, že do pixelu směřuje více přítoků a má právě jeden odtok. Posledním případem je situace, kdy pixel nemá žádný odtok a jde tedy o bezodtokou oblast na DTM. Může se jednat o skutečnou bezodtokou oblast, kdy je tato oblast ponechána bez úpravy, ale může také jít o chybu v DTM a je třeba tuto chybu odstranit.

V oblasti je určen nejnižše položený pixel a z pixelů v jeho okolí je hledán ten, který má oproti řešenému pixelu nejmenší výškový rozdíl. Následně je jeho směrem veden tok. Od tohoto pixelu se pokračuje dále stejným způsobem až na hranici původní bezodtoké oblasti. V řešené oblasti sice nedojde ke změnám výšek pixelů, ale jen k určení směru odtoku, to ovšem k určení odtokových poměrů v povodí bohatě dostačuje.

Posledním krokem je vykreslení říční sítě. Každému pixelu je přiřazena hodnota podle počtu přítoků do samotného pixelu i počtu přítoků z předcházejících pixelů. Hodnoty pixelů se načítají kumulativně od rozvodnice. Pixely bez přítoku mají hodnotu 0. Pixel s přítokem z jednoho pixelu o hodnotě 0 má hodnotu 1, s přítokem ze dvou pixelů o hodnotě 0 má hodnotu 2. Protože se hodnoty načítají kumulativně, výsledná hodnota pixelu se dvěma přítoky, jeden z pixelu o hodnotě 1 a druhý z pixelu o hodnotě 2, bude 5 (hodnoty 1 a 2 z původních pixelů, plus dvakrát jeden přítok). Pro vodní tok je

potřeba stanovit minimální hodnotu, které musí pixel dosáhnout. Hustotu a přesnost říční sítě lze upravit zadáním výše této hodnoty (O'Callaghan a Mark 1984).

Postup při využití metody D8 si lze prohlédnout na Obr. 2



Obr. 2 Jednotlivé kroky metody D8. Obrázek a) znázorňuje výškové hodnoty pixelů, b) označení jednotlivých směrů odtoku čísly, c) a d) vymezení směru odtoku – c) určení číslem z předchozího kroku, d) naznačení směru odtoku pomocí šipek, e) počet přítoků do pixelu načtené kumulativně od rozvodnice, f) vymezení říční sítě. Zdroj: (Jaroš 2011)

3.2.2 Multiple Flow

Dalším algoritmem používaným pro určení odtokových poměrů v povodí je Multiple Flow. Poprvé jej prezentoval v roce 1991 P. Quinn a kolektiv. Při této metodě nedochází na rozdíl od jiných algoritmů k odtoku pouze do jednoho sousedního pixelu, ale do všech pixelů položených níže než je středový pixel, a to i přesto, že hned v sousedství se nachází pixel s mnohem nižší výškovou hodnotou. Tím vzniká problém s bifurkací toku, kdy tok nemá jen jeden směr odtoku, ale rozděluje se do několika koryt. Nepřesnost této metody se dá omezit úpravou algoritmu, kdy snížíme maximální počet směrů, kam může pokračovat odtok z pixelu (Quinn *et al.* 1991).

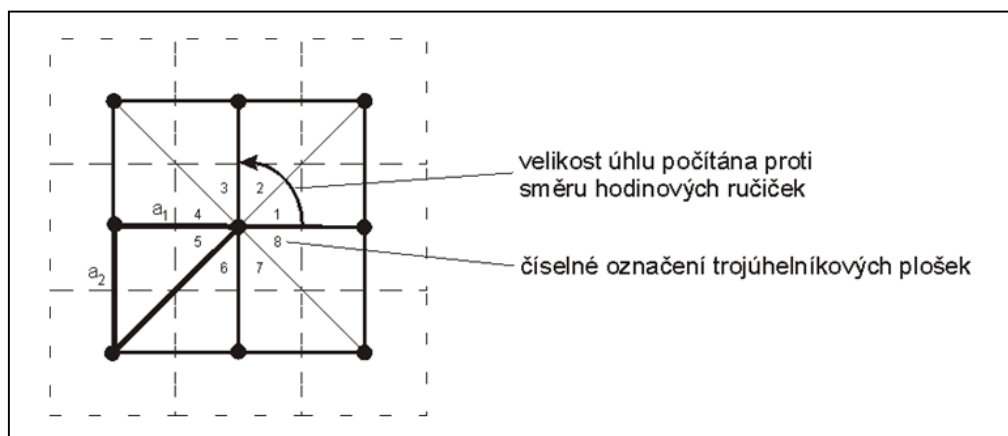
3.2.3 D-Infinity

Tento algoritmus poprvé představil D. G. Tarboton ve svém článku z roku 1997. Pro výpočet směru odtoku je opět využito všech osmi okolních pixelů, z nichž se vyberou dva nejnižší, které spolu sousedí a mezi nimiž je konečný směr určen. Úhly směrů odtoků se pohybují mezi 0° a 360° .

D-Infinity pracuje s trojúhelníkovými ploškami (Obr. 3) rozloženými v okně 3×3 pixely se středem v zájmovém pixelu. Vrcholy trojúhelníků tvoří středy pixelů, jeden v zájmovém pixelu, další dva v okolních pixelech, které spolu sousedí. Hrany trojúhelníků jsou tedy spojnice středů pixelů. Trojúhelníkové plošky jsou použity proto, aby se směr odtoku rozložil mezi dva sousední nejnižší pixely a nebyl ovlivněn dalšími okolními pixely s vyšší hodnotou. Pro výpočet směru odtoku potřebujeme znát výšky všech tří pixelů tvořící vrcholy trojúhelníku. Spočteme rozdíl výšek mezi centrálním pixelem a pixelem s ním přímo sousedícím (a_1) a poté mezi pixelem diagonálním a sousedním (a_2). Tyto hodnoty poté dosadíme do vzorce

$$r = \operatorname{tg}^{-1} \frac{a_1}{a_2}, \quad r \text{ je úhel směru odtoku.}$$

Tento úhel vyjde vždy od 0° do 45° a pro konečnou hodnotu je potřeba počítat s umístěním používané plošky. V případě plošek 1, 3, 5 a 7 se přičte velikost úhlu spojnice sousedních pixelů od nuly (tedy úhly 0° , 90° , 180° , 270° a 360°), jedná-li se o plošky 2, 4, 6, 8 je potřeba vypočtený úhel od těchto hodnot odečíst. Nula je na východ od centrálního pixelu a velikost úhlu je počítána proti směru hodinových ručiček (Tarboton 1997).



Obr. 3 Názorná ukázka trojúhelníkových plošek používaných při metodě D-Infinity (vlastní zpracování).

4 METODY POROVNÁNÍ POLOHOVÉ PŘESNOSTI LINIÍ

V následující kapitole budou popsány dvě základní metody pro porovnávání polohové přesnosti linií v geoinformačních systémech. Obě tyto metody pracují s tzv. buffery.

Při určování geometrické přesnosti linií je potřeba myslet na možné chyby, které tato data obsahují. Nepřesnosti vznikají již při pořizování dat a při jejich následném zpracování například procesem generalizace či vzorkování. Nepřesnosti se vyskytují také v oblastech, kde je linie vedena po tzv. chlupaté hranici, což představují třeba hranice mezi půdními typy nebo vegetačním pokryvem (Tveite 1999).

4.1 Jednoduchý buffer

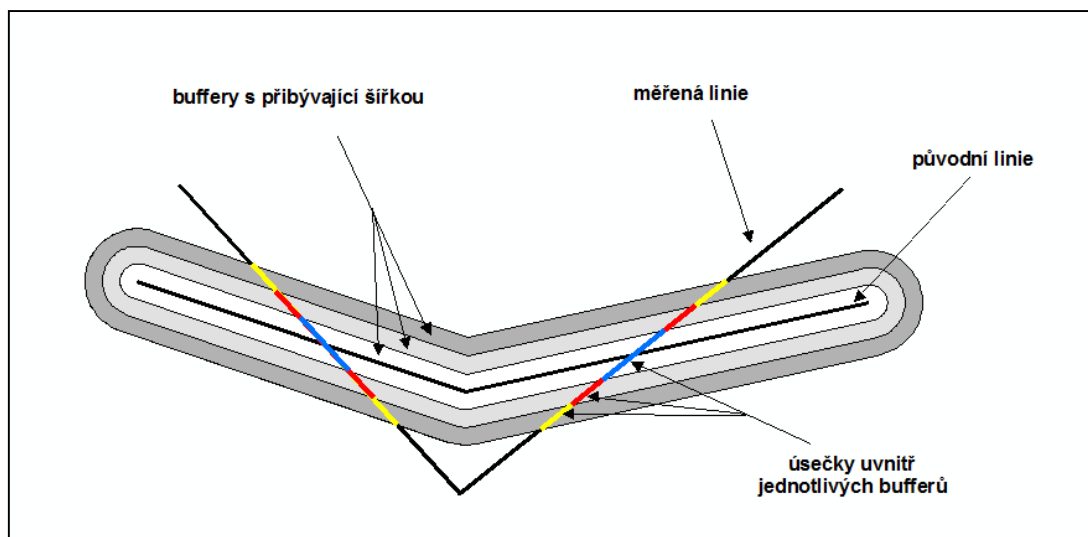
První metodou je metoda pracující pouze s jedním bufferem vytvořeným kolem referenční linie. Tuto metodu poprvé představili Goodchild a Hunter (1997).

Kolem jedné linie je vytvořen pruh o zadané šířce tzv. buffer a poté jsou hledány průniky těchto pruhů s linií druhou. Buffery se vytváří kolem linií s vyšší přesností nebo kolem těch, které jsou považovány za pravé a více odpovídají skutečné poloze v krajině. Šířka bufferů je postupně navyšována a každý buffer je použit k určení úseček, které se nachází uvnitř bufferu. Dále jsou spočítány délky těchto úseček a následně jsou porovnány s celkovou délkou měřené linie. Poměr součtu délek úseček uvnitř bufferu k celkové délce je spočten podle vzorce

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

$p(x)$ je pravděpodobnostní kumulativní funkce nabývající hodnot od 0 do 1 [$p(0) = 0$, $p(\infty) = 1$]. Šířka bufferů je postupně navyšována, dokud nedosáhne určené hodnoty procentuálního zastoupení délky linie v bufferu z celkové délky linie (Heo *et al.* 2008).

Vytvoření bufferů a následné vymezení úseček vyšetřované linie, je ukázáno na Obr. 4.



Obr. 4 Vymezení úseček uvnitř bufferu.

4.2 Dvojitý buffer

Tato metoda pracuje na rozdíl od předchozí s dvěma buffery, které se vytvářejí kolem obou linií.

Poprvé tuto metodu představil Tveite v roce 1997. Předpokládá se, že dva liniové datové soubory, které budou porovnávány, se týkají stejného tématu a byly pořízeny přibližně ve stejnou dobu. Jeden ze souborů by měl mít známou geometrickou přesnost a tento soubor by měl mít také lepší přesnost a úplnost dat než soubor druhý.

Nejprve jsou vytvořeny buffery pro obě linie a ty jsou poté překryty a oříznuty. Pro nově vzniklou polygonovou vrstvu jsou provedeny statistické výpočty jako obsah celkové plochy, počet polygonů, celkový obvod, obvod a plocha pro každý polygon. Tyto údaje jsou poté použity pro další výpočty např. pro výpočet průměrné odchylky. Ta se vypočte jako

$$DE = b \frac{\text{obsah}(Xb \cap Qb)}{\text{obsah}(Xb)},$$

b je velikost bufferu, Xb jsou polygony kolem měřené linie, Qb jsou polygony kolem původní linie.

Postup by měl být několikrát opakován, protože není možné předem určit optimální velikost bufferu. Velikost prvního bufferu může být nastavena na základě znalosti polohové přesnosti referenčních dat (například směrodatná odchylka). Při každém opakování je zvětšena velikost bufferu a tento proces je ukončen, když se již nemění výsledné hodnoty a měla by tak být zjištěna celková délka linie (Tveite 1999).

5 VLASTNÍ VÝZKUM

V této kapitole bude probírána praktická část práce. Budou představeny použitá data, včetně popisu vybraných území, dále také samotná metodika výzkumu skládající se z určení rozvodnic z DTM a následné porovnání jejich polohové přesnosti s příslušnými databázemi. Zahrnuto je i převedení dat na rastr a úprava vstupního DTM.

5.1 Data

Jako podkladová data pro určení průběhu linií rozvodnic a vodních toků v terénu byl využit Digitální model reliéfu 4. generace (DMR 4G). Tyto linie byly následně porovnávány s daty z databáze DIBAVOD (Digitální báze vodohospodářských dat) a s daty z ČHMÚ. Všechny datové sady budou podrobněji představeny v následujícím textu.

5.1.1 DMR 4G

Tento datový model, poskytovaný Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním (ČÚZK), zobrazuje zemský povrch v digitální podobě v pravidelné síti bodů 5x5 m. Data jsou uložena ve formátu XYZ využívající formát TXT. Textový soubor obsahuje souřadnice popisující polohu bodů v prostoru, které jsou zaznamenány ve třech sloupcích. První dva obsahují souřadnice bodů v souřadnicovém systému S-JTSK, poslední představuje informaci o nadmořské výšce ve výškovém systému BpV (Balt po vyrovnání), každý bod je reprezentován jedním řádkem. Úplná střední chyba výšky je 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu. Velikost poskytovaných území odpovídají rozměrům jednoho mapového listu Státní mapy 1 : 5 000, tzn. 2 x 2,5 km.

Data z pásma „Střed“ byla naskenována v období od 22. března do 10. října 2010, skenování pásma „Západ“ se uskutečnilo v období od 9. března do 27. června 2012, data z pásma „Východ“ zatím nejsou kompletní. V současné době jsou zpracovány data z cca 68 % území, úplné pokrytí se předpokládá do konce roku 2013.

DMR 4G je jedním z realizačních výstupů projektu tvorby nového výškopisu České republiky, na kterém spolupracují ČÚZK, Ministerstvo obrany a Ministerstvo zemědělství (ČÚZK 2012).

5.1.2 DIBAVOD

DIBAVOD je vytvářen jako tematická vodohospodářská nadstavba ZABAGED (Základní báze geografických dat) z odpovídajících vrstev ZABAGED. Je určen pro prostorové analýzy v prostředí GIS a tvorbu tematických kartografických výstupů s vodohospodářskou tematikou a tematikou ochrany vod nad Základní mapou ČR 1 : 10 000, resp. 1 : 50 000 a Mapou záplavových území ČR 1 : 10 000. Data jsou poskytována Výzkumným ústavem vodohospodářským T. G. M. (VÚV T. G. M.) ve formátu ESRI Shapefile (SHP). Katalog objektů obsahuje 77 vrstev, rozdělených do deseti skupin a je průběžně doplňován a aktualizován (VÚV 2013). „Přesnost dat odpovídá přesnosti vodních toků a rozvodnic v ZABAGED“ (Fojtík 2013). Střední polohová chyba vodních toků se pohybuje v rozmezí 5–15 m, rozvodnice patří k objektům nejnižší přesnosti, jejichž přesnost dosahuje velice proměnných hodnot (ČÚZK 2013).

5.1.3 ČHMÚ

Do roku 2012 poskytoval ČHMÚ datový model vodních toků a rozvodnic v měřítku 1 : 25 000. Jako podklad pro tato data byl nejdříve použit soubor vojenských topografických map, posléze také datový model DMÚ 25. První verze dat vznikla digitalizací čar rozvodnic na podkladě vojenských topografických map 1 : 25 000 a byla dokončena v roce 2000. Druhá verze byla dělána již na podkladě DMÚ 25 a její dokončení proběhlo v roce 2002 (Šercl 2005).

Od roku 2013 jsou k dispozici nová podrobnější data v měřítku 1 : 10 000. Práce na nové datové vrstvě začaly již v roce 2007 a to ve spolupráci ČHMÚ a VÚV T. G. M. Podkladem pro vytvoření rozvodnic byla říční síť DIBAVOD a data ZABAGED. Data mimo území ČR byla získána od jejich zahraničních partnerů. Vrstva rozvodnic je udržována v souřadném systému WGS 84, její poskytnutí je však možné i v souřadném systému S-JTSK (ČHMÚ 2012).

K hodnocení polohové přesnosti rozvodnic byly použity starší rozvodnice 1 : 25 000, protože novější rozvodnice 1 : 10 000 nejsou zatím volně dostupné. Jejich poloha je na většině území totožná s rozvodnicemi DIBAVOD, a proto nemělo smysl se jimi více zabývat.

5.1.4 Popis lokalit

K výzkumu bylo použito devět území o rozměrech 4 x 5 km, což odpovídá čtyřem mapovým listům Státní mapy 1 : 5 000, rozmístěných po celém území ČR. Byly vybírány oblasti s různými geomorfologickými charakteristikami tak, aby bylo možné porovnat rozdílnost polohové přesnosti linií vodních toků a rozvodnic v územích s různou výškovou členitostí. Jednotlivá území budou nyní podrobněji představena.

5.1.4.1 Maršov

Lokalitu Maršov je možno nalézt v oblasti Krkonoš v okolí obce Horní Maršov. Malá část této oblasti (cca 0,3 km²) na severovýchodě se nachází mimo území České republiky na území Polska. Lokalitu lze lépe vymezit rovnoběžkami 50°41'25" s. š. a 50°39'00" s. š. a poledníky 15°41'11" v. d. a 15°52'19" v. d. Oblastí probíhá hlavní evropské rozvodí mezi Baltským a Severním mořem. Většina území se rozkládá v povodí Labe, malá část v Polsku spadá do povodí Odry.

Výšková členitost terénu je zde velmi výrazná, rozdíl výšek mezi nejnižším a nejvyšším bodem činí 491 m. K typickým tvarům reliéfu patří hřebeny a hluboce zaříznutá údolí vodních toků s typickým tvarem „V“. Svahy údolí jsou velmi strmé a jejich sklonitost dosahuje až 48°. Nejvýraznějším geomorfologickým prvkem je údolí řeky Úpy, ta je zároveň největším vodním tokem území.

5.1.4.2 Žandov

Lokalita Žandov se rozprostírá na rozhraní okresů Děčín a Česká Lípa v okolí obce Žandov. Nejbližšími velkými městy jsou Česká Lípa, Nový Bor a Děčín. Geograficky lze polohu vymezit souřadnicemi krajních bodů. Souřadnice levého horního rohu jsou 50°43'35" s. š. a 14°21'31" v. d., souřadnice pravého dolního rohu jsou 50°41'49" s. š. a 14°26'11" v. d.

Lokalita má díky svému umístění v oblasti Českého Středohoří velkou vertikální členitost. Rozdíl mezi naměřeným minimem a maximem nadmořských výšek činí 299 m. Nejvýraznějším prvkem krajiny je řeka Ploučnice, nad níž se tyčí několik vrcholů.

5.1.4.3 Velemín

Lokalita Velemín leží v centrální části Českého Středohoří na jihovýchodním úpatí jeho nejvyššího vrcholu, hory Milešovky. Většinu oblasti zaujímá obec Velemín, jejíž zastavěné území se nachází přibližně ve středu lokality. Přesněji lze polohu vymezit krajními rovnoběžkami 50°33'27" s. š. a 50°31'42" s. š. a poledníky 13°53'47" v. d. a 13°58'27" v. d.

Výšková členitost terénu je zde největší ze všech území, maximální rozdíl nadmořských výšek mezi dvěma body činí 561 m. Nejvýše položené oblasti lze najít v severozápadní a severní části území, jihovýchodním směrem se nadmořská výška postupně snižuje.

5.1.4.4 Říp

Lokalita Říp se nachází v okrese Litoměřice jihozápadně od hory Říp, jejíž vrchol leží uvnitř území. Nejbližším městem je Roudnice nad Labem, vzdálená 5 km severním směrem. Souřadnice severozápadního rohu jsou 50°23'14" s. š. a 14°13'08" v. d., souřadnice jihovýchodního rohu jsou 50°21'28" s. š. a 14°17'47" v. d.

Většina lokality je velmi rovinná s malou výškovou členitostí. Rozdíl nadmořských výšek je pouhých 55 m. Výjimku tvoří severovýchodní roh území, který je díky Řípu vyvýšen 230 m nad okolní terén. Za povšimnutí stojí i dálnice D8, která je na modelu terénu dobře viditelná a vystupuje nad terén. Dále také lomy pro těžbu štěrku a písku v západní části území, které výrazně zasahují do reliéfu.

5.1.4.5 Lysá

Lokalitu Lysá je možno nalézt v okolí obce Lysá nad Labem v okrese Nymburk. Labe do oblasti nezasahuje, ale nachází se cca 1 km jižně od okraje území. Geograficky lze lokalitu vymezit krajními rovnoběžkami 50°13'08" s. š. a 50°11'21" s. š. a poledníky 14°47'10" v. d. a 14°51'46" v. d.

Reliéf v této oblasti je velmi plochý, což dokazuje rozdíl mezi nejnižším a nejvyšším bodem, který je pouhých 56 m. To je nejméně ze všech území. Vzhledem k charakteru terénu zde nelze pozorovat žádné výrazné geomorfologické tvary. Zajímavější jsou spíše antropogenní objekty, jako např. železnice, které v takto plochem území zasahují do reliéfu a mohou významně ovlivnit průběh rozvodnic.

5.1.4.6 Bor

Lokalita Bor se rozkládá v podhůří Českého Lesa v okrese Tachov. Většinu území zaujímá obec Bor, dále sem také zasahuje obec Stráž. Nejbližšími velkými městy jsou Tachov 15 km severozápadním a Plzeň 40 km východním směrem. Přesněji lze lokalitu vymezit souřadnicemi krajních bodů. Souřadnice levého horního rohu jsou 49°43'04" s. š. a 12°45'05" v. d., souřadnice pravého dolního rohu jsou 49°41'21" s. š. a 12°49'43" v. d.

Toto území má malou vertikální členitost. Maximální rozdíl nadmořských výšek mezi dvěma body je 104 m. Typickým prvkem krajiny jsou rybníky, kterých je zde více než 15.

5.1.4.7 Hraběšín

Lokalita Hraběšín se nachází v okrese Kutná Hora nedaleko města Čáslav. Největším katastrálním územím oblasti je Hraběšín. Přesnou polohu lokality lze popsat krajními rovnoběžkami 49°51'50" s. š. a 49°50'02" s. š. a poledníky 15°18'53" v. d. a 15°23'26" v. d.

Výšková členitost terénu je malá, rozdíl mezi naměřeným minimem a maximem nadmořských výšek činí 115 m. Území se postupně svažuje směrem k severu. Nejvýše položená území nalezneme na jihu oblasti, nejnižší pak v severní části, především v severovýchodním rohu území a v údolí řeky Klejnárky. Toto údolí je zároveň nejvýraznějším prvkem reliéfu. V krajině lze také nalézt několik menších rybníků.

5.1.4.8 Lužnice

Lokalita Lužnice se rozprostírá v okrese Tábor na pravém břehu řeky Lužnice, která protéká severozápadní částí území. Oblast leží mezi městy Tábor a Bechyně, která jsou od ní vzdálená 8 km a 5 km. Přesněji lze lokalitu určit souřadnicemi krajních bodů.

Souřadnice levého horního rohu jsou 49°21'36" s. š. a 14°30'33" v. d., souřadnice pravého dolního rohu jsou 49°19'50" s. š. a 14°35'05" v. d.

Území není příliš vertikálně členěno, rozdíl nadmořských výšek mezi nejnižším a nejvyšším bodem činí 171 m. Terén se postupně svažuje od jihovýchodu k severozápadu, kde se nachází údolí Lužnice. Reliéf není rozčleněn vodními toky, jak tomu bylo v jiných lokalitách.

5.1.4.9 Rožmitál

Lokalitu Rožmitál je možno nalézt v okrese Český Krumlov na obou březích řeky Vltavy. Většinu území zaujímá obec Rožmitál na Šumavě, dále sem zasahují obce Rožmberk nad Vltavou, Malšín, Větrná a Přídolí. Geograficky lze polohu území vymezit krajními rovnoběžkami 48°43'37" s. š. a 48°41'50" s. š. a poledníky 14°19'52" v. d. a 14°24'21" v. d.

V této oblasti lze najít jednu z největších výškových členitostí ze všech území. Maximální rozdíl nadmořských výšek mezi dvěma body je 332 m. Typickým tvarem reliéfu jsou údolí vodních toků zařiznutá do povrchu terénu. Nejvýraznější je údolí Vltavy, které má především v severní části území ploché dno se záplavovými nivami. Nejvýše položený je východní okraj oblasti, odkud se reliéf snižuje až k břehům Vltavy.

5.2 Metodika výzkumu

Celý výzkum byl prováděn v programu ArcGIS Desktop 10.0 s programovou nadstavbou ArcHydro, určené k hydrologickým analýzám. Ze součástí ArcHydro byla využita pouze nástrojová sada ArcHydro Tools 2.0.

Nejprve musel být DTM ve vektorové podobě převeden na rastr, aby mohl být použit k vygenerování linií vodních toků a rozvodnic. Tyto linie jsou poté porovnány s již existujícími databázemi obsahující hydrologická data. Následující text vychází z ESRI (2011) a ESRI (2012), není-li uvedeno jinak.

5.2.1 ArcHydro

ArcHydro je model prostorových a časových dat pro hydrologické analýzy pracující v prostředí ArcGIS vyvinutý firmou ESRI ve spolupráci s Center for Research of Water Ressource Texaské univerzity v Austinu. Používá se k vymezení a charakterizaci povodí v rastrových i vektorových formátech, definuje a analyzuje geometrii říční sítě, vyšetřuje časová data a exportuje data do numerických modelů.

Skládá se ze dvou hlavních komponent ArcHydro Data Model a ArcHydro Tools. Tyto dvě části spolu s obecným programovým rámcem poskytují základní návrh databáze a sadu nástrojů, které usnadňují hydrologické analýzy. ArcHydro Tools je uzpůsobeno pro práci v prostředí ArcGIS, některé funkce však vyžadují také nadstavbu Spatial Analyst. Všechny funkce jsou dostupné přes panel nástrojů ArcHydro, který je použitelný v ArcMap a AcrCatalog. ArcHydro Tools mají dva hlavní účely, prvním je přiřazení klíčových atributů v ArcHydro Data Model. Tyto atributy tvoří základ pro další analýzy. Druhým účelem je poskytnutí základních funkcí, které se často využívají při hydrologických analýzách (ESRI 201?).

5.2.2 Převod dat na rastr

Jak již bylo zmíněno v kap. 5.1.1, poskytnutá data byla ve formátu XYZ, proto bylo nutné je převést na rastr. Nejprve byla použita funkce *ASCII 3D to Feature Class*, která umožňuje převedení dat z formátu XYZ do vektorové podoby. Data je možné generovat v podobě bodů (*Point*), skupiny bodů (*Multipoint*), polylinií (*Polylines*) nebo polygonů (*Polygons*). Pro práci připadaly v úvahu dvě možnosti a to Point a Multipoint. Možnost Multipoint neumožňuje dodávat bodům další atributy jako je tomu u možnosti Point. Při tvorbě DTM je jedinou potřebnou informací údaj o nadmořské výšce a žádné další atributy nejsou potřeba. Možnost Multipoint je navíc vhodná ke zpracování velkého objemu dat. Body jsou spojeny do skupin, které jsou zaznamenány v atributové tabulce jako jeden objekt, čímž se výrazně sníží velikost dat. Z těchto důvodů byla pro práci použita možnost Multipoint. Při zadávání vstupních parametrů bylo ještě potřeba zvolit souřadnicový a výškový systém, kterými jsou v tomto případě S-JTSK a BpV. Ostatní parametry byly ponechány ve výchozím nastavení. Pro každou lokalitu byl takto vytvořen jeden soubor obsahující bodová data reprezentující terén.

Dalším krokem bylo převedení vektorových dat na rastr. Jelikož data byla v podobě pravidelné čtvercové sítě bodů s konstantním rozestupem, nemusely být použity žádné interpolační metody. K vytvoření rastru byla využita funkce *Point to Raster*, kde se středy buněk rastru promítly do původních bodů. Při zadávání vstupních parametrů bylo potřeba určit, jakou informaci mají nést jednotlivé buňky rastru. V tomto případě byla vybrána informace o nadmořské výšce. Rozlišení výsledného rastru je 5x5 m.

Je nutné si uvědomit, že tento postup lze použít jen v případě, že data budou reprezentována pravidelnou čtvercovou sítí bodů. Jestliže budou body rozmístěny nepravidelně, je nutné použít některý z interpolačních algoritmů. Nejvhodnějším postupem je zde převedení dat na TIN a následně na rastr nebo použití funkce *Topo To Raster*.

5.2.3 Úprava vstupního DTM

Před samotnou analýzou odtokových poměrů z oblasti bylo potřeba upravit vstupní DTM. Jednalo se především o odstranění bezodtokých oblastí v DTM, k čemuž byla použita funkce *Fill Sinks*. Bezodtoké oblasti jsou místa v DTM, kde jsou všechny okolní pixely položeny výše než zkoumaný pixel a voda z něj nemůže nikam odtékat. Při úpravě DTM jsou tyto oblasti zvednuty na úroveň svého okraje. Může se jednat o skutečné bezodtoké oblasti, které je třeba zadat do vstupních parametrů a ty nebudou následně vyvýšeny, většinou jde ale o malé oblasti představující chyby v DMT a je nutné je odstranit. Tyto chyby mohou vzniknout například tak, že při získávání dat je paprskem laseru zaměřen kámen vystupující nad úroveň hladiny toku nebo hráz rybníka, případně je zaměřen most, který při následné úpravě dat není dostatečně snížen. Tyto oblasti poté vytváří falešné bezodtoké oblasti, protože pixel ve směru toku má vyšší hodnotu než pixely předcházející. V terénu se ale mohou vyskytovat oblasti, které v DTM vypadají jako bezodtoké i když jimi ve skutečnosti nejsou. Jedná se například o oblasti malých prohlubní nebo sníženin, které se v terénu skutečně vyskytují, pravými bezodtokými oblastmi ale nejsou. Ve vstupních parametrech lze také určit, zda mají být upraveny všechny bezodtoké oblasti nebo jen ty, které jsou mělčí než zadaná hodnota.

5.2.4 Vymezení linií vodních toků a rozvodnic

Po úpravě vstupního DTM se přistoupilo k vymezení vodních toků a rozvodnic. K tomu byly využity nástroje ze sady *Terrain Processing*, která slouží k určení odtokových poměrů z povodí. Využívá se k tomu algoritmus D8, který je popsán v kap. 3.2.1. Tento algoritmus se provádí v jednotlivých krocích pomocí příslušných nástrojů.

Prvním použitým nástrojem je *Flow Direction*. Slouží k určení směru odtoku z pixelu ve směru největšího sklonu. Všechny pixely mají hodnotu 1 – 8, které vyjadřují jeden z osmi možných směrů odtoku.

Dalším použitým nástrojem je *Flow Accumulation*, který slouží k vytvoření rastru akumulace vody. V každém pixelu je určena hodnota počtu jeho přítoků, včetně přítoků do pixelů předcházejících. Hodnoty se načítají kumulativně od rozvodnice.

Z rastru akumulace vody byl s použitím nástroje *Stream Definition* vytvořen rastr vodních toků. Pomocí prahové hodnoty byly vybrány pixely, v kterých se nachází vodní tok. Za tyto pixely jsou považovány takové, které mají vyšší hodnotu počtu přítoků než je prahová hodnota. V pixelech s nižší hodnotou se žádný vodní tok nenachází.

Rastr vodních toků se nástrojem *Stream Segmentation* rozdělí na dílčí části. To je později využito při určování povodí patřící k jednotlivým částem toku. Jedna část říční sítě je vždy určena buď mezi dvěma soutoky, nebo od pramene k soutoku, nebo od soutoku k ústí. Všechny pixely nacházející se v jedné části mají stejnou hodnotu. Hodnoty v jednotlivých částech se od sebe liší. Pro výpočet je kromě rastru vodních toků potřeba dodat rastr určující směry odtoků z pixelů.

Jako další byl použit nástroj *Catchment Grid Delineation*, který vytváří rastr dílčích povodí. Vymezuje oblasti, které jsou odvodňované částmi vodních toků, určených v předchozím kroku. K výpočtu je nutné použít rastr určující směry odtoků z pixelů a rastr dílčích částí vodních toků.

Poslední dva nástroje slouží k převedení rastrových dat na vektorová. Nástroj *Catchment Polygon Processing* převádí do vektorové podoby rastr dílčích povodí. Vytváří tedy polygony dílčích povodí, kde každý polygon má hodnotu, určující kterou částí říční sítě je odvodňován.

Nástroj *Drainage Line Processing* převádí rastr vodních toků rozdělený do dílčích částí do vektorů. Každá linie nese identifikátor povodí, které odvodňuje.

5.2.5 Určení polohové přesnosti linií vodních toků a rozvodnic

Po získání linií vodních toků a rozvodnic lze přistoupit k porovnání polohové přesnosti těchto linií s dostupnými databázemi. Rozvodnice získané pomocí ArcHydro (dále rozvodnice ArcHydro) byly porovnávány s vrstvami povodí IV. řádu z databáze DIBAVOD (*A07_Povodi_IV*) a rozvodnice 1 : 25 000 (*rozv_chmu_jtsk*). Dále byla také srovnána vzájemná poloha linií těchto dvou vrstev a byla provedena analýza polohové přesnosti linií vodních toků ArcHydro s vodními toky (jemné úseky) DIBAVOD (*A02_Vodni_tok_JU*). Celá analýza proběhla v aplikaci ModelBuilder, která je součástí softwaru ArcGIS a je určená k vytváření, úpravě a správě modelů. Model je řetězec nástrojů, kdy výstup z jednoho nástroje je použit jako vstup do dalšího. Výhoda ModelBuilderu spočívá v možnosti zadání velkého počtu funkcí, které na sebe navazují a je možné je využít opakovaně. Nemusí se tedy zadávat každá funkce zvlášť, ale spustí se řetězec funkcí zadaných v ModelBuilderu.

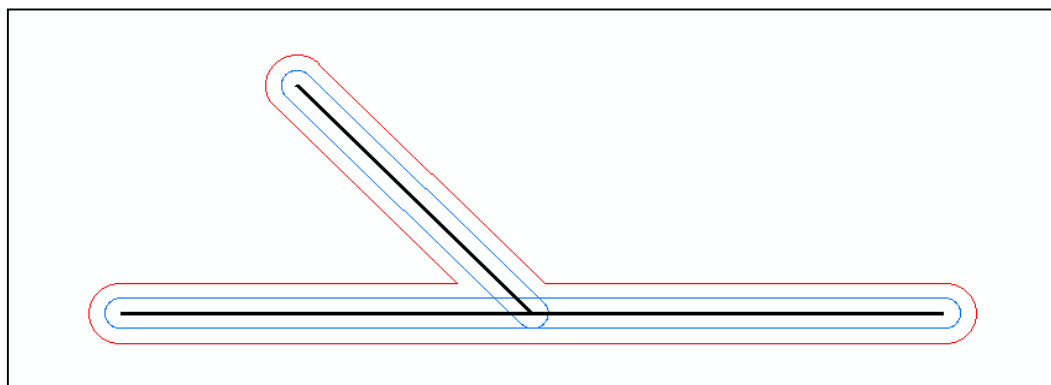
K porovnání polohové přesnosti linií byla použita metoda buffer popsaná v kap. 4.1.

Všechny vrstvy, z kterých byly získávány rozvodnice, měly geometrii polygonů. Aby mohla být provedena analýza polohové přesnosti, bylo potřeba převést tyto vrstvy na linie, k čemuž byla využita funkce *Polygon To Line*. Polygonové vrstvy DIBAVOD a ČHMÚ byly nejprve převedeny na linie na celém svém území a až poté oříznuty na území dané lokality (funkce *Clip*). Tímto postupem se předešlo vytvoření linií na hranicích lokality, které by vznikly oříznutím polygonové vrstvy. Rozvodnice ArcHydro byly vygenerovány jen na území dané lokality, proto je nebylo třeba dále upravovat.

Dalším krokem bylo určení velikosti odchylek vzájemné polohy linií. Pomocí funkce *Buffer* byl kolem linií rozvodnic ArcHydro vymezen pruh o dané šířce (tzv. buffer), v kterém byly hledány linie rozvodnic z ostatních databází. Buffery byly vytvářeny po 10 m, hranice největšího bufferu byla stanovena na 100 m. Odchylna více jak 100 m je již natolik velká, že nemá smysl ji přesněji měřit.

Buffery je možno vytvářet více způsoby. Soubor linií je buď brán jako jeden celek a buffer je vytvářen kolem tohoto celku nebo je rozdělen na jednotlivé linie a buffery jsou vytvářeny kolem každé linie zvlášť. Pro lepší pochopení byl vytvořen Obr. 5. Pro účely této práce na způsobu vytváření bufferu nezáleží. Buffery je také možné vytvářet oboustranně nebo pouze na jedné straně linie. Lišit se může také způsob

zakončení, kdy je buffer vytvářen buď kolem koncových bodů a obalí tak celou linii, nebo je v koncovém bodě ukončen.



Obr. 5 Dva různé způsoby vytváření bufferů. Modrou barvou je znázorněn buffer, který je vytvářen kolem každé jednotlivé linie. Červenou barvou je znázorněn buffer, který bere soubor linií jako celek a vytváří buffery kolem tohoto celku.

Vytvořené buffery byly následně ořezány tak, aby vznikly pruhy o šířce 10 m. K tomu byla použita funkce *Erase*, která odstraní data uvnitř daného polygonu a ponechá data umístěná za hranicí tohoto polygonu (opak funkce *Clip*, která ponechává data uvnitř polygonu a odstraní vše vně polygonu). Tento krok byl proveden pro usnadnění výpočtu procentuálního zastoupení úseků linií v jednotlivých bufferech. Mohl by být vynechán, pak by bylo nutné od sebe délky úseků linií v jednotlivých bufferech odečíst. Záleží na uživateli, zda chce mít linie rozděleny do úseků po 10 metrech od počáteční linie nebo chce linie v celé velikosti bufferu, od počáteční linie až po určenou vzdálenost. V práci mohla být využita první možnost, protože se pracovalo pouze na malých územích. Pro analýzu velkých území je vhodnější zvolit celé buffery, které se od sebe odečtou. Ušetří se tím jeden krok z postupu, čímž se sníží počet vytvořených vrstev a celkový čas potřebný pro průběh analýzy.

Po rozdělení bufferů na jednotlivé části bylo již možno rozřezat linie rozvodnic z dostupných databází na jednotlivé úseky po 10 m podle vzdálenosti od rozvodnic ArcHydro, k čemuž byla využita funkce *Clip*. Výstupem jsou tedy části linií rozvodnic DIBAVOD a ČHMÚ rozdělené podle vzdálenosti po 10 m od rozvodnic ArcHydro. Posledním krokem bylo vyříznutí linií rozvodnic s odchylkou větší než 100 m. Opět byla použita funkce *Erase* a jako vstup byl vložen buffer 100 m. Postup vymezení jednotlivých částí linií je znázorněn na Obr. 4.

Porovnány byly i linie rozvodnic z databází DIBAVOD a ČHMÚ mezi sebou. Jako linie, kolem kterých byly prováděny buffery, byly vzaty rozvodnice DIBAVOD.

Rozvodnice ČHMÚ byly rozděleny do úseků podle vzdáleností od linií rozvodnic DIBAVOD. Analýza byla provedena pouze pro porovnání polohy těchto dvou datových sad mezi sebou a na určení polohové přesnosti s rozvodnicemi ArcHydro nemá žádný vliv.

Dále byla posuzována polohová přesnost linií vodních toků. Nejprve byly vzaty originální vodní toky DIBAVOD, u kterých se při určování polohové přesnosti postupovalo stejně jako u rozvodnic. Buffery se vytvářely kolem vodních toků ArcHydro, jimiž byly následně ořezány vodní toky DIBAVOD. Tato metoda je ale velmi nepřesná z důvodů odlišnosti říční sítě DIBAVOD a ArcHydro, kterou způsobuje použitý algoritmus.

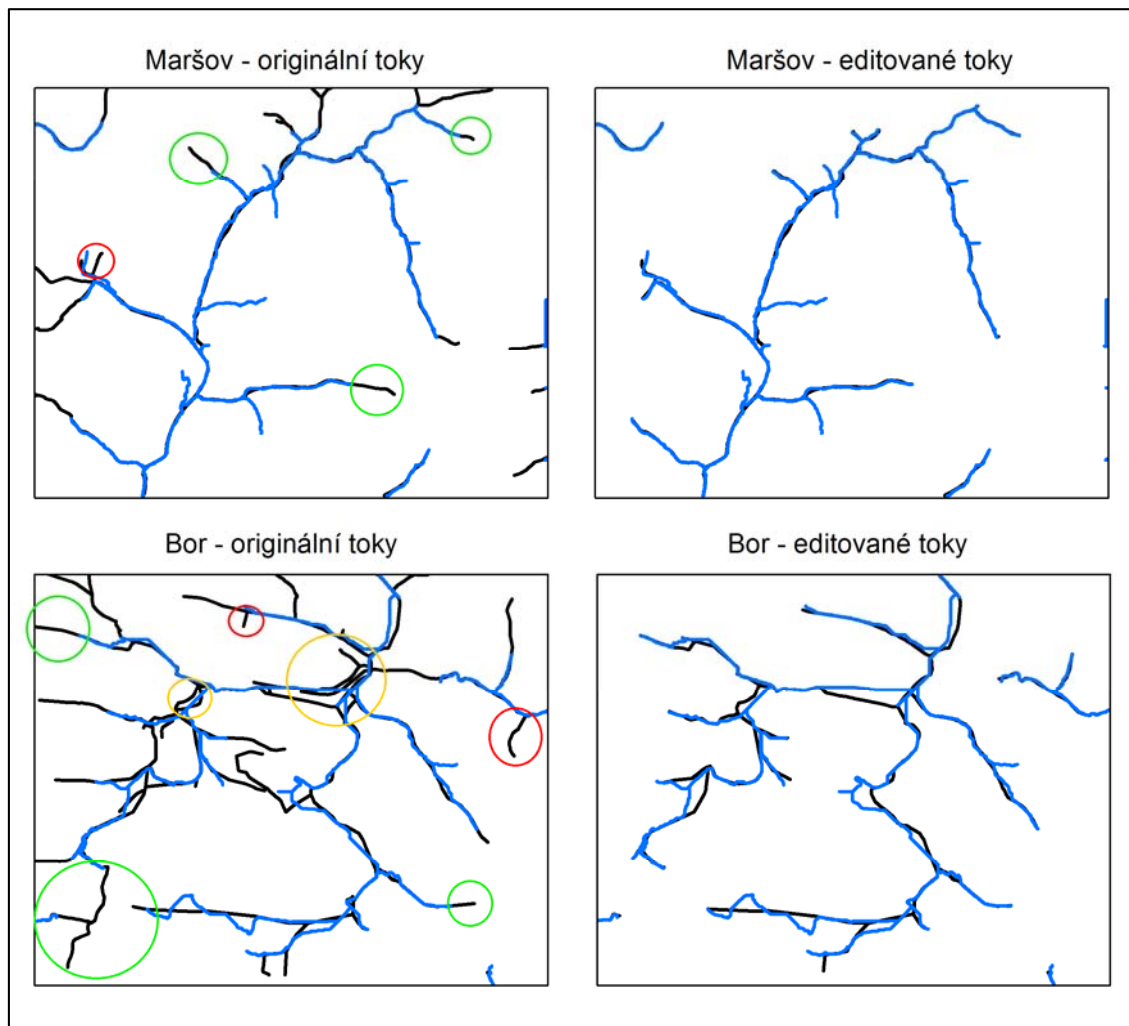
Tento algoritmus vykresluje vodní toky v místech, které mají vyšší hodnoty než je zadaná prahová hodnota. Tyto hodnoty určují, z kolika předchozích pixelů přitéká voda do daného pixelu. Jelikož v práci byla použita území obdélníkového tvaru, nikoli území ohraničená rozvodnicí, nastal problém s vymezením vodních toků přitékajících do území. Tyto toky mají v místě přítoku do území nulovou hodnotu, stejně jako je tomu u všech bodů na hranici území. Linie takového toku je určena až od bodu, kde dosáhne zadané prahové hodnoty. Stejný problém nastává i u toků, které v části svého toku opustí území a pak se do něho znovu vrací. V takovém případě je vodní tok přerušen v místě, kde vytéká ven z území a při jeho návratu zpět do území má opět nulovou hodnotu. Vodní toky ArcHydro tedy nejsou na rozdíl od toků DIBAVOD vedeny od hranice území, ale všechny začínají uvnitř území.

Dalším problémem je, že říční síť je vymežována pouze na základě DTM a nejsou zde dodány žádné informace o její skutečné podobě. Při vymežování linií vodních toků proto dochází k situacím, kdy některé vodní toky nacházející se v krajině nejsou nalezeny vůbec a jiné, které se v krajině naopak nevyskytují, vymezeny jsou. Mohlo by to být dáno například geomorfologickým vývojem území a jeho geologickým podložím, kde v měkkých horninách, jako např. pískovec či vápenec, bylo v minulosti vyhloubeno údolí, ale dnes zde již žádný vodní tok nenajdeme, naopak na tvrdých horninách, jako třeba žula nebo čedič, se hluboké údolí nenalézají, ale vodní tok je tam zachován dodnes. Aby bylo možné porovnat polohovou přesnost linií říční sítě, bylo potřeba editovat vrstvu vodních toků DIBAVOD a tím omezit chyby vzniklé použitím algoritmu v ArcHydro. Při editaci byly odstraněny všechny vodní toky, které nebyly nalezeny pomocí ArcHydro, dále pak toky, které byly zdvojené například kvůli šířce koryta toku.

Na závěr byly vymazány všechny úseky DIBAVOD nacházející se nad pramenem toku ArcHydro směrem k hranicím území. Postup editace lze vidět na

Obr. 6, kde je použito území s velkou polohovou přesností (Maršov) a území s malou polohovou přesností (Bor).

Polohová přesnost byla určována po 10 m podle procentuálního zastoupení délek linií v jednotlivých částech bufferu. Přesný postup v Model Builderu si lze prohlédnout v Příloze 2 a také na přiloženém CD.



Obr. 6 Ukázka editace vodních toků v lokalitách Maršov a Bor. Modrou barvou jsou znázorněny vodní toky ArcHydro, černou barvou vodní toky DIBAVOD. V zelených kružnicích jsou vyznačena místa, kde byly toky DIBAVOD zkráceny na délku toků ArcHydro. V červených kružnicích jsou vodní toky DIBAVOD, které nebyly nalezeny pomocí ArcHydra. Ve žlutých kružnicích jsou místa zdvojených vodních toků, které byly následně promazány. Obrázky vlevo ukazují linie originálních vodních toků DIBAVOD, obrázky vpravo znázorňují linie vodních toků DIBAVOD po editaci.

6 VÝSLEDKY A DISKUZE

V této části práce budou popsány problémy, které se v průběhu práce vyskytly, návrhy řešení a vhodnost či nevhodnost použití představené metody v daných situacích. Na závěr jsou také prezentovány výsledky polohové přesnosti pro jednotlivá území a jejich závislost na výškové členitosti terénu.

První problém nastal již při vymezení linií vodních toků, kde použitý algoritmus vykresluje vodní toky v místech, které mají vyšší hodnoty než je zadaná prahová hodnota. Podrobněji je tento problém popsán v kap. 5.2.5. Z výše uvedených důvodů je tento algoritmus vhodné používat pouze pro celá povodí a ne pro jinak vymezená území, jejichž hranice nekoresponduje s hranicí povodí. V případě použití území ohraničeného rozvodnicí je i tak potřeba dbát na to, že linie vodního toku je určena až od zadané prahové hodnoty. Délka vygenerovaných vodních toků se proto může lišit od skutečnosti. Tento problém je možné regulovat nastavením prahové hodnoty, která se ale může pro každý tok lišit. V praxi to znamená, že jeden tok v krajině pramení v bodě, který na příslušném rastru odpovídá hodnotě 5 000 a druhý v místě s hodnotou 15 000. Prahová hodnota je ale pro celé území stejná, proto je nutné zvolit kompromis a výši prahové hodnoty určit např. na 10 000. S určením výše prahové hodnoty souvisí také problém s vygenerováním neexistujících toků nebo naopak nenalezením toků existujících. Tento problém je opět možné regulovat nastavením prahové hodnoty.

Po vymezení linií vodních toků byly určovány linie rozvodnic. Rozvodnic vygenerovaných z ArcHydro je podstatně více, než rozvodnic IV. řádu uložených v databázích. Je to způsobeno tím, že ArcHydro vyznačil více vodních toků než se nachází v databázích. Jejich počet už ale nebylo možné snížit, protože tím by se zkrátily vodní toky skutečně existující a některé z nich by byly zcela vymazány. ArcHydro vytvoří povodí kolem každého vodního toku, proto je rozvodnic ArcHydro více než v databázích. V některých případech ale nenalezne žádný vodní tok, což se stává především v okrajových částech území, kde jsou z důvodu blízké hranice nízké hodnoty průtočných pixelů. K tomuto neexistujícímu toku není stanovena žádná rozvodnice, což také způsobuje odchylku v přesnosti dat.

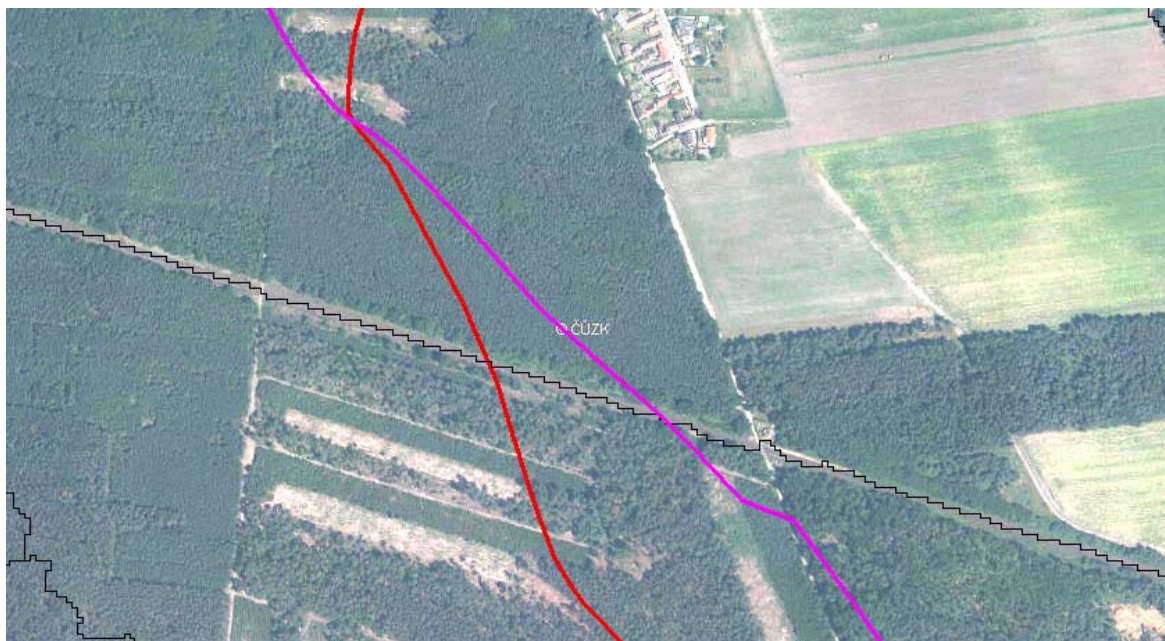
Vyšší počet vygenerovaných rozvodnic ArcHydro také částečně ovlivňuje analýzu polohové přesnosti. V některých místech křižují rozvodnice DIBAVOD či ČHMÚ několik rozvodnic ArcHydro (Obr. 8) a tím se zvyšuje podíl délek linií uvnitř bufferů. Kolem každé rozvodnice ArcHydro jsou vytvořeny buffery a v těchto místech jsou započítány i ty úseky linií rozvodnic, které by při nižším počtu vygenerovaných rozvodnic z ArcHydro byly nad hranicí maximální velikosti bufferů.

Omezení počtu rozvodnic vygenerovaných v ArcHydro je možné buď editací, což je ovšem uživatelsky velmi náročné, nebo vložením vlastní říční sítě. ArcHydro umožňuje tvorbu rozvodnic podle jakékoliv říční sítě, která je do algoritmu přidána v rastrové podobě. Tím je dosaženo vymezení povodí jen kolem takových vodních toků, které jsou vyžadovány, např. pouze rozvodnice IV. řádu při vložení vodních toků IV. řádu.

Dalším znakem ovlivňujícím vymezení vodních toků jsou rovné vodní plochy. V místech, kde se nachází vodní nádrž nebo je široké koryto toku, může algoritmus selhávat. Při pořizování dat leteckým laserovým skenováním jsou výškové hodnoty měřeny v řádu milimetrů, jejich odchylka v odkrytém území ale může být až 30 cm (úplná střední chyba DMR 4G). V těchto místech může být vodní tok přerušen, protože v jeho okolí nebude nalezen žádný pixel s nižší výškovou hodnotou, tudíž není možné určit další směr odtoku. Problematická jsou také místa, kde se na vodním toku vyskytují peřeje nebo jsou v korytě velké kameny vystupující nad hladinu. Jestliže byla během pořizování dat laserem zaměřena poloha vystupujícího kamene místo skutečné hladiny toku, bude zde vodní tok také přerušen z důvodu vyšší výškové hodnoty. Problematické jsou také vodní toky s úzkým korytem, které jsou zakryty hustou vegetací. V těchto místech je snížena přesnost dat, je složitější určit přesnou polohu vodního toku a může zde také docházet ke vzniku falešných bezodtokých oblastí.

Posledním faktorem ovlivňujícím určení polohy linií vodních toků a rozvodnic jsou díla vytvořená člověkem. V případě vodních toků je vymezení jejich polohy ovlivněno již zmíněnými vodními nádržemi, ale také uměle vytvořenými koryty vodních toků. Tato koryta nerespektují tvar reliéfu, tudíž je nemožné určit jejich polohu algoritmem pracujícím na základě polohy v terénu. Antropogenní stavby ovlivňují také polohu rozvodnic, kde je nejvíce patrný vliv liniiových staveb, jako jsou silnice a železnice. Podél těchto staveb je algoritmem pracujícím s DTM určena linie rozvodnice, která se v terénu skutečně vyskytuje, protože jsou tyto stavby pro vodu překážkou. Rozvodnice

vymezené nad vrstevnicemi ale s těmito stavbami nepočítají a linie rozvodnic jsou vedeny přes ně (Obr. 7).

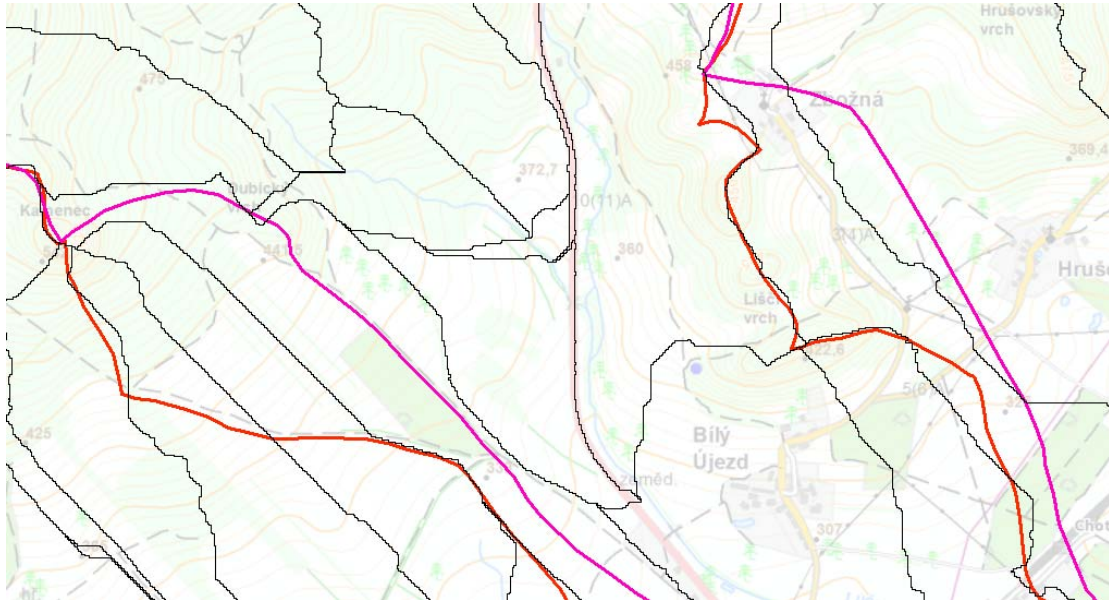


Obr. 7 Linie rozvodnic vedené přes železnici. Černé linie představují rozvodnice ArcHydro, které jsou vedeny podél železnice vystupující nad terén. Červenou barvou jsou znázorněny rozvodnice DIBAVOD, růžovou barvu představují rozvodnice ČHMÚ. Tyto rozvodnice jsou vykresleny nad vrstevnicemi a nedbají na železnici vedoucí uprostřed snímku.

Jak bylo předpokládáno, polohová přesnost linií vodních toků a rozvodnic závisí na výškové členitosti terénu. Horské a podhorské oblasti, které jsou hodně vertikálně členěny, mají větší přesnost polohy linií než oblasti rovinaté. Nízká polohová přesnost je také v oblastech s velkými antropogenními zásahy, kde jsou uměle přetvořena koryta toků, vystavěny vodní nádrže a velké dopravní stavby vystupující nad terén. Problémovými místy jsou také velké obce, kde jsou toky zatrubněny a je proto obtížné zjistit jejich polohu. Z porovnávaných databází lze říci, že větší polohovou přesnost mají rozvodnice DIBAVOD oproti rozvodnicím ČHMÚ.

Závislost polohové přesnosti na výškové členitosti byla potvrzena pouze u dat s odchylkou do 10 m, případně 20 m. U větších odchylek např. do 50 m nebo více než 100 m nebyla žádná závislost prokázána. Tabulku s procentuálním zastoupením dat s odchylkami po 10 m je možné si prohlédnout v Příloze 3, grafy z jednotlivých území v Příloze 4 a 5. Pro všechna území byly také hotoveny mapy ukazující polohu všech liniových prvků v terénu. Tyto mapy se nacházejí v Příloze 6.

Jak již bylo řečeno polohová přesnost linií vodních toků a rozvodnic závisí na vertikální členitosti reliéfu. Výjimku tvoří lokalita Velemín, kde je největší vertikální členitost ze všech území, ovšem její polohová přesnost se nachází přibližně uprostřed. Největší nepřesnosti ve vymezení polohy rozvodnic jsou viditelné na Obr. 8.



Obr. 8 Průběh rozvodnic v části území lokality Velemín. Červenou barvou jsou znázorněny rozvodnice DIBAVOD, růžovou barvu mají rozvodnice ČHMÚ a černou barvu představují rozvodnice ArcHydro.

Největší polohová přesnost rozvodnic byla zjištěna v lokalitě Rožmitál, kde se do 10 m od linií rozvodnic ArcHydro nachází přes 40 % dat. I přes vysokou přesnost je v této lokalitě poměrně velké zastoupení dat s odchylkou větší než 100 m (téměř 10 %). Je to způsobeno chybějícími rozvodnicemi ArcHydro na dvou místech lokality. Obě místa se nacházejí poblíž hranice lokality, proto zde nebyl vymezen žádný vodní tok a následně ani rozvodnice. Polohová přesnost linií vodních toků je zde také velmi dobrá, u editovaných toků leží 76 % do 10 m od vodních toků ArcHydro, do 50 m se nachází 100 % dat. Jediný problém ve vymezení vodních toků v tomto území nastal v místě širokého koryta Vltavy, kde byl vodní tok přerušen (Obr. 9).



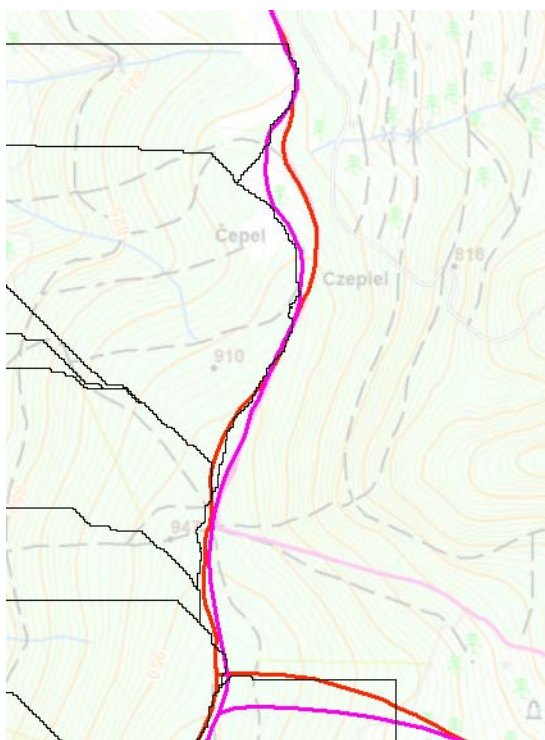
Obr. 9 Přerušení vodního toku v lokalitě Rožmitál v místě širokého koryta řeky Vltavy. Modrou barvou jsou znázorněny vodní toky ArcHydro.

Další lokalitou s velmi přesnými daty je lokalita Maršov. Polohová přesnost vodních toků je zde nejvyšší ze všech území, polohová přesnost rozvodnic je na druhém místě. S vymezením vodních toků zde nebyl žádný problém, což dokládá i 96,5 % dat s odchylkou do 20 m u editovaných vodních toků. Chybu 10 % s odchylkou větší než 100 m způsobuje opět nenalezení jedné rozvodnice.

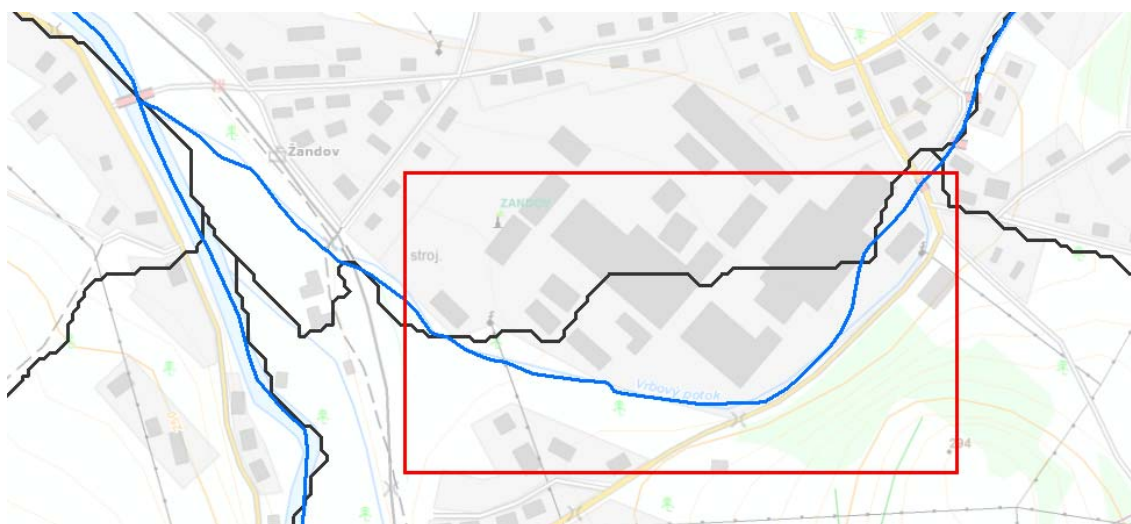
Podrobněji byla zkoumána rozvodnice I. řádu mezi Labem a Odrou (Obr. 10). Tato rozvodnice je přesnější v databázi ČHMÚ, kde do 50 m je 100 % dat, do 20 m 70 % dat. DIBAVOD je částečně veden po hranici České republiky, jejíž poloha ale není shodná s polohou hlavního evropského rozvodí. Přesnost DIBAVODu je do 50 m pouze 81 % dat, do 20 m pak 62 %.

V lokalitě Žandov je dobrá přesnost rozvodnic DIBAVOD (do 10 m 44,5 %) a vodních toků, ale přesnost rozvodnic ČHMÚ je nižší (do 10 m 21,8 %). Rozdíly v polohové přesnosti jsou dány nenalezením jedné rozvodnice pomocí ArcHydro a polohovými nepřesnostmi na několika místech území, kde se liší vzájemná poloha rozvodnic DIBAVOD a ČHMÚ. Vodní toky mají dobrou přesnost, kromě jednoho místa, kde vodní tok ArcHydro protéká zástavbou a tok DIBAVOD je veden po obvodu

této zástavby (Obr. 11). Podle topografické mapy a ortofoto snímků se vodní tok skutečně nachází po obvodu zástavby, takže se pravděpodobně jedná o vodní tok, jehož koryto bylo uměle přemodelováno.

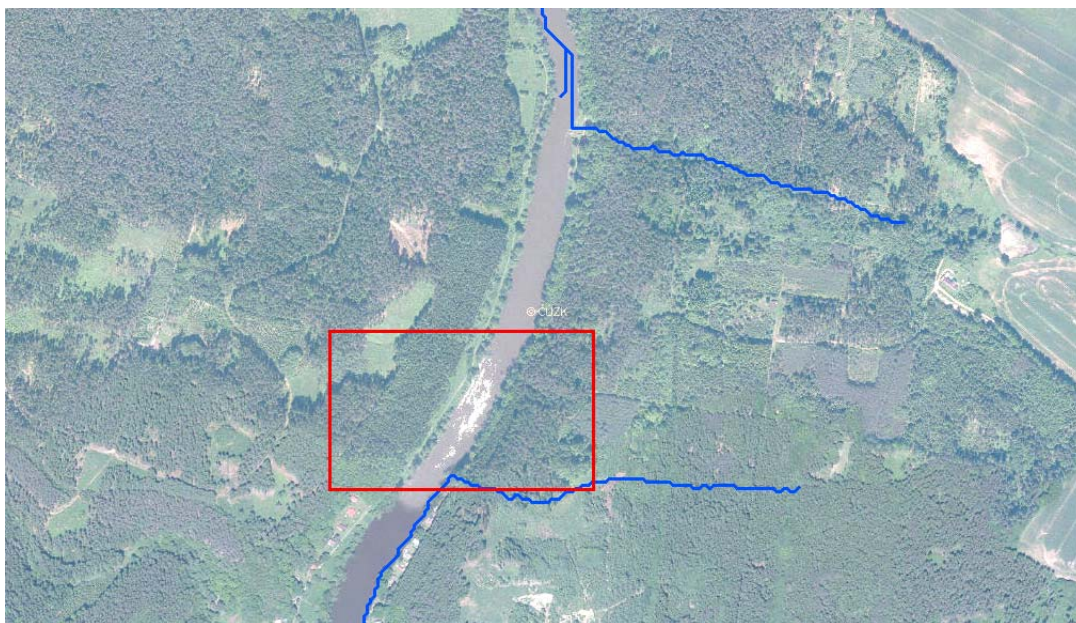


Obr. 10 Rozvodnice v oblasti hlavního evropského rozvodí. Červenou barvou jsou znázorněny rozvodnice DIBAVOD, růžovou barvu mají rozvodnice ČHMÚ a černou barvu představují rozvodnice ArcHydro.



Obr. 11 Rozdíl ve vymezení linií vodních toků v lokalitě Žandov. Vodní tok Hydro, znázorněný černou barvou byl vymezen skrz zástavbu, vodní tok DIBAVOD znázorněný modrou barvou vede po obvodu zástavby.

Lokalitou, kde je možné nalézt střední chybu v poloze linií, je lokalita Lužnice. V této oblasti se nenachází tak výrazné geomorfologické tvary jako např. v lokalitě Maršov, proto je obtížnější vymezení linií rozvodnic nad vrstevnicemi. Tím je dána i větší odchylka v poloze linií v tomto území. Jediný problém nastal u vyznačování linií vodních toků v korytě Lužnice, kde byl tok přerušen v místě peřejí (Obr. 12).



Obr. 12 Přerušení vodního toku v lokalitě Lužnice. Vodní tok ArcHydro, který je zobrazen modrou barvou byl přerušen v místě peřejí, které se nacházejí uvnitř obdélníku.

Lokalitou, kde je již pouze střední přesnost dat, je lokalita Bor. V tomto území polohu rozvodnic a vodních toků ovlivňuje velký počet rybníků, proto lze na mnoha místech najít odlišné vedení linií rozvodnic mezi databázemi. Poloha linií vodních toků je zde druhá nejnižší, což je dáno obtížným vymezením polohy linií na hladině vodních ploch.

V lokalitě Hraběšín je malá výšková členitost, proto je v některých místech složité určit polohu linií rozvodnic. Přesnost dat také ovlivňuje vodní kanál, který převádí vodu mezi povodími.

Lokalita Říp má druhou nejnižší výškovou členitost ze všech území, proto je zde malá polohová přesnost dat a také vysoké procentu dat s odchylkou větší než 100 m. Polohu linií ovlivňuje dálnice D8 procházející celým územím a také šterkovny nacházející se ve východní části území. Rozdílnost ve vymezení rozvodnic podél dálnice D8 lze vidět na Obr. 13.



Obr. 13 Linie rozvodnic a vodních toků v části území lokality Říp. Černé linie představují rozvodnice ArcHydro, které jsou vedeny podél dálnice D8 vystupující nad terén. Červenou barvou jsou znázorněny rozvodnice DIBAVOD, růžovou barvu představují rozvodnice ČHMÚ. Tyto rozvodnice jsou vykresleny nad vrstevnicemi a nedbají na dálnici vedoucí uprostřed snímku. Modrou barvou jsou zobrazeny vodní toky DIBAVOD.

Lokalita Lysá je nejrovinatější ze všech území. Velké rozdíly v poloze linií zde nejsou dány jen plochým reliéfem, ale také velkým počtem antropogenních staveb. Nejvýznamnější zásahem je narovnání vodního toku Mlýnice, jehož koryto vede zcela mimo linii určenou v reliéfu. Na části svého toku je dokonce vyvýšen nad okolní terén a tímto místem je vedena linie rozvodnice ArcHydro. Další významnou stavbou v území je železnice, podél které také vede rozvodnice vygenerovaná z DMT, ovšem rozvodnice z databázi železnici křížují. V této lokalitě, se na mnoha místech zcela rozchází vymezení linií vodních toků i rozvodnic, což dokazuje nejvyšší hodnota dat s odchylkou větší než 100 m. V této oblasti byla také velmi složitá editace toků, protože lze jen těžko určit, který tok má být ponechán a který odebrán.

7 ZÁVĚR

Cílem práce bylo zhodnotit polohovou přesnost linií vodních toků a rozvodnice z databází dostupných v ČR. Byla představena metoda vymezení průběhu vodních toků a rozvodnic z DTM a dále pak porovnání jejich polohy s liniemi z databází. Cíl práce byl tedy splněn. V práci je také popsáno několik algoritmů, pomocí kterých lze vymezit průběh linií nad DTM a také způsoby porovnání polohové přesnosti linií v prostředí geoinformačních systémů.

Byl potvrzen předpoklad, že polohová přesnost linií je vyšší v oblastech s velkou vertikální členitostí, kde byly jen malé odchylky v poloze linií, nižší přesnost je v rovinatějších oblastech s malou výškovou členitostí. Z porovnávaných databází byla zjištěna větší přesnost u rozvodnic z databáze DIBAVOD oproti datům z ČHMÚ.

Všechny instituce pracující s hydrologickými daty, v ČR jsou to VÚV T. G. M. a ČHMÚ, se snaží o co nejpřesnější vymezení těchto linií a své databáze neustále zpřesňují a aktualizují. V práci byla představena metoda, podle níž je možné určovat průběh linií vodních toků a rozvodnic z DTM. Tato metoda je výrazně přesnější než vymezování linií nad vrstevnicemi, jak k tomu dochází nyní. DTM znázorňuje skutečný tvar reliéfu i s jeho drobnými nepřesnostmi, které nejsou vrstevnice schopné zachytit.

Představená metoda je v budoucnosti využitelná k zpřesňování polohy linií v hydrologických databázích. Metoda byla testována pouze na malém území, je však použitelná i pro území větších rozměrů. Výhodou je také částečné zautomatizování postupu při vymezování těchto linií. Metoda není zcela automatická a jsou zde potřeba zásahy a kontrola uživatele, je jich však podstatně méně než u vymezování linií nad vrstevnicemi.

SEZNAM ZDROJŮ

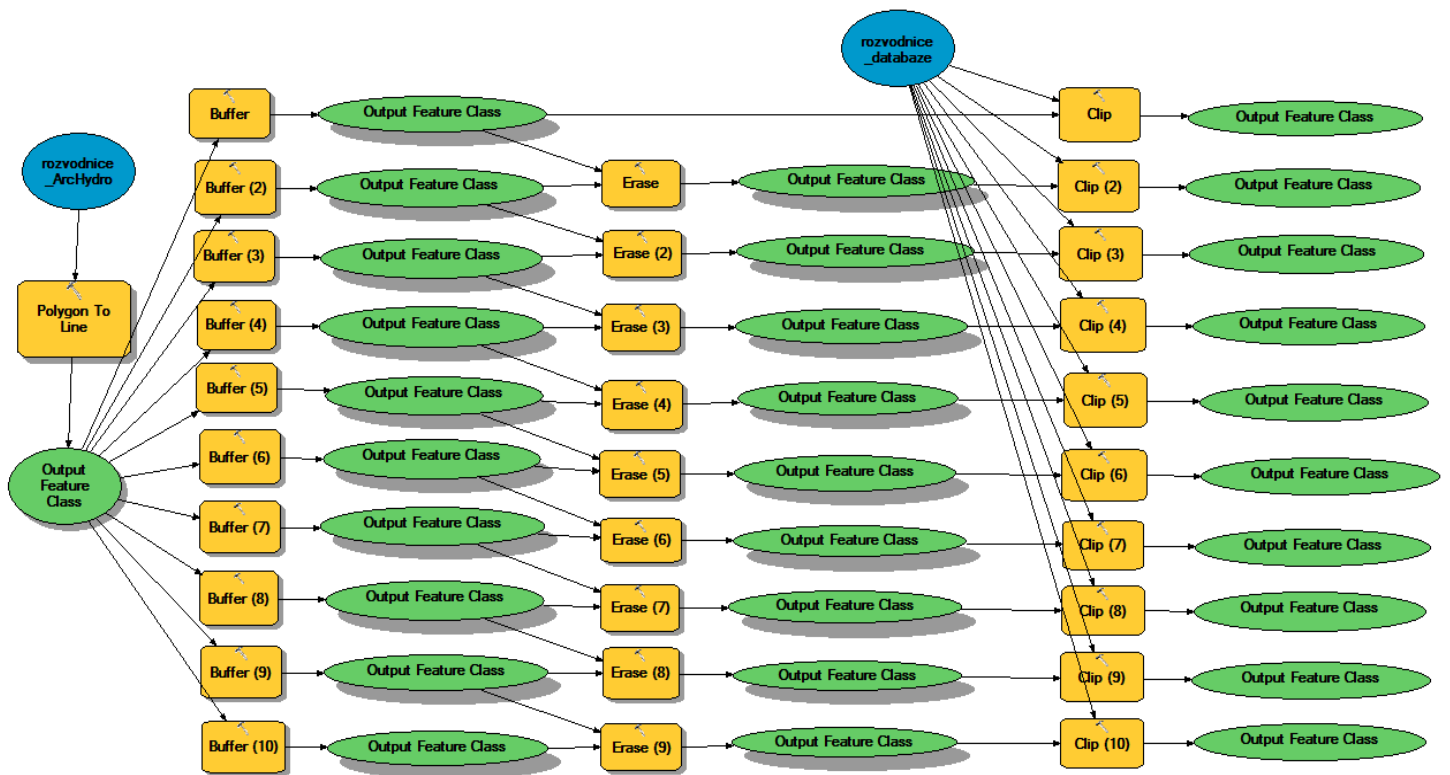
- ČHMÚ 2012. *Nové rozvodnice 1 : 10 000* [online]. [cit. 2013-7-20] Dostupné z URL: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/hydro/opv/Rozvodnice_10000.pdf
- ČÚZK 2012. *Technická zpráva k digitálnímu modelu terénu 4. generace (DMR 4G)* [online]. [cit. 2013-7-20] Dostupné z URL: http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_4G_15012012.pdf
- ČÚZK 2013. *Katalog objektů ZABAGED* [online]. [cit. 2013-8-9] Dostupné z URL: http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/KATALOG_OBJEKTU_ZABAGED_2013.pdf
- DEMEK, J. 1987. *Obecná geomorfologie*. 1. vydání. Praha, Academia. 476 s.
- ENDRENY, T. A.; WOOD, E. F. 2003. *Maximizing spatial congruence of observed and DEM-delineated overland flow networks*. International Journal of Geographical Information Science, 17(7), 699-713.
- ESRI 201?. *Arc Hydro Overview* [online]. [cit. 2013-8-10] Dostupné z URL: <http://resources.arcgis.com/en/communities/hydro/01vn000000s000000.htm>
- ESRI 2011. *Arc Hydro Tools - Tutorial* [online]. [cit. 2013-8-5] Dostupné z URL: <http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2011/10/12/arc-hydro-tools-version-2-0-are-now-available/>
- ESRI 2012. *ArcGIS Desktop 10.0 Help Server* [online]. [cit. 2013-7-4] Dostupné z URL: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html>
- FOJTÍK, T. 2013. *Data DIBAVOD* [email]. [2013-8-9]
- HEO, J. [et al.] 2008. *New Line Accuracy Assessment Methodology Using Nonlinear Least-Squares Estimation*. Journal of Surveying Engineering, 134(1), 13-20.
- JAROŠ, J. 2011. *Detekce linií terénní kostry z dat leteckého laserového skenování*. Praha. 86 s. vč. příloh + 1 CD-ROM. Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie. Vedoucí diplomové práce Jakub Lysák.
- KEMEL, M.; KOLÁŘ, V. 1980. *Hydrologie*. 1. vydání. Praha, ČVUT. 292 s.
- O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. 1984. *The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data*. Computer Vision Graphics and Image Processing, 28(3), 323-344.
- QUINN, P. [et al.] 1991. *The Prediction of Hillslope Flow Paths for Distributed Hydrological Modeling Using Digital Terrain Models*. Hydrological Processes, 5(1), 59-79.

- ŠERCL, P. 2005. *Nové zpracování rozvodnic a geodatabáze hydrologie povrchových vod v ČHMÚ* [online]. [cit. 2013-7-20] Dostupné z URL: <http://download.arcdata.cz/ArcRevue/2005/4/09-zprac-rozvodnic-CHMU.pdf>
- TARBOTON, D. G. 1997. *A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models*. Water Resources Research, 33(2), 309-319.
- 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.
- UHLÍŘOVÁ, K.; NOVÁKOVÁ, H. 2012. *Využití dat leteckého laserového skenování pro revizi datových sad rozvodnic a vodních toků*. VTEI, 54(2), 1-4.
- UHLÍŘOVÁ, K.; ZBOŘIL, A. 2009. *Možnosti využití dat laserového snímání povrchu pro vodohospodářské účely* [online]. [2013-8-17] Dostupné z URL: http://www.dibavod.cz/data/lis_clanek_vtei.pdf?PHPSESSID=fba2880aded810fb1bd2a9e1da969eda
- VÚGTK 2005-2013. *Terminologický slovník zeměměřičství a katastru nemovitostí* [online]. [cit. 2013-8-5] Dostupné z URL: <http://www.vugtk.cz/slovník>
- VÚV 2013. *O projektu DIBAVOD* [online]. [cit. 2013-7-20] Dostupné z URL: <http://www.dibavod.cz/17/o-projektu-dibavod.html>

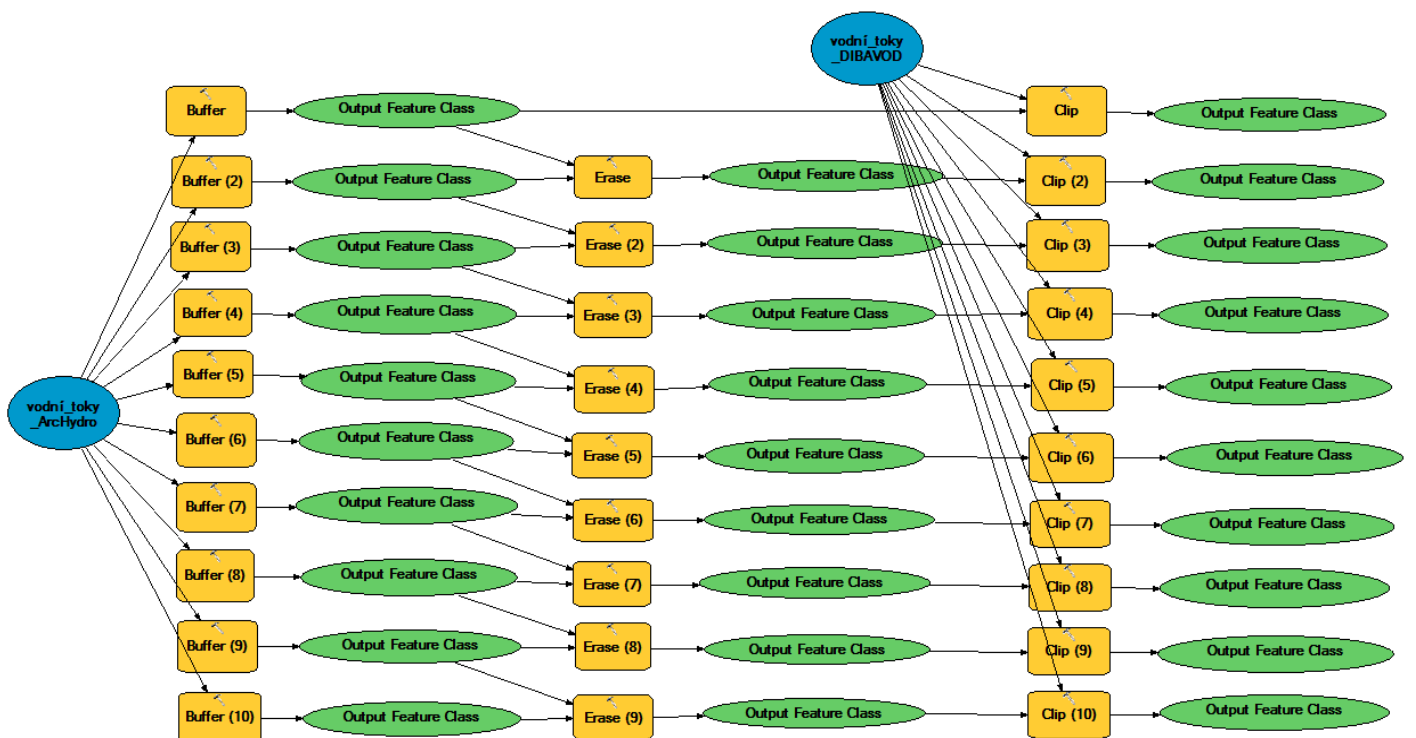
SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 CD s elektronickou verzí práce
- Příloha 2.1 ModelBuilder pro vymezení linií rozvodnic
- Příloha 2.2 ModelBuilder pro vymezení linií vodních toků
- Příloha 3 Tabulka s procentuálním zastoupením linií uvnitř bufferů
- Příloha 4.1 Grafy znázorňující polohovou přesnost linií rozvodnic v jednotlivých lokalitách
- Příloha 4.2 Grafy znázorňující polohovou přesnost linií vodních toků v jednotlivých lokalitách
- Příloha 5 Mapy pro jednotlivé lokality ukazující polohu všech liniových prvků

Příloha 2.1 ModelBuilder pro vymezení linií rozvodnic



Příloha 2.1 ModelBuilder pro vymezení linií vodních toků



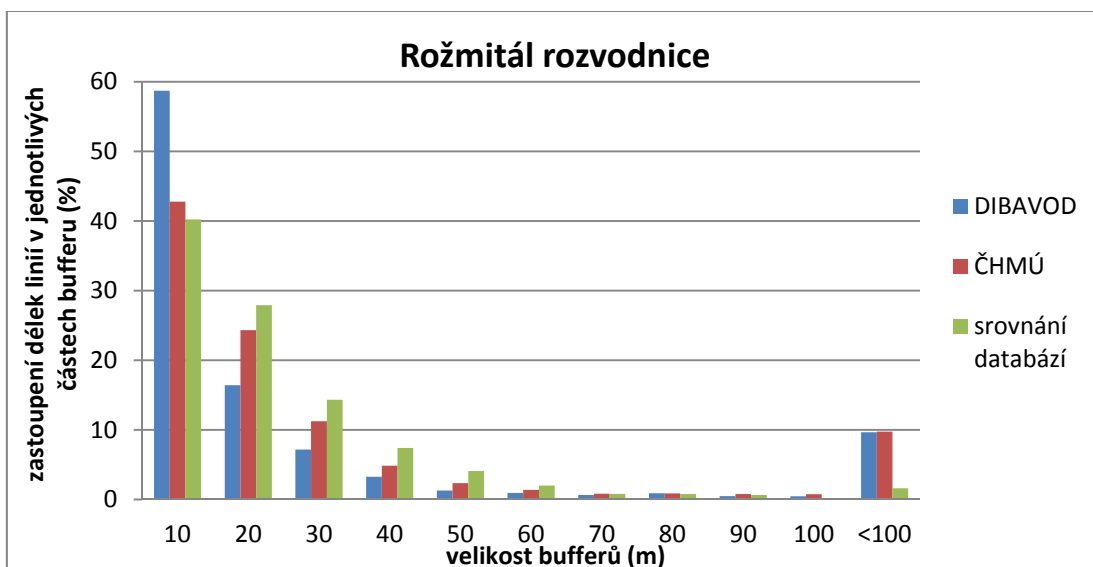
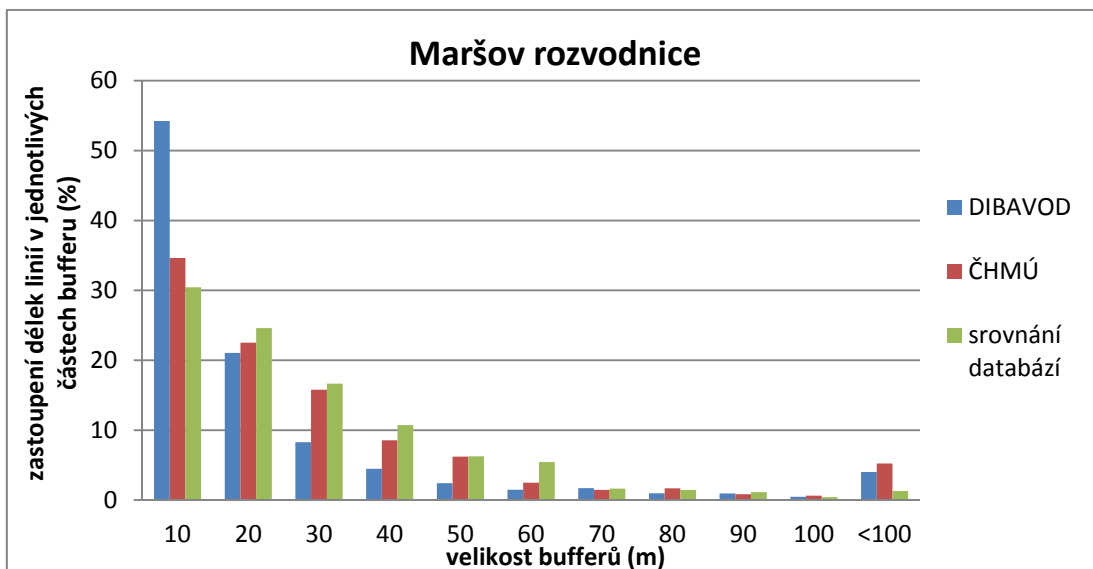
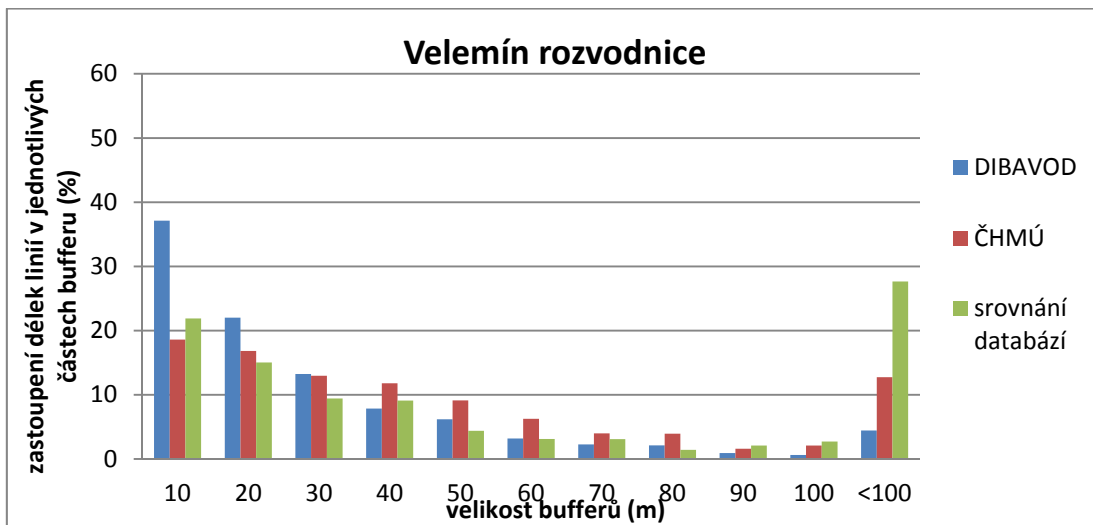
Příloha 3 Tabulka s procentuálním zastoupením linií uvnitř bufferů

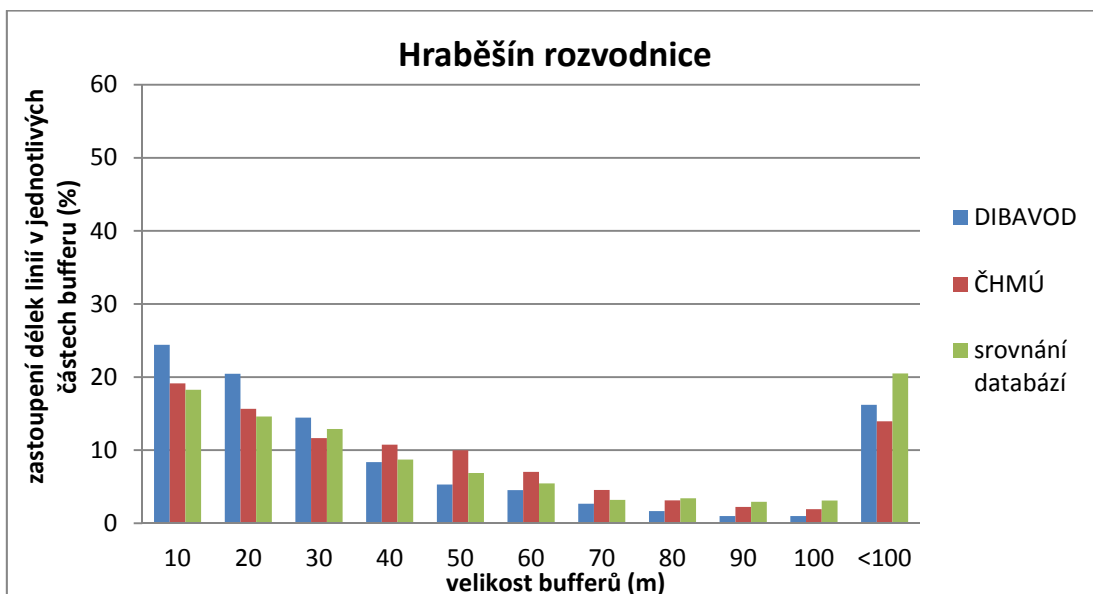
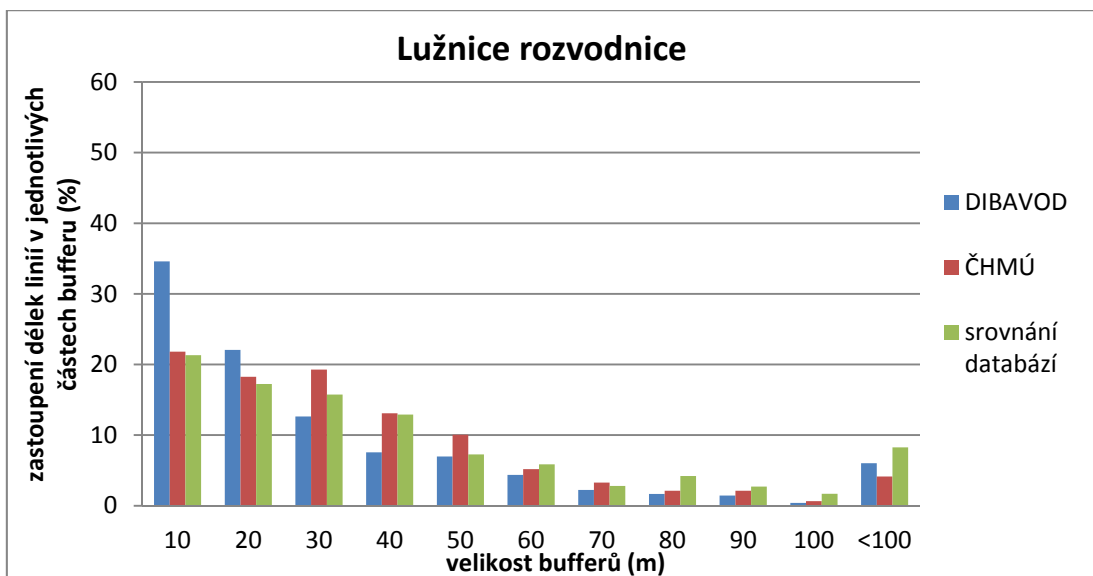
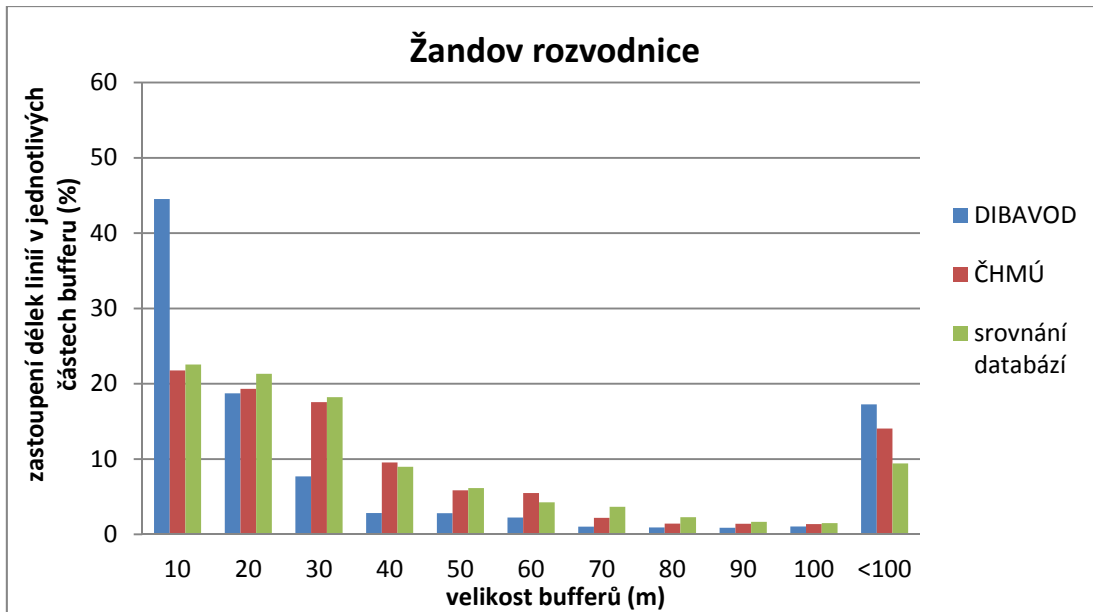
velikost bufferů	10 m	20 m	30 m	40 m	50 m	60 m	70 m	80 m	90 m	100 m	<100 m
Velemín	37,1	22,0	13,2	7,9	6,2	3,2	2,3	2,1	0,9	0,6	4,4
	18,6	16,8	13,0	11,8	9,1	6,3	4,0	3,9	1,6	2,1	12,7
	21,9	15,0	9,4	9,1	4,4	3,1	3,1	1,4	2,1	2,7	27,7
	37,0	12,3	7,1	3,9	2,4	1,7	1,7	1,6	1,3	1,0	30,0
	58,3	19,5	10,3	4,8	2,2	1,3	1,3	0,8	0,8	0,4	0,2
Maršov	54,2	21,0	8,3	4,5	2,4	1,5	1,7	1,0	0,9	0,5	4,0
	34,6	22,5	15,8	8,5	6,2	2,5	1,5	1,7	0,8	0,6	5,2
	30,4	24,6	16,6	10,7	6,2	5,4	1,6	1,4	1,1	0,4	1,3
	58,7	10,7	2,8	1,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	20,7
	83,1	13,4	2,1	1,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rožmitál	58,7	16,4	7,2	3,3	1,3	0,9	0,7	0,9	0,5	0,5	9,7
	42,8	24,3	11,2	4,9	2,4	1,4	0,8	0,9	0,8	0,8	9,8
	40,2	27,9	14,3	7,4	4,1	2,0	0,8	0,8	0,7	0,1	1,6
	52,1	13,9	3,3	2,2	1,2	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	22,6
	76,0	18,8	3,4	1,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Žandov	44,5	18,7	7,7	2,8	2,8	2,2	1,0	0,9	0,9	1,1	17,3
	21,8	19,3	17,6	9,6	5,8	5,5	2,2	1,4	1,4	1,4	14,0
	22,6	21,3	18,2	9,0	6,1	4,3	3,7	2,3	1,7	1,5	9,4
	39,8	10,7	4,6	3,3	2,9	2,5	1,6	0,9	1,2	0,9	31,7
	66,9	16,6	6,2	3,0	1,5	1,6	1,2	0,3	0,3	0,3	2,1
Lužnice	34,6	22,1	12,6	7,6	7,0	4,4	2,2	1,7	1,4	0,4	6,0
	21,8	18,3	19,3	13,1	10,1	5,2	3,3	2,1	2,1	0,7	4,1
	21,3	17,2	15,7	12,9	7,3	5,9	2,8	4,2	2,7	1,7	8,3
	53,2	12,6	5,4	1,9	1,1	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	21,6
	76,5	16,7	5,4	1,1	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hraběšín	24,4	20,5	14,5	8,4	5,3	4,5	2,7	1,7	1,0	1,0	16,2
	19,1	15,7	11,6	10,7	10,0	7,0	4,5	3,1	2,2	1,9	14,0
	18,3	14,6	12,9	8,7	6,9	5,5	3,2	3,4	2,9	3,1	20,5
	50,4	13,0	4,2	2,2	1,6	1,2	1,3	0,9	0,8	0,7	23,6
	71,4	17,5	5,4	2,5	1,2	0,5	0,5	0,4	0,1	0,1	0,5
Bor	31,9	21,4	13,7	7,8	6,0	3,8	2,7	3,0	2,9	1,3	5,5
	22,3	15,7	12,7	11,0	9,5	7,0	5,1	3,7	2,7	2,5	7,7
	19,0	15,0	10,4	9,7	8,7	6,1	4,5	3,2	2,9	3,9	16,5
	33,1	10,7	6,9	5,6	5,1	3,2	2,4	2,3	2,3	1,8	26,4
	51,3	14,6	8,9	6,3	4,9	2,7	1,9	2,1	2,3	1,3	3,6
Říp	24,7	16,9	14,1	7,1	4,6	3,0	1,9	2,1	2,2	1,0	22,4
	16,6	15,0	11,0	8,1	7,1	6,0	5,3	4,6	2,9	2,1	21,3
	26,3	15,8	13,7	10,9	8,4	7,0	5,0	5,0	2,5	2,1	3,1
	54,5	8,0	6,6	4,2	1,8	1,1	1,1	0,8	0,7	0,7	20,5
	74,7	10,1	8,2	4,9	1,5	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Lysá	17,1	11,8	8,2	6,3	5,4	5,4	6,4	4,4	3,7	2,5	28,9
	14,8	11,3	10,8	7,6	6,1	5,7	4,6	4,0	3,6	3,2	28,3
	9,8	11,3	8,2	8,6	6,6	4,7	4,8	5,3	3,9	2,9	33,9
	17,5	8,7	7,5	7,8	5,7	4,2	3,4	2,9	2,9	2,8	36,4
	25,2	11,8	9,8	9,4	7,2	4,9	3,7	3,1	2,9	2,6	19,5

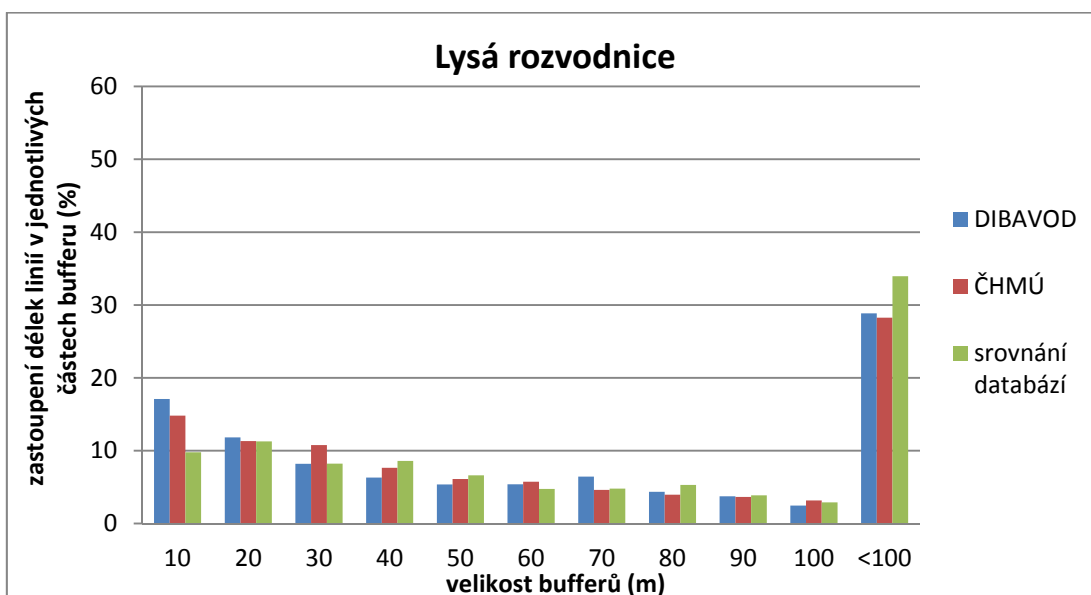
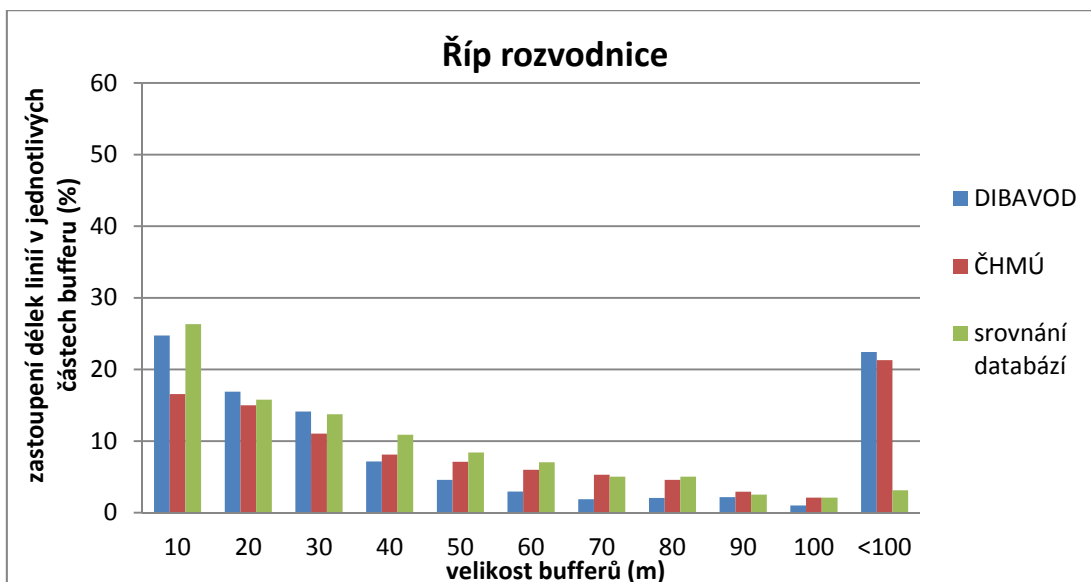
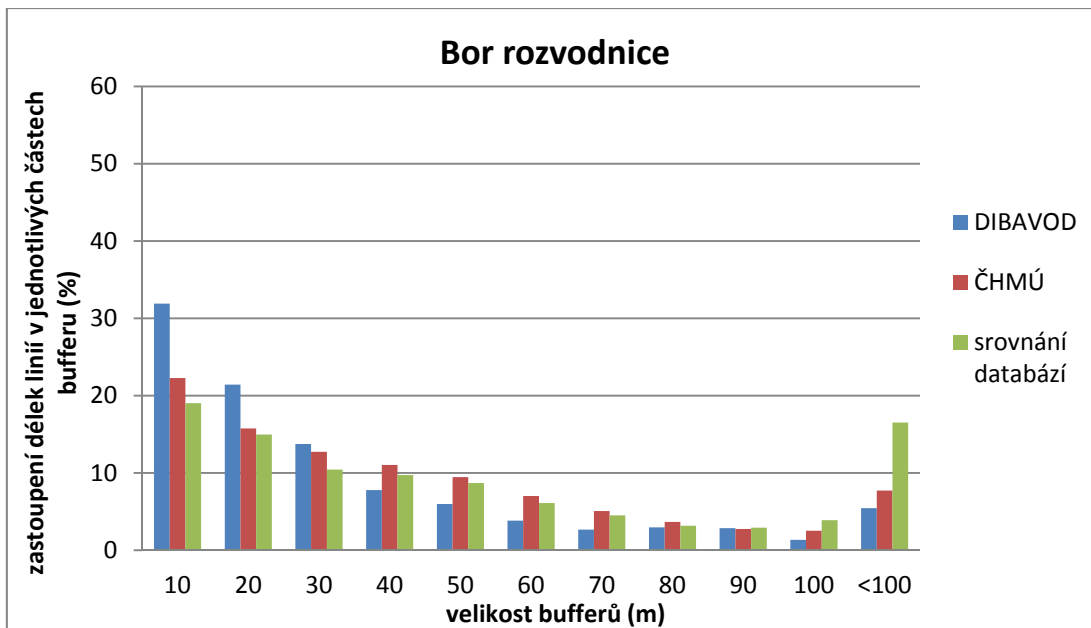
DIBAVOD
ČHMÚ
srovnání databází
originální toky
editovné toky

Příloha 4.1 Grafy znázorňující polohovou přesnost linií rozvodnic v jednotlivých lokalitách

Lokality jsou řazeny sestupně podle maximálního rozdílu nadmořských výšek.

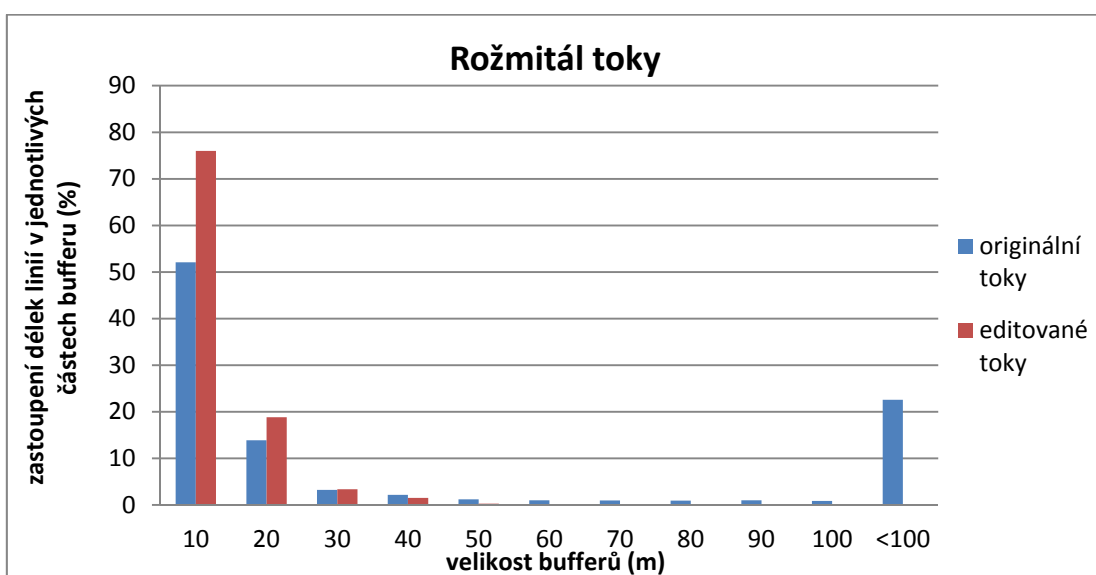
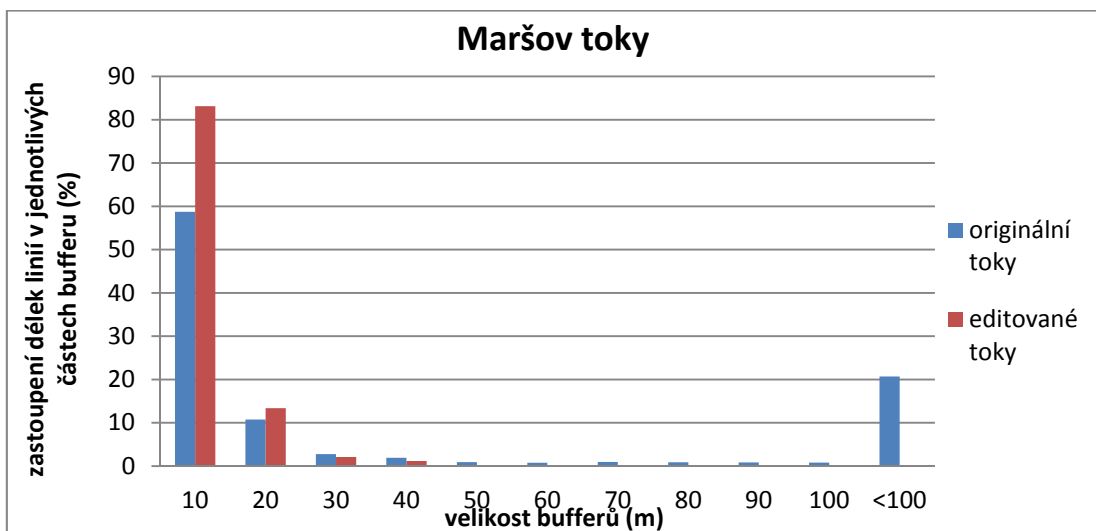
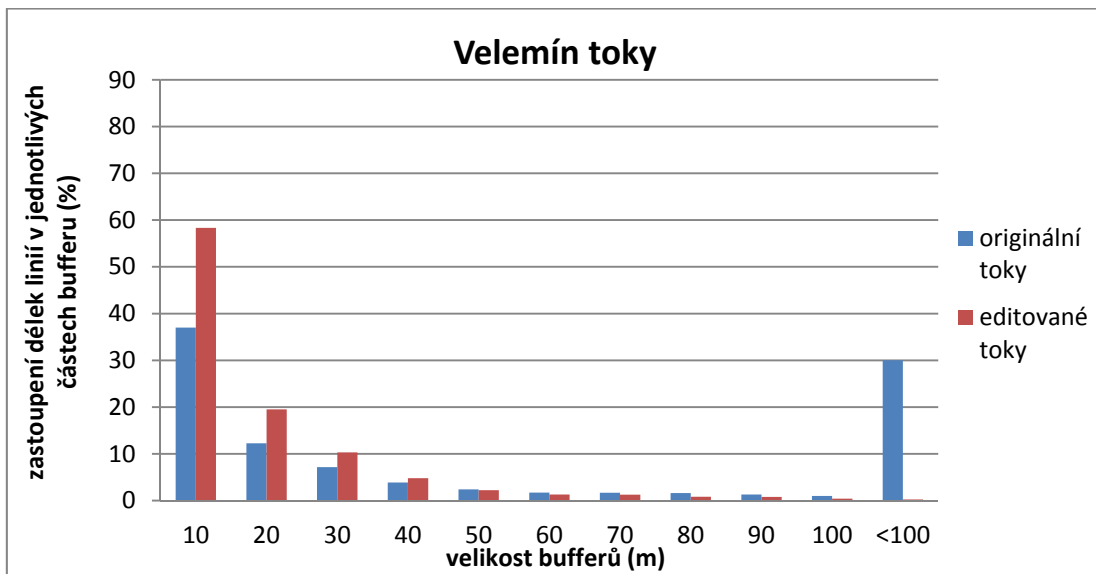


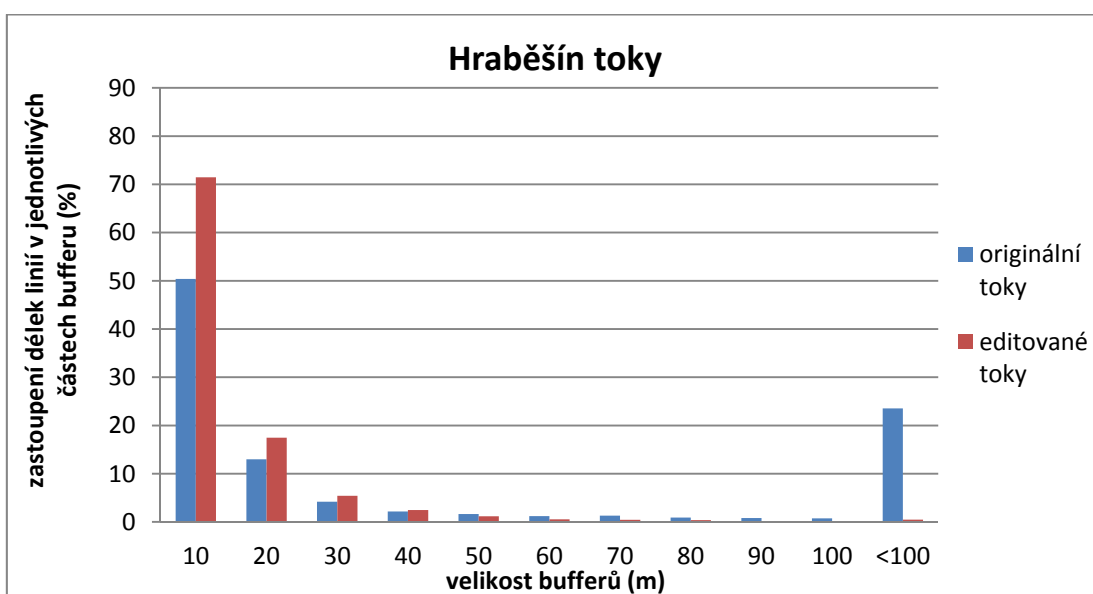
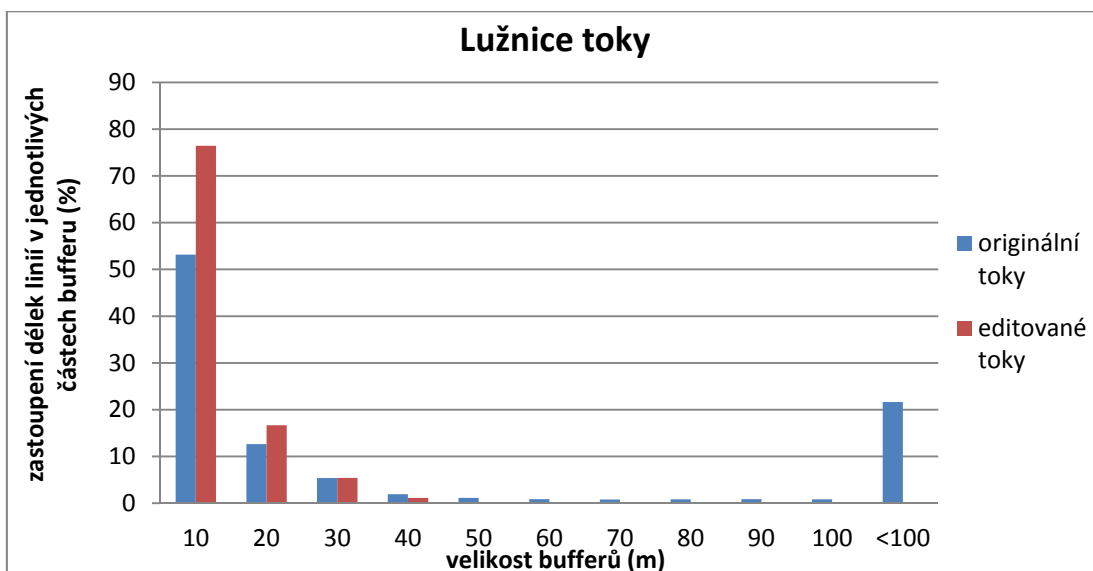
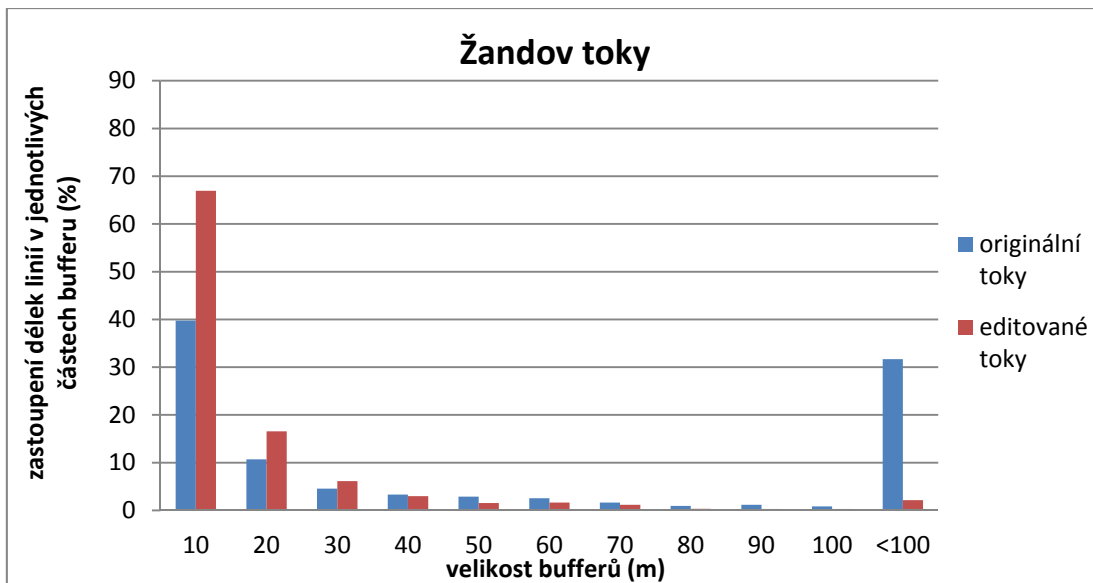


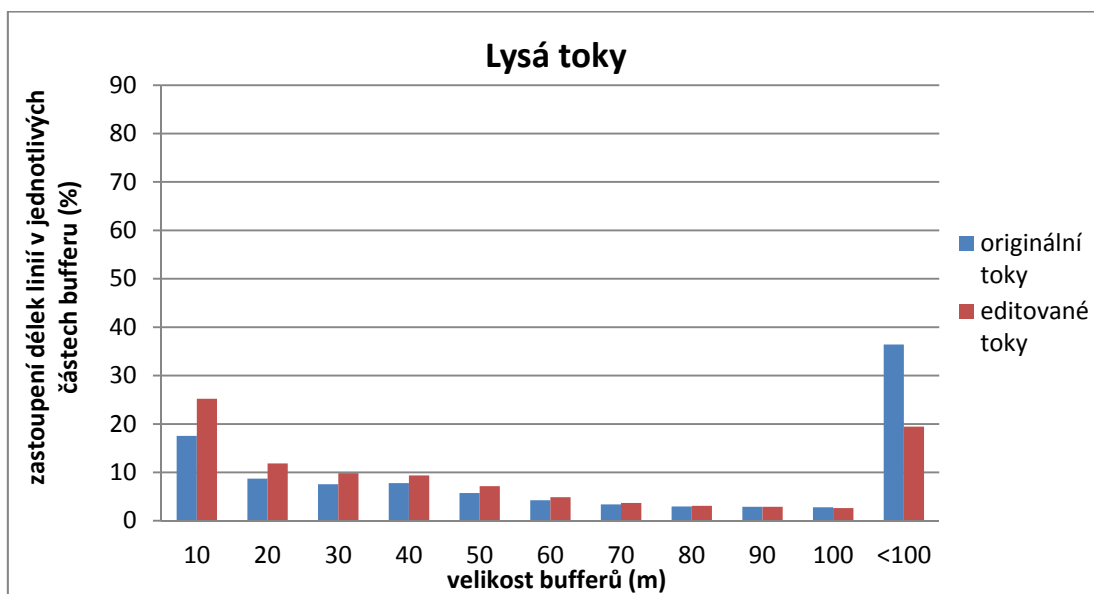
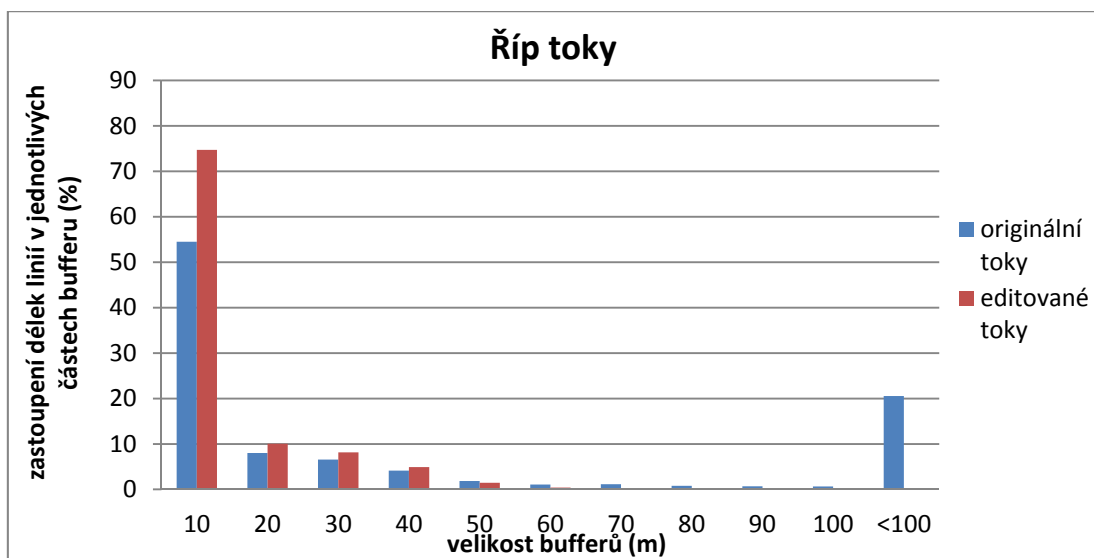
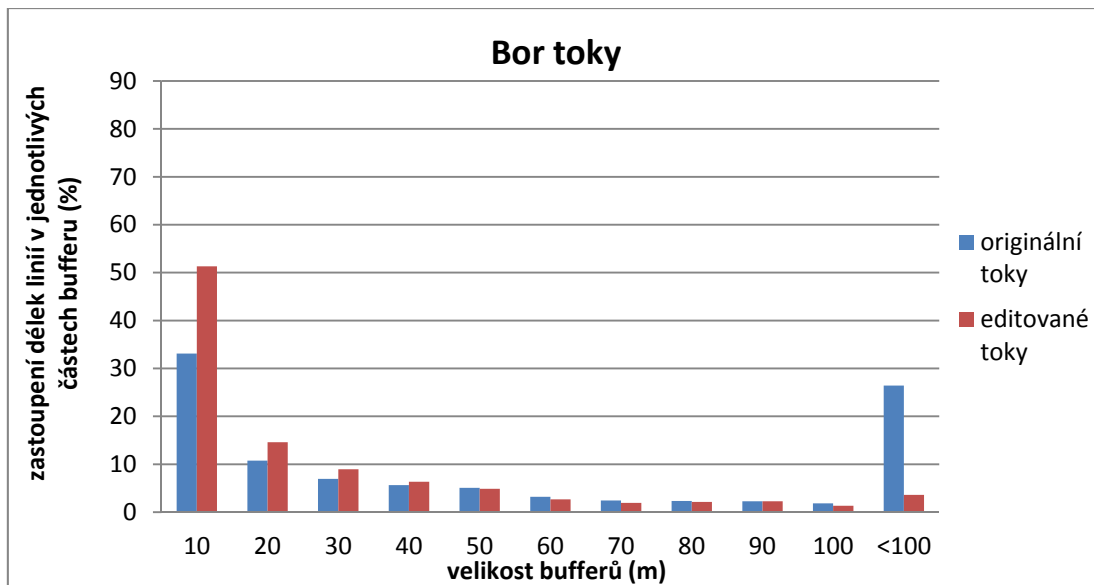


Příloha 4.1 Grafy znázorňující polohovou přesnost linií vodních toků v jednotlivých lokalitách

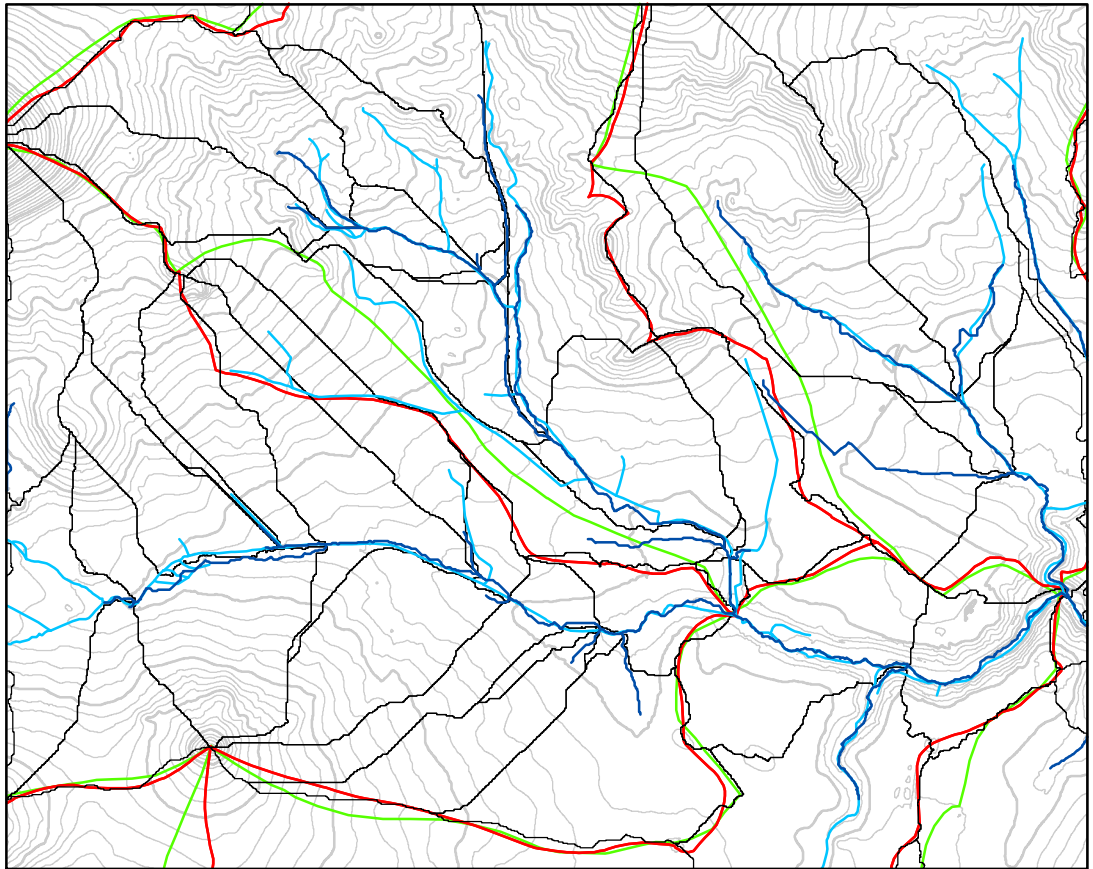
Lokalitty jsou řazeny sestupně podle maximálního rozdílu nadmořských výšek.



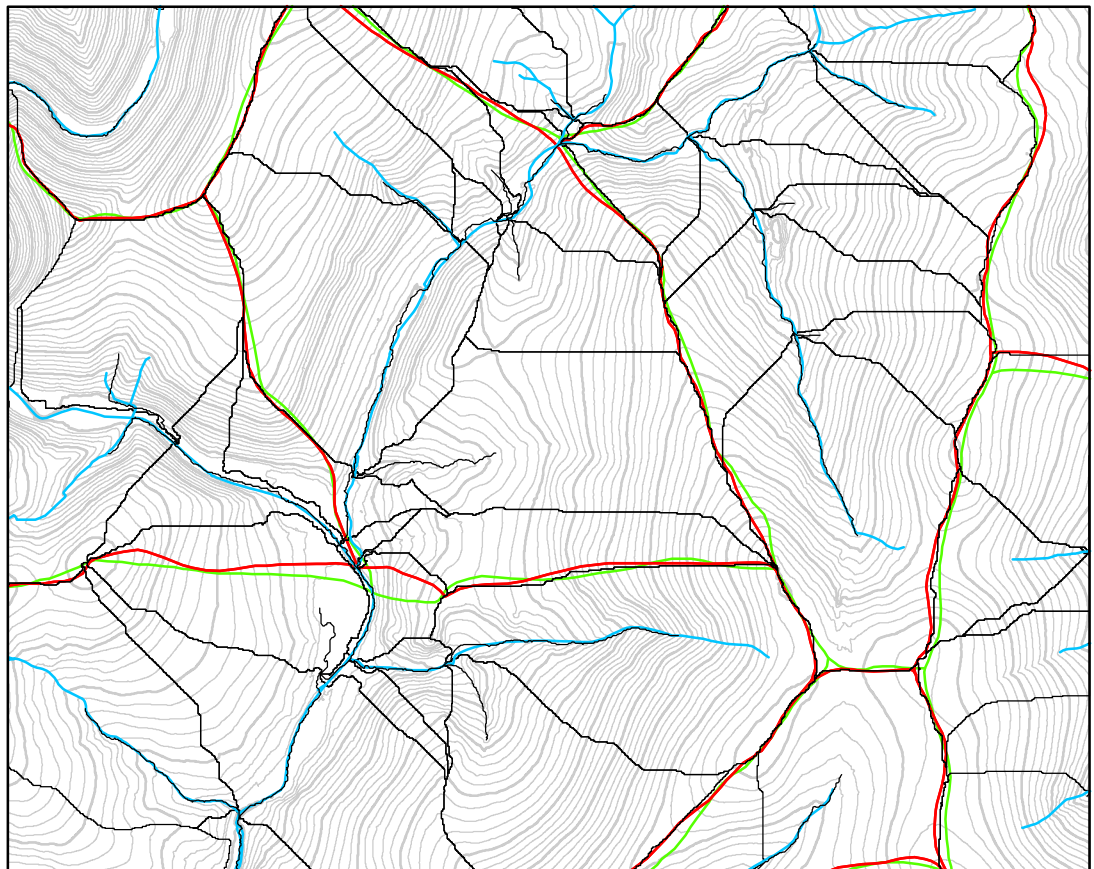










VELEMÍN



MARŠOV

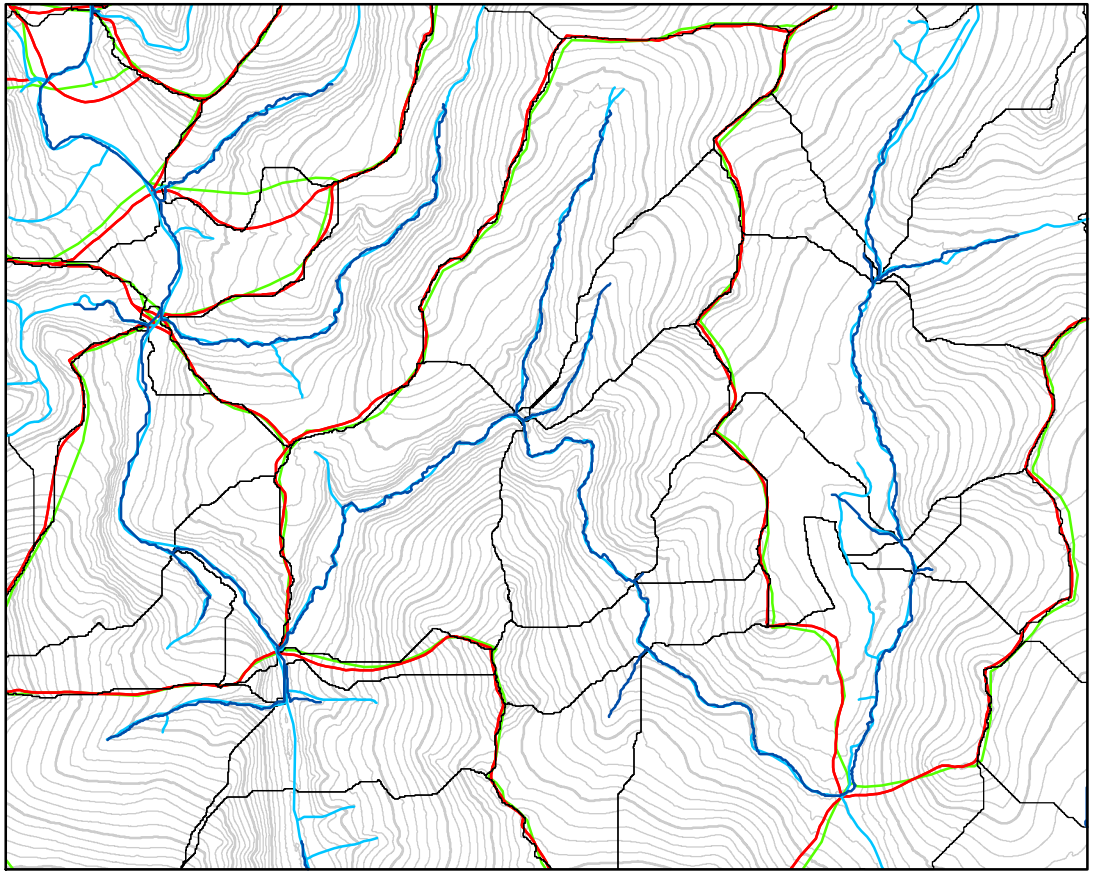


-  rozvodnice ArchHydro
-  rozvodnice DIBAVOD
-  rozvodnice ČHMÚ
-  vodní tok ArchHydro
-  vodní tok DIBAVOD
-  vrstevnice po 10 m

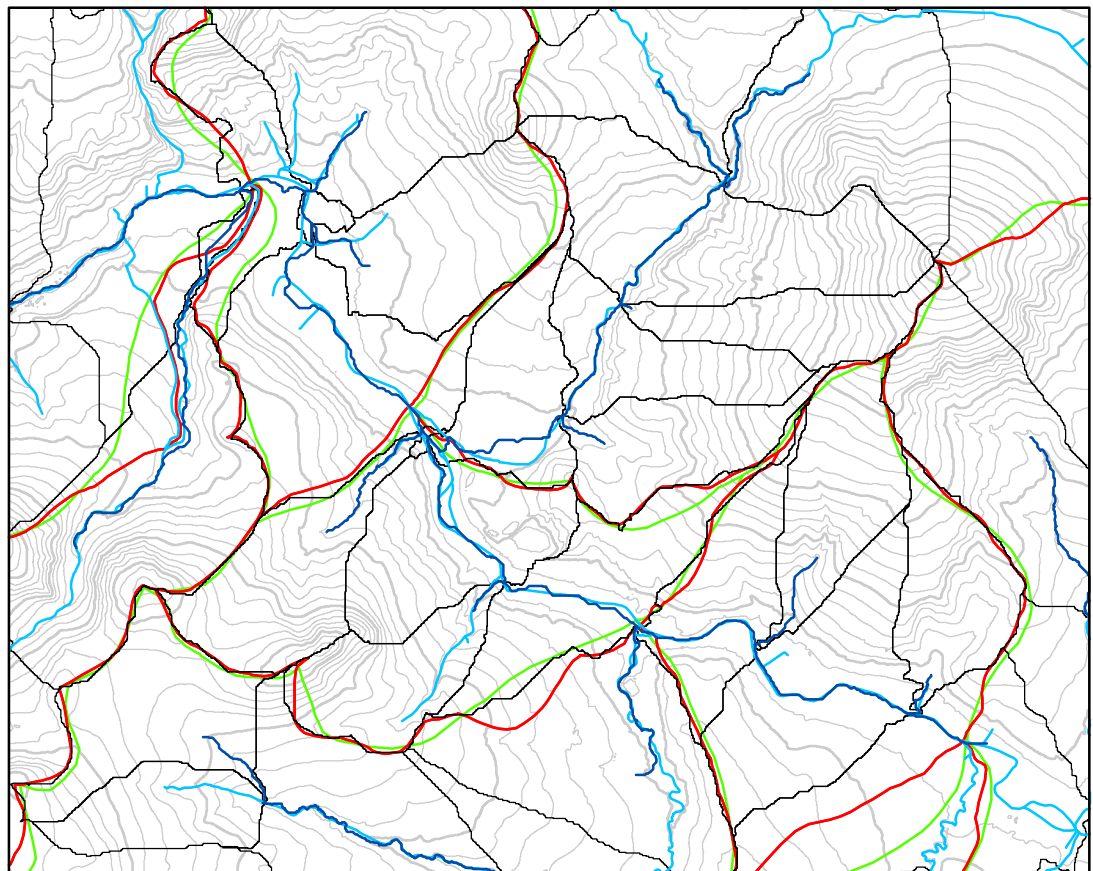
0 2 km









ROŽMITÁL



ŽANDOV

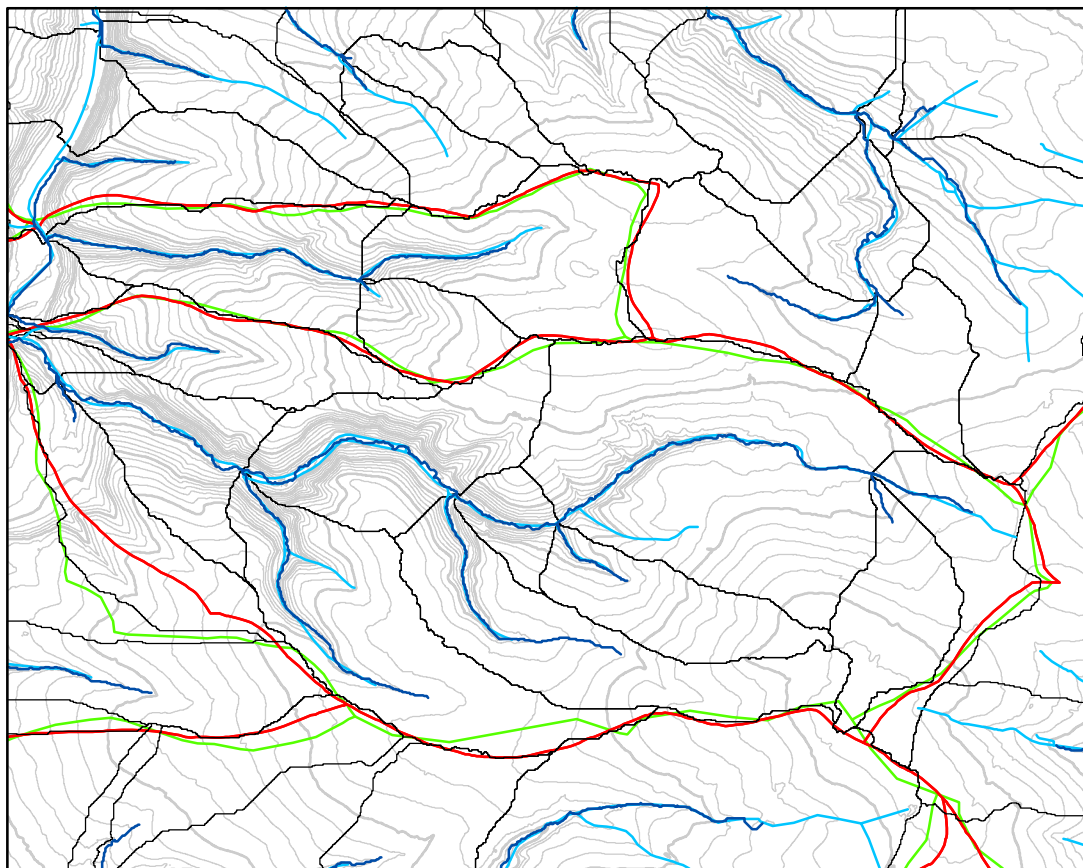


-  rozvodnice ArchHydro
-  rozvodnice DIBAVOD
-  rozvodnice ČHMÚ
-  vodní tok ArchHydro
-  vodní tok DIBAVOD
-  vrstevnice po 10 m

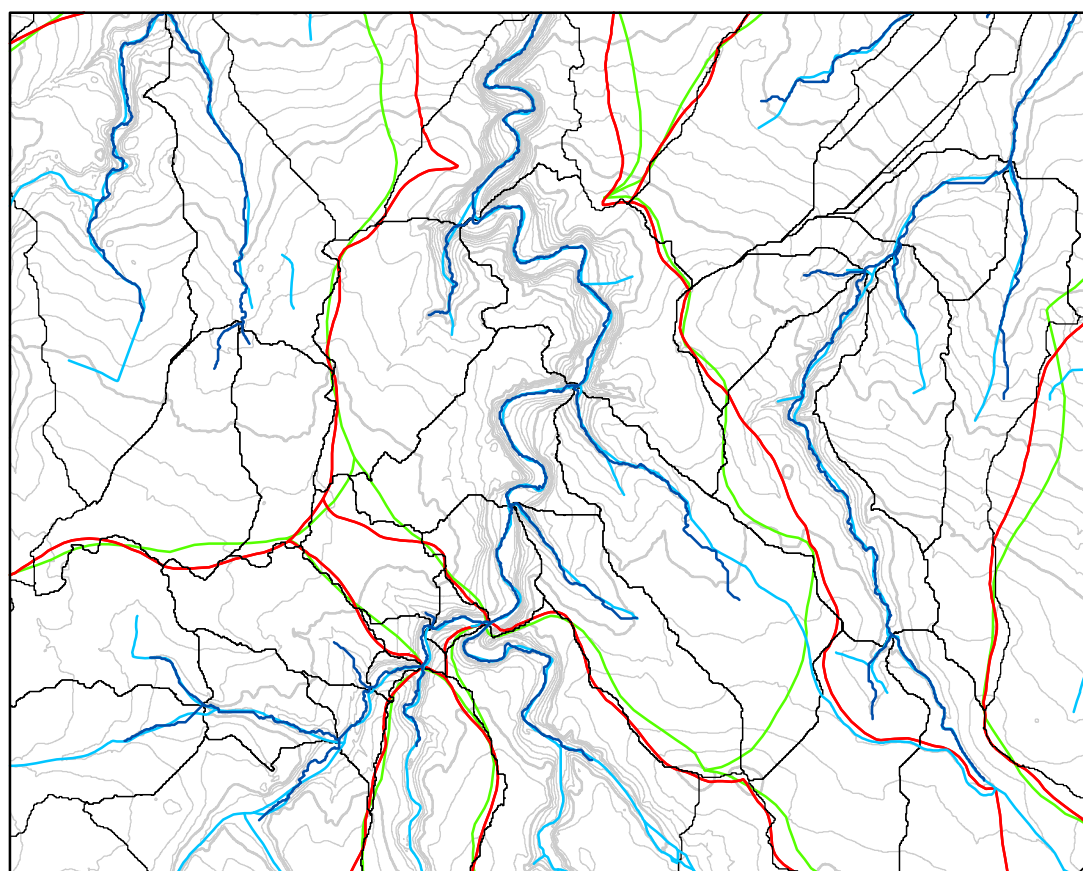
0 2 km









LUŽNICE



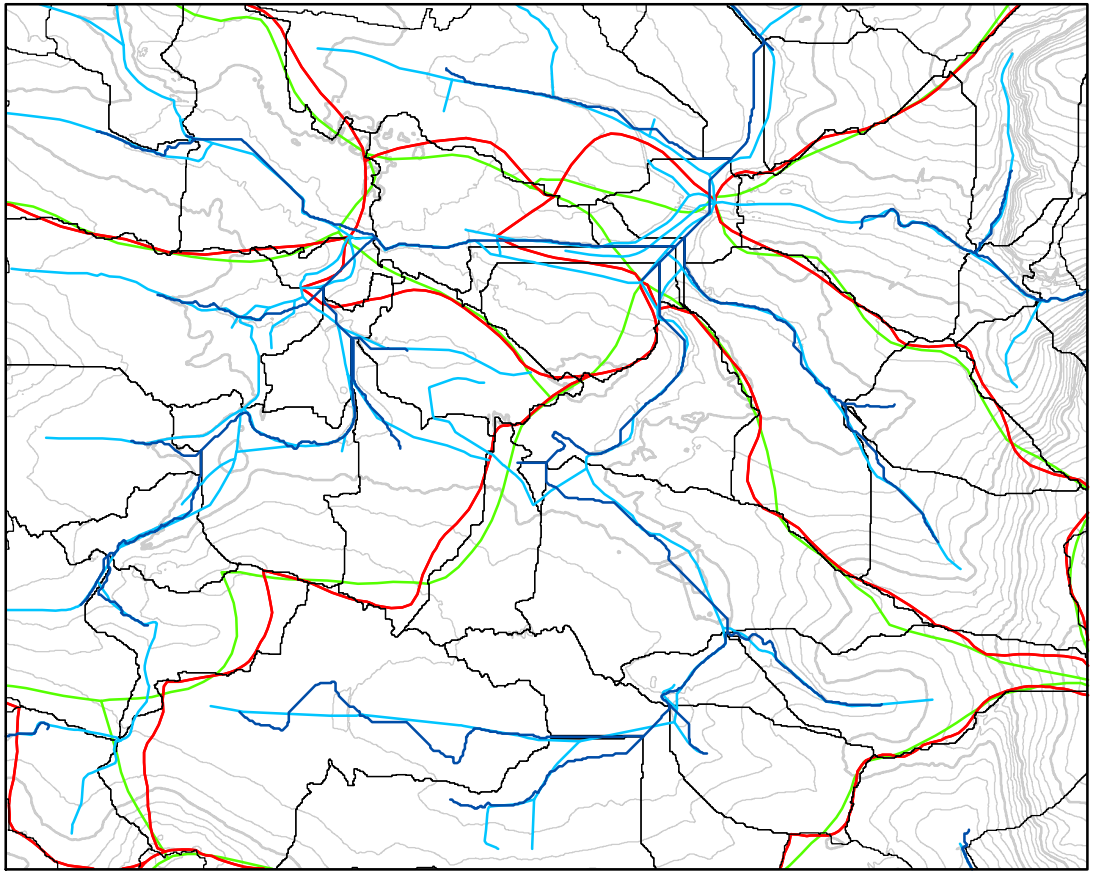
HRABĚŠÍN



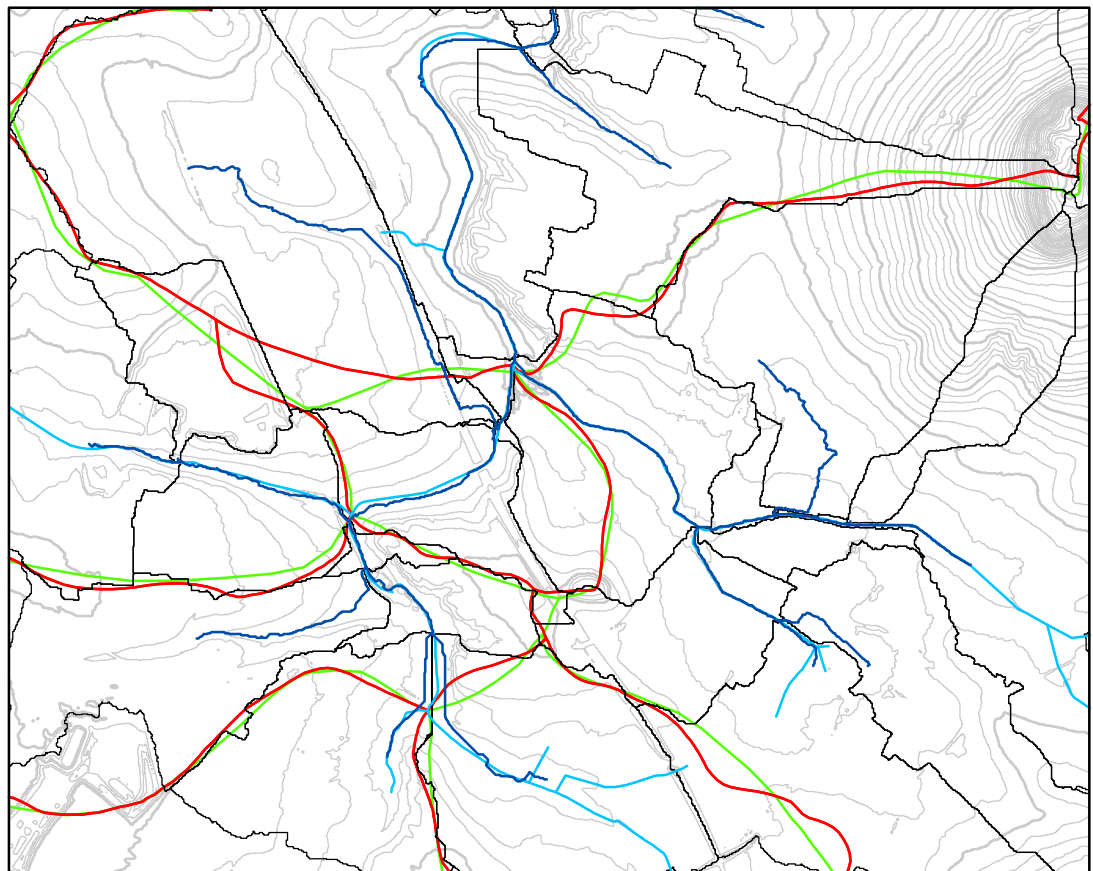
-  rozvodnice ArcHydro
-  vodní tok ArcHydro
-  rozvodnice DIBAVOD
-  vodní tok DIBAVOD
-  rozvodnice ČHMÚ
-  vrstevnice po 5 m







0  2 km

BOR



ŘÍP

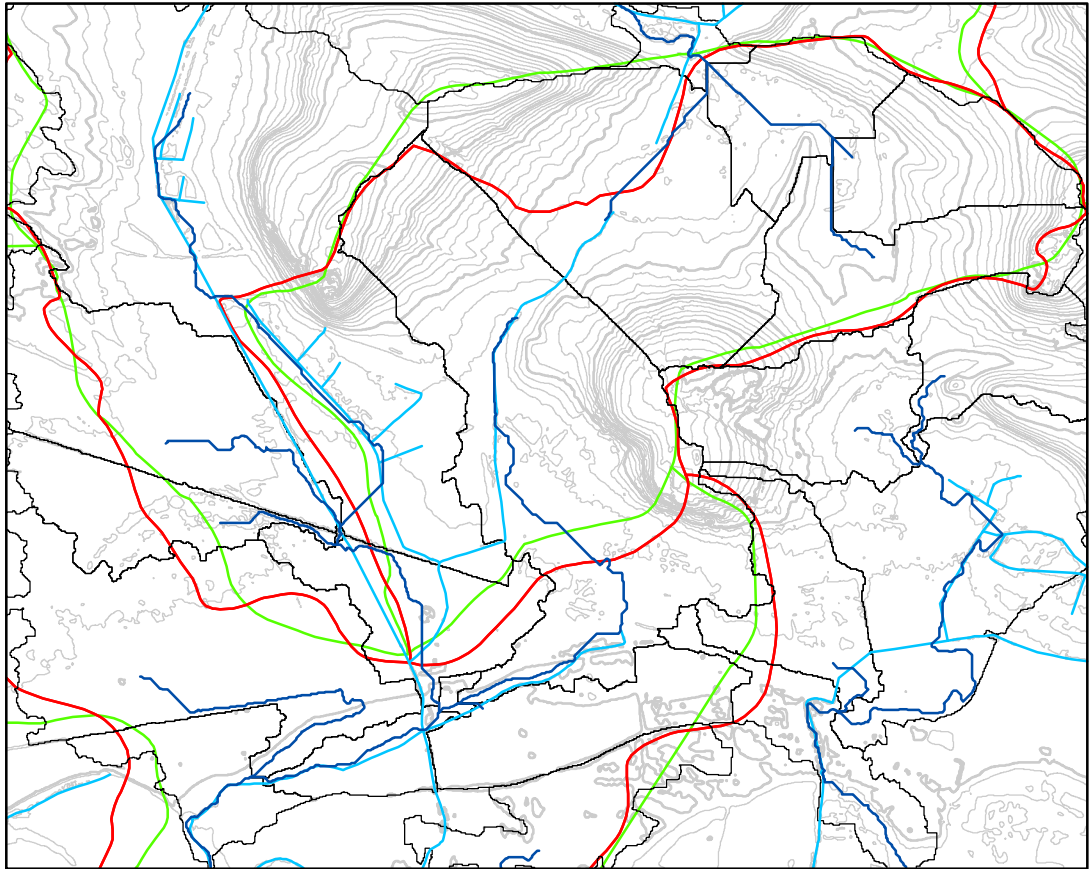


-  rozvodnice ArchHydro
-  rozvodnice DIBAVOD
-  rozvodnice ČHMÚ
-  vodní tok ArchHydro
-  vodní tok DIBAVOD
-  vrstevnice po 5 m

0 2 km



LYSÁ



- rozvodnice ArchHydro
- rozvodnice DIBAVOD
- rozvodnice ČHMÚ
- vodní tok ArchHydro
- vodní tok DIBAVOD
- vrstevnice po 2 m

0 2 km