
ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIROMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ

**VYŠETŘENÍ MORFOMETRICKÝCH CHARAKTERISTIK A
ODTOKOVÝCH CEST PRO POVODÍ LITOVICKO – ŠÁRECKÉHO
POTOKA V PROSTŘEDÍ GIS**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Vedoucí práce: Ing. Petr Bašta

Vypracoval: Vítězslav Prágr

2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vítězslav Prágr

Vodní hospodářství

Název práce

Vyšetření morfometrických charakteristik a odtokových cest pro povodí Litovicko-Šáreckého potoka v prostředí GIS

Název anglicky

Geometric and Terrain Characteristics Modelling and Flowpath Determination in Litovicko-Sarecky potok River Basin

Cíle práce

1. V rámci rešerše budou definovány pojmy z oblasti geometrických a terénních charakteristik povodí a metody jejich zjišťování v prostředí GIS i mimo něj.
2. V praktické části budou tyto charakteristiky vyšetřeny pro povodí Litovicko-Šáreckého potoka pomocí vybraných nástrojů GIS na základě dvou datových sad pro tvorbu digitálního modelu terénu – ZABAGED a DMR 5G. Dále budou vyšetřeny cesty soustředěného povrchového odtoku s vazbou na umístění malých vodních nádrží v povodí a možnosti jejich potenciálního zanášení.

Metodika

1. Popis geometrických charakteristik povodí (zejména tvarové charakteristiky povodí) a metod jejich šetření
2. Popis digitálního modelu terénu a možnosti jeho interpolace
3. Popis primárních terénních (orografických) charakteristik povodí (výškové a sklonové poměry povodí) a možnosti jejich šetření
4. Popis metod analýzy směrů povrchového odtoku v terénu a šetření odtokových cest
5. Popis zájmového povodí Litovicko-Šáreckého potoka, popis datových sad DIBAVOD, výškopisu ZABAGED 3D a DMR 5G
6. Práce v GIS – vyšetření výše uvedených charakteristik pro zájmové povodí na základě zmíněných datových sad
7. Vyšetření směrů povrchového odtoku a jeho akumulace
8. Posouzení, zda-li významné cesty soustředěného odtoku necílí do malých vodních nádrží v povodí a mohou tedy mít vliv na jejich potenciální zanášení, diskuze

Doporučený rozsah práce

cca 40 stran

Klíčová slova

digitální model terénu, morfometrické charakteristiky, interpolace, cesty soustředěného odtoku

Doporučené zdroje informací

- Dingman, S.L. (2002). Physical hydrology, 2nd edition. Prentice-Hall, New Jersey, USA. ISBN 0-13-099695-5.
- El-Sheimy, N., Valeo, C., et Habib, A. (2005). Digital terrain modeling: acquisition, manipulation, and application. Artech House remote sensing library. Norwood : Artech House. ISBN 1-58053-921-1.
- Hrádek, F., Kuřík, P. (2008). Hydrologie. Česká zemědělská univerzita, Praha. 280 s. ISBN: 978-80-213-1744-4.
- Maidment, D.R. (2002). Arc Hydro : GIS for Water Resources. ESRI Press, California, USA. ISBN: 978-1-58948-034-6.

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Petr Bašta

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 24. 2. 2016

prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 7. 3. 2016

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 12. 04. 2016

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Bašty a uvedl jsem veškeré literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

V Praze 12.4.2016

.....
Vítězslav Prágr

Poděkování:

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Baštovi za čas a odborné poznatky do mě vložených. Také bych rád poděkoval úřadu ČÚZK za poskytnutí potřebných dat a rodině za pevné nervy při mém studiu.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá vyšetřením morfometrických charakteristik a odtokových cest pro povodí Litovicko-Šáreckého potoka v prostředí GIS. V první části jsou popsány pojmy z oblasti geometrických a terénních charakteristik povodí a způsoby jejich výpočtu v prostředí GIS i mimo něj. To zahrnuje i popis digitálního modelu terénu a k němu nejvíce používaných interpolačních metod.

Zjištěné charakteristiky povodí a odtokové cesty poslouží ke zhodnocení soustavy malých vodních nádrží a míst jejich potencionálního zanášení. K tomuto posouzení se využije datové sady ZABAGED a druhé, přesnější datové sady DMR 5G.

Klíčová slova: digitální model terénu, morfometrické charakteristiky, interpolace, cesty soustředěného odtoku

ABSTRACT

This thesis deals with the examination of morphometric characteristics and flow channels for river basin Litovicko-Šárecký potok in the GIS environment. The first part describes the concepts from geometry and terrain characteristics of the basin and their methods of calculation in GIS environment and beyond. This includes a description of a digital terrain model and to construct him the most commonly used interpolation methods.

Identified characteristics of the basin and flow channels serve to evaluate the system of small water reservoirs and locations of potential clogging. For this assessment will be used dataset ZABAGED and a second, more accurate DMR 5G.

Keywords: digital terrain model, morphometric characteristics, interpolation, concentrated runoff paths

OBSAH

1. ÚVOD	10
2. CÍLE PRÁCE	11
3. LITERÁRNÍ REŠERŠE	12
3.1. VYMEZENÍ ZÁKLADNÍCH POJMŮ	12
3.1.1 Povodí	12
3.1.2. Rozvodnice	12
3.1.3. Uzávěrový profil (UP)	13
3.2. CHARAKTERISTIKY POVODÍ.....	13
3.2.1. Tvar povodí.....	13
3.2.2. Popis reliéfu	15
3.2.3. Geologické, pedologické, vegetační podmínky a využití území	16
3.3. ŘÍČNÍ SÍŤ	17
3.3.1 Hustota říční sítě	17
3.3.2. Odtoková odezva	18
3.4. MODEL TERÉNU	19
3.4.1 Digitální model terénu	20
3.5. INTERPOLAČNÍ TECHNIKY	20
3.5.1. Triangulace	21
3.5.2. „Local Surface Patches“.....	21
3.5.3. „Locally adaptive Gridding“	22
3.5.4. Topo To Raster	22
3.5.5. IDW.....	23
3.5.6. Lokální polynomická interpolace	24
3.5.7. Základní radiální funkce (RBF – Radial Basis Function).....	24
3.5.8. Kriging	24
3.5.9. NN – Nearest Neighbor.....	25
3.5.10. Spline	25
3.5.11. Odtokové algoritmy	25
3.6. ZDROJE TOPOGRAFICKÝCH DAT.....	27
3.6.1. Výšková bodová data	27
3.6.2. Vrstevnicová data, linie vodních toků a údolnic.....	27
3.6.3. Výšková data dálkového průzkumu	28
3.7. MALÉ VODNÍ NÁDRŽE.....	28
3.7.1. Zanášení vodních nádrží	29

3.7.2. Batymetrie.....	31
3.8. IDENTIFIKACE KRITICKÝCH BODŮ (KB)	31
4. METODIKA	33
4.1. POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	33
4.1.1. Zařazení dle geomorfologie	34
4.1.2. Klimatické podmínky	34
4.1.3. Krajinný pokryv a využití území.....	35
4.1.4. Pedologické poměry	35
4.1.5. Geologické podmínky	36
4.2. POPIS POUŽITÝCH DAT	37
4.3. ANALÝZA POVODÍ POMOCÍ PROGRAMU ArcGIS	38
4.4. METODIKA URČENÍ KRITICKÝCH BODŮ (KB).....	39
4.5. CHARAKTERISTIKY POVODÍ.....	39
4.5.1. Plocha povodí.....	40
4.5.2. Délka hlavního toku	40
4.5.3. Délka údolnice.....	40
4.5.4. Průměrný sklon údolnice.....	40
4.5.5. Součinitel tvaru povodí	41
4.5.6. Hustota říční sítě.....	41
4.5.7. Lesnatost povodí, procento zastavěného území a orné půdy	41
4.5.8. Průměrná sklonitost.....	41
5. VÝSLEDKY	42
6. DISKUZE	46
7. ZÁVĚR	48
POUŽITÁ LITERATURA.....	49
SEZNAM PŘÍLOH	52

1. ÚVOD

S vývojem výpočetní techniky se zdokonalily i geografické informační systémy (GIS), které se začaly hojně používat již v 80. letech 20. století, i když jejich vznik započal už v letech 60. Na počátku 80. let o tento software projevila zájem armáda Spojených Států a následně našel uplatnění i v akademické obci a jiných vědních disciplínách. Obrazně a číselně interpretované výsledky pomohly k plnějšimu a širšímu pochopení všech souvislostí. V oblasti životního prostředí, jenž je v našem úhlu zájmu, se GIS konkrétně využil k vyšetření morfometrických charakteristik povodí Litovicko-Šáreckého potoka a jeho odtokových cest. Podle terénních charakteristik je hlavně možno lépe pochopit fungování povodí jako celku. Mimo jiné lze určit bilanci povodí, rychlost povrchového a podpovrchového odtoku, dobu zdržení vody v povodí, míru sedimentů, jejich rychlost transportu, nebo celkovou erozi.

2. CÍLE PRÁCE

V této bakalářské práci jde o zjištění míst potenciálního zanášení, vodních nádrží ve zkoumaném povodí, erodovanými částicemi a případně zhodnocení míry ohrožení.

Částečně budou také srovnány rozdíly ve výsledcích ze dvou použitých datových sad.

V rešeršní části bakalářské práce budou kapitoly věnovány popisu geometrických a terénních charakteristik povodí, digitálního modelu terénu a nejčastěji používaných interpolačních metod. Dále bude popsána problematika zanášení vodních nádrží, měření hloubek jejich dna (batymetrie) a určení potenciálně kritických bodů vodních nádrží z hlediska zanášení.

V metodické části budou popsány postupy výpočtu a blíže vysvětleny potřebné charakteristiky povodí a použité funkce z prostředí ArcGIS.

3. LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1. VYMEZENÍ ZÁKLADNÍCH POJMŮ

V první kapitole textové části bakalářské práce půjde o vymezení základních pojmů, které je potřeba znát k této práci, především s ohledem na odtokovou odezvu povodí, jenž je následně řešena v souvislosti se zanášením malých vodních nádrží.

3.1.1 Povodí

Povodí je základní hydrologická oblast, ze které se zkoumá odtokový proces a bilance jednotlivých prvků. Jde o území hydrologicky uzavřené, nepřitéká do něj žádná povrchová ani podzemní voda. Území je dáno rozvodnicí, kde srážková a podzemní voda odtéká do uzavírajícího profilu povrchovým nebo podpovrchovým odtokem. Dále se používá pojem mezipovodí, což je plocha povodí mezi dvěma uzávěrovými profily na toku. (Hrádek et Kuřík, 2004) Pojem povodí hydrologové používají jako prostorovou referenční jednotku pro výpočet vodní bilance. (Tanguy, 2010)

3.1.2. Rozvodnice

Jde o hranici povodí, od které je odváděna voda do svého přílehlého uzávěrového profilu. (Tanguy, 2010)

Při ručním vykreslení rozvodnice se postupuje od uzávěrového profilu (nejnižšího místa), po svazích nahoru kolmo na vrstevnice až na vrchol a dále po nejvyšších místech, hřebenech a sedlech.

Existuje rozdíl mezi povodím povrchových a podpovrchových vod. Povodí povrchových vod je ohraničeno orografickou rozvodnicí, myšlenou čarou určující hranici mezi povodími, kde předpokládáme, že povrch povodí je nepropustný. Povodí podpovrchových vod je ohraničeno hydrogeologickou rozvodnicí, která je dána hlavně uložením nepropustných vrstev a geologickou stavbou území. Rozdíl mezi nimi je u menších povodí větší, u velkých povodí tento rozdíl nehraje velkou roli a zanedbává se. V případě experimentálního povodí je už na místě hydrogeologický průzkum území. (Hrádek et Kuřík, 2004)

3.1.3. Uzávěrový profil (UP)

Dostává se sem voda z povrchového a podpovrchového odtoku a jde o místo, ke kterému se určují charakteristiky povodí (Hrádek et Kuřík, 2004). Jde o místo na povodí s nejnižší nadmořskou výškou. (Tanguy, 2010)

Bývá v místech, kde je vhodné znát odtok, například před vtokem do většího toku.

Nejdále po proudu řeky může být tímto výstupem buď soutok s jinou řekou nebo vodní útvar jako je jezero, moře nebo oceán. Naproti tomu v některých částech s nízkým reliéfem se voda akumuluje do uzavřených prohlubní, kde se může jen vypařit nebo infiltrovat.

3.2. CHARAKTERISTIKY POVODÍ

Z hydrologického hlediska je povodí charakterizováno reakcí na srážky. Reakce je měřena na výstupu ze systému říční sítě, či-li v uzávěrovém profilu. Charakteristiky povodí silně ovlivňují hydrologickou reakci povodí a rozložení srážek.

Každé povodí je definováno charakteristikami geometrickými, geomorfologickými (reliéf, tvar hydrografické sítě), pedologickými (složení půdy), geologickými (složení a propustnost podloží), krajinného pokryvu nebo využití území.

3.2.1. Tvar povodí

Tvar povodí určuje tvar výsledných hydrogramů. A tedy povodí s rozvinutou hydrografickou sítí bude vykazovat podstatně větší vrcholový průtok než v případě podlouhlého povodí, které bude zase disponovat delší dobou koncentrace vody. (Tanguy, 2010)

Součinitel asymetrie a :

Vyjadřuje míru asymetrie povodí. Jeho hodnota tedy vychází z porovnání dílčích ploch povodí (pravé a levé) oddělených linií údolnice. Údolnice je linie, která je od UP až k prameni identická s linií hlavního vodního toku a od pramene výš pokračuje (kolmo na vrstevnice) až do nejbližšího rozvodnicového sedla.

$$a = \frac{F_L - F_P}{F},$$

kde F_L je plocha povodí vlevo od hlavního toku a F_P vpravo, F je celkovou plochou povodí.

Jednou z nejpoužívanějších charakteristik tvaru povodí je **součinitel tvaru povodí α** , který vyjadřuje poměr mezi šířkou povodí B a délkou údolnice L_U .

$$\alpha = \frac{B}{L_U}$$

Tento vztah vyplývá z idealizovaného tvaru povodí na obdélník, kde se plocha obdélníků rovná ploše povodí F a jeho strany značí střední šířku povodí B. **Střední šířku povodí** pak lze definovat výrazem:

$$B = \frac{F}{L_U}$$

Dle předešlých dvou výše uvedených rovnic lze vyjádřit:

$$\alpha = \frac{F}{L_U^2}$$

Vyjádření plochy povodí obdélníkem není vždy vhodné, to je zapříčiněno rozmanitými tvary povodí, proto se používá i jiných geometrických obrazců. Nejčastěji to může být kruh, trojúhelník nebo obrazec omezený parabolickou křivkou se svým vrcholem v UP. (Hrádek et Kuřík, 2004)

Kruhový poměr a kompaktní index povodí:

$$R_C = \frac{A}{A_0} = \frac{4\pi A}{P^2}$$

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \approx 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}},$$

kde A je plocha povodí v km^2 , A_0 je plocha kruhu o stejném obvodu jako povodí v km^2 a P je obvod povodí v km.

Těžiště povodí:

$$X_G = \frac{1}{A} \sum x_i A_i$$

$$Y_G = \frac{1}{A} \sum y_i A_i,$$

kde X_G / Y_G jsou souřadnice těžiště, A je plocha povodí, A_i je velikost pixelu a x_i / y_i jsou souřadnice středu pixelu i.

Poměr prodloužení:

$$R_E = \frac{2}{L} * \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0.5},$$

kde A je plocha povodí v km² a L je délka povodí měřená od UP k nejvyššímu místu na rozvodnici v km. (Tanguy, 2010)

Podle vzrůstající hodnoty součinitele tvaru povodí můžeme tvary povodí seřadit na protáhlá, přechodného typu a vějířovitá. Schematizaci tvaru povodí geometrickými obrazy lze využít například při analýze povrchového odtoku, kdy je třeba zahrnout působení tvaru povodí na soustředování vody v UP povodí. (Hrádek et Kuřík, 2004)

3.2.2. Popis reliéfu

Topografii povodí lze popsat v zásadě čtyřmi způsoby: hypsometrickou křivkou, sklony povodí (syntetický index), spádovou křivkou a sklonem vodních toků.

Hypsometrická křivka popisuje výškové rozložení povodí a dává syntetický pohled svahů. Získává se odhad plochy povodí na danou nadmořskou výšku. Zobrazením této křivky do bezrozměrné formy lze porovnávat topografii různých povodí. Dále je například vhodná k zjištění povrchu pod sněhovou pokrývkou.

Sklonitost lze popsat několika následujícími vzorci uvedenými níže.

Průměrný sklon na povodí je definován vzorcem:

$$I_{BV} = \frac{\Delta Z}{L},$$

kde L je délka povodí a ΔZ je výškový rozdíl mezi nejvyšším bodem povodí a uzávěrovým profilem.

V současnosti už se pro určení průměrného sklonu povodí používá spíše zonálních analýz v prostředí GIS na základě využití digitálního modelu terénu.

Náhradní sklon:

$$I_{S2} = \frac{H_{max} - H_{min}}{\sqrt{P}},$$

kde H_{max} je maximální nadmořská výška v povodí, H_{min} je minimální nadmořská výška v povodí (obvykle nadmořská výška UP) a P zde značí plochu povodí.

Index sklonitosti:

$$I_P = \frac{1}{L} \sum x_i \sqrt{\frac{(a_i - a_{i-1})}{x_i}} = \frac{1}{L} \sum \sqrt{B_i (a_i - a_{i-1})},$$

kde L je délka ekvivalentního obdélníku v (m), a_i je uvažovaná i-tá úroveň nadmořské výšky v (m), x_i je vzdálenost mezi dvěma výškovými stupni a_i a a_{i-1} v (m), B_i je podíl z celkové plochy povodí mezi a_i a a_{i-1} . (Tanguy, 2010)

Průměrný sklon vodních toků:

$$I = \frac{\Delta Z_c}{L_c},$$

kde ΔZ_c je rozdíl nadmořské výšky mezi zdrojem vodního toku a jeho koncem, L_c je délka hlavního toku. Pokud hlavní sklon toku není jednotný, je třeba výpočet rozdělit do několika sekcí. Průměrný sklon pak lze vypočítat jako:

$$I = \left(\frac{\sum L_j \sqrt{I_j}}{\sum L_j} \right)^2,$$

kde L_j je délka jednotlivé části a I_j je sklon části j. (Tanguy, 2010)

3.2.3. Geologické, pedologické, vegetační podmínky a využití území

Rozložení půd v povodí silně ovlivňuje srážko-odtokovou transformaci. Hlavním parametrem zde je koeficient nepropustnosti povodí (Tanguy, 2010)

Mimo morfologické charakteristiky odtok dále ovlivňuje typ půdy, vegetační pokryv a charakteristiky říční sítě. (Tanguy, 2010)

Změny krajinného pokryvu a využití území antropogenní povahy se také podílejí na vymezení hranic povodí, jejich působením se můžou změnit trasy proudící vody a vodní bilance povodí. Například komunikace, železniční tratě nebo umělé odvodňovací sítě mohou být překážkou na toku a preferenční cestou proudění. (Tanguy, 2010)

Povodňové průtoky se zmenšují díky dobře propustným horninám, sklonu uložení horninových vrstev a půdám s drobtovitou strukturou. Míru propustnosti ovlivňuje druh půdy, struktura vrchního horizontu, vlhkost a propustnost. Geologické poměry se zjišťují zejména u větších povodí, kde je třeba zjistit míru odtoku podzemní vody a jeho ovlivnění hydrologické bilance. Tyto poměry se zjišťují průzkumem nebo pomocí podrobných geologických map a

půdní poměry hydrologickým průzkumem nebo podrobnými pedologickými mapami. (Hrádek et Kuřík, 2004)

Vegetační pokryv povodí dokáže zachytit v případě jehličnatých porostů až 60% objemu srážky (intercepce), vegetace ovlivňuje následně vypařování vody z rostlin a půdy (evapotranspirace) a ovlivňuje rychlost plošného odtoku. (Hrádek et Kuřík, 2004)

3.3. ŘÍČNÍ SÍŤ

Nejčastější způsob jak kvantitativně popisovat říční síť je dle Strahlera nebo Hortona. Strahler popisuje řádovost toků následovně: toky bez přítoků označil jako první řád, soutokem dvou toků prvního řádu vzniká tok druhého řádu, soutokem dvou toků druhého řádu dává tok třetího řádu atd. Pokud se do vodního toku daného řádu vlévá vodní tok nižšího, označení zůstává stejné. (Dingman, 2002) Pořadí povodí se určuje podle řádu hlavního vodního toku.

Toky je možné členit také podle metody H. Gravelia, tato metoda označuje za toky prvního řádu ty, které ústí do moře (nezávisí zde na velikosti povodí). Do toků prvního řádu se vlévají toky druhého řádu a tak postupně dál až k prameništi veškerých vodních toků. (Linhartová et Zbořil, 2006)

Říční síť lze popsat určením soutoků řek, jako uzlů a segmentů vodních toků mezi těmito uzly. Segmenty spojené jen do jednoho uzlu se označují vnějšími (tj. toky prvního řádu) a ostatní se nazývají vnitřní. Velikost sítě povodí se pak určuje celkovým počtem vnějších toků. Typicky je součet toků daného řádu přibližně o polovinu větší než řádu nižšího (Kirkby, 1993)

3.3.1 Hustota říční sítě

Hustota říční sítě (D_d) daného území je podílem celkové délky vodních toků ($\sum L$) dané oblasti děleným plochou tohoto území (A_D), (Sellmann et Dingman, 1970) kde jsou jednotky km/km^2 .

$$D_d = \frac{\sum L}{A_D}$$

Obvykle se hustota říční sítě měří z map nebo leteckých snímků pomocí digitálních nebo geografických informačních systémů (GIS). (Dingman, 2002) Lze ji měřit také vytvořením několika přímých linií přes řešenou oblast a výpočtem celkové sumy překřížení linie a toku. Pak lze použít vzorec:

$$D_d = \frac{\pi}{2} * \frac{N_x}{\sum L_x},$$

kde N_x je celkovým počtem křížení a $\sum L_x$ je celkovou délkou linií. Hodnota hustoty říční sítě (D_d) se bude měnit dle použitého měřítka. (Sellmann et Dingman, 1970)

Hustota říční sítě (D_d) má tendenci v daném klimatickém regionu dosahovat charakteristických hodnot za podobných geologických podmínek. Souvisí s průměrným úhrnem srážek, který je nižší v aridních oblastech a vyšší v oblastech humidních. V určitém klimatickém regionu hodnota D_d dosahuje vyšších hodnot na méně propustných půdách, kde se vlivem povrchového odtoku vytvořilo více rýžek, na druhou stranu nižší hodnoty D_d se vyskytují na více propustných půdách. (Dingman, 2002) Rýžky vznikají v první fázi působením kinetické energie dopadajících kapek deště, díky kterým vzniknou drobné jamky, druhou fází je pohyb vody po nakloněné ploše povrchu a soustředěním plošného odtoku začnou vznikat rýžky. (Janeček, 2008)

3.3.2. Odtoková odezva

K porozumění vztahu odtokové odezvy a říční sítě je třeba mít znalosti o svahových procesech a toku v říční síti. Hodnoty bifurkace, poměry délek a ploch povodí slouží k výpočtům některých hydrologicky důležitých charakteristik povodí. Například poměr odvodnění povodí přímo do vodních toků daného řádu nebo poměr vodních toků libovolného řádu ústících do toků řádu vyššího. Pokud je poměr rozvětvení a odvodnění povodí konstantní u všech řádů, pak je podíl odtoku z povodí přímo do toku prvního řádu θ_1 dán vzorcem:

$$\theta_1 = \frac{R_B^{\Omega-1}}{R_A^{\Omega-1}},$$

kde R_B je poměr bifurkace, R_A je poměr odvodnění povodí a Ω je označení vodního toku nejvyššího řádu v povodí. (Rodriguez-Iturbe et Valdes, 1979)

Jednoduchou geometrií lze určit průměrnou vzdálenost od řečiště k uzávěrovému profilu povodí X_d vztahem:

$$X_d = \frac{1}{2 * D_d},$$

následně lze určit průměrnou vzdálenost, kterou urazí kapka vody spadlá do toku jako:

$$X_h = \frac{X_d}{2} = \frac{1}{4 * D_d}.$$

Hustota říční sítě tedy značí efektivnost říční sítě odvodnit dané území. Zvláště je třeba, aby povodí eliminovalo účinky povodňových vln. Efektivní hustotu odvodnění D_e určuje následující vztah:

$$D_e \equiv \frac{\Sigma L_v}{A_D},$$

kde ΣL_v je celková délka údolnic.

Šířka (rozpětí) sítě:

Tvar povodí je možné popsat podle počtu soutoků nebo podle délek od nejzazších míst k uzávěrovému profilu. U povodí, kde doba toku v říční síti převyšuje dobu odtoku ze svahů, tvar říční sítě souvisí s dobou mezi vstupem do povodí a maximem hydrogramu odtokové odezvy. (Dingman, 2002)

Poměr rozvětvení (bifurkace):

$$N_i = R_b^{k-i},$$

kde N_i je počet vodních toků i -tého řádu, R_b je poměr bifurkace a K je řád povodí. (Tanguy, 2010)

3.4. MODEL TERÉNU

Model terénu slouží k odvození velké míry charakteristik popsaných v předchozích kapitolách, není tak jednoduše pochopitelný, jak se může zprvu zdát, a proto je třeba jej blíže vysvětlit.

Model reprezentuje část přírodního nebo člověkem vytvořeného prostředí, které do jisté míry zjednodušuje některé jeho charakteristické vlastnosti (Dooge, 1986). Je navržen stejně jako mapa pro svůj specifický účel a vyhotoven v určitém měřítku. K vyjádření povrchu podobnému zemi se používají fyzikální modely, analogové a v současnosti nejvíce matematické, které jsou převedeny do digitální podoby. Fyzikální modely byly důležitou pomůckou k pochopení problémů v hydraulice nebo mechanice tekutin. Často byly používány k návrhu komplexních inženýrských staveb (zejména k návrhu otevřených koryt toku), k simulaci proudění podzemních vod za různých okrajových podmínek nebo k pochopení procesů infiltrace. Fyzikální modely povodí menších měřítek se používaly k objasnění některých základních charakteristik povodí a jeho reakci na srážky. Analogové modely využívají znalosti o jiném procesu k simulaci procesu fyzikálně obdobného. Jádrem

matematických modelů jsou rovnice, jenž představují např. proudění vody v toku. Fyzikální a analogové modely jsou v současnosti v drtivé většině případů nahrazeny modely matematickými. (Dingman, 2002)

3.4.1 Digitální model terénu

Digitální model terénu (DTM) je model povrchu země reprezentující topografii povrchu v digitální podobě (GIS). V DTM jsou nadmořské výšky terénu uloženy podle formalizovaných pravidel struktury dat, a to buď jako triangulovaná nepravidelná síť (TIN) nebo jako mřížka (grid). Každý model má své výhody i nevýhody nebo omezení. Mřížkové rozložení dat je jednodušší, protože digitální data jsou zde rozprostřena rovnoměrně. TIN můžou vytvářet přesnější reprezentaci povrchu, ale obvykle vyžadují rozsáhlejší soubor dat. Data se mohou získávat například z geodetického měření, leteckého průzkumu, fotogrammetrických technik, dálkového průzkumu země (např. LIDAR), laserového měření výšek. (Arun, 2013) DTM se dá označit ještě názvem DMR, což znamená digitální model reliéfu. (El-Sheimy et. al, 2005).

Přesnost vytvořeného modelu terénu závisí na zvolených interpolačních metodách nebo způsobu získání dat. Proto je nutná srovnávací statistika těchto různých přístupů. (Arun, 2013)

Zemský povrch hraje zásadní roli ve fungování atmosférických, geomorfických, hydrologických a ekologických procesů. Tato vazba je často tak silná, že pochopení charakteru zemského povrchu nás může přímo seznámit s povahou problému v rozsahu uvedených procesů. Aplikace, které využívají tyto znalosti se obvykle spoléhají na Digitální výškový model a stále se rozvíjející řadu technik pro topografickou analýzu a vizualizaci. (Arun, 2013)

Digitální výškový model terénu (DEM) je jednou z variant DTM. DEM je zhotoven formou rastru, kde každému pixelu čtvercové sítě je přidělena hodnota nadmořské výšky. DEM tedy popisuje tvar zemského povrchu a může být použit například pro analýzu odtokových území a jejich linií. (Maidment, 2002)

3.5. INTERPOLAČNÍ TECHNIKY

Interpolace jsou metody sloužící k odvození DTM nebo DEM na základě vstupních výškopisných dat změřených v terénu. Výškopisná data mohou být nejčastěji ve formě bodového pole nebo například v podobě vrstevnicových dat (linií).

Interpolační techniky jsou založeny na principech prostorové autokorelace, která přiděluje bližším bodům větší váhu než těm vzdálenějším. Existuje velké množství interpolačních metod, které se obecně klasifikují podle lokálního a globálního přístupu, kde lokální metoda odhaduje hodnoty v neměřených bodech podle známých hodnot v sousedních bodech a globální interpolační metody používají všechny dostupné body pro predikci hodnoty daného bodu. Mezi lokální metody patří například IDW, Local Polynomial, Nearest Neighbor (NN), nebo RBF (Radial Basis Functions). Výsledky interpolace se mění podle různého objemu prostorových dat, různých vstupních hodnot, rozdílných účelů nebo podle požadované přesnosti. (Arun, 2013)

Metody interpolace se dají rozdělit na interpolace, které zachovávají hodnoty v datových bodech (triangulace, IDW bez vyrovnávacího faktoru, Nearest Neighbor, Kriging) nebo na interpolace, kde nejsou zachovány hodnoty datových bodů, čímž se povrch vyhlazuje a dochází k vyrovnání lokálních nerovností (např. Kriging s nugget efektem, IDW s vyrovnáním, polynomická regrese).

3.5.1. Triangulace

Interpolace triangulační metodou se provádí tak, že se sestaví triangulace datových bodů, které tvoří jednotlivé vrcholy trojúhelníků a tedy trojúhelníkovou síť a pak se použijí na každém trojúhelníku lokální polynomické funkce. (Wilson et Gallant, 2000) Triangulační metody jsou citlivé na umístění datových bodů a musí být tedy hlavní prioritou získání optimálních výsledků. (Weibel et Heller, 1991) Problémy triangulačních metod se vyskytují při interpolaci liniové povahy dat (typu „contour“), které vytváří příliš ploché trojúhelníky, je tedy potřeba zajistit dostatečné množství dat podél vodních toků a hřebenů.

3.5.2. „Local Surface Patches“

Tato interpolace funguje podle globální interpolační metody překrývajících se oblastí, většinou obdélníkových tvarů a následně jejich plynulým splynutím. Tyto metody řeší výpočetní problémy způsobené velkým množstvím dat a umožňují určitou míru lokální anizotropie. Tam, kde jsou chybné výškopisné údaje, mohou být data vyhlazena. Pokud jsou datové údaje nepravidelně rozmístěny a anizotropie je omezena na jeden směr přes každý „surface patch“, vyskytnou se problémy při definování „patchů“. (Wilson et Gallant, 2000) Výhodou je, že z příslušného „surface patche“ lze vypočítat topografické parametry, jakož to sklon, zakřivení, linie vodních toků a odtokové plochy a dají se snadno převést na pravidelné mřížky (gridy). (Mitasova et al., 1996)

3.5.3. „Locally adaptive Gridding“

Přímé gridování nebo metody konečných diferencí mohou poskytnout výpočetně efektivní způsoby k uplatnění kvalitních interpolačních metod pro velká množství výškových dat. Iterační metody jsou vhodné pro diskretizované spline křivky „in tension“. (Hutchinson, 1989)

Výpočetní účinnost je dosahována jednoduchým multigridováním, které optimalizuje dobu výpočtu, úměrnou počtu interpolovaných bodů DEM. (Hutchinson, 1989)

Schopnost obecných gridovacích metod přizpůsobit se velké anizotropické struktuře u skutečných terénních ploch, bylo do značné míry vyřešeno použitím několika lokálních adaptivních omezení na základní gridovací postup. Tyto omezení se mohou použít mezi sousedními body mřížky, což umožňuje velkou flexibilitu. Omezení, která mají přímý vztah na hydrologické aplikace, jsou taková, která jsou předepsaná pomocí odtokového algoritmu navrženého Hutchinsonem. Hutchinsonův algoritmus odstraňuje nechtěné bezodtokové oblasti vytvořeného DEM s ohledem na skutečnost, že bezodtokové oblasti se v přírodě většinou nevyskytují. Toto vyhlazení zlepšuje kvalitu a strukturu odtokových oblastí DEM, zvláště pak v případě datově řídké naměřených oblastí.

Příbuzný adaptivním lokálním funkcím je algoritmus, který vypočítává zakřivení hřebenových linií a vodních toků z bodů lokálního maximálního zakřivení vrstevnicových linií. (Hutchinson, 1989) To umožňuje interpolaci jemných struktur v celé oblasti mezi vrstevnicovými liniemi spolehlivějším způsobem než u metod, které používají lineární nebo kubické interpolace. (Wilson et Gallant, 2000)

3.5.4. Topo To Raster

Nástroj Topo to Raster je interpolační metodou speciálně navrženou k vytváření hydrologicky korektních digitálních výškových modelů terénu (DEM). Je vytvořen na základě programu ANUDEM, který vyvinul Michael Hutchinson. Aktuálně se v prostředí ArcGIS používá verze ANUDEM 5.3. (Goodchild et Mark, 1987)

ANUDEM používá interpolační techniku speciálně navrženou tak, aby vytvářela povrch, který bude blíže představovat přirozené směry odtoku (hydrologicky korektní povrch terénu) a zachová hřebenové linie stejně jako říční síť. (Arun, 2013)

Topo to Raster interpoluje hodnoty nadmořské výšky a vytváří raster digitálního modelu terénu. Metoda je zatížena omezením, kde je třeba mít propojené struktury odvodnění a správně vynesené hřebenové a proudnicové z vstupních liniových dat.

Tato metoda, jako taková je v prostředí ArcGis jedinou, která umí spolehlivě pracovat s vrstevnicovými daty typu „contour“.

Topo to Raster využívá interpolačních metod IDW, Kriging a Spline.

Jako vstupní data lze použít bodová výškopisná data (point elevation), vrstevnice (contour), linie vodních toků (stream), vymezení bezodtokých prohlubní (sink), jezera a vodní plochy (lake) a hranice interpolované oblasti (boundary), kterým jsou přiděleny v atributové tabulce informace o nadmořské výšce a jejich poloze.

Díky funkci Topo to Raster lze podle dalšího nastavení dodatečných parametrů ovlivnit výsledný digitální model. Je možné zvolit různé rozlišení rastru, zdůraznit odtokovou síť anebo zvolit, jaký typ výškových dat bude primární. (Hutchinson et Dowling, 1991)

3.5.5. IDW

Interpolační metoda IDW (z angličtiny Inverse Distance Weighting) je lokální deterministickou interpolační technikou, která vypočítává hodnoty podle váženého průměru, kde jsou váhy přidělovány na základě vzdáleností okolních známých bodů. (Burrough et McDonnel, 1998)

Pro zjištění hodnoty neznámého bodu se využijí známé hodnoty bodů z blízkého okolí s tím, že čím bude známý bod blíže neznámému, tím bude mít větší vliv na výslednou hodnotu. Matematicky to lze vyjádřit vztahem:

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \times Z(s_i)$$

$Z(s_0)$ – hodnota v neznámém místě

N – počet naměřených hodnot, vztažených do výpočtu

α_i – váha i -tého měření v okolí klesající se vzájemnou vzdáleností

$Z(s_i)$ – hodnota naměřená v daném bodě

$$\lambda_i = d_{i0}^{-p} / \sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p}$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$$

d – vzdálenost dvou bodů

p – modifikuje vliv vzdálenosti

(Watson et Philip, 1985)

Nevýhodou je vytváření tzv. koncentrických „čoček“ kolem datových bodů. Na druhou stranu je interpolační metoda IDW poměrně rychlá a může být použita i na rozsáhlé datové soubory.

3.5.6. Lokální polynomičná interpolace

Tato interpolace prokládá známými body na hranách spojitě polynomičné funkce x-tého řádu (většinou nultého až třetího), a tím dochází k vytvoření interpolovaného povrchu. Jeden z polynomů je prokládán všemi známými body v určeném okolí. Tato interpolace se hodí k odhalení lokálních trendů oblastí a je užitečná k tvorbě hladkých povrchů. (Niemann et al., 2003)

3.5.7. Základní radiální funkce (RBF – Radial Basis Function)

Metoda RBF je přesným interpolátorem, jenž se snaží proložit známými body sítí tvořenou vybranými matematicky určenými spline křivkami. RBF se snaží minimalizovat křivost výsledného povrchu. RBF se liší od např. krigingu tím, že nikdy neinterpoluje hodnotu pod minimem nebo nad maximum změřených hodnot. Metoda RBF vychází velmi dobře v pozvolně se měnících terénech a naopak se nehodí použít ji v místech, kde dochází ke skokovým změnám. (Mitášová et al., 2005)

3.5.8. Kriging

Tento termín vymyslel důlní inženýr D. G. Krige společně se statikem H. S. Sichelem v roce 1950. Metoda krigování sloužila v důlním průmyslu k lepšímu odhadu zásob rudy. Technika byla publikována již v roce 1951, jenže trvalo ještě několik let než ji francouzský matematik G. Matheron dovedl do finální podoby. (Cressie, 1990)

Je to geo-statistická interpolační metoda, která využívá variogramu, jež charakterizuje prostorové rozložení dat, tzv. autokorelaci sledovaného jevu (nadmořské výšky). Hodnoty jsou zde odvozeny pomocí vážené funkce pro snížení zkreslení vstupních hodnot. (Arun, 2013)

Zkráceně lze říci, že interpolační technika krigování dopočítává hodnoty okolního prostoru z bodových měření sledované proměnné. To vyžaduje proces o několika krocích, obsahující modelování variogramu, na jehož základě se následně odvozují váhy přidělované hodnotám z okolních bodů při vlastní interpolaci hodnoty v neznámém bodě. Součástí metody je výpočet reziduí (chyb) a jejich minimalizace.

Krigovacích metod existuje hned několik, například jednoduché krigování, univerzální krigování, kokriging, lognormální krigování, indikátorové krigování, soft kriging nebo pravděpodobnostní krigování.

Kvalitu krigingu i jakékoli jiné interpolace lze ověřit pomocí bumerangového testu, který pro bod o známé hodnotě vypočte lokální odhad z ostatních hodnot. Výsledkem pak je hodnota v místě, kde známe skutečnou hodnotu. Následně lze zjistit chybu odhadu v tomto místě. Pro náhodně vybrané body nebo všechny body test opakujeme.

Co se týče náročnosti na výpočty, je jednou z nejsložitějších metod. (Oliver, 1990)

3.5.9. NN – Nearest Neighbor

Interpolační metoda NN hledá nejbližší podmnožinu vstupních hodnot k dotazovanému bodu a používá váhy hodnot na základě přilehlých thiessenových polygonů. Každému uzlu gridu tedy přidělí interpolátor hodnotu od nejbliž položeného bodu. Jedná se o lokální neměnnou metodu, kde interpolované výšky jsou v určeném výběrovém rozsahu. Nevytváří se maxima, hřebeny nebo údolí. Funguje stejně dobře pro pravidelně i nepravidelně rozložené datové soubory (Arun, 2013)

3.5.10. Spline

Používá matematické funkce k minimalizování zakřivení povrchu a vytváří tak hladký povrch, který přesně prochází vstupními body. (Arun, 2013)

Nehodí se pro povrchy, kde dochází k náhlým změnám tvaru.

Existují dvě různé metody Spline. “Regularized“ metoda vytváří hladký, postupně se měnící povrch s hodnotami, které mohou ležet i mimo rozsah měřených dat. A metoda “Tension“ – ovládá tuhost povrchu, v závislosti na charakteru modelovaného jevu. Vytvořený povrch je méně vyhlazený a hodnoty se blíží více rozsahu měřených dat. (Franke, 1982)

3.5.11. Odtokové algoritmy

K dalším hydrologickým analýzám (např. vytyčení rozvodnice nebo k sledování preferenčních odtokových cest), je třeba na základě DTM vyšetřit směry odtoku, podle

kterých se nechá následně vykreslit odtoková síť. Tato síť akumulované vody může sloužit např. ke zhodnocení skutečného vedení vodních toků (podle reliéfu krajiny) nebo umělých vodotečí.

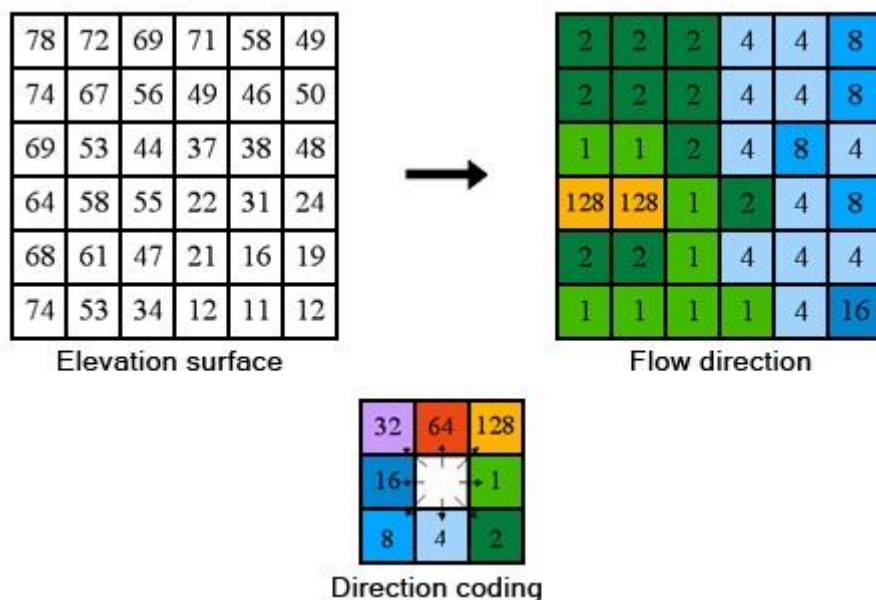
3.5.11.1 Flow Direction

Jedním ze způsobů, jak zjistit hydrologické vlastnosti povrchu, je schopnost určit směr odtoku z jednotlivé buňky rastru. Toho je možno docílit pomocí nástroje Flow Direction. Tato funkce používá jako vstupní vrstvu model terénu a výstupem je rastr znázorňující směry proudění z každé buňky.

Používá se způsobu, kde voda může směřovat do osmi různých přiléhajících buněk, ArcGIS určuje pouze jednosměrný odtok pomocí algoritmu SFD-8 (Single Flow 8-Direction). Tento algoritmus se v literatuře též nazývá D8. (Jenson et Domingue, 1988)

Princip je takový, že z buňky o nejvyšší hodnotě nadmořské výšky bude voda směřovat do buňky o nižší hodnotě nadmořské výšky.

Tento proces funguje na základě odtokových algoritmů, které mohou být jednosměrné nebo vícesměrné. Výhodou jednosměrných algoritmů jsou nižší výpočetní nároky na vkládané atributy, ale na druhou stranu tím mohou být zkresleny směry odtoků nebo podhodnoceny odvodňované plochy. Mezi jednosměrné algoritmy tedy patří D8 nebo například Rho 8 a mezi vícesměrné algoritmy MFD8 nebo MFD ∞

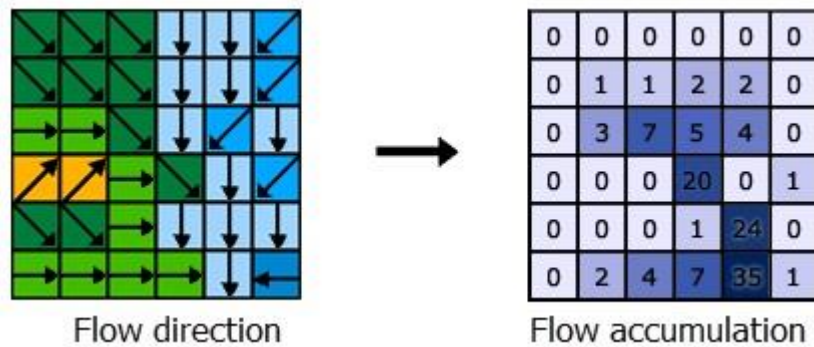


Obr. 1 - Směry odtoků z buněk

3.5.11.2. Flow Accumulation

Nástroj Flow Accumulation zjišťuje, kde se voda shromažďuje. Řídí se podle rastru Flow Direction, dle kterého se sčítají hodnoty přiléhajících buněk. Hodnota buňky je dána součtem buněk, které do ní směřují. Buňky s velkou hodnotou akumulace jsou pak prostorem soustředěného odtoku a může se jich použít k určení koryta vodního toku.

(Tarboton, 1991)



Obr. 2 - Akumulace vody v buňkách

3.6. ZDROJE TOPOGRAFICKÝCH DAT

3.6.1. Výšková bodová data

Zahrnují výškové údaje vrcholů a nejnižších míst, nadmořské výšky sedel, vodních toků a hřebenů a tím tvoří kostru terénu. Jsou vhodným zdrojem dat pro většinu triangulačních a speciálně upravených gridovacích metod. Tato data se mohou získat pomocí terénního průřezu nebo fotogrammetrickým stereo modelem. Výšková bodová data jsou dnes běžně používána k podrobnému průřezu relativně menších experimentálních povodí, méně často jsou používána k analýze větších oblastí.

3.6.2. Vrstevnicová data, linie vodních toků a údolnic

Vrstevnicová data (contour) jsou stále nejvíce používána pro reprezentaci větších ploch terénu. „Contour“ data mohou být vytvořena z fotogrammetrických stereo modelů a jejich přeměna do digitální podoby je jednou z hlavních činností geografických organizací. Hlavní nevýhodou těchto dat je, že mohou vynechat některé oblasti mezi liniemi, zvláště v místech s nízkým reliéfem. Od jiných výškových dat se liší v tom, že naznačují určité vyhlazení terénu a pomocí fotogrammetrických technik lze odstranit i některé překážky v podobě budov a jiných staveb nebo vegetačního krytu.

Linie vodních toků nebo údolnic (streamlines) jsou také dostupné z topografických map a poskytují důležité strukturní informace o povrchu krajiny. Nicméně je jen málo interpolačních technik, schopných se „stream“ liniemi pracovat bez údaje o nadmořské výšce.

Hutchinson vyvinul metodu, která umí pracovat se „stream“ liniemi za předpokladu, že jsou zdigitalizovány ve směru z kopce. S takto daným údajem pak umí pracovat geografické informační systémy (GIS) a jejich síťové funkce (metoda Topo to Raster).

3.6.3. Výšková data dálkového průzkumu

Přímo ze stereoskopické interpretace údajů shromážděných leteckými nebo satelitními senzory lze vytvořit gridové DEM. Avšak letecké snímání země může vést k nižším přesnostem. Metody dálkového průzkumu země (DPZ) mohou poskytovat široké prostorové pokrytí, ale jejich možnosti jsou v mnoha ohledech omezeny. Žádný ze senzorů neumí spolehlivě změřit nadmořskou výšku země skrz vegetační pokryv a k chybám v měření dochází i tam, kde se vegetace nevyskytuje. Nejpřesnější reprezentace tvarů povrchu a odtokových struktur se získá pečlivou filtrací a interpolací těchto dat. (Wilson et Gallant, 2000)

3.7. MALÉ VODNÍ NÁDRŽE

V rámci bakalářské práce je cílem vyšetřit odtokové plochy a jejich možný důsledek na vodní nádrže v povodí, zejména je třeba zjistit pravděpodobná místa největšího možného usazování.

Různé typy nádrží mohou být více či méně náchylné na zanášení než jiné. Typů vodních nádrží může být celá řada. Nádrže mohou být přirozeného nebo umělého charakteru. Dále se dělí podle polohy, výškového umístění, způsobu napájení vodou nebo podle funkce nádrže. Nádrže mohou být použity pro vodárenské účely, rybochovné, pro čištění vod (biologické rybníky), protipovodňové, vyrovnávací, energetické, průmyslové, požární apod. (Pavlica, 1964)

Podle polohy dělíme vodní nádrže na návesní, polní, luční, lesní a rašelinné. Umístění ovlivňuje zejména míru zanášení nádrže z okolí a kvalitu vody. Na zanášení prostoru nádrže trpí zejména polní vodní nádrže, a to kvůli splachům ornice z obdělávaných polí a následně rychlému zarůstání. Proti zanášení jsou lépe chráněny luční nádrže, které mají okolní svahy zatravněny a splachy hlín jsou pak znatelně omezeny. Rozdíl teploty vody je znát nejvíce mezi návesní a lesní nádrží, kde návesní jsou chráněny před studenými větry blízkými budovami nebo stromy, a jsou proto více prohřáté a naopak lesní nádrže s přítoky lesních pramenů mají vodu studenější, teplejší jsou v případě větší plochy (4 ha), kdy je hladina více prosluněna.

Nádrže dle výškového umístění lze rozdělit na zahloubené, hrázové, údolní, podzemní nebo kombinované. V případě zahloubených je vodní hladina pod úrovní terénu a využívá se přirozených prohlubní (pískovny, cihelny) nebo se jáma vyhloubí uměle. Nádrže mohou být ohrazeny hrázovým tělesem z části například přehrazení údolí souvislou čelní hrází nebo po celém obvodu.

V neposlední řadě dělíme vodní nádrže podle jejich způsobu napájení na nebeské – dešťové, pramenné, průtočné, boční a se zvláštním napájením. Dešťové nádrže se nacházejí v územních kotlinách bez stálé vodoteče. Aby se co nejméně snižoval obsah vody v dešťových nádržích (výpar, průsak), potřebují disponovat nepropustným dnem, strmými svahy a průměrnou hloubkou alespoň 2 m. Značnou část vody získávají ze sněhu a prvních jarních dešťů. Pramenné nádrže jsou napájeny prameny ve svém dně, svazích a z oblasti těsně nad vzdušným. Voda je zde chladnější, hladová a bez organických látek. Průtočnou nádrží protéká celý vodní tok, který nádrž napájí, zpomalením protékající vody dochází k zanášení sedimenty, a to zejména sedimenty nesenými za velkých vod. Stálý průtok snižuje teplotu vody a narušuje klidný vývoj rostlinných a živočišných organismů. Boční nádrže se vyznačují hlavně tím, že je jejich napájecí tok veden mimo nádrž, voda je přiváděna uměle a její přítok lze regulovat. (Pavlica, 1964)

3.7.1. Zanášení vodních nádrží

Vodní nádrže jsou zanášeny formou kalu, který je dopravován vodním tokem a deštěm. Vznikají tak usazeniny, nazývané rybníční bahno. Zejména při jarním tání a velkých vodách půdní částice způsobují značné zakalení, kdy jsou strhávány rychle proudící vodou a jsou dopravovány dále po toku a do nádrží. Rybníční bahno je různého složení a jeho kvalita se mění v důsledku ošetřování nebo hnojení rybníků. Na rybníčních okrajích se vytváří hmota podobná rašelině a oproti rybníčnímu bahnu má zde půda kyselejší reakci, vyšší obsah organických látek nebo větší nasákavost. Jelikož se při úpravách rybníků a břehů hmota s bahnem vyhrnuje na břeh, čistá rašelina se již většinou nevytvoří. (Livečka et al., 1962)

Tato práce se nedílnou součástí zabývá zhodnocením potenciálně nebezpečných míst zanášení vodních nádrží. K tomuto problému je nutno přistupovat z několika stran. Je nutné vzít v úvahu všechny vodohospodářské problémy povodí a jejich vzájemné působení. Tuto problematiku ovlivňují záležitosti vodohospodářské, technické, ekologické, ekonomické, majetkoprávní či legislativní. (Vrána et al., 2013)

Zanášení vodních nádrží sedimenty je zapříčiněno hlavně třemi procesy, kde velkou mírou přispívá působení vodní eroze: jde o břehovou abrazi, zanášení přítokem a vnitřní zanášení, nebo-li eutrofizaci. (Vrána et al., 2013).

Břehová abraze je způsobena účinky vlnobití na břehy nádrže, tím se zemina postupně uvolňuje a usazuje se v akumulačním prostoru nádrže. Míra a rozsah abraze záleží na velikosti sklonu svahu, složení půdy, krajinném pokryvu, proměnlivosti vodní hladiny a lidské činnosti. Velikost a účinky vln jsou ovlivněny silou a směrem větru, velikostí plochy a délkou hladiny. Nejvíce náchylná jsou místa s velkým sklonem, s písčítými nebo hlinitými půdami, bez ochranné funkce krajinného pokryvu, a tam kde často kolísá hladina vody. (Čistý, 2005)

Zanášení přítokem je způsobeno zejména erozí zemědělských pozemků, kde se nevhodně hospodaří, splachy z urbanizovaných ploch anebo jde o produkt eroze z daného vodního toku. Tento transportovaný materiál po příchodu do vodní nádrže následkem snížení průtočné rychlosti začne sedimentovat. (Čistý, 2005).

Vnitřním zanášením, nebo-li eutrofizací, je myšlen proces obohacení vod o živiny (dusík, fosfor). Proces může být přirozený nebo nepřirozený. Na nepřirozených procesech se podílí především smyv hnojiv ze zemědělských ploch a komunální znečištění. Následkem je nárůst mikroflóry - řas a sinic, které po uplynutí zhruba jednoho týdne odumírají a klesají ke dnu (sapropel), což ovlivňuje kyslíkovou bilanci vodní nádrže, kvalitu vody a organismy (Čistý, 2005).

Sedimenty negativně ovlivňují:

- kvalitu vody
- zmenšují objem nádrže (důležité pro protipovodňovou ochranu, prostor pro rybí obsádku)
- zarůstání nádrže (dopad na kyslíkovou bilanci, uvolnění živin, estetický význam)
- zvýšení výparu vlivem nárůstu vegetace
- funkčnost objektů MVN

(Vrána et al., 2013)

Aby byla zachována správná funkce nádrže, je třeba nahromaděný sediment pravidelně odstraňovat. Těžbu sedimentu lze provádět suchou cestou, kdy je nádrž vypuštěna nebo naopak mokrou cestou pomocí sacího bagru nebo kombinací těchto způsobů. Postup

těžby se zvolí podle hloubky sedimentu, jeho složení a podle charakteru nádrže. (Livečka et al., 1962)

3.7.2. Batymetrie

Cílem batymetrického měření je změřit hloubku mezi hladinou a dnem vodní plochy a kartograficky tento výškový rozdíl zaznamenat. Dříve se termínu batymetrie užívalo pro měření hloubek moří a oceánů a dnes se k pojmu batymetrie řadí i měření sladkovodních děl. Výsledkem takového měření je batymetrická mapa. Tyto mapy našly využití u plavby námořních lodí, hledání lodních vraků, nalezišť ropy nebo k pokládání podmořských kabelů. V podmínkách ČR se batymetrie používá především ke zjišťování kapacit vodních nádrží a ke zkoumání jezer. Porovnáním naměřených dat z různých časových intervalů se zjišťuje míra a rychlost zanášení nádrží sedimenty. Nakupenými sedimenty se zmenšuje akumulací prostor a tím se zhoršuje účinek protipovodňové ochrany.

V místních podmínkách měřil roku 1903 prof. Václav Švampera batymetrii jezer pomocí napnutého ocelového drátu přes hladinu, podél kterého se po deseti metrech spouštělo ke dnu ocelové lanko se závažím a břehové linie se zaměřily teodolitem anebo speciálním úhломěrem. Miroslav Šobr měřil batymetrii v rozmezí let 1997-1999 s pomocí člunu a echolotu a podobně jako prof. Švampera podél napnuté kevlarové šňůry. (Šobr et Janský, 2003)

Echolot měří hloubku dle vyslaných a přijatých zvukových vln a jejich časového rozmezí. Polohové souřadnice se zjišťují použitím GPS. Břehové linie už se nemusí měřit geodeticky, ale lze použít georeferencovaného ortofoto snímku v prostředí ArcGIS.

Jednou z neposledních metod moderního měření batymetrie je přístrojem ADCP. Toto zařízení pracuje podle principu Dopplerova jevu. Hloubky vodních ploch se u této metody zjišťují zpracováním zvukového odrazu. Používá se k měření rychlosti vody, ale uplatnění našlo i při měření hloubek vodních ploch. Podobnou metodou je měření LiDAR, které zpracovává světelný odraz a snímá povrch dna v zeleném a modrém spektru. Nevýhodou této metody je, že světelný paprsek nedosáhne do velkých hloubek a také je obtížné měřit v příliš znečištěných vodních plochách. (Moretto et al., 2014)

3.8. IDENTIFIKACE KRITICKÝCH BODŮ (KB)

Další využití popisných charakteristik povodí slouží například k určení míry povodňových rizik. Míra povodňových rizik se týká hlavně určení takových kritických bodů, které ohrožují zastavěná území obcí a jsou to taková místa, jenž jsou zatížena soustředěným povrchovým odtokem a přívalovými srážkami, díky nimž dochází k transportu splavenin.

K tomuto účelu jsou vytvořeny postupy, díky nimž se určují stupně potenciálního dopadu těchto povodňových nebezpečí. Je třeba určit a stanovit zranitelnost území a provozované aktivity v ohrožených oblastech povodňovým nebezpečím. V této bakalářské práci bude nahrazen náhled na ohrožená zastavěná území obcí kritickými body vodních nádrží řešeného povodí, kde může dojít k potenciálně největšímu zanášení nádrží.

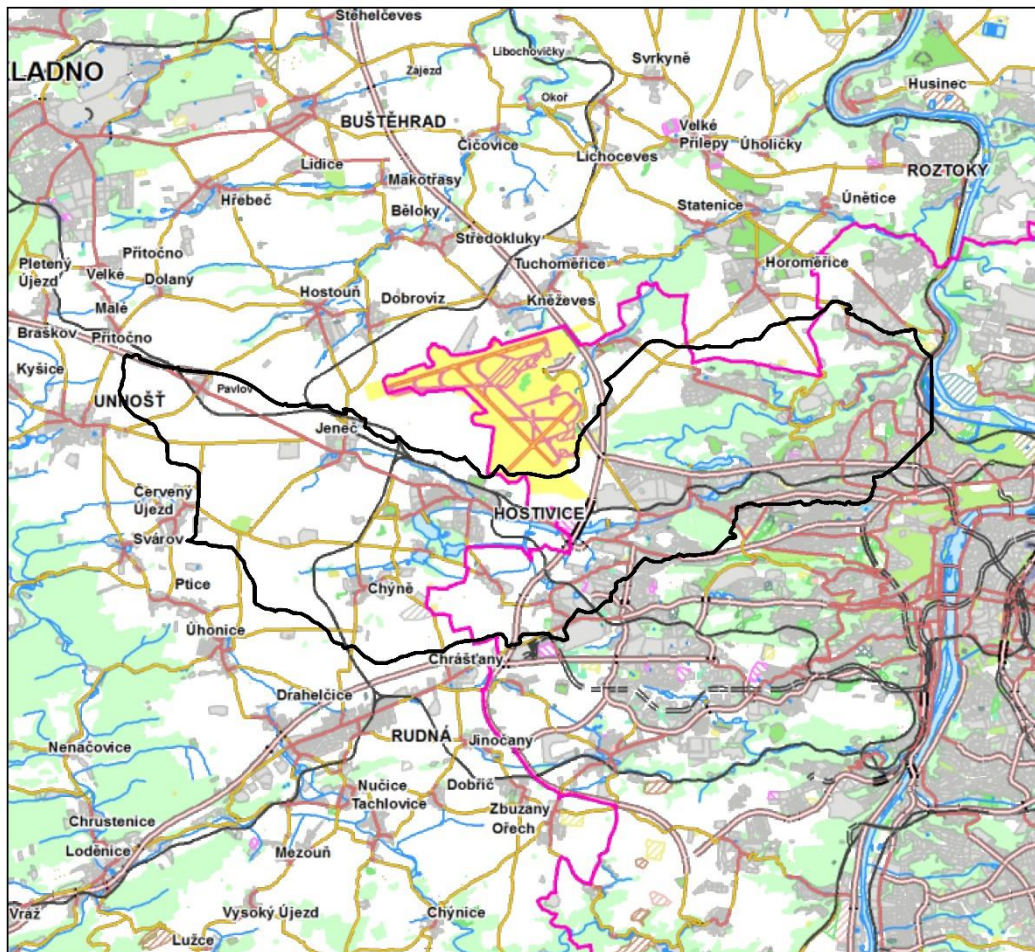
K vyjádření nebezpečí je třeba připravit potřebné podklady. Používá se stanovených záplavových území podle povodní s dobou opakování 5, 20, 100 let na částech tzv. významných vodních toků, pro tvorbu DTM je třeba základní báze geografických dat (ZABAGED) a pro určení hydrologických poměrů a jejich analýzu se využívá údajů z digitální databáze vod (DIBAVOD). Dalšími podklady mohou být údaje o krajinném pokryvu (vrstva CORINE land cover), ortofotomapy (CENIA) nebo vrstvy určující intravilány obcí či hranice katastrálního území. (VÚV T.G.M., v.v.i., 2009)

Výsledek posouzení ohrožených míst může posloužit k vytvoření povodňových a krizových plánů, k navržení příslušných opatření, jako výstup poskytující cenné informace ke zpracovávání územně plánovacích dokumentací, pozemkových úprav a plánů pro povodí.

4. METODIKA

4.1. POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Umístění povodí Litovecko-Šáreckého potoka



Obr. 3 - Poloha zájmové oblasti v rámci ČR

K popisu zájmové oblasti posloužily volně přístupné mapy z internetových stránek geoportal.gov.cz a geology.cz.

Pramen Litovicko-Šáreckého potoka pramení blízko obce Chýně ve Středočeském kraji, dále protéká soustavou rybníků a vodních nádrží a vlévá se do Vltavy v Praze – V Podbabě. Celková délka Litovicko-Šáreckého potoka činí zhruba 23,9 km a zasahuje plochu povodí o 73,8 km². Původně se voda z potoka využívala k pohánění vodních mlýnů a sloužila jako zásobárna užitkové vody pro Pražský hrad.

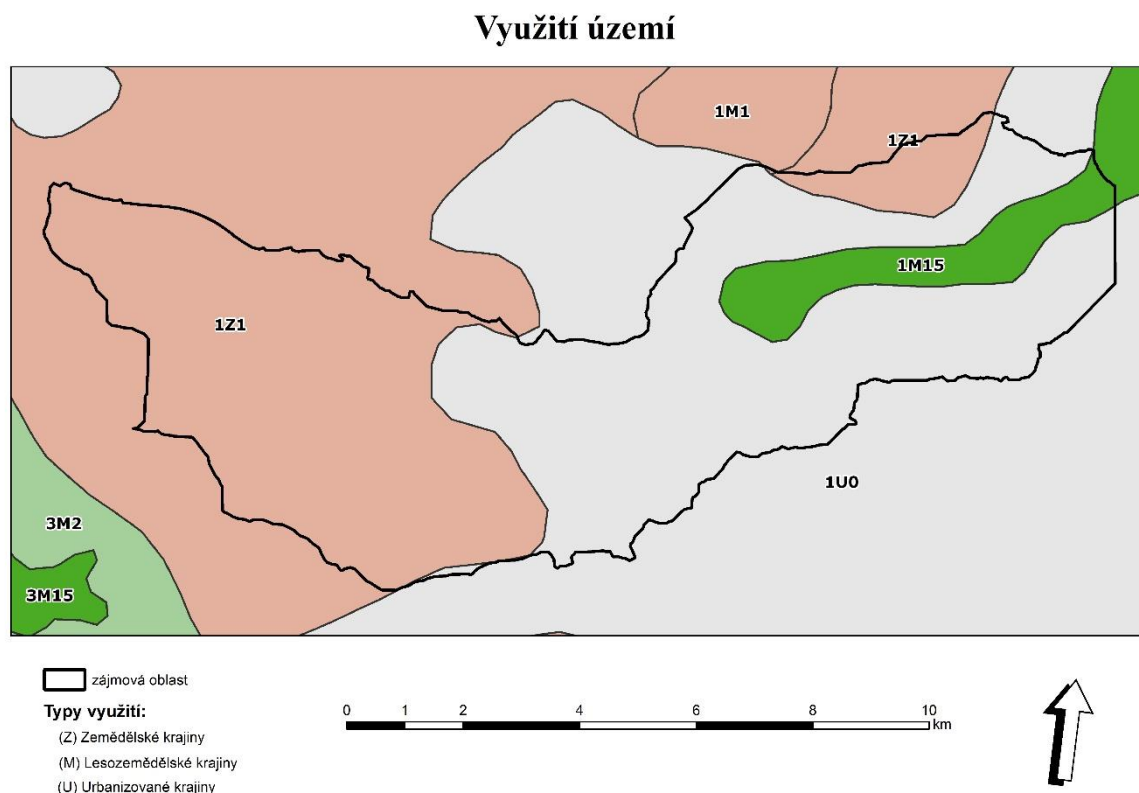
4.1.1. Zařazení dle geomorfologie

Oblast spadá do Hercynského systému, provincie: Česká vysočina, subprovincie: Poberounská soustava, Brdská oblast, celek: Pražská plošina, podcelek: Kladenská tabule, okrsek: Hostivická tabule. Západní část povodí lze popsat jako krajinu plošin a pahorkatin a po směru toku přechází reliéf v přírodní rezervaci Divoká Šárka v zaříznuté údolí.

4.1.2. Klimatické podmínky

Převážná část povodí spadá pod typ klimatické oblasti MT, a malé oblasti na východě a západě povodí přechází do klimatické oblasti typu T. Klimatická oblast MT je zkratkou mírně teplé oblasti, která se vyznačuje průměrnou roční teplotou 6 – 8,5 °C a ročním úhrnem srážek 450 – 750 mm. V oblasti T (teplá) průměrné roční teploty nabývají 7 – 10 °C a roční úhrn srážek je zde 500 – 700 mm.

4.1.3. Krajinný pokryv a využití území



Obr. 4 - Mapa využití území v zájmové oblasti

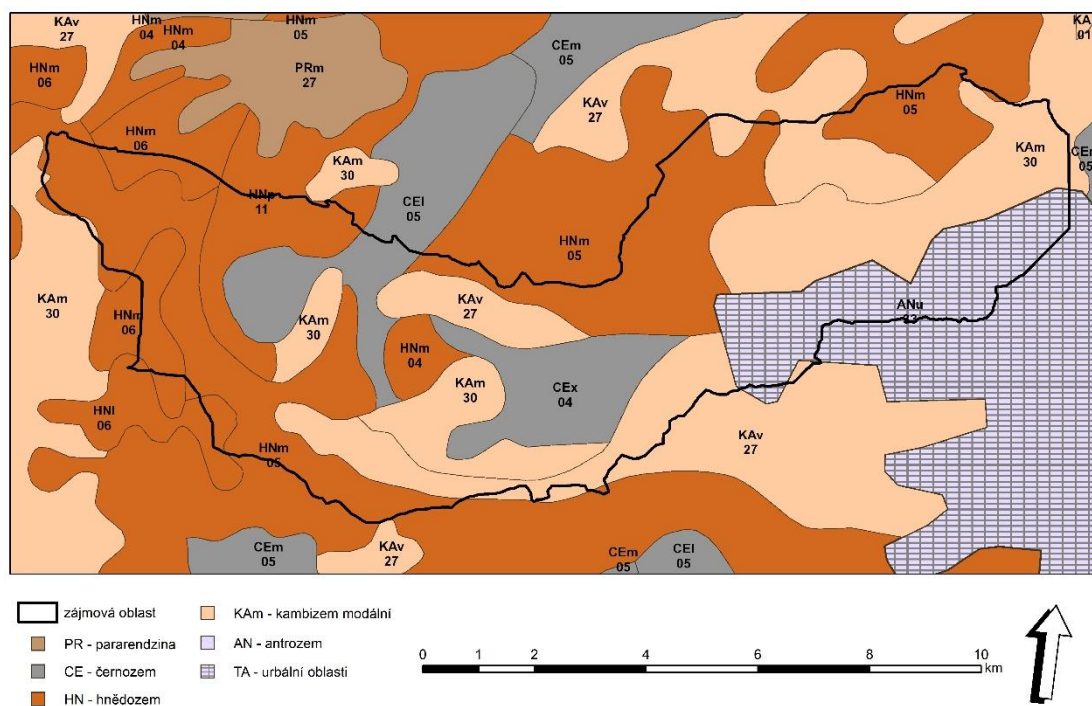
Na povodí převažují zemědělské plochy s nezavlažovanou ornou půdou a to zejména v západní části. Ve východní části už zasahuje povodí do zastavěného území města Prahy, přibývá obytných ploch, průmyslových a obchodních areálů. Na východním horním výběžku povodí se nachází z hlediska eroze a zpomalení odtoku vody nejdominantnější oblast povodí, přírodní rezervace Divoká Šárka, kde jsou krajinným pokryvem zejména lesy a polopřírodní oblasti.

Z hlediska způsobu využití krajiny jsou na západní části povodí zejména zemědělské krajiny a na východě přibývají urbanizované území s již zmiňovanou přírodní rezervací lesozemědělského charakteru.

4.1.4. Pedologické poměry

V povodí se vyskytuje v největší míře referenční třída hnědozemě a směrem na východ přibývá kambizemě, která je ve skoro stejné míře. Místy se objeví černozemě a u Libockého rybníka se vyskytne i antropozem.

Pedologické podmínky

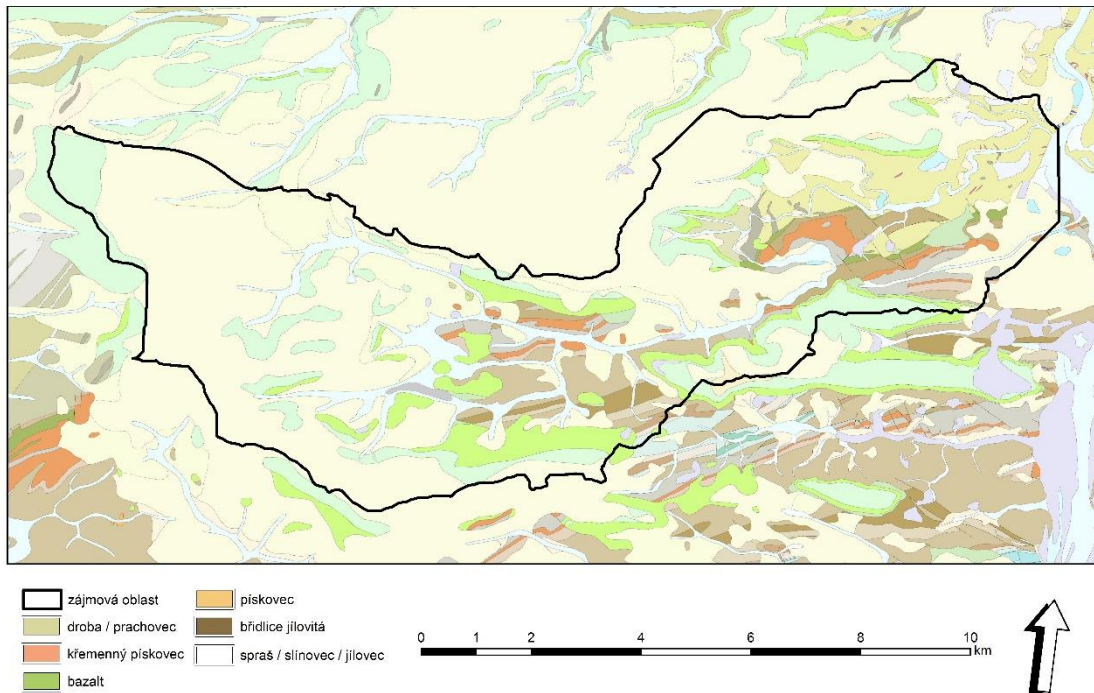


Obr. 5 - Mapa pedologických poměrů v zájmové oblasti

4.1.5. Geologické podmínky

Horniny, které se nejčastěji vyskytují v zájmovém povodí Litovicko-Šáreckého potoka, jsou uvedeny níže ve výřezu z geologické mapy.

Geologické podmínky



Obr. 6 - Mapa geologických poměrů v zájmové oblasti

4.2. POPIS POUŽITÝCH DAT

K vyšetření morfometrických charakteristik a odtokových cest povodí Litovicko-Šáreckého potoka bylo použito prostředí GIS, konkrétně programu ArcGIS 10.3.1. a jeho extenze Spatial Analyst. K řešení těchto charakteristik se použilo dvou datových sad. První sadou byly vrstevnice ZABAGED, poskytnuté Českým úřadem zeměměřičským a katastrálním (ČÚZK), z nichž byl užitím interpolační metody Topo to Raster vytvořen grid o rozlišení 10x10m. Druhou sadou byl výškopis digitálního modelu reliéfu 5. generace DMR 5G (grid 1x1 m), na tuto sadu se aplikovala interpolační metoda IDW. Dále bylo třeba volně stažitelných vrstev vodních toků (jemné úseky) a vodních nádrží DIBAVOD a vektorové vrstvy krajinného pokryvu CORINE land cover 2000. Všechny charakteristiky byly vypracovány v souřadnicovém systému S-JTSK Křovák EastNorth.

ZABAGED (Základní báze geografických dat) je digitální geografický model území České republiky, který svou přesností a podrobností zobrazení geografické reality odpovídá přesnosti a podrobnosti Základní mapy České republiky v měřítku 1:10 000. Obsah ZABAGED tvoří 106 typů geografických objektů zobrazených v databázi vektorovým polohopisem a příslušnými popisnými a kvalitativními atributy. ZABAGED obsahuje informace o sídlech, komunikacích, rozvodných sítích a produktovodech, vodstvu, územních

jednotkách a chráněných územích, vegetaci a povrchu a prvcích terénního reliéfu. Součástí jsou i vybrané údaje o geodetických, výškových a tíhových bodech na území České republiky a výškopis reprezentovaný prostorovým 3D souborem vrstevnic.

Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskrétních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) bodů se souřadnicemi X, Y, H, kde H je nadmořská výška ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv). Model vznikl z dat pořízených metodou leteckého laserového skenování výškopisu území České republiky v letech 2009 až 2013. DMR 5G je určený k analýzám terénních poměrů lokálního charakteru a rozsahu, např. při projektování pozemkových úprav, plánování a projektování dopravních, vodohospodářských a pozemních staveb, modelování přírodních jevů lokálního charakteru, apod. DMR 5G je základní zdrojovou databází pro tvorbu vrstevnic určených pro mapy velkých měřítek a počítačové vizualizaci výškopisu v územně orientovaných informačních systémech vysoké úrovně podrobnosti.

DIBAVOD (Digitální báze vodohospodářských dat) je volně dostupnou referenční geografickou databází, vytvořenou z vrstev ZABAGED. Používá se pro zhotovení tematických kartografických výstupů s vodohospodářskou tematikou a tematikou ochrany vody a pro prostorové analýzy v prostředí GIS.

4.3. ANALÝZA POVODÍ POMOCÍ PROGRAMU ArcGIS

K hydrologickým analýzám se použilo dvou různých výškových dat ZABAGED a DMR 5G, které bylo třeba exportovat do formátu shapefile. Následně se u první analýzy datové sady ZABAGED přikročilo k použití funkcí z nadstavby Spatial Analyst. Jako první se použilo interpolační funkce Topo to Raster pro tvorbu rastru digitálního modelu terénu z výškopisu zadaného vrstevnicemi a to s nastavenou velikostí jednoho pixelu 10x10m. Výběr interpolační funkce záleží na povaze vstupních výškopisných dat, účelu DEM a dalších aspektech. Jelikož takto vytvořený DEM obsahuje tzv. bezodtokové oblasti, které způsobují problémy u následujících funkcí (např. nesprávné vyhodnocení rozvodnice), je nutné aplikovat funkci Fill, jenž tyto místa uměle vyplní. Takový DEM pak lze nazvat hydrologicky korektním. Dalším krokem je vytvoření rastru sklonitosti, k tomu lze použít funkce Slope, jejímž vstupem je hydrologicky korektní DEM. Ve funkci Slope lze zvolit jednotku sklonu buď procenta, nebo stupně, bylo vybráno vyjádření v procentech. Čtvrtou použitou funkcí bylo Flow Direction, pro kterou je vstupem také hydrologicky korektní DEM vytvořený funkcí Fill a výstupem je rastr směrů odtoku, jenž zjednodušeně vypovídá o expozici svahů ke

světovým stranám. Jedním z cílů je zjistit síť soustředěného povrchového odtoku, ta je zase ukazatelem rozložení říční sítě. Ke zjištění tohoto kumulovaného odtoku v prostředí ArcGIS slouží funkce Flow Accumulation, která pracuje na základě směrů povrchového odtoku. Čím vyšší hodnotu bude rastr soustředěného odtoku mít, tím mohutnější bude vodní tok. Tato funkce se doporučuje pro bezchybný průběh funkce Watershed, která se použije k další hydrologické analýze povodí.

Datová sada DMR 5G je vrstva nepravidelně rozmístěných bodů o hustotě zhruba pěti bodů na 1m^2 . Byla zpracovaná naprosto stejným způsobem jako data ZABAGED jen s tím rozdílem, že se použilo interpolační funkce IDW místo funkce Topo to Raster, k převedení do rastru o velikosti jednoho pixelu 1×1 m. V rámci porovnání dvou digitálních modelů: ZABAGED, vytvořeného funkcí Topo to Raster a DMR 5G, vytvořeného funkcí IDW, se použila funkce Minus. Funkce Minus od sebe jednoduše odečte tyto dva modely (Topo to Raster – IDW), výsledkem je rastr výškového rozdílu mezi nimi.

4.4. METODIKA URČENÍ KRITICKÝCH BODŮ (KB)

K určení kritických bodů se použila kritéria základních fyzicko-geografických charakteristik sběrných ploch KB: velikost sběrné plochy, průměrný sklon, procentuální zastoupení orné půdy. Aby se dané místo dalo považovat za kritické z hlediska zanášení vodní nádrže, vybraly se takové přispívající plochy s velikostí nad $0,3\text{ km}^2$, průměrného sklonu nad $3,5\%$ a s podílem plochy orné půdy na povodí nad 40% . Funkcí Reclassify si lze rozředit rastr akumulace odtoku na dvě třídy podle přispívající plochy na více a méně než $0,3\text{ km}^2$. V místech, kde dráha soustředěného odtoku (více jak $0,3\text{ km}^2$) vniká do vodní nádrže, se v editačním nástroji nové bodové vrstvě přidělí konkrétní počet potenciálně kritických bodů. K těmto bodům se pomocí funkce Watershed vyhotoví příslušná povodí. Vstupem funkce je zde rastr směrů odtoku. Tyto potenciálně kritické body jsou v tomto případě brány obdobně jako uzávěrové profily povodí. Výsledná povodí jsou v rastrovém formátu a pro další práci je třeba si vrstvu převést do formátu shapefile. Pro každý bod se přidělí vrstva povodí a spočítá se k ní celková rozloha (Calculate Geometry). Vrstvy povodí se funkcí Intersect spojí s příslušným krajinným pokryvem CORINE land cover a vypočítá se podíl zastoupení orné půdy. Poslední z charakteristik: průměrný sklon, lze zjistit funkcí Zonal Statistics as Table aplikovanou na rastr sklonitosti.

4.5. CHARAKTERISTIKY POVODÍ

Tyto charakteristiky byly vyšetřeny pro celkové povodí s uzávěrovým profilem na soutoku s Vltavou, a to pro dvě datové sady zvlášť (DMR 5G, ZABAGED). Pro jednotlivá

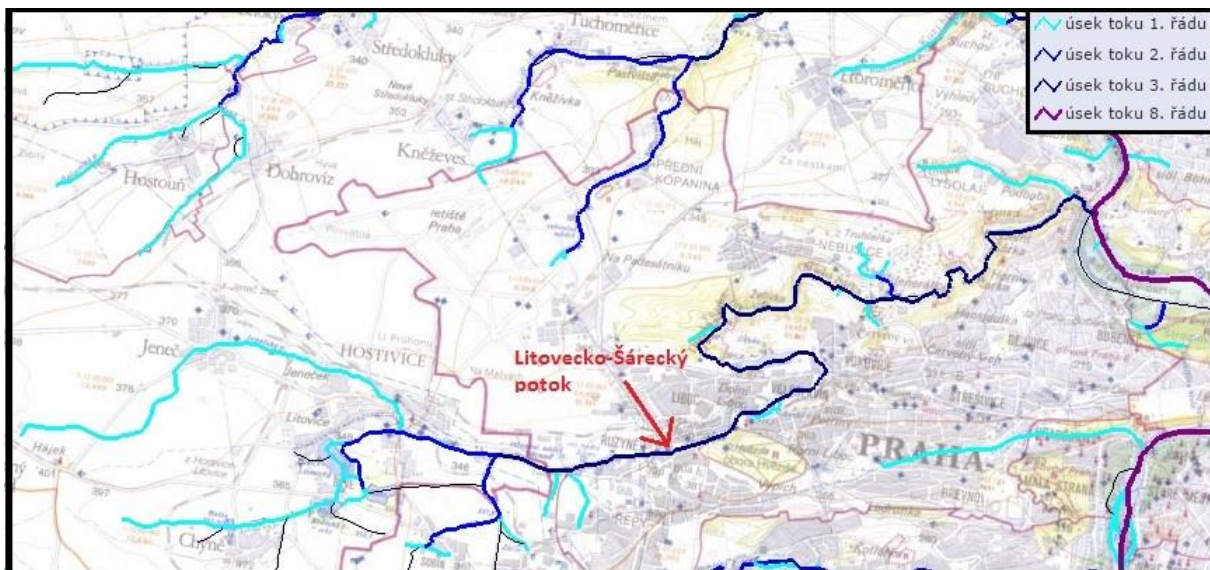
povodí náležící k potenciálně kritickým bodům vodních nádrží byly zjištěny jen charakteristiky potřebné k posouzení těchto míst možného zanášení, a to: přispívající plocha povodí, procento orné půdy na povodí a průměrná sklonitost.

4.5.1. Plocha povodí

Nejdříve se musela povodí vykreslit pomocí funkce Watershed podle vstupu rastru směřu odtoku k bodové vrstvě kritických bodů. Rastr povodí se funkcí Raster to Polygon převedl na polygonovou vrstvu, rozdělil se na jednotlivé Shapefile povodí a k nim se do nového sloupce atributové tabulky spočítala pomocí Calculate Geometry plocha v km².

4.5.2. Délka hlavního toku

Vytvořila se nová liniová vrstva znázorňující hlavní tok, daný vzdáleností od UP k prameni toku. Následně se vypočítala v atributové tabulce délka toku v km znovu podle Calculate Geometry. K určení hlavního toku posloužila mapa rozdělení vodních toků podle Strahlera z webové stránky www.heis.vuv.cz.



Obr. 7 - Řádovost toků v zájmové oblasti, měřítko 1:80 000 (www.heis.vuv.cz)

4.5.3. Délka údolnice

Jde o délku linie od UP k rozvodnici. Byl použit stejný postup jako při výpočtu délky hlavního toku.

4.5.4. Průměrný sklon údolnice

Tento sklon je určen vzorcem uvedeným v kapitole 3.2.2. Nástrojem Identify se zjistí maximální a minimální nadmořská výška na údolnici, maximální výška je zpravidla na

průsečíku údolnice s rozvodnicí a minimální je většinou výška UP. Délku údolnice, poslední potřebný údaj, už známe.

4.5.5. Součinitel tvaru povodí

Tento součinitel porovnává půdorysný tvar povodí s několika geometrickými obrazy. Dle hodnoty součinitele se rozděluje povodí na několik možných tvarů. Využilo se jednoduchých vzorců schematizace na obdélník z kapitoly 3.2.1.

4.5.6. Hustota říční sítě

Jako první bylo třeba funkcí Intersect vydělit ty vodní toky, které zasahují do řešeného povodí. K tomuto výpočtu se použilo vzorce z kapitoly 3.3.1.

4.5.7. Lesnatost povodí, procento zastavěného území a orné půdy

Obdobný výpočet jako při zjištění hustoty říční sítě. Místo celkové délky vodních toků na povodí se použije celkové zalesněné plochy / zastavěné plochy / plochy s ornou půdou k ploše povodí.

4.5.8. Průměrná sklonitost

Funkcí Zonal Statistics as Table se zjistil, pro vstupní vrstvy jednotlivých polygonů povodí a rastru sklonitosti, průměrný sklon v procentech.

5. VÝSLEDKY

Pátá kapitola bakalářské práce je souhrnem a porovnáním zjištěných charakteristik v programu ArcGIS pro dvě datové sady ZABAGED a DMR 5G.

Charakteristiky celkového povodí s uzávěrovým profilem na soutoku Litovicko-Šáreckého potoka s Vltavou jsou shrnuty v níže uvedené tabulce.

Tab. 1 Charakteristiky povodí

Plocha povodí (km ²)	73,798
Délka hlavního toku (km)	23,963
Délka údolnice (km)	24,823
Průměrný sklon údolnice (%)	0,86
Součinitel tvaru povodí (-)	0,12
Hustota říční sítě (km ⁻¹)	0,783
Zalesněnost (%)	8,08
Zastavěné území (%)	26,5
Orná půda (%)	53,04

Charakteristiky povodí byly vyšetřeny pro celé povodí datové sady ZABAGED. Předpokládá se, že charakteristiky druhé datové sady DMR 5G se nebudou výrazně lišit, proto charakteristiky z dat ZABAGED postačí.

Součinitel tvaru povodí se podle svojí hodnoty řadí mezi protáhlá povodí. Plocha orné půdy zde výrazně dominuje a nezanedbatelná není ani plocha zastavěného území.

Charakteristiky, které se mohou výrazně lišit hlavně kvůli odlišné kvalitě modelů, jsou zobrazeny níže v tabulce 2. a 3.

Tab. 2 Sklonitost (%)

	ZABAGED	DMR 5G
Průměrná sklonitost	6,80	7,99
Maximální	104,30	702,19

Tab. 3 Nadmořské výšky (m n.m.)

	ZABAGED	DMR 5G
Průměrná výška	345,76	348,97
Maximální	416,74	417,12
Minimální	174,90	175,42

Tab. 4 Charakteristiky kritických bodů ZABAGED

Zhodnocení kritických bodů KB - ZABAGED				
Kritický bod	Plocha povodí (km ²)	Podíl orné půdy (%)	Průměrný sklon (%)	Působení
Bašta 1	2,356	93,91	2,97	na hlavním přítoku
Bašta 2	1,236	98,71	2,99	z boku
Strahovský rybník 1	5,107	87,27	3,12	na hlavním přítoku
Strahovský rybník 2	1,995	84,34	4,25	na vedlejším přítoku
Břevský rybník	9,336	84,61	3,59	na vedlejším přítoku
Litovický rybník 1	9,536	83,57	3,62	na vedlejším přítoku (J)
Litovický rybník 2	1,048	89,54	4,76	na vedlejším přítoku (Z)
Litovický rybník 3	0,653	16,39	4,03	z boku
Strnad 1	31,986	83,41	3,17	na hlavním přítoku
Strnad 2	5,950	75,99	3,92	z boku
Jiviny	41,841	78,79	3,46	na hlavním přítoku
Libocký rybník	0,539	0,00	4,44	z boku
Džbán 1	49,028	67,75	3,95	na hlavním přítoku
Džbán 2	0,496	0,00	11,97	z boku
xxx	62,060	59,83	5,60	z boku

legenda:

mimo ohrožení

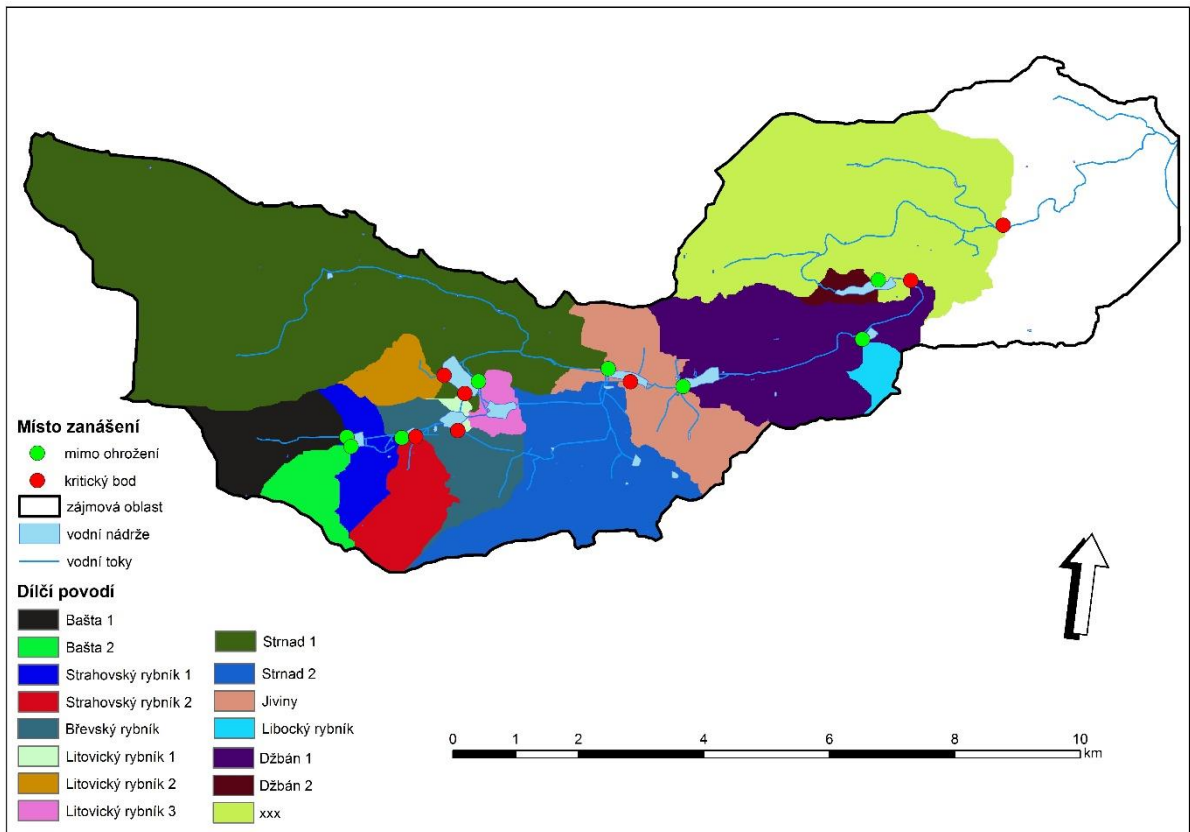
V tabulce 4. se míra ohrožení vyjadřuje podle velikosti přispívající plochy 0,3 km², procentu orné půdy 40% a průměrného sklonu 3,5 %. Hodnoty, které jsou větší než stanovené meze, jsou brány jako kritické. Z tabulky 4. vyplývá, že je ohroženo zanášením šest vodních nádrží a některé z nich i na dvou místech. Ohrožená místa jsou v tabulce 4. vyplněna červeně.

Tab. 5 Charakteristiky kritických bodů DMR 5G

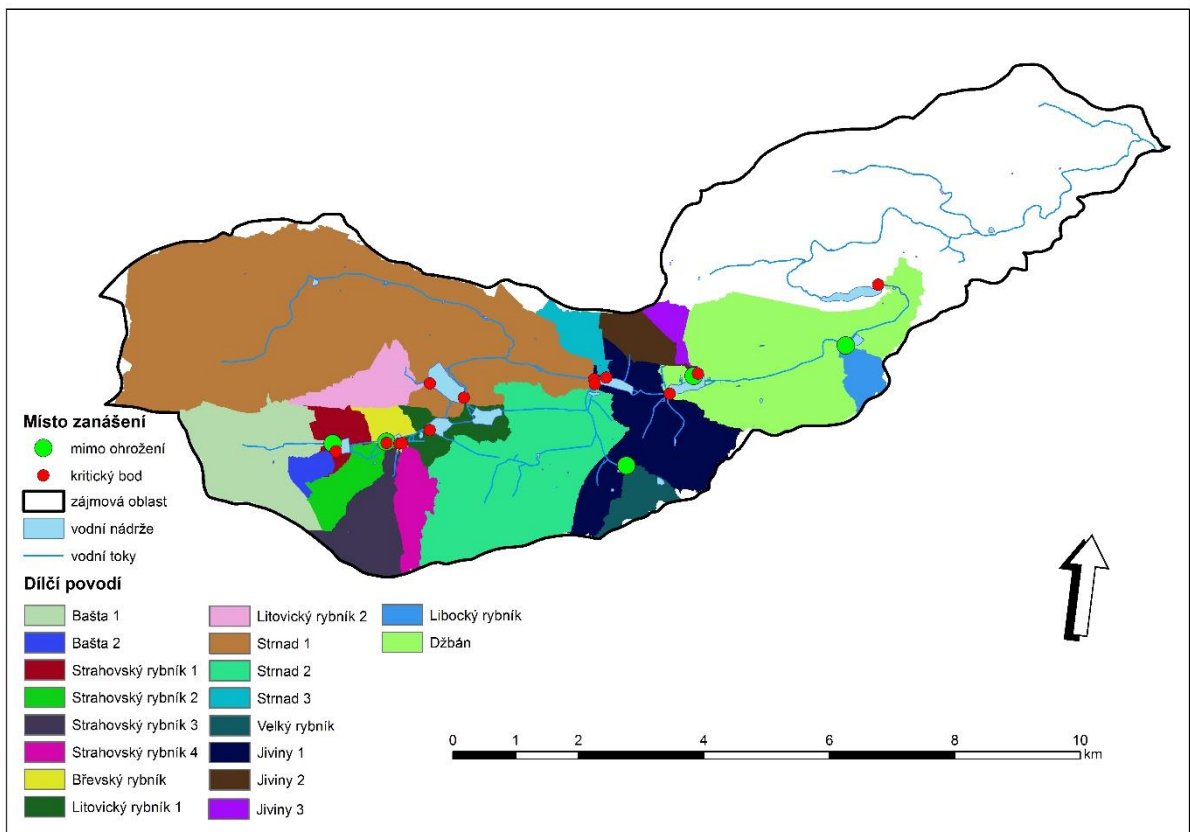
Zhodnocení kritických bodů KB - DMR 5G				
Kritický bod	Plocha povodí (km ²)	Podíl orné půdy (%)	Průměrný sklon (%)	Působení
Bašta 1	2,921	95,52	2,81	na hl. přítoku
Bašta 2	0,322	95,44	6,73	z boku
Strahovský rybník 1	3,855	93,13	3,35	na hl. přítoku
Strahovský rybník 2	0,852	54,44	4,94	z boku (Z)
Strahovský rybník 3	1,456	93,39	3,65	na vedl. přítoku
Strahovský rybník 4	0,880	78,43	4,99	z boku (JV)
Břevský rybník	7,459	86,56	3,79	na hl. přítoku
Litovický rybník 1	8,402	80,66	3,86	na přítoku (J)
Litovický rybník 2	1,057	92,10	5,12	na vedl. přítoku (Z)
Strnad 1	24,785	80,15	3,85	na hl. přítoku
Strnad 2	5,737	87,65	4,10	na vedl. přítoku (JZ)
Strnad 3	0,628	89,13	6,04	z boku (S)
Velký rybník	0,645	18,78	5,17	z boku
Jiviny 1	35,214	76,64	4,22	na hl. přítoku
Jiviny 2	0,724	35,68	5,80	z boku
Jiviny 3	0,373	61,57	4,66	z boku
Libocký rybník	0,491	0,00	6,74	na přítoku
Džbán	43,034	63,85	4,84	na hl. přítoku

legenda: mimo ohrožení

Dle souhrnu charakteristik vypočítaných podle DMR 5G je o jednu ohroženou nádrž více. Vícenásobně přibyl počet ohrožených míst. Takový výsledek je ovlivněn lepší kvalitou použitého modelu, který díky velikosti buňky 1x1 m zobrazí více možných preferenčních cest soustředěného odtoku. Ne vždy ale musí tyto preferenční cesty zasáhnout do vodních nádrží. Ohrožená místa jsou v tabulce 5. vyplněna červeně.



Obr. 8 - Přehled kritických bodů - ZABAGED



Obr. 9 - Přehled kritických bodů - DMR 5G

6. DISKUZE

K výpočtu charakteristik povodí, důležitých pro analýzu, se použilo funkcí programu ArcGIS a vzorců, které jsou popsány v metodické části a pokud možno na sebe chronologicky navazují. Nejvíce budou v této části porovnány oblasti, kde cesty soustředěného odtoku zasahují do vodních nádrží.

Sklonitostní charakteristiky mohou výrazně ovlivnit zanášení vodních nádrží. Rozdíl mezi průměrnou sklonitostí z datové sady ZABAGED a DMR 5G je zapříčiněn odlišnou kvalitou modelů, tu udává vybraná velikost buňky anebo hustota naměřených bodů. Průměrná sklonitost z těchto datových sad se výrazně neliší. Největší rozdíl nastal u maximální sklonitosti. To je způsobeno použitím podrobného modelu DMR 5G, kde jsou zachyceny sebemenší nerovnosti povrchu. Výškové poměry DMR 5G se dají díky jeho kvalitě, oproti ZABAGED, považovat za přesnější.

Zanášení vodních nádrží je také ovlivněno způsobem využití území a krajinným pokryvem. Přispívající plocha orné půdy je v povodí zastoupena více než z poloviny a zastavěného území je přibližně čtvrtina z celkové plochy. Ve spojitosti s vyšší sklonitostí bude v nádržích větší množství sedimentů.

Podle vypočtených hodnot z tabulek 4. a 5. lze zjistit, jak moc je které místo vodní nádrže ohroženo zanášením. Místa, která se pohybují nad mezními hodnotami, se označí za kritická. Kritický bod je takový, který přesahuje velikost přispívající plochy $0,3 \text{ km}^2$, podíl orné půdy 40% a průměrný sklon 3,5 %.

V případě jednostranného pohledu na věc lze u datové sady ZABAGED označit celkem šest vodních nádrží náchylných na zanášení, z čehož u Litovického rybníka ve dvou místech. Jednou z těchto šesti nádrží je nepojmenovaná vodní nádrž u pramene Jenerálka (xxx), do které v případě DMR 5G cesta soustředěného odtoku vůbec nezasáhla. Zanášení vodních nádrží lze předpokládat zejména na jejich přítocích, to se potvrdilo u obou datových sad. Zajímavé jsou však hlavně ty cesty soustředěného odtoku, které vnikají do nádrží z jejich boků. Takto ohrožené nádrže jsou u ZABAGED jen dvě: Strnad a již zmíněná nádrž u pramene Jenerálka.

Podle výsledků z tabulky 5. pro DMR 5G je ohroženo zanášením sedm vodních nádrží a některé z nich i na třech místech. Více zjištěných kritických míst vodních nádrží je zapříčiněno přesnějším datovým podkladem, vzhledem k tomu bylo třeba vyhodnotit i Velký rybník a na druhou stranu se od vyhodnocení nádrže u pramene Jenerálka upustilo.

Podle dvou datových sad je shodně ohroženo zanášením 5 vodních ploch: Strahovský r., Břevský r., Litovický r., v. n. Strnad a v. n. Džbán. Za nejméně zanášenou vodní plochu lze považovat Libocký rybník, kde neprobíhá žádná zemědělská činnost a přispívající plocha je jednou z nejmenších.

Zajímavým výstupem je cesta soustředěného odtoku do vodní nádrže Džbán (příloha č. 8), kde na severní části nádrže došlo místo ke vtoku naopak k výtoku. Vodní tok byl zde odkloněn mimo skutečnou trasu. K tomu může dojít vlivem vyplnění bezodtokých oblastí a horší kvalitou datového podkladu. Že nejde o kritický bod, se potvrzuje u výstupu z DMR 5G.

U přílohy č. 9 zase nastal částečně rozdíl mezi realitou a vyhodnocením. Cesta soustředěného odtoku zde nepokračuje podél trasy vodního toku dále do v. n. Strnad, ale obchází ji a vede do následující v. n. Jiviny. To může být opět způsobeno vyplněním bezodtokých míst nebo např. umělou vodotečí.

V příloze č. 10. je znázorněno, jak může vyhodnotit odtokovou cestu ZABAGED oproti DMR 5G. Rastr akumulace ZABAGED zde vede cestu soustředěného odtoku mimo vodní nádrž Jiviny, kdežto u DMR 5G je cesta odtoku rozvětvená a navíc zasahuje nádrž ve dvou místech. Díky kvalitě DMR 5G se získá ještě mnohem lepší přehled, kde může dojít k potenciálnímu znečištění.

V poslední příloze č. 11. je vybrán podobný příklad. Rastr akumulace, vytvořený z vrstevnicových dat ZABAGED, zde vyhodnotil situaci poněkud přesněji a do Břevského rybníka vede dvě cesty soustředěného odtoku. Nicméně znovu díky mnohem lepší kvalitě DMR 5G se zjistí, že cest soustředěného odtoku je dvakrát více.

Příloha č. 5. je vyjádřením rozdílu mezi dvěma rastry modelu terénu funkcí Topo to Raster a IDW. Z výstupu je vidět, že největší rozdíly jsou v extrémně sklonitých místech a v místech vodních nádrží, jinak převládají po většině území vyrovnané hodnoty.

7. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vyšetřit morfometrické charakteristiky povodí Litovicko-Šáreckého potoka a zjistit místa, kde cesty soustředěného odtoku zasahují do vodních nádrží, v takových místech pak lze předpokládat zanášení vodních nádrží. Pro většinu výpočtů se použilo výhod prostředí ArcGIS.

Výsledné charakteristiky a výstupy zjištěné ze dvou datových sad ZABAGED a DMR 5G se v několika částech výrazně lišily. Tyto rozdíly jsou způsobeny výrazně lepší kvalitou DMR 5G. Výsledky DMR 5G lze proto považovat za přesnější a lépe odrážející realitu.

Díky této práci si je možné udělat lepší představu o fungování programu ArcGIS a práci s ním při řešení podobných studií. V některé z navazujících bakalářských či diplomových prací by mohly výstupy této studie posloužit k ověření přesnosti zjištěných výsledků, například k porovnání skutečných a softwarem ArcGIS zjištěných míst zanášení a výšky zde sedimentovaného materiálu.

POUŽITÁ LITERATURA

- ARUN, P., V., 2013: A comparative analysis of different DEM interpolation methods. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* [online]. **16**(2), 133-139 [cit. 2016-04-12]. DOI: 10.1016/j.ejrs.2013.09.001. ISSN 11109823.
- BURROUGH, P.A. - McDONNELL, R. A., 1998: Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, New York, pp. 333–335. Declercq.
- CRESSIE, N., 1990: ‘The origins of kriging.’ *Mathematical Geology*, vol. 22, pp. 239–252
- ČISTÝ, M., 2005: Rybníky a malé vodné nádrže II. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislavě. ISBN: 80-227-2294-4.
- DINGMAN, S., 2002: Physical hydrology. 2nd ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall. ISBN 0-13-099695-5.
- DOOGE, James C. I., 1986: Looking for hydrologic laws. *Water Resources Research* [online]. **22**(9S), 46S-58S [cit. 2016-04-12]. DOI: 10.1029/WR022i09Sp0046S. ISSN 00431397.
- EL-SHEIMY, N. - VALEO, C. - HABIB, A., 2005: Digital terrain modeling: acquisition, manipulation, and applications. Boston: Artech House. ISBN 1580539211.
- FRANKE, R., 1982: Smooth Interpolation of Scattered Data by Local Thin Plate Splines. *Computer and Mathematics with Applications*. Vol. 8. No. 4. pp. 273–281. Great Britain.
- GOODCHILD, M. F. - MARK, D. M., 1987: The fractal nature of geographic phenomena. *Annals of Association of American Geographers*. 77 (2): 265–278.
- HRÁDEK F. - KUŘÍK P., 2004: Hydrologie. Skripta. ČZU Praha, 280 s.
- HUTCHINSON, M. F. 1989: A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of pits. *Journal of Hydrology* 106:211-32.
- HUTCHINSON, M. F. – DOWLING, T. I., 1991: A continental hydrological assessment of a new grid-based digital elevation model of Australia. *Hydrological Processes* 5: 45–58.
- JANEČEK, M., 2008: Základy erodologie. Vyd. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita. ISBN 978-80-213-1842-7.

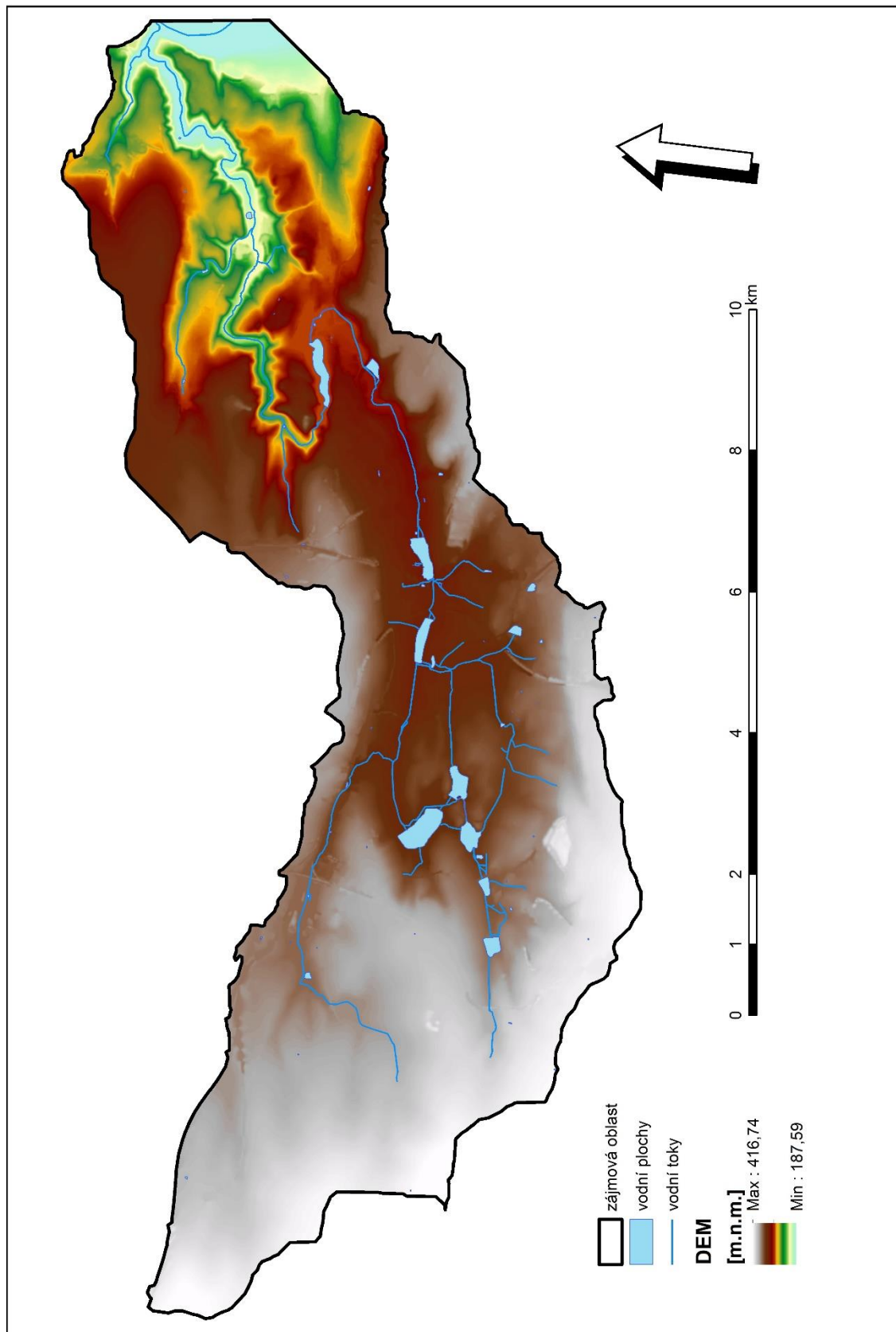
- JENSON, S. K. – DOMINGUE, J. O., 1988: "Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54 (11): 1593–1600.
- KIRKBY, M. - BEVEN, K., 1993: *Channel network hydrology*. New York: Wiley. ISBN 0471935344.
- LINHARTOVÁ, I. - ZBOŘIL, A., 2006: *Charakteristiky vodních toků a povodí ČR*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka. ISBN 80-85900-62-9.
- LIVEČKA, URBAN, HAMPL, 1962: *Těžba a využití rybníčního bahna*, 180 s.
- MAIDMENT, D., R., 2002: *Arc hydro: GIS for water resources*. Redlands, Calif.: ESRI Press. ISBN 1589480341.
- MITASOVA, H. - HOFIERKA, J. - ZLOCHA, M. - IVERSON, L. R., 1996: Modelin topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10:629-41.
- MITÁŠOVÁ, H. – MITÁŠ, L. – HARMON, R. S., 2005: Simultaneous spline approximation and topographic analysis for lidar elevation data in open source GIS. *Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 0, No. 00.
- MORETTO, J. - RIGON, E. - MAO, L. - DELAI, F. - PICCO, L. - LENZI, M., 2014: Short-term geomorphic analysis in a disturbed fluvial environment by fusion of LiDAR, colour bathymetry and dGPS surveys. *Catena* 122, 180-195 [cit. 2016-04-12]. DOI:10.1016/j.catena.2014.06.023.
- NIEMANN, J. D. – BRAS, R. L. – VENEZIANO, D., 2003: A physically based interpolation method for fluvially eroded topography. *Water Resources Research*, Vol. 39, No. 1, s. 1017–1031.
- OLIVER M. A., 1990: Kriging: A Method of Interpolation for Geographical Information Systems. *International Journal of Geographic Information Systems* 4: s. 313–332.)
- PAVLICA, J., 1964: *Malé vodní nádrže a rybníky*, 200 s.
- RODRIGUEZ-ITURBE, I. - VALDES, I. B., 1979: The geomorphologic structure of hydrologic response. *Water Resources Research*, 15:1409-1420.
- SELLMANN, P. V. - DINGMAN, S. L., 1970: Prediction of stream frequency from maps. *Journal of Terramechanics*, 7:101-115.

- ŠOBR M. - JANSKÝ B., 2003: Jezera České republiky. Praha: Univerzita Karlova, 199 s.
- TANGUY, J.-H., 2010: Environmental hydraulics. 1st pub., Physical processes and measurement devices. London: ISTE. *Environmental hydraulice series*. ISBN: 978-1-84821-152-0
- TARBOTON, D. G. - BRAS, R. L. - RODRIGUEZ-ITURBE, I., 1991: "On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data." *Hydrological Processes* 5: 81–100.)
- VRÁNA, K. - BERAN, J., 2013: Rybníky a účelové nádrže. Praha : ČVUT. ISBN 978-80-01-04002-7.
- VÚV T.G.M., v.v.i.: 2009, Metodika mapování povodňového rizika – Metodický návod pro identifikaci KB
- WATSON, D. F. – PHILIP, G. M., 1985: "A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation." *Geoprocessing* 2:315–327.
- WEIBEL, R. - HELLER, M. 1991: Digital terrain modelling. In D. J. Maguire - M. F.
- WILSON, J. P. – GALLANT, J. C., 2000: Terrain analysis: principles and applications. New York: Wiley. ISBN 0-471-32188-5.

SEZNAM PŘÍLOH

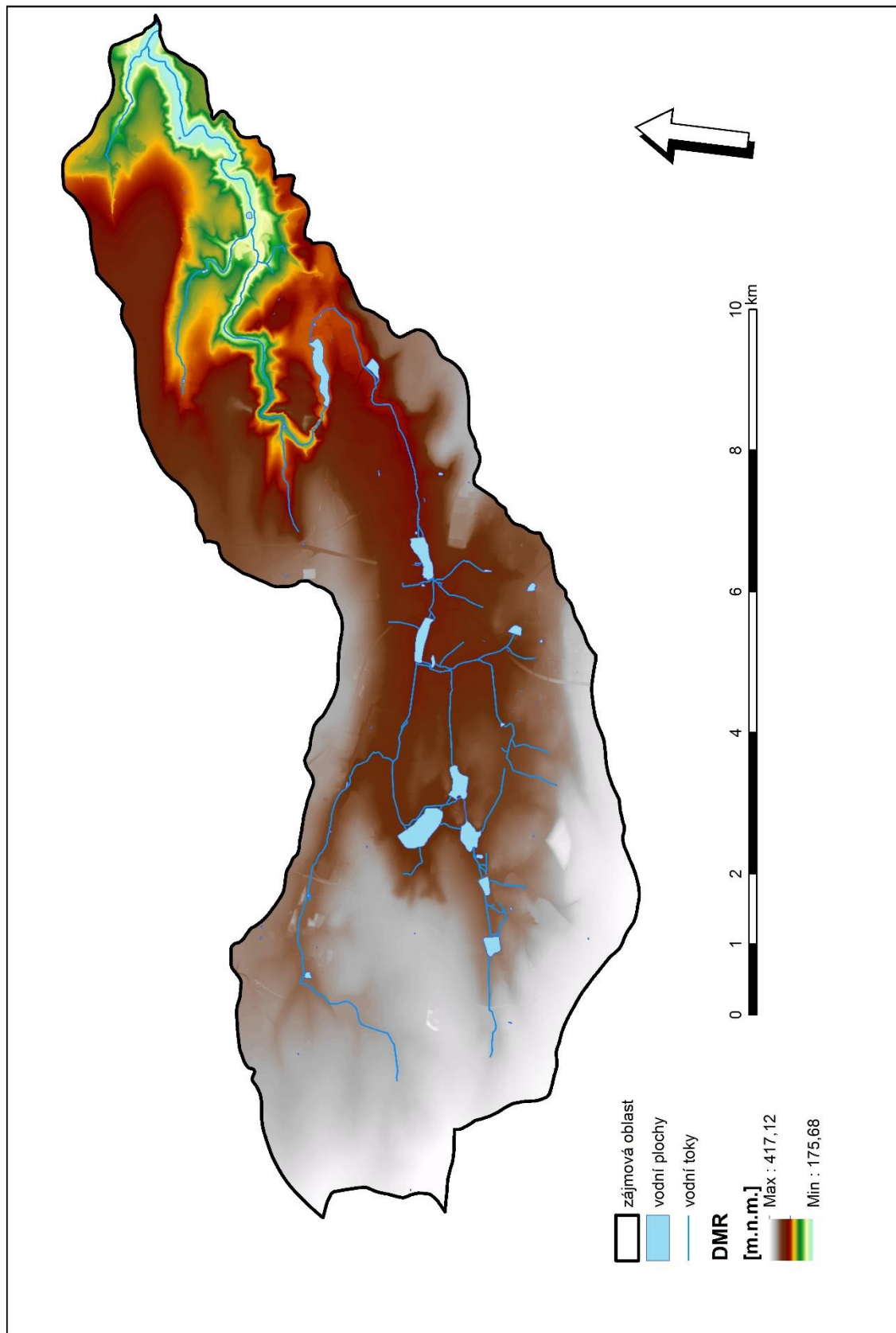
- 1) Digitální model terénu (ZABAGED)
- 2) Digitální model terénu (DMR 5G)
- 3) Sklonitost (ZABAGED)
- 4) Sklonitost (DMR 5G)
- 5) Výškový rozdíl mezi modelem ZABAGED a DMR 5G
- 6) Dílčí povodí potenciálně kritických bodů (ZABAGED)
- 7) Dílčí povodí potenciálně kritických bodů (DMR 5G)
- 8) Cesty soustředěného odtoku – v. n. Džbán
- 9) Cesty soustředěného odtoku – Velký rybník
- 10) Cesty soustředěného odtoku – v. n. Jiviny
- 11) Cesty soustředěného odtoku – Břevský rybník

PŘÍLOHA Č. 1

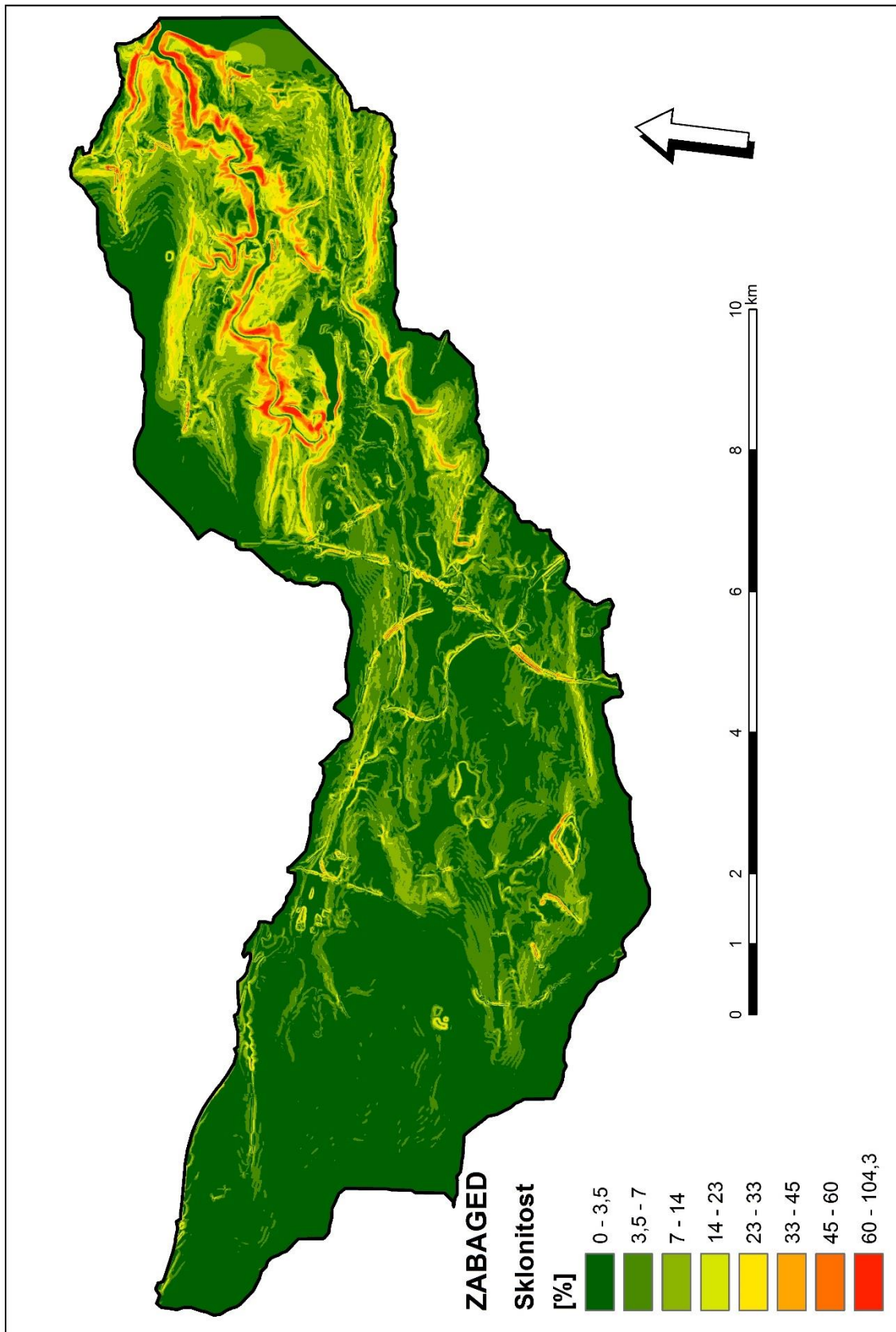


Obr. 10 - Digitální model terénu (ZABAGED)

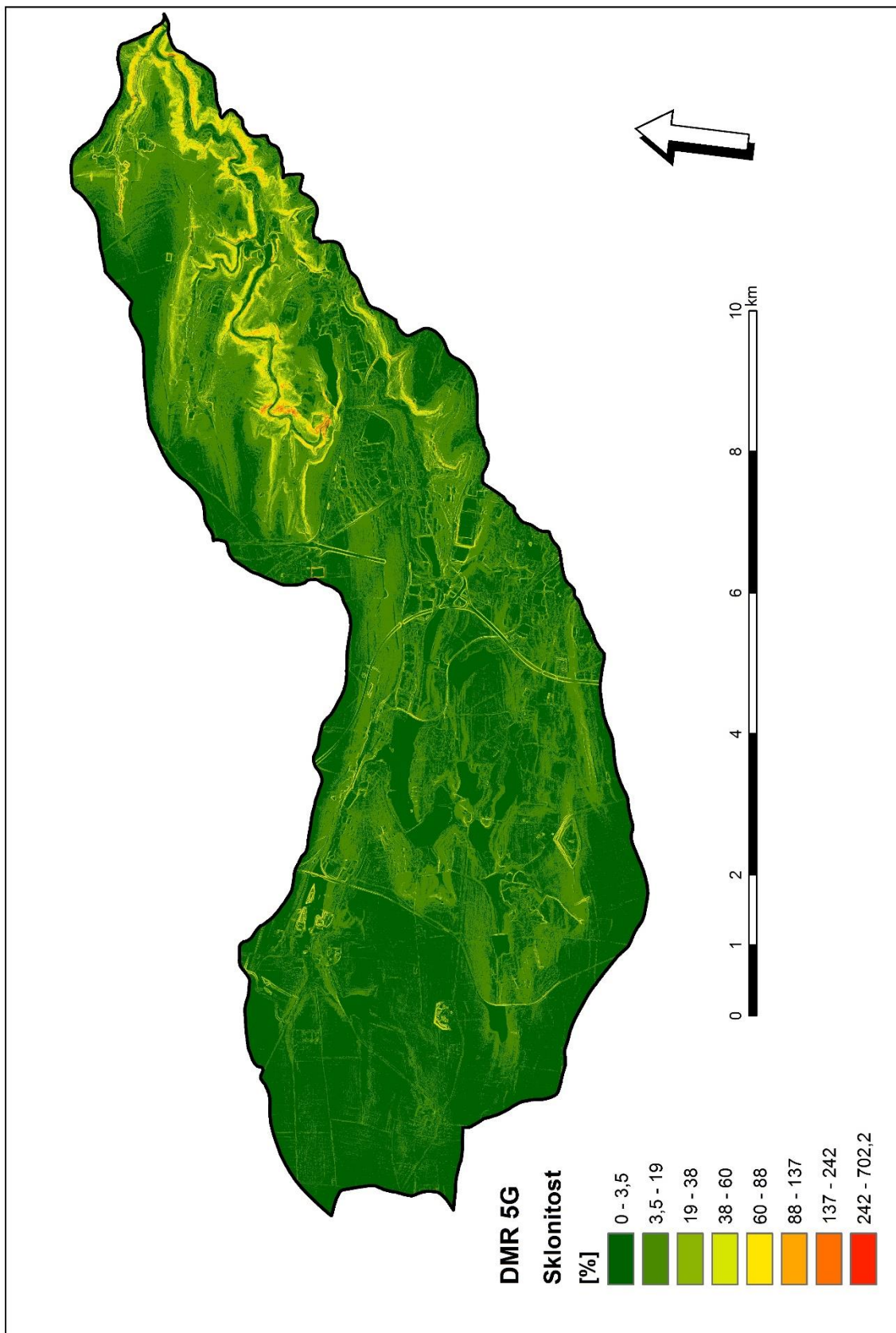
PŘÍLOHA Č. 2



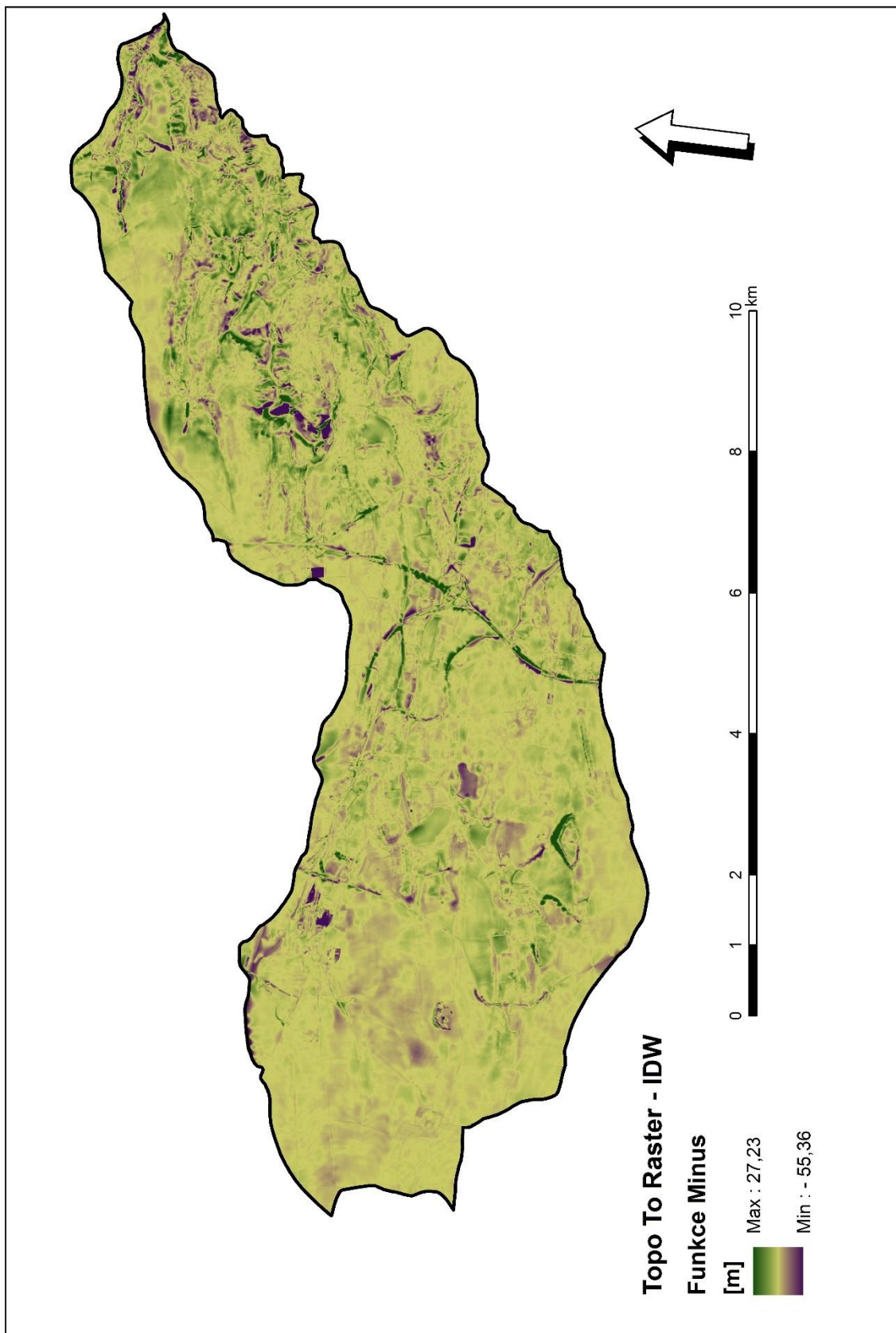
Obr. 11 - Digitální model terénu (DMR 5G)



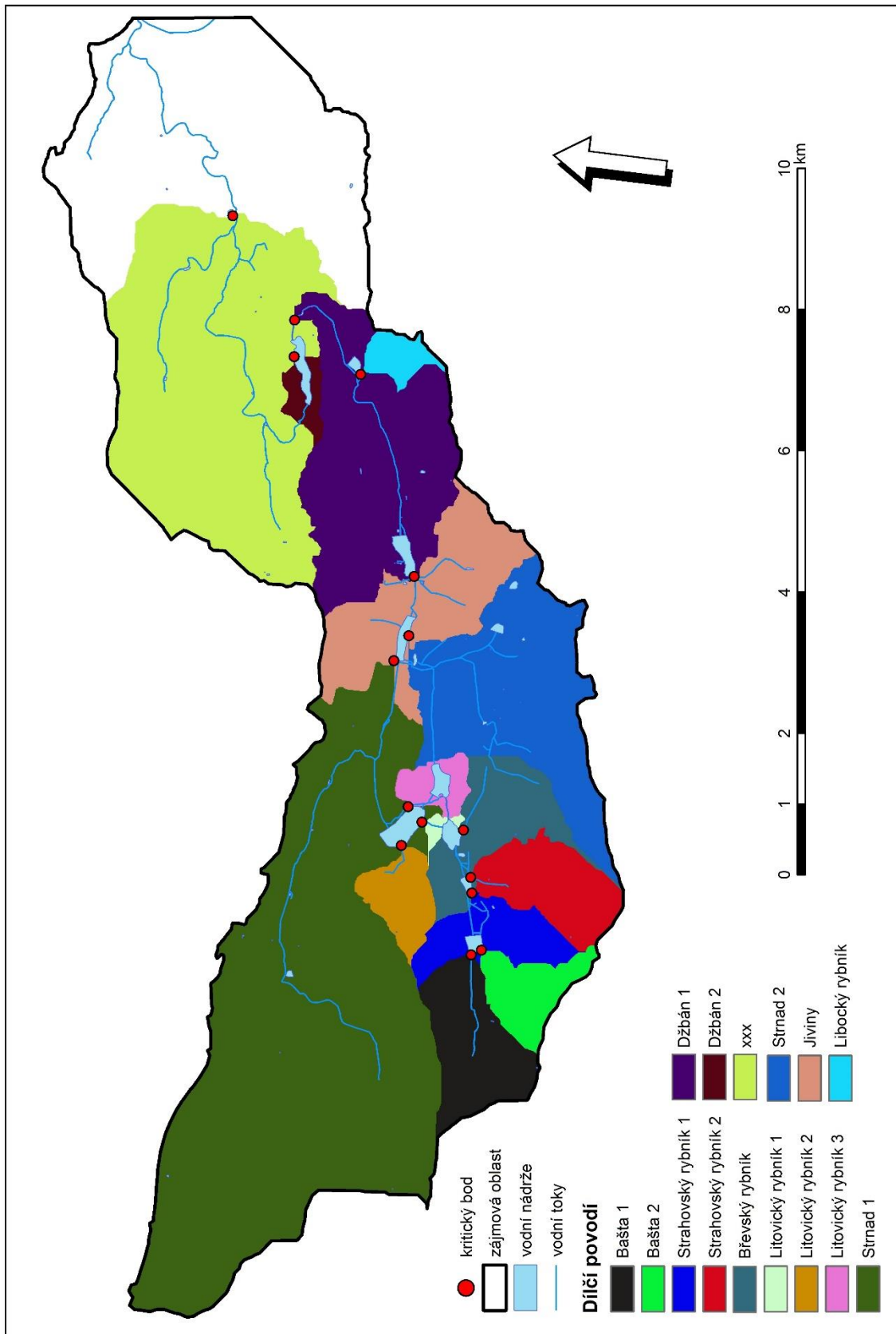
Obr. 12 - Sklonitost (ZABAGED)



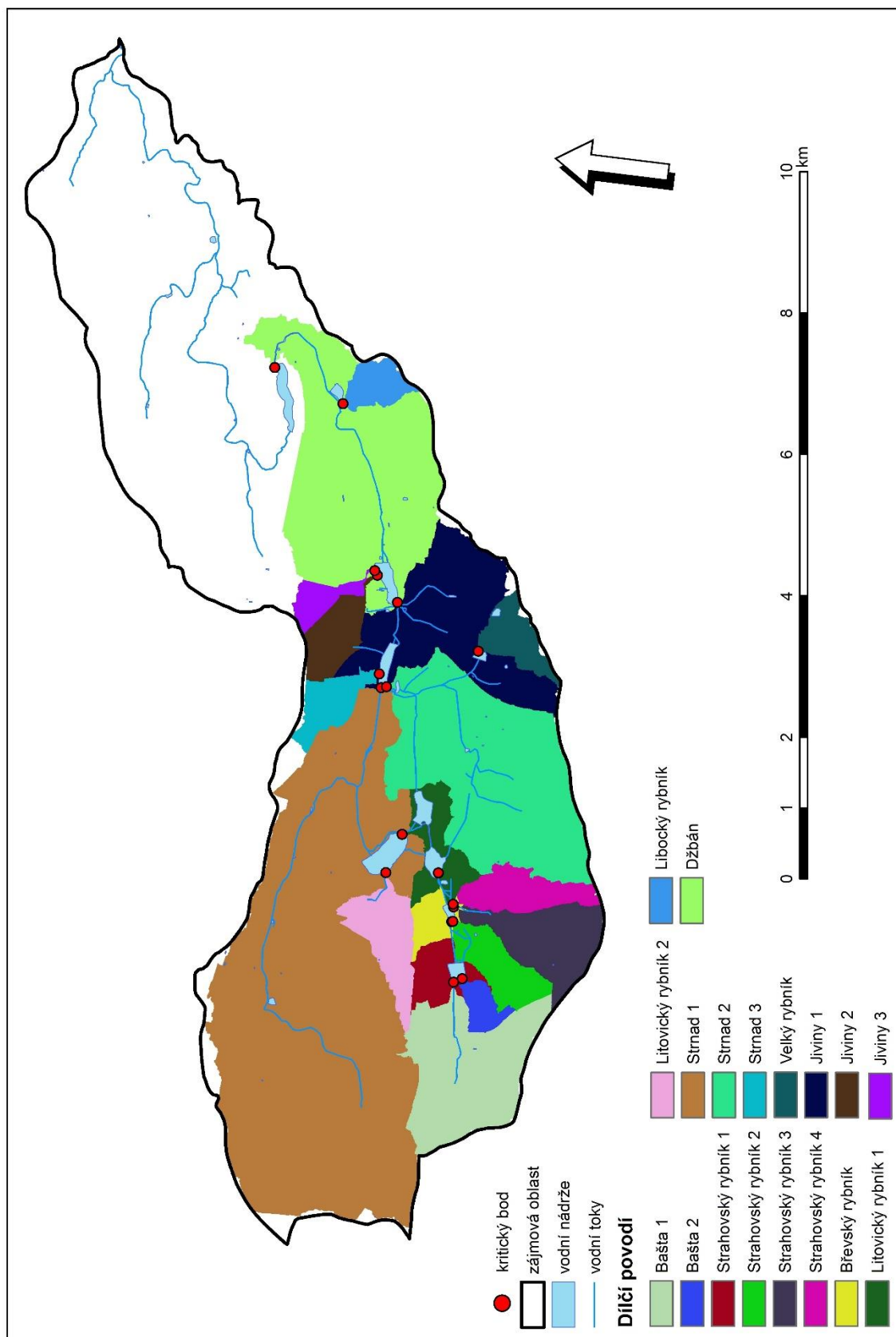
Obr. 13 - Sklonitost (DMR 5G)



Obr. 14 - Výstup funkce Minus - rozdíl mezi Topo to Raster (ZABAGED) a IDW (DMR 5G)



Obr. 15 - Dílčí povodí potenciálně kritických bodů (ZABAGED)

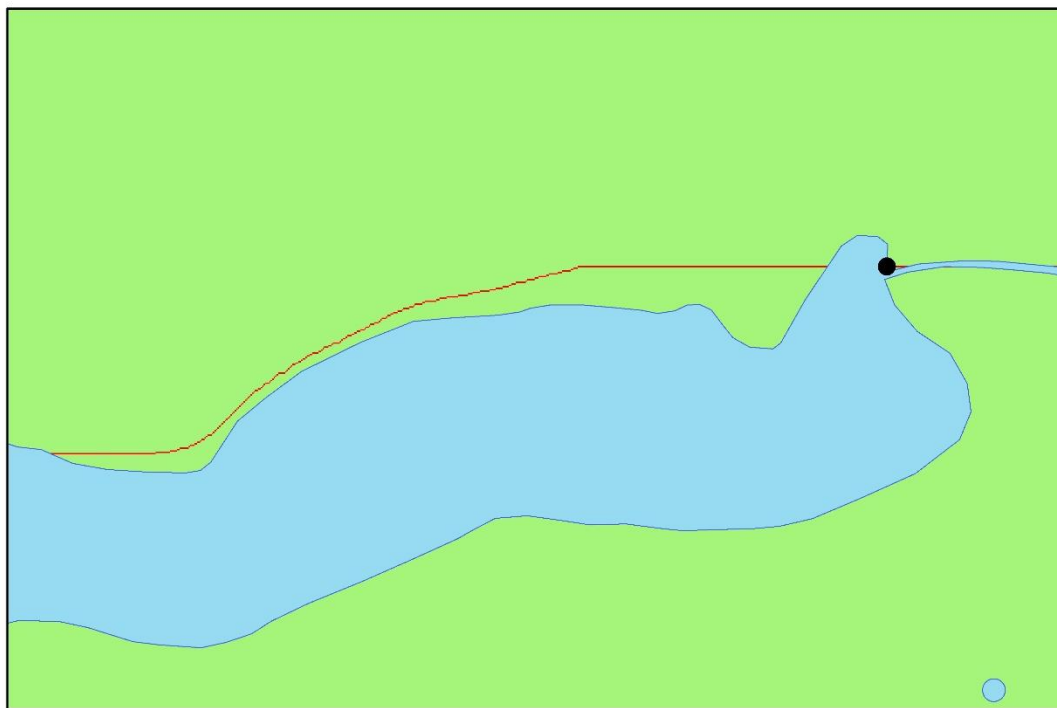


Obr. 16 - Dílčí povodí potenciálně kritických bodů (DMR 5G)

PŘÍLOHA Č. 8



0 0,2 0,4 0,6 0,8 1 km



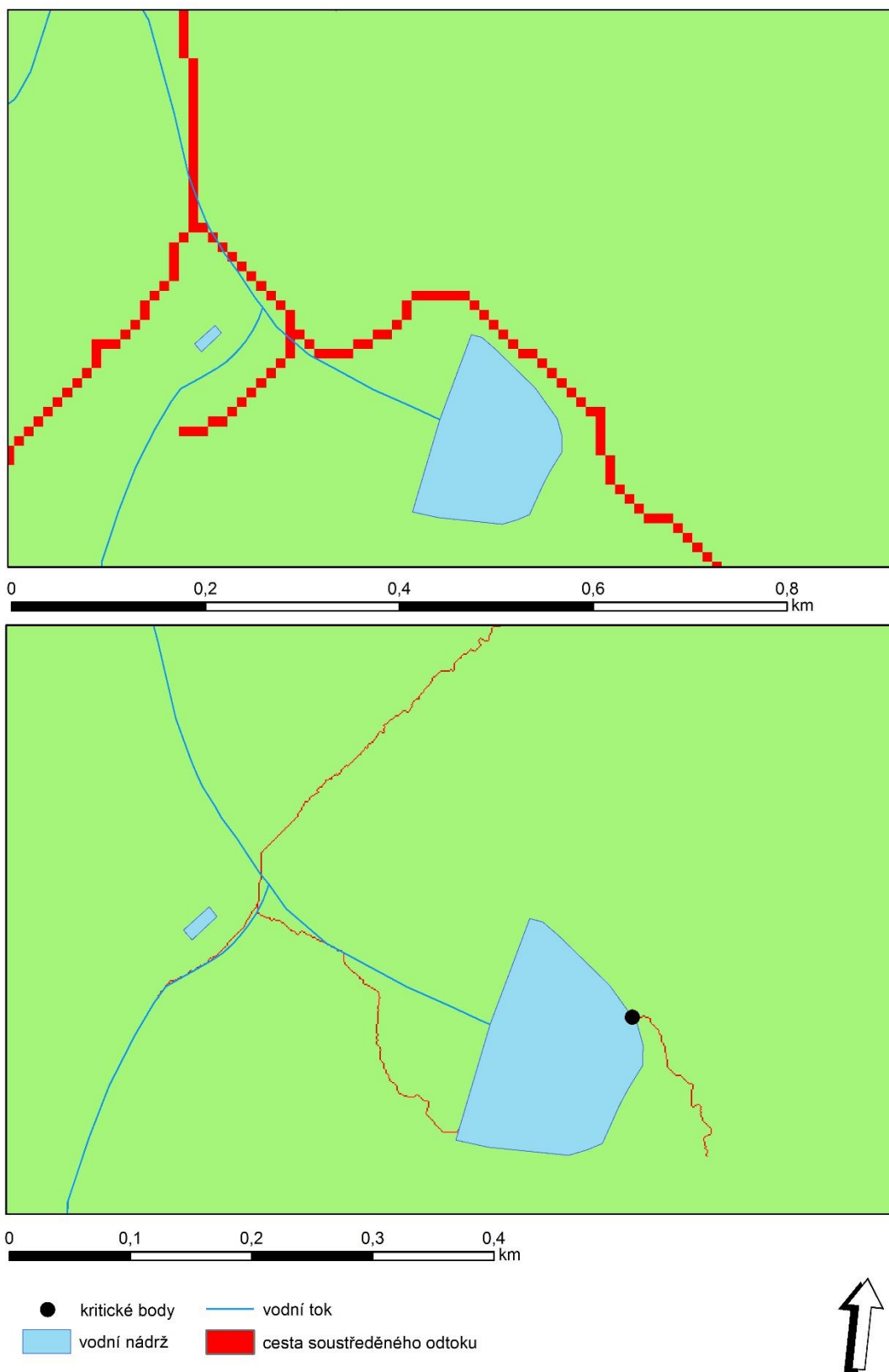
0 0,1 0,2 0,3 0,4 km

- kritické body
- vodní tok
- vodní nádrž
- cesta soustředěného odtoku



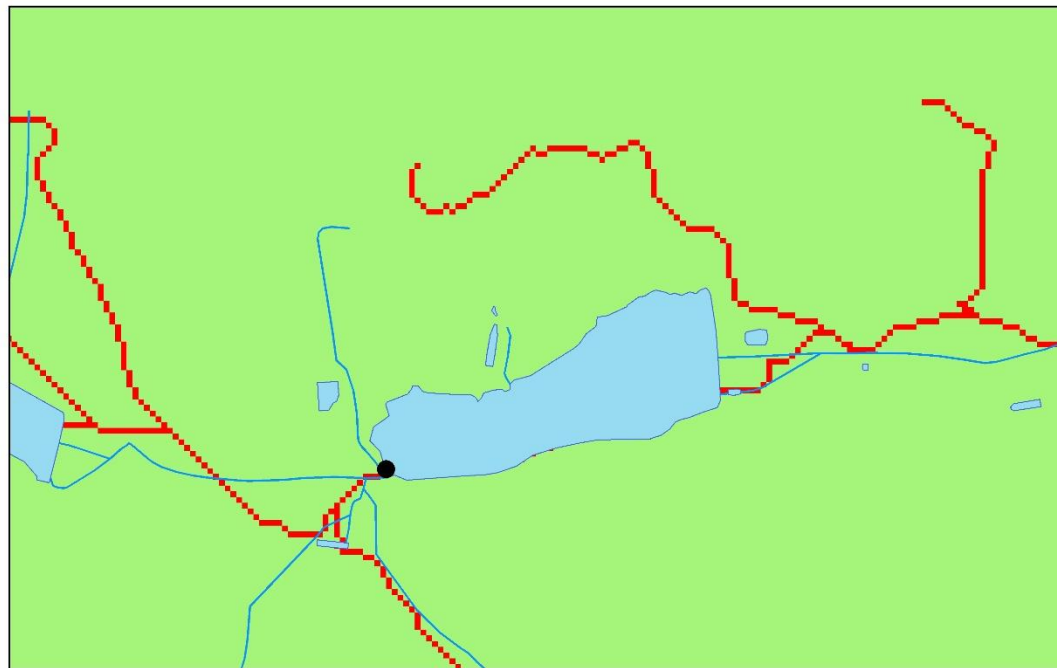
Obr. 17 - Cesty soustředěného odtoku – v. n. Džbán: obr. nahoře ZABAGED, obr. dole DMR 5G

PŘÍLOHA Č. 9

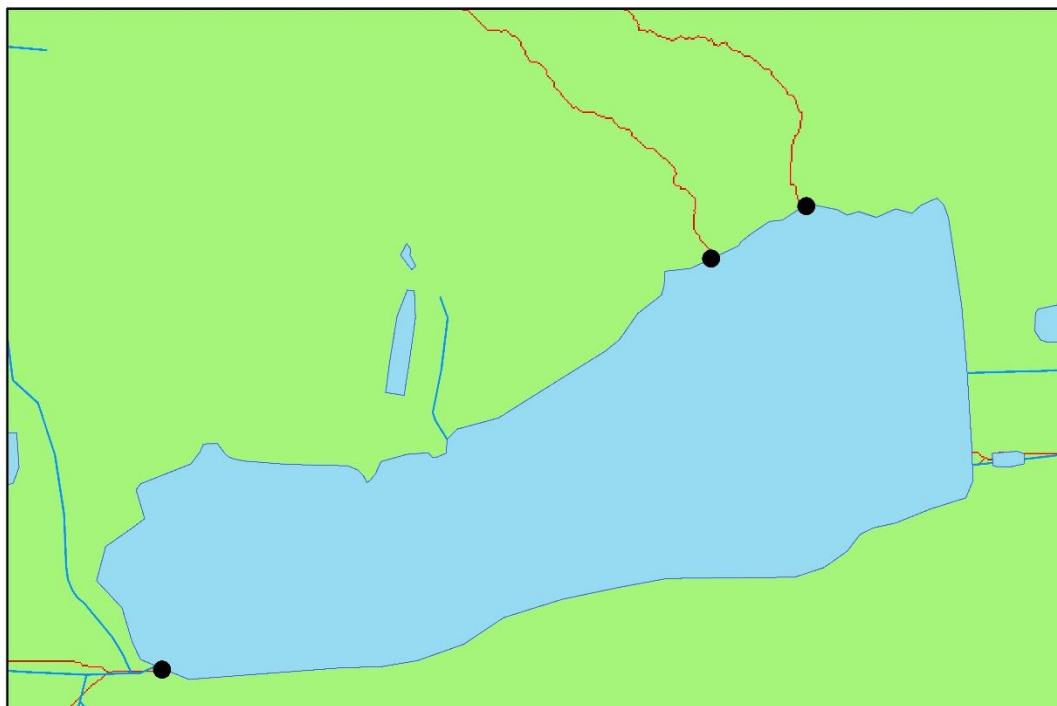


Obr. 18 - Cesty soustředěného odtoku - Velký rybník: obr. nahoře ZABAGED, obr. dole DMR 5G

PŘÍLOHA Č. 10



0 0,2 0,4 0,6 0,8 1 km



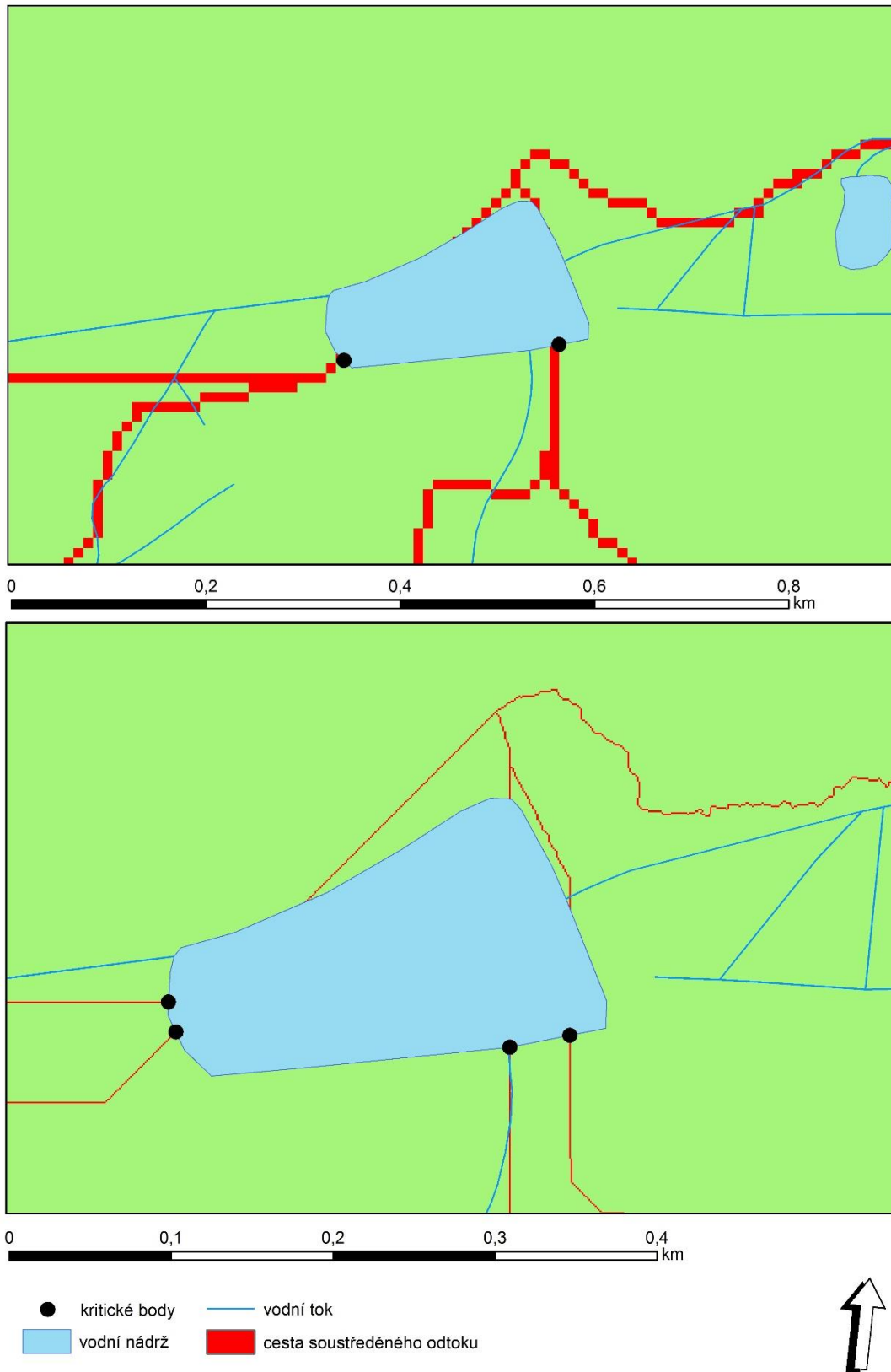
0 0,1 0,2 0,3 0,4 km

- kritické body
- vodní tok
- vodní nádrž
- cesta soustředěného odtoku



Obr. 19 - Cesty soustředěného odtoku - v. n. Jiviny: obr. nahoře ZABAGED, obr. dole DMR 5G

PŘÍLOHA Č. 11



Obr. 20 - Cesty soustředěného odtoku - Břevský rybník: obr. nahoře ZABAGED, obr. dole DMR 5G