

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

**Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování**



Bakalářská práce

**Vymezení kritických bodů přívalových povodní analýzou v GIS a
jejich ověření terénním průzkumem**

David Schneider

© 2023 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

David Schneider

Krajinářství

Vodní hospodářství

Název práce

Vymezení kritických bodů přívalových povodní analýzou v GIS a jejich ověření terénním průzkumem

Název anglicky

Defining flash floods critical points using GIS analysis and their verification with field research

Cíle práce

Hlavním cílem práce bude automatické vymezení povodí kritických bodů přívalových povodní v prostředí ArcGIS na základě vstupních dat (DMR 5G a dalších) a ověření výsledků analýzy terénním průzkumem. Dílčím cílem bude rešerše odborných zdrojů týkajících se digitální analýzy terénu, prostorové hydrologické analýzy povodí a problematiky kritických bodů přívalových povodní.

Metodika

1. Zpracování rešerše odborných zdrojů na téma digitálních modelů terénu, digitální analýzy terénu, prostorové hydrologické analýzy povodí v GIS a problematiky kritických bodů přívalových povodní;
2. Popis zájmového území (dílčí oblast Středočeského kraje), zejména z hlediska hydrologických poměrů, popis vstupních dat (digitální model reliéfu 5. generace – DMR 5G);
3. Popis metodického rámce pro automatické vymezení povodí kritických bodů přívalových povodní;
4. Aplikace uvedených metodických postupů na vstupní data DMR 5G, land use a půdní vlastnosti;
5. Ověření lokalit identifikovaných GIS analýzou jako kritických přímo v terénu;
6. Diskuze konfrontující výsledky z GIS analýzy s poznatky z terénu a dávající je do kontextu s odbornou literaturou; závěry práce.

Doporučený rozsah práce

30 normostran textu

Klíčová slova

digitální model terénu, kritické body, přívalové povodně, DMR 5G, land use

Doporučené zdroje informací

PECKHAM, R J. – JORDAN, G. *Digital terrain modelling : development and applications in a policy support environment*. Berlin ; New York: Springer, 2007. ISBN 9783540367307.

VÚMOP – VRV (2015): Prevence a zmírňování následků živelních a jiných pohrom ve vztahu k působnosti obcí. Certifikovaná metodika výsledků výzkumu, vývoje a inovací, Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, č.j.: MMR-23458/2015-52.

VÚV TGM. (2009): Metodika mapování povodňového rizika: Dílčí zpráva. Praha, 85+7 s. (online) [cit. 2022.04.20], dostupné z: <http://www.povis.cz/mzp/KB_metodicky_navod_identifikace.pdf>

WILSON, J P. – GALLANT, J C. *Terrain analysis : principles and applications*. New York: Wiley, 2000. ISBN 0471321885.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Petr Bašta

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 5. 12. 2022

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 20. 12. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 24. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vymezení kritických bodů přívalových povodní analýzou v GIS a jejich ověření terénním průzkumem" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 30.03.2023

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu své bakalářské práce Ing. Petru Baštovi za odborné vedení, připomínky, cenné rady při konzultacích a čas, který mi věnoval. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu během studia, zejména mému dědovi Ing. Miroslavu Schneiderovi, který mi pomohl s jazykovou korekturou. Dále bych chtěl poděkovat kolegovi Ing. Vladimírovi Burianovi za odborné rady a připomínky. Poděkovat bych chtěl i kamarádům a kamarádkám, kteří mi vždy byli schopni poradit a Vojtovi Hoškovi, který semnou jel na terénní průzkum a půjčil dron na nafocení lokalit.

Vymezení kritických bodů přívalových povodní analýzou v GIS a jejich ověření terénním průzkumem

Abstrakt

Tato práce je věnována stanovení kritických bodů přívalových povodní pro část Středočeského kraje. Jejich výběr je stanoven dle metodického postupu z roku 2009 (VÚV TGM, 2009). Pro tvorbu těchto bodů byl použit podrobný digitální model terénu 5. generace. Na tomto digitálním modelu terénu byla postavena celková analýza pro výběr kritických bodů. V rešerši je popsáno, co je to přívalová povodeň, přívalová srážka a jaké půdní vlastnosti přispívají jejímu vzniku. Dále je popsána aplikace ArcMap pro práci s daty a vysvětleno, co je to kritický bod a jaká data jsou potřebná pro jeho stanovení. Výběr těchto bodů závisí na čtyřech hlavních kritériích. V rámci této práce jsou body zanalyzovány pomocí zmíněného metodického postupu v GIS. Součástí práce je validace bodů terénním průzkumem. V závěrečné diskusi jsou vymezené body z analýzy porovnány s body vymezenými předchozími studii. Výsledných bodů z analýzy bylo méně a většina těchto bodů se neshodovala s body vymezenými ve studiích, to mohlo být způsobeno jinými vstupními daty anebo jiným postupem při vymezení. Výsledné kritické body mohou sloužit pro návrh protipovodňových opatření.

Klíčová slova: ArcMap, digitální model terénu, přívalová srážka, watershed, Středočeský kraj

Defining flash floods critical points using GIS analysis and their verification with field research

Abstract

This work is dedicated to determining the critical points of flash floods for part of the Central Bohemian Region. Their selection is determined according to the methodological procedure from 2009 (VÚV TGM, 2009). A detailed digital model of the 5th generation terrain was used to create these points. On this digital model of terrain was built an overall analysis for the selection of critical points. The reshuffle describes what is a torrential flood, torrential rainfall and what soil characteristics contribute to its formation. The ArcMap data application is further described, explaining what the critical point is and what data is needed to determine it. The selection of these points depends on four main criteria. As part of this work, the points are analysed using this methodology procedure in the GIS. Part of the work is validation of points by field survey. In the final discussion, the defined points from the analysis are compared with those defined by previous studies. The resulting points from the analysis were fewer and most of these points did not match the points defined in the studies, this could be due to other input data or a different process of delineation. The resulting critical points may serve to design flood control measures.

Keywords: ArcMap, digital model terrain, flash precipitation, watershed, Central Bohemian Region

Obsah

1 Úvod	10
2 Cíl práce	12
3 Literární rešerše	13
3.1 Přívalové povodně	13
3.2 Přívalová srážka.....	14
3.3 Půdní vlastnosti.....	14
3.3.1 Infiltrace vody do půdy	14
3.3.2 Vodní eroze půdy	15
3.4 ArcMap.....	16
3.5 Kritický bod.....	16
3.6 Zdroje dat DMT.....	16
3.6.1 Digitální model terénu.....	16
3.6.2 Polyedrický model terénu.....	17
3.6.3 Rastrový model terénu	17
3.6.4 Plátování.....	18
3.7 Typy DMT dostupných v ČR.....	19
3.7.1 DMR 5 G.....	19
3.7.2 DMR 4G.....	19
3.7.3 DMR 1G.....	20
3.7.4 Výškopis – vrstevnice	20
3.7.5 SRTM.....	20
3.7.6 ASTER	21
3.8 Interpolační metody pro vznik DMT.....	21
3.8.1 Metoda inverzních vzdáleností IDW.....	21
3.8.2 Metoda přirozeného souseda (natural neighbour).....	22
3.8.3 Metoda Spline (minimální křivosti)	22
3.8.4 Metoda Kriging	23
3.9 Hydrologické operace s DMT	23
3.9.1 DEM Reconditioning	23
3.9.2 Flow direction (směry odtoku).....	23
3.9.3 Flow Accumulation	26
3.9.4 Watershed.....	27
4 Metodika	28
4.1 Zájmové území	28
4.2 Popis vstupních dat.....	33

4.3	Tvorba digitálního modelu terénu a vygenerování drah soustředěného odtoku.....	33
4.4	Vymezení kritických bodů a jejich první výběr	34
4.5	Stanovení rozvodnic a sběrných ploch kritických bodů.....	34
4.6	Stanovení fyzickogeografických charakteristik sběrných ploch kritických bodů	35
4.7	Finální výběr kritických bodů	36
5	Výsledky	37
5.1	Výsledky analýzy	37
5.1.1	Povodí č. 1-05-04	38
5.1.2	Povodí č. 1-04-07	39
5.1.3	Povodí č. 1-05-03	40
5.1.4	Vyhodnocená kritéria	41
5.1.5	Terénní průzkum	44
6	Diskuse.....	55
7	Závěr.....	60
8	Přehled literatury a použitých zdrojů	61
8.1	Odborná publikace	61
8.2	Internetové zdroje.....	62
8.3	Ostatní zdroje	65
8.4	Seznam obrázků	65

1 Úvod

Přívalové povodně jsou způsobené krátkodobými intenzivními přívalovými srážkami, která zasahují malé území. Tyto povodně mají často katastrofální ničivé následky pro zasaženou lokalitu a přináší vyšší počet úmrtí osob, než tomu je u povodní lépe předvídaných, které mají pomalejší nástup (Jonkmann, 2005). Jedná se zejména o oblasti ve sklonitých území na malých vodních tocích nebo i v místech, kde se vodní tok nevyskytuje. Předpovědět přívalové povodně je prakticky nemožné, z důvodu zasažení malého území nejsou ve většině případů včas zaznamenány sítí srážkoměrných stanic Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ). Tato síť udává výstrahu s menší přesností pro větší lokality, proto není možné tato malá území podchytit. (Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, 2015)

Z tohoto důvodu je analýza v GIS pro zjištění kritických bodů (KB) velmi přínosná pro tato malá území. Hlavním přínosem je vytipování potencionálně rizikových oblastí ohrožených přívalovými povodněmi. Tato analýza dokáže podchytit území splňující kritéria pro výběr těchto bodů. Přispívající plochy těchto bodů musejí splnit čtyři kritéria. Jako první kritérium je dána velikost přispívající plochy, ta musí být v rozmezí 0,3 až 10,0 km². Druhým požadavkem pro výběr je průměrný sklon přispívající plochy $\geq 3,5$ %. Třetím kritériem je podíl orné půdy ≥ 40 % v dané přispívající ploše a posledním čtvrtým je hodnota ukazatele kritických podmínek F. Stanovené výsledné KB mohou sloužit pro návrh protipovodňových opatření, což povede ke zlepšení bezpečnosti v lokalitě. Pro moji bakalářskou práci byla vybrána tři povodí III. řádu, abych na nich demonstroval, jak lze analyzovat riziková místa z pohledu přívalových srážek, v místech, kde nejsou pozorování a měření tak přesná. Konkrétně se jedná o povodí s čísly hydrologického pořadí 1-05-04, 1-05-03 a 1-04-07 nacházející se severovýchodně od Prahy.

V rešeršní části práce se věnuji vysvětlení pojmů přívalových povodní, přívalových srážek a kritických bodů. Dále je popsáno, co je příčinou těchto povodní. Vysvětlena je zde aplikace ArcMap, ve které je zpracována analýza pro stanovení bodů. Následně je vysvětleno, co to je digitální model terénu (DMT) a jaké druhy DMT máme podle typů použitých ploch. Dále bylo popsáno, jaká data jsou dostupná pro DMT v ČR a jaká data jsou dostupná globálně. Vysvětleny byly i dostupné metody interpolace terénu v GIS a hydrologické operace použité v této analýze.

V rámci kapitoly metodika je podrobně popsán celkový postup analýzy. Jako první je popsáno vymezené zájmové území, vstupní soubor dat pro tvorbu DMT, tvorba DMT a vygenerování drah soustředěného odtoku. Po vygenerování drah soustředěného odtoku následuje vymezení kritických bodů. Po vybrání všech bodů je potřeba pro každý stanovit rozvodnici a sběrnou plochu. Následuje stanovení kritérií pro každou přispívající oblast KB. Poté se vyberou finální body, dle čtyřech zadaných kritérií.

V kapitole výsledky je popsáno kolik bodů vyšlo pro každé povodí zvlášť. Poté jsou četnosti jednotlivých kritérií znázorněny ve čtyřech histogramech a rozděleny na intervaly. Poslední částí této kapitoly je ověření výsledných vymezených bodů terénním průzkumem. V diskusi proběhlo porovnání výsledných bodů s dvěma projekty, které již dříve v této lokalitě body vymezily. V závěru byly shrnuty výsledky a zhodnocení výsledných bodů.

2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce bude vygenerování povodí kritických bodů přívalových povodní pro část Středočeského kraje a jejich validace terénním průzkumem. Konkrétně se jedná o území třech povodí III. řádu, pro které bude stanovena analýza výběru kritických bodů. Tato povodí kritických bodů jsou vybírána dle stanovených kritérií, jako je rozloha, průměrný sklon, podíl orné půdy a ukazatel kritických podmínek F. K vygenerování a vymezení bude sloužit prostředí GIS, konkrétně aplikace ArcMap. Jako vstupní soubor dat použijeme zaměřený digitální model reliéfu 5. generace k následné tvorbě hydrologicky korektního terénu, na kterém bude probíhat celková analýza pro zjištění těchto kritických bodů. Součástí práce bude zpracována rešerše odborných zdrojů popisující typy dostupných digitálních modelů terénu, všech použitých hydrologických funkcí a jejich variant. Dále pak bude popsána problematika přívalových povodní, co jím předchází a jejich následky.

3 Literární rešerše

V literární rešerši bude popsána charakteristika přívalových povodní a problémů ovlivňujících jejich účinek jako, jsou půdní vlastnosti, eroze půdy a technologické postupy. Vysvětlen bude i pojem, co to je kritický bod a na základě čeho se stanovuje. Dále pak bude popsáno prostředí GIS pro zpracování analýzy v aplikaci ArcMap. Pro tuto analýzu jako vstupní soubor bude použit bodově zaměřený digitální model reliéfu (DMR), ze kterého musíme vytvořit digitální model terénu (DMT). Vysvětlíme si zde, co to je DMT a jaké jsou dostupné typy pro ČR.

3.1 Přívalové povodně

Nejčastější příčinou vzniku přívalových povodní jsou intenzivní přívalové srážky doprovázené silnými bouřkami. Charakteristické jsou svým velmi rychlým vývojem. Za krátké časové období většinou v desítkách minut dojde na malých vodních tocích k prudkému vzestupu hladiny, při kterém se voda dostává mimo své koryto a zaplavuje okolní území, kde může působit škody. Často dochází i k rychlému poklesu hladiny. Zvýšení hladiny ve vodních tocích předchází často plošný odtok vody z polí, svahů anebo jindy suchými údolnicemi (Grabs, 2010).

Přívalové povodně jsou nebezpečné zejména svojí rychlostí nečekaného nástupu, ale i velikou rychlostí proudu, který s sebou navíc unáší pevný materiál. Škody tedy vznikají nejen zaplavením, ale také rychlostí proudící vody. Kvůli velkému povrchovému odtoku dochází k soustředění vody do jindy suchých úžlabí a příkopů. Proto se proudící voda může objevit v místech, kde nikdy předtím nebyla zpozorována. Tomu napomáhá i velmi časté ucpání propustků či mostních profilů. „Ničivé účinky přívalových povodní zvyšují i nevhodné agrotechnické postupy na pozemcích (zejména pěstování širokořádkových plodin, nevhodné směry orby)“ (Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, 2016).

Definicí přívalové povodně je výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém se voda dostává mimo své koryto a zaplavuje okolní území, kde může působit škody. Přívalové povodně často vznikají následkem rychlého povrchového odtoku způsobeného přívalovými srážkami, který se v terénu rychle koncentruje do říční sítě (Rapant a kol., 2016).

3.2 Přívalová srážka

Přívalové srážky o velmi silné intenzitě dosahují zpravidla více než $30 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$. Postihují zpravidla menší území od několika km^2 po několik desítek, vzácně stovek km^2 . Charakterem přívalové srážky je její vysoká intenzita za krátký čas, která s rostoucí dobou trvání postupně klesá. Z tohoto důvodu je těžké přívalové srážky předpovědět. Další důležitý faktor sehrává schopnost půdního povrchu vsakovat srážkovou vodu. Tato schopnost infiltrace srážek do půdy je primárně ovlivněna jak způsobem využívání území, tak i jeho morfologickými charakteristikami, zejména sklonitostí svahů (Novák, Hejduk, 2014).

3.3 Půdní vlastnosti

3.3.1 Infiltrace vody do půdy

V současné době častého sucha proloženého krátkým obdobím intenzivního deště je velmi důležitým faktorem infiltrace vody do půdy. Nejen z hlediska pěstování plodin, ale také se záměrem ochránit půdu před degradací ovlivněnou erozí. „Při nízké infiltrační schopnosti svrchní půdní vrstvy nedochází ke vsaku vody do půdy a vzniká povrchový odtok a s ním spojené negativní jevy.“ Infiltrační schopnost půdy ovlivňuje mnoho půdních vlastností (Kučera a kol. 2021).

Jako první vlastnost je samotná struktura půdy. U té záleží na velikosti, tvaru a uspořádání částic, agregátů a volných prostorů mezi nimi. Kombinace těchto vlastností udává charakter půdní struktury. Další podstatnou vlastností je textura půdy, často také označované jako zrnitostní složení. Udává zastoupení jednotlivých velikostně rozdílných minerálních částic. Důležitými faktory půdy jsou fyzikální a chemické vlastnosti. Mezi fyzikální vlastnosti řadíme pórovitost, objemová hmotnost, hydraulická nasycená vodivost, momentální půdní vlhkost a další. (Ivanov, 2006) Pórovitost je důležitá vlastnost, která vyjadřuje procentuální zastoupení volného prostoru, který není vyplněn pevnými částicemi půdy. Pórovitost ovlivňuje pohyb vody v půdě a míru provzdušnění půdy. Nasycení půdy vodou přímo ovlivňuje poměr mezi půdním vzduchem a půdní vodou. Minimální vzdušná kapacita půd je stav, kdy jsou všechny kapilární póry nasyceny vodou. (Rejšek, 1999) Pórovitost půdy je ovlivňována jejím hutněním. Podstatnou vlastností je i objemová hmotnost obecně definována jako poměr hmotnosti tělesa k objemu tělesa, včetně všech pórů a mezer. Udávaná hmotnost 1 m^3 v jeho přirozeném uložení je v t/m^3 . U více pórovitých půdy je objemová hmotnost nižší. Úzký poměr mezi objemovou hmotností a měrnou hmotností

značí vysoký stupeň zhutnění půdy (Sáňka a kol. 2018). Hydraulická nasycená vodivost popisuje proudění vody přes půdní prostředí a závisí na pórovitosti. Čím vyšší je hodnota hydraulické nasycené vodivosti půdy, tím rychleji půda dokáže infiltrovat vodu, ovšem pouze do doby, kdy dojde k přesycení všech pórů a následné tvorbě výtopy (Čermák, 2012).

Momentální půdní vlhkost udává obsah v daném okamžiku. Je dána poměrem objemu půdní vody k celkové hmotnosti (Litschmann, 2010). Při úplném zaplnění všech půdních pórů vodou dochází ke stavu plné vodní kapacity a voda už se nadále nevsakuje do půdy (Sáňka a kol. 2018). Mezi nejdůležitější chemické vlastnosti můžeme zařadit obsah humusu, sorpční vlastnosti. Obsah humusu je důležitý parametr ovlivňující úrodnost půdy i její funkci v ekosystému. Sorpční vlastnost je další z důležitých chemických vlastností půd z hlediska původních i dodávaných živin v půdě, ale také i z hlediska vazby potenciálních kontaminujících látek (Ivanov, 2006). V neposlední řadě nesmíme opomíjet také způsob hospodaření na zemědělsky využívaném území.

3.3.2 Vodní eroze půdy

Vodní eroze půdy je přirozený přírodní proces, který se v přírodě běžně vyskytuje. Je způsobena destruktivní činností dešťových kapek, která vede k uvolnění půdních částic. Poté následuje transport půdních částic na jiné místo a jejich následné usazování. Tento jev může být vyvolán i odtokem tajícího sněhu (Sklenička, 2003). Vodní erozi můžeme rozdělit na dva typy. Prvním typem je eroze normální. Ta probíhá přirozeně a postupně přetváří reliéf území to je v souladu s půdotvorným procesem. Druhým typem je zrychlená eroze způsobená lidskou činností. Půdní částice jsou odnášeny rychleji a ve větším rozsahu, z tohoto důvodu nemohou být nahrazeny půdotvorným procesem, jelikož ten probíhá pomaleji. Jak již bylo naznačeno vodní erozi nelze zcela eliminovat, půdu však lze chránit protierozními opatřeními a lepším hospodařením (Půda, eAGRI, ©2009). Příčinou vzniku zrychlené eroze bylo scelování pozemků zemědělské výroby na velké půdní bloky. To znamenalo rozorání mezí, zatravněných údolnic, zrušení polních cest, likvidace rozptýlené zeleně. Tyto části pozemků zrychlenou erozi účinně omezovaly (Soukup, 2006).

Důležité je tato fakta nepřehlížet při plánování osevních postupů, zpracování půdy a dalších operacích, zejména na svažitých pozemcích, kde nejčastěji dochází k intenzivní vodní erozi (Novotný a kol., 2017).

3.4 ArcMap

Pro analýzu kritických bodů byla použita aplikace ArcMap, která slouží pro všechny mapové úlohy včetně kartografie, prostorových analýz a editace dat (Maguire, 1991). V prostředí tohoto programu nalezneme všechny potřebné funkce pro přípravu podkladů, analýzu dat a výsledné vymezení KB. Vše je zpracováno v prostředí GIS na základě digitálního modelu terénu s využitím hydrologických nástrojů GIS a nadstavby ArcHydro při doporučené velikosti buňky 1 x 1 m.

3.5 Kritický bod

Jedná se o bod, pro který u něj bylo zjištěno zvýšené riziko vzniku povodní z přívalových srážek. Tento bod je určen jako průsečík line dráhy soustředěného odtoku s velikostí přispívající plochy nad 0,3 km² a pod 10,0 km² a hranicí zastavěného území obce (Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, 2015). Konečný výběr KB spočívá v identifikaci problematických lokalit na základě kritérií jako je poměrný sklon přispívající plochy, podíl orné půdy v povodí a ukazatel kritických podmínek F. Tato kritéria jsou dále popsána v kapitole Metodika.

3.6 Zdroje dat DMT

Pro stanovení KB je zapotřebí charakterizovat zemský povrch v podobě digitálního modelu terénu (DMT). Typů DMT existuje více a každý je zpracován jinak. Následná analýza pro stanovení bodů bude probíhat na vybraném terénu.

3.6.1 Digitální model terénu

Zemský povrch je velmi členitý a nepravidelný, a proto je nemožné jeho plochu matematicky vyjádřit. Z tohoto důvodu je třeba tuto plochu generalizovat (zjednodušit). Podstatou digitálního modelu terénu (DMT) je popsat povrch terénu v digitální podobě a připravit si ho pro další operace (Štroner, 2015).

Existuje více druhů DMT, které dělíme podle typu ploch. Ty se navzájem liší použitým algoritmem pro vytváření modelu, datovou strukturou uložení výsledku, vhodností pro vizualizaci, či naopak analýzou. Pro tvorbu DMT jsou potřebné zaměřené body v prostoru a případně i další údaje, jako jsou např. hrany, ostré horské hřebety nebo pobřežní linie jezer, těmto pojům se obecně říká terénní singularity (Bayer, 2016).

Druhy DMT podle typu ploch:

- Polyedrický model terénu
- Rastrový model terénu
- Plátový model terénu

3.6.2 Polyedrický model terénu

Tento typ DMT, jinak nazývaný TIN podle anglického názvu Triangulated Irregular Network, je založen na reprezentaci nepravidelných trojúhelníkových ploch. Vytvořená je celá síť trojúhelníků triangulační metodou s použitím triangulačního algoritmu. Algoritmus prokládá vrcholy jednotlivých trojúhelníků rovinou, vzniká tak nepravidelný mnohostěn (tzv. polyedr), který přimyká k terénu. V každém jednotlivém trojúhelníku je prováděna lineární interpolace. Tato metoda ovšem nemusí být vyhovující pro všechny typy analýz prováděných nad DMT (Brůha, 2016).

Při triangulační metodě, je žádoucí, aby vytvořené trojúhelníky byly, pokud možno co nejvíce rovnostranné a výsledná síť se tak mohla co nejvíce přimknout k terénu. Při pokročilejším modelování, kdy je potřeba zachování hranic objektů nebo i vybraných prvků v terénu, je žádoucí schopnost vkládat povinné hrany a tím ovlivnit výsledný tvar triangulace (Chris B. Jones, 1997).

Požadavek na největší podobnost rovnostranných trojúhelníků lze získat aplikací geometrického kritéria minimálního úhlu. Delaunayho triangulace je nejčastěji používaná metoda v prostředí GIS, která maximalizuje minimální vnitřní úhel vytvářených trojúhelníků. Jedná se o globální kritérium, které optimalizuje geometrické parametry všech trojúhelníků v síti. Constrained Delaunay triangulace je varianta s povinnými hranami, ta umožňuje vynucení definovaných hran v triangulaci. Tato varianta triangulace ovšem není lokálně optimální vzhledem ke kritériu minimálního úhlu (Brůha, 2016).

3.6.3 Rastrový model terénu

Základem rastrového modelu je překrytí zemského povrchu pravidelnými ploškami se společnými hranami. Nejčastěji je model definovaný čtvercovými buňkami, ty lze rozdělit i na trojúhelníky, méně často se používá i hexagonální buňka. Každá rastrová buňka je definována prostorovými souřadnicemi $[x,y]$ a výškovou souřadnicí z , ta udává hodnotu

každé buňky (pixelu) samotného rastru (Brůha, 2016). Každý pixel může obsahovat více informací, např. to může být typ vegetace, poloha sídel nebo kvalita ovzduší. Poloha počátku buňky začíná v levém horním rohu a je dána řádkem a sloupcem v matici, osa x směřuje vpravo a osa y dolů (Kvíčala, 2014).

Rozlišení rastru ovlivňuje jeho přesnost a náročnost na výpočet. Pokud máme krajinu s vysokými horami, je dobré volit menší typy buněk pro přesnější přimknutí buněk k terénu. Naopak pokud je terén více rovný, můžeme zvolit větší typ buněk (Pacina, Brejcha, 2014). Pokud je terén velmi nepravidelný, je dobrým řešením rozdělit model na několik částí a každému nastavit různé rozlišení. Pokud bychom toto neprovedli, výsledný model bude nedostatečně odpovídat skutečnému terénu. V případě, že bychom nastavili malé rozlišení pro celou oblast, bude model datově velmi objemný a zároveň se prodlužuje výpočetní čas (Brůha, 2016).

Získání bodů pro rastrové DMT lze buď přímým měřením metodou fotogrammetrie, dálkovým průzkumem Země (DPZ) nebo odvozením od již vytvořené jiné formy DMT. Odvození z již existujícího DMT lze udělat s pomocí interpolačních technik, které dopočítají výšku dle zvolené metody. První metodou je lineární funkce, která však nedostatečně vystihuje změny v terénu. Lepších výsledků lze dosáhnout nelineární interpolací (Brůha, 2016).

3.6.4 Plátování

U tohoto typu DMT se povrch rozdělí na větší množství nepravidelných, obecně křivých ploch trojúhelníků nad polyedrickým modelem nebo čtyřúhelníků nad rastrovým modelem anebo občasného použití n-úhelníků. Výhodou tohoto typu oproti předchozím je, že dojde k odstranění ostrých přechodů, které nepůsobí přirozeně. Výsledný terén může být hladký. Pláty jsou nejčastěji tři, neboť polynomy třetího stupně dokážou věrně aproximovat průběh terénu a zároveň je jejich výpočet relativně snadný (Štroner, 2015).

3.7 Typy DMT dostupných v ČR

Jako zdroje výškopisných dat pro území České republiky jsou používány ZABAGED – výškopis – DMR 5G, DMR 4G, DMR 1G a vrstevnice. Všechny jsou dostupné k zakoupení a stažení na serveru ČÚZK. Dále jsou však dostupné globálně i mnohé další DMT jako jsou Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Advance Spaceborne Thermal Emission (ASTER).

3.7.1 DMR 5 G

Digitální model reliéfu 5. generace pro Českou republiku (DMR 5G) představuje přirozený nebo upravený zemský povrch v digitální podobě. Zaměřený zemský povrch je ve formě bodů o souřadnicích X, Y, H, kde H představuje nadmořskou výšku bodu. Tyto body jsou spojené do nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN) (ČÚZK, © 2010). Všechny zaměřené body jsou ve výškovém systému Balt po vyrovnání (Bpv), jehož výchozí bodem je stupnice mořského vodočtu s hodnotou nula, ta je umístěna na břehu Baltského moře v Kronštadu nedaleko Petrohradu (Čada, 2008). Výškový systém Bpv dosahuje v odkrytém terénu střední chyby 0,18 m a v zalesněném terénu 0,3 m. Získávání dat pro digitální model je pomocí metody leteckého laserového skenování, což oproti klasické metodě fotogrammetrií je díky velké hustotě zaměřených bodů použitelné s větší přesností (Mikita, 2014). Letecké skenování na území ČR probíhalo v letech 2009 až 2013. Výsledný model pro celé území byl dokončen v roce 2016. Sloužit má pro analýzy terénních poměrů lokálního charakteru a rozsahu pozemkových úprav, při plánování dopravní i pozemních staveb atd... DMR 5G tvoří základ pro tvorbu vrstevnic určených pro mapy o velkých měřítcích a pro různé další počítačové vizualizace (ČÚZK, © 2010).

3.7.2 DMR 4G

Digitální model reliéfu České republiky 4. generace představuje stejně jakou u předchozího DMR 5 G přirozený nebo upravený zemský povrch v digitálním tvaru ve formě výšek bodů v pravidelné síti (5 x 5 m) bodů o souřadnicích X, Y, H, kde H představuje nadmořskou výšku v referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) se střední chybou výšky 0,3 m v odkrytém terénu a v zalesněném 1 m. Model vznikl stejně jako předchozí leteckým

laserovým skenováním v letech 2009 až 2013. V roce 2016 byl nově vygenerován z dat DMR 5G (ČÚZK, © 2010).

3.7.3 DMR 1G

Digitální model povrchu České republiky 1. generace reprezentuje území včetně staveb a rostlinného pokryvu ve formě nepravidelné sítě výškových bodů (TIN) se střední chybou výšky 0,4 m pro objekty budov a pro neohrazené objekty 0,7 m. Zaměřen byl stejnou metodou jako u předchozích i ve stejných letech. Určen je k analýzám výškových poměrů terénu (DMR 5 G) a vyskytujících se objektů na něm (ČÚZK, © 2010).

3.7.4 Výškopis – vrstevnice

Odvozením z DMR 5G vznikly vrstevnice. Datovou sadu tvoří vrstevnice se základním intervalem 1 m, každá pátá vrstevnice je rozlišena atributem. V hodně rovinném terénu jsou přidány vrstevnice s intervalem 0,5 m. Objekty jsou zde reprezentovány trojrozměrnou vektorovou složkou o souřadnicích X, Y, H a stejně jako u předchozích typů DMR je i zde použit referenční systém Balt po vyrovnání (ČÚZK, © 2010).

3.7.5 SRTM

Model SRTM byl vytvořený a vedený dvěma americkými organizacemi NASA (National Aeronautics and Space Administration) a NGA (National Geospatial – Intelligence Agency), jehož cílem bylo získání topografických údajů a vytvoření komplexní digitální topografické databáze ve vysokém rozlišení pro celý svět. Na palubě raketoplánu Endeavour v únoru roku 2000 proběhlo během 11denní mise STS-99 speciální radarové snímání povrchu. Technologie radaru pro sběr interferometrických dat, spočívala v porovnávání dvou radarových signálů pod mírně odlišnými úhly. Tato mise používala jednorůchodovou interferometrii, která získala dva signály současně pomocí dvou různých radarových antén. Jedna z antén byla umístěna na palubě raketoplánu a druhá na 60metrovém stožáru vyčnívajícím z raketoplánu. Rozdíly mezi těmito dvěma signály umožnily výpočet nadmořské výšky povrchu. Použity byly dva senzory, jeden C-pásmový InSAR a X-pásmový X-SAR. Po zpracování dat vznikl DMT s vysokým prostorovým rozlišením a výškovou přesností v souřadnicovém systému WGS84 a pro výšky byl použit model EGM96 (USGS, 2018).

3.7.6 ASTER

Na tomto DMT pracovala organizace METI (Messaging Extraterrestrial Intelligence), ve spolupráci s NASA vydaly v roce 2019 celosvětový digitální model terénu ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) třetí verze. První verze byla vytvořena v roce 2009 pomocí stereoskopické dvojice snímků, pořízených multispektrálním barevným skenerem ASTER. Tento systém pořizuje data ve čtrnácti spektrálních pásmech od viditelného až po infračervené. Využití stereoskopické dvojice snímků je možné, protože v blízkém infračerveném pásmu lze snímat data v šikmém směru vzad s rozlišením 15 metrů. Díky tomu lze vypočítat výškové poměry a také lze využít k prostorovému zobrazení. První model byl vytvořen v roce 2009 a zpracován z 1,5 miliónu družicových scén. Vylepšený druhý model vytvořený v roce 2011 byl zlepšen o 260 000 stereo dvojic, snižující výskyt chyb a zlepšující pokrytí (Abrams a kol., 2020). U třetího nejnovějšího modelu z roku 2019 bylo použito 2,3 miliónu družicových scén z archívu ASTER. Součástí byla i stereokorelace pro vytvoření jednotlivých scén ASTER DEM, dále pak pro odstranění zakalených pixelů mračenem bylo použito maskování, tím došlo k odstranění chyb, které bývaly v předchozích modelech. Další funkce použité k vytvoření modelu byly skládání všech prověřených DEM, odstranění zbytkových špatných hodnot. a odlehlé hodnoty, zprůměrování vybraných dat za účelem vytvoření konečných hodnot pixelů a následnou korekci zbytkových anomálií před rozdělením dat na dlaždice $1^\circ \times 1^\circ$. Pořízen byl v souřadnicovém systému WGS84 a pro výšky byl použit model EGM96.

Výstupní soubor je ve formátu GeoTIFF se zeměpisnými souřadnicemi zeměpisné šířky/délky a mřížkou nadmořské výšky s rozlišením 1 oblouková sekunda (30 m) (Earthdata, 2019).

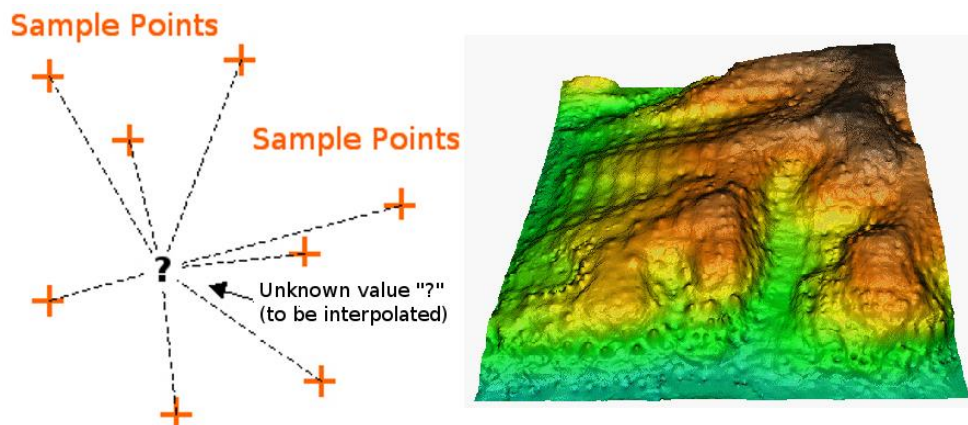
3.8 Interpolační metody pro vznik DMT

V této kapitole popisují všechny dostupné interpolační metody v ArcGIS, pomocí kterých je z bodového mračna DMR možné vytvořit rastr DMT.

3.8.1 Metoda inverzních vzdáleností IDW

Interpolace vážené inverzní vzdálenosti dle anglického názvu Inverse Distance Weighted (IDW) funguje v principu tak, že rastr je rozdělen mřížkou na buňky a pro každou buňku je počítána průměrná hodnota z okolních buněk viz Obrázek 1 (Brůha, 2016). Vliv jednotlivých bodů vzhledem k jinému klesá se vzdáleností od neznámého bodu, který chceme vytvořit.

Váhy jsou bodům přiřazeny pomocí koeficientů, čím je bod vzdálenější, tím větší má koeficient a síla jeho váhy klesá se vzdáleností. Při nižší hodnotě koeficientů se interpolovaná hodnota přibližuje datovému bodu (Huisman, Rolf, 2010). Pro interpolaci výsledné výšky v každé buňce rastru bylo bráno nejbližších 12 okolních bodů DMR a parametr této metody byl stanoven 2.



Obrázek 1: Vlevo je označen interpolovaný nový bod otazníkem, vpravo je výsledný interpolovaný povrch terénu metodou IDW z vektorových bodů nadmořských výšek (Mitas, Mitasova, 1999).

3.8.2 Metoda přirozeného souseda (natural neighbour)

Tato metoda používá k určení vah Thiessenovy polygony. Pokud do vektorové vrstvy bodů přidáme neznámý bod, vzniknou nám dvě sítě. Nově vzniklý polygon překrývá původní známé polygony bodů. Těmto bodům říkáme přirození sousedé. Body původních polygonů budou použity pro interpolaci nového bodu. Váhy jsou bodům přiřazovány podle nově vzniklých ploch. Pokud jsou měřené body umístěné pravidelně, tak výsledný model je spojitý a vyhlazený bez extrapolovaných hodnot (Křikavová, 2009).

3.8.3 Metoda Spline (minimální křivosti)

Princip metody je založen na dvou podmínkách, spočívá v prokládání matematické funkce měřenými body a na minimální křivosti. Nejprve se vezmou první čtyři body a pro ty se spočte kubická křivka a první dva body se spojí segmentem. Poté následuje vybrání dalších čtyř bodů navazujících na druhý bod segmentu. Pro tyto body je opět spočtena kubická křivka a první dva body jsou spojeny jako v předchozím případě segmentem. Interpolace povrchu probíhá po částech a vytváří se hladké povrchy s minimální křivostí. „Míra aproximace je dána stanovením tolerance a počtem iterací“ (Klimánek, 2006).

3.8.4 Metoda Kriging

Princip této metody je podobný jako u metody IDW, spočívá v nalezení průměrné hodnoty změn v závislosti na změně vzdálenosti mezi měřenými daty. Zároveň však záleží na prostorovém uspořádání měřených bodů okolo místa předpovídané hodnoty. Pro výpočet vah je nutná prostorová autokorekce (Křikavová, 2009). Ta je vyjádřena variogramem, který ukazuje, jak se mění průměrné rozdíly mezi hodnotami v bodech se vzdáleností mezi body (Voženílek, 2001).

3.9 Hydrologické operace s DMT

V následující části bakalářské práce jsou podrobně popsány všechny použité hydrologické funkce, které byly použity při práci s DMT v této analýze.

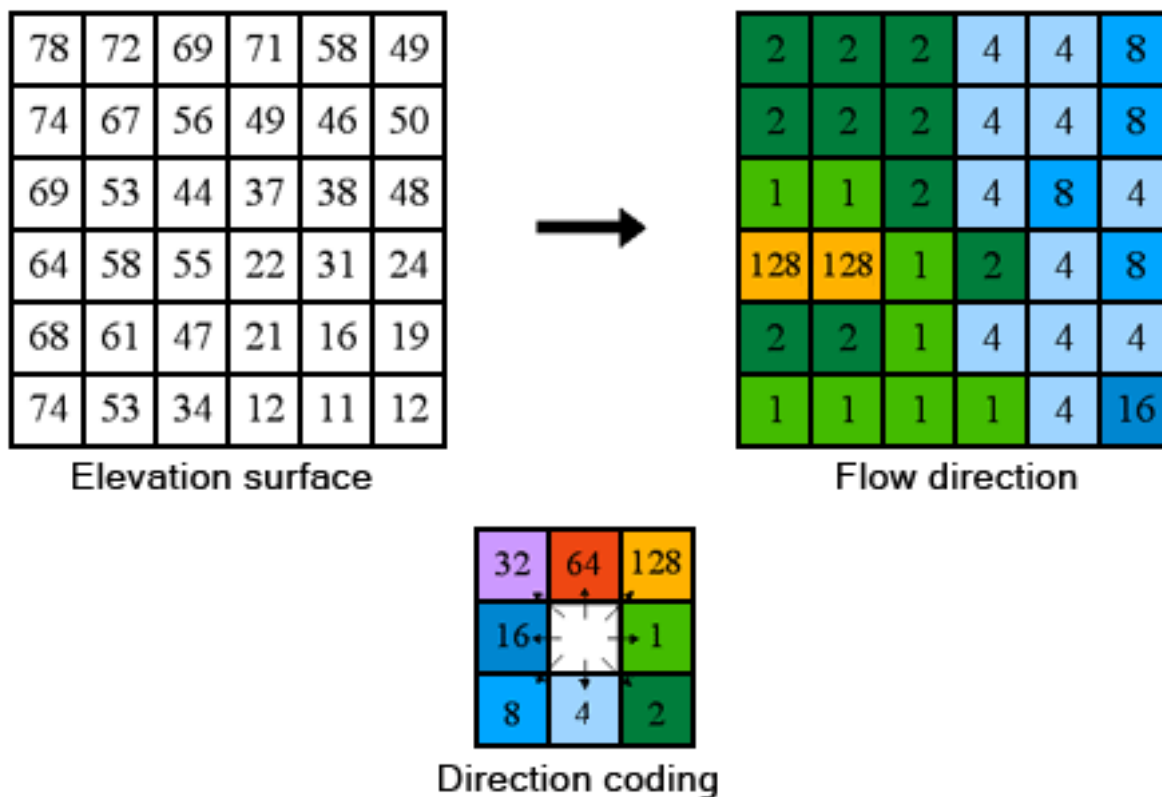
3.9.1 DEM Reconditioning

Funkce DEM Reconditioning slouží pro úpravu povrchu digitálního výškového modelu. Funkce upraví nadmořskou výšku povrchu tak, aby byla konzistentní s vektorovým pokrytím vodních toků. Vektorová složka vstupující do DEM Reconditioning může být linie vodních toků anebo hřebenová linie. Při následném použití funkce fill, která interpolováním okolních hodnot eliminuje místa, kde vznikají terénní deprese tím nám vznikne hydrologicky korektní DMT (Šťovíček, 2022).

3.9.2 Flow direction (směry odtoku)

Jednou z důležitých hydrologických charakteristik je určení směru odtoku. To lze v prostředí GIS udělat nástrojem Flow Direction. Tento nástroj bere povrch terénu jako vstupní vrstvu a výsledkem je rastr zobrazující směry toku z každé buňky. Pokud zvolíme možnost Output drop raster, vytvoří se navíc rastr zobrazující poměr maximální změny výšky od každé buňky ve směru toku k délce dráhy mezi středy buněk a je vyjádřen v procentech, jedná se o rastr sklonu. Pokud je zvolena možnost Force all edge cells to flow outward, všechny buňky na okraji povrchového rastru budou vytékat z povrchového rastru směrem ven. Pro výpočet směrů odtoku máme k dispozici tři algoritmy. Jsou to D8, Multi Flow Direction (MDF) a D-Infinity (DINF). V našem případě jsme použili algoritmus D8, což je celočíselný rastr, jehož hodnoty se pohybují od 1 do 255 (Esri, © 2021). V metodě D8 existuje osm platných vstupních směrů vztahujících se k osmi sousedním buňkám, do kterých může proudit voda. Ty jsou reprezentovány hodnotou od 1 do 128, viz Obrázek 2 (Jenson a Domingue, 1988).

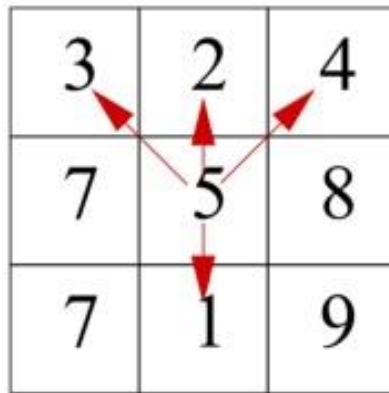
„Hodnota jednotlivých pixelů tohoto rastru představuje směr nejstrmějšího sestupu z tohoto pixelu“ (Lippl, 2009).



Obrázek 2: Znárodnění kódování směrů proudění metodou D8 (Jenson a Domingue, 1988).

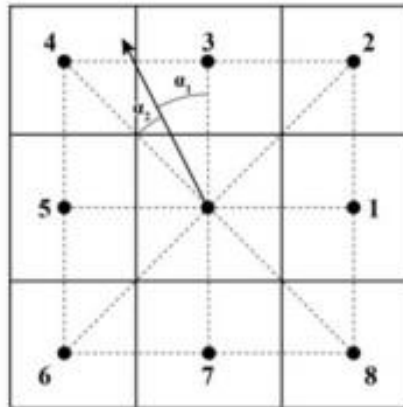
Výpočet probíhá na principu posuvného okna o velikosti 3 x 3 buňky, jak je znázorněno na obrázku výše. V tomto posuvném okně se vypočítá hodnota s nejnižší nadmořskou výškou. Když je nalezen směr nejstrmějšího klesání, je výstupní buňka zakódována hodnotou představující tento směr. Jednoduše řečeno, funkcí tohoto nástroje je výpočet nejstrmějšího směru odtoku na základě okolí každého jednotlivého pixelu. Po projetí výpočtu všech buněk v rastru je následně buňkám přiřazen směr odtoku (Lippl, 2009). Výpočet směru proudění pomocí metody Multiple Flow Direction (MFD), tzn. vícesměrného odtoku, lépe zachycuje realitu a je přesnější. Algoritmus určí směr odtoku do všech okolních směrů, které mají kladný sklon, viz Obrázek 3. Tento princip algoritmu je navržený Freemanem (1991), který tvrdí, že voda při simulaci odtoku neteče jen ve směru největšího spádu, ale dělí se mezi další směry, u kterých je kladný sklon. Z toho tedy plyne, že výhodou oproti předchozí metodě je pokrytí všech možných směrů odtoku. Tím dochází k rozdělení toku a zároveň narůstá výpočetní složitost. Vzhledem k tomu, že směry toku MFD mají potenciálně více hodnot vázaných na každou buňku (každá hodnota odpovídá poměru toku ke každému

sousednímu sestupnému svahu), proto je těžší pochopit a vizualizovat výsledky (Freeman, 1991).



Obrázek 3: Více směrný odtok (Arge a kol., 2001).

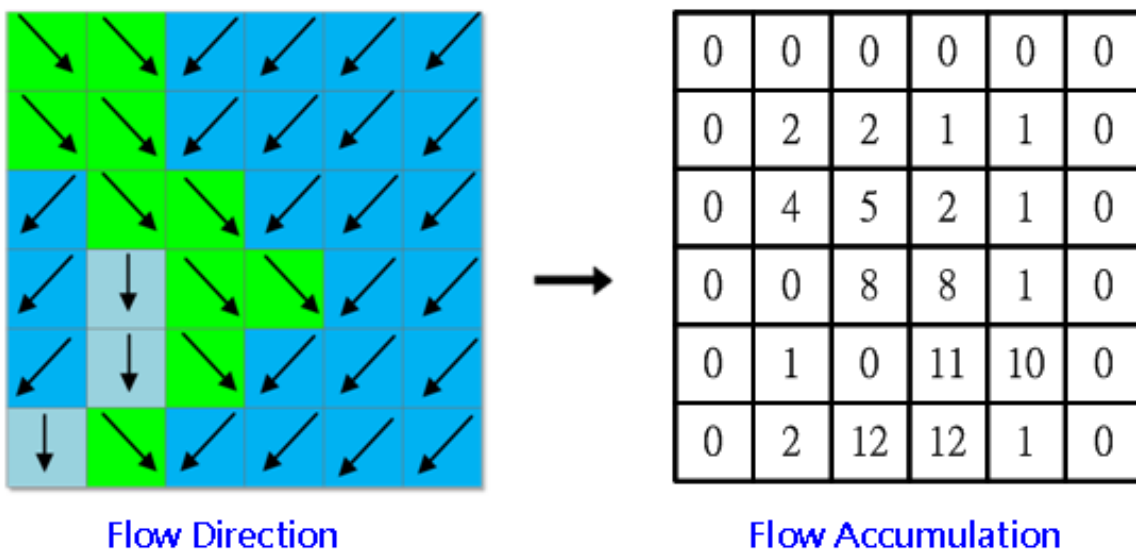
Metoda jednosměrného odtoku D-Infinity (DINF) vznikla za účelem zlepšení výsledných skutečných směrů odtoku, oproti algoritmu D8. V principu je výpočetní okno buňky rozděleno mřížkou 3 x 3, každá je označena středem. Středů sousedících buněk jsou spojeny a vzniká osm trojúhelníkových plošek (Esri, © 2021). Těmito ploškami jsou proloženy roviny a z nich je vypočítán směr největšího spádu. Směr toku je zakódován jako úhel od 0° do 360°, který je udáván proti směru hodinových ručiček ze středu buňky, jenž je středem zájmu. Následně je vybrán směr největšího spádu. Pokud tento směr směřuje do středu sousedící buňky, pak je této buňce přiřazena přispívající plocha. U většiny případů bude výsledný směr mezi středy dvou sousedních buněk, v tomto případě je přispívající plocha rozdělena do těchto dvou buněk stejně jako je tomu na Obrázek 4. Výhodou této metody oproti metodě D8 je rozptýlení přispívající plochy do dvou směrů. To však je oproti variantě MFD stále omezené pouze na dva směry odtoku (Hittl, 2016).



Obrázek 4: Výpočet směru mezi dvěma povolenými směry (Tarboton, 1997).

3.9.3 Flow Accumulation

Funkce Flow Accumulation umožňuje na základě hydrologicky korektního DMT a směrů odtoku výpočet vrstvy představující akumulaci vody v krajině. Pro každou buňku je akumulace odtoku určena počtem buněk, ze kterých je voda odváděna do této buňky (Hittl, 2016). Čím větší je hodnota dané buňky, tím snáze se bude tvořit v daném místě odtok. Algoritmus bude standardně počítat rastry s váhou 1, pokud není nastaveno jinak. To znamená, že buňka s větší hodnotou se bude nacházet v oblasti, kde dochází k většímu soustředěnému odtoku a toto místo bude určeno jako údolnice. Naopak 0 znamená, že umístění buňky je ve vyšší nadmořské výšce a bude určena jako hřbetnice a také prameniště (Supergeo Technologies Inc., 2016). V praxi to znamená, že pokud do jedné buňky vtéká voda ze dvou buněk, tak tato buňka má hodnotu 2, viz Obrázek 5.



Obrázek 5: Výpočet ze směru odtoku na akumulaci odtoku (Supergeo Technologies Inc., 2016).

3.9.4 Watershed

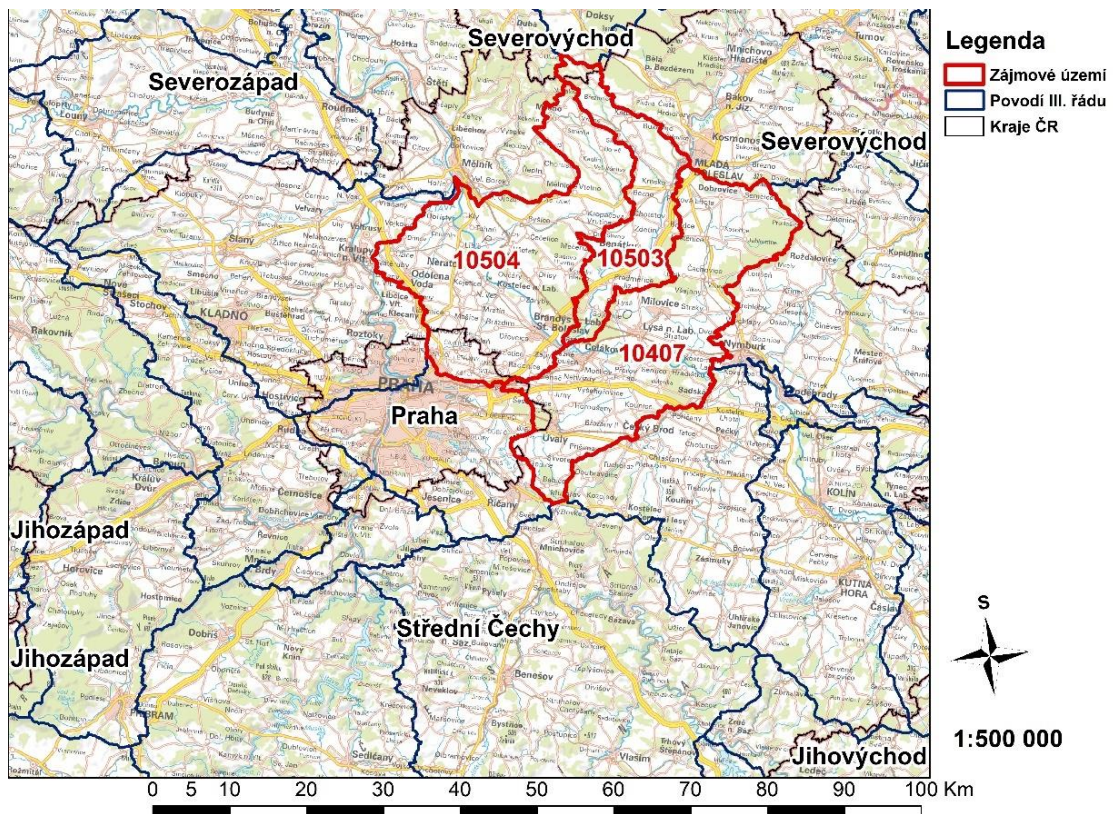
V hydrologické nadstavbě ArcHydro programu GIS použijeme nástroj watershed, ten vymezuje povodí k určité části toku (Šilhavý, 2010), v našem případě pro vytvořenou bodovou vrstvu KB. Povodí je spádová oblast, ze které veškerý povrchový odtok odtéká buď sítí vodních toků, svahovým odtokem nebo soustředěným odtokem k nejnižšímu místu v povodí. V krajině se může vytvářet soustředěný povrchový odtok, u něhož akumulace není tak velká, aby vytvořila trvalý vodní tok. Hranice mezi sousedícími povodími se nazývá rozvodí. Tuto hranici určuje rozvodnice, která vede nejčastěji po topografických vrcholech nebo horských hřebenech (Esri, © 2020). Vstupními soubory pro vytyčení povodí je rastrový soubor směrů odtoku a rastrová nebo bodová vrstva uzávěrových profilů povodí, v našem případě jsme použili bodovou vrstvu. Pokud bychom použili jako vstupní soubor rastrovou množinu buněk znázorňujících síť vodních toků, nástroj Watershed vypočítá povodí pro každou část vodního toku mezi dvěma soutoky, tomu říkáme „subpovodí“. Vytvořená povodí z rastru jsou rozlišena unikátními identifikátory tak, že jedno povodí tvoří buňky se stejnými hodnotami (Šilhavý, 2010).

4 Metodika

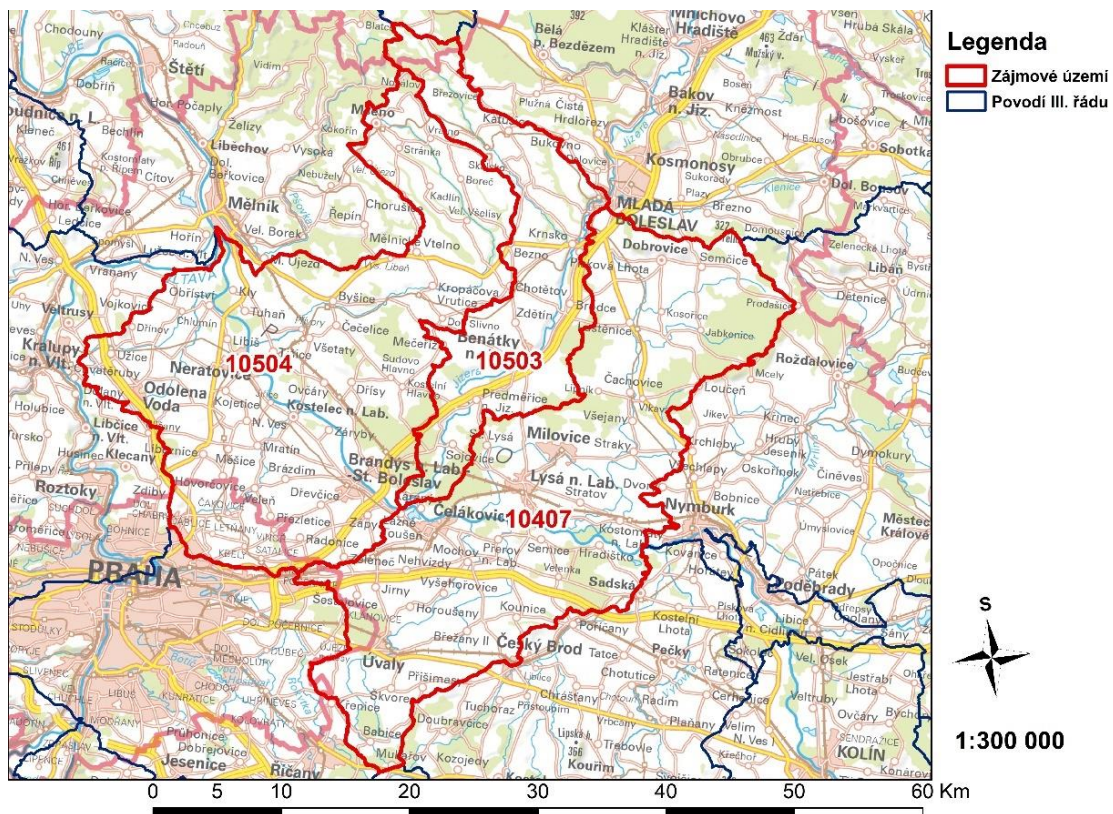
V této kapitole popíšeme vybrané zájmové území pro analýzu dat. Dále bude popsán vstupní soubor pro vytvoření digitálního modelu terénu a celkový postup analýzy dle metodického návodu pro stanovení KB a jejich finální výběr.

4.1 Zájmové území

Zájmové území se nachází ve Středočeském kraji, jde konkrétně o část toku Labe od soutoku s Vltavou v Mělníku až k levostrannému přítoku Výrovka u obce Kostomlátky. Do zájmového území spadají i všechny přítoky v této části toku. Významným přítokem je řeka Jizera, ta ovšem pramení až v Jizerských horách a z toho důvodu bylo pro potřeby naší analýzy vytyčeno zájmové území ve Středočeském kraji rozvodnicí III. řádu. To konkrétně těmito povodími: Labe od Výrovky po Jizeru s číslem 1-04-07, Jizera od Klenice po ústí s číslem 1-05-03 a Labe od Jizery po Vltavu s číslem 1-05-04. Jizera ústí do Labe v lázních Toušeň, jež jsou označeny červenou hranicí na Obrázek 6 a Obrázek 7. Dalšími, ale zdaleka ne tak významnými přítoky, jsou Košátecký potok a Vlkava. Všechny tři zmíněné přítoky jsou pravostranné. Košátecký potok pramení ve Mšenu a ústí do Labe u Neratovic. Vlkava je nížinná řeka pramenící v obci Ledce nacházející se jihovýchodně od Mladé Boleslavi. Místní obyvatelé žijící v blízkosti řeky ji označují jinými názvy nejčastěji Doubravka nebo Dobrovka. Do Labe ústí mezi Lysou nad Labem a Nymburkem. Poskytnutý digitální model reliéfu (DMR) pro tuto oblast je rozdělen na tři úseky z důvodu velkého objemu dat a také z důvodu problémů při jeho následném zpracování. Ty jsou pojmenovány podle největších měst v daných částech toku. Těmito městy jsou Neratovice, Benátky nad Jizerou a Lysá nad Labem. Zájmové území se rozprostírá na šesti okresech, na některých pouze okrajově. Těmito okresy jsou Mělník, Mladá Boleslav, Nymburk, Kolín, Praha-východ a území Hlavního města Prahy. Pro Středočeský kraj již byly stanoveny kritické body (KB) v rámci studie Šindlerová a kol. (2022) anebo v rámci operačního programu Životní prostředí (OPŽP) 2007-2013, tyto body budou následně porovnány s výsledky z analýzy vzniklé v rámci této práce.

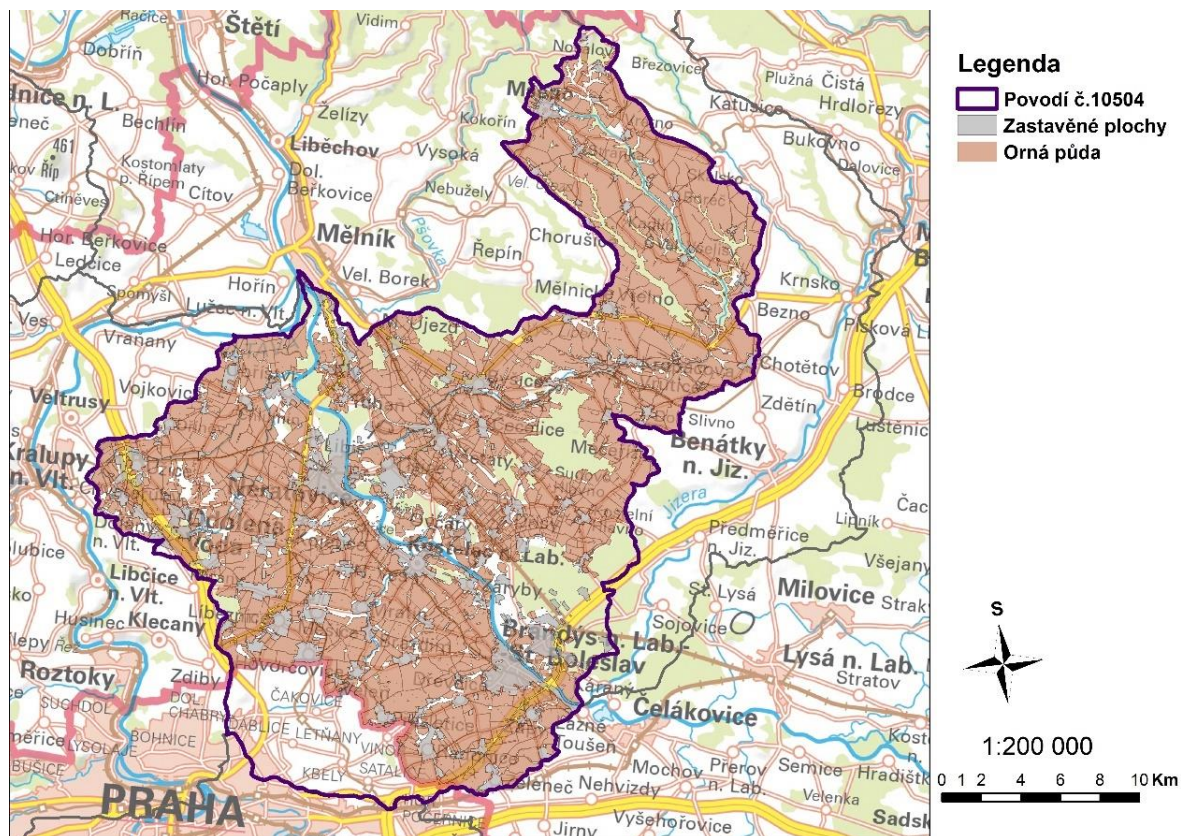


Obrázek 6: Na této mapě je červeně znázorněna vybraná povodí III. řádu pro analýzu dat. Modře jsou zde znázorněna ostatní povodí III. řádu a černou linií kraje ČR.



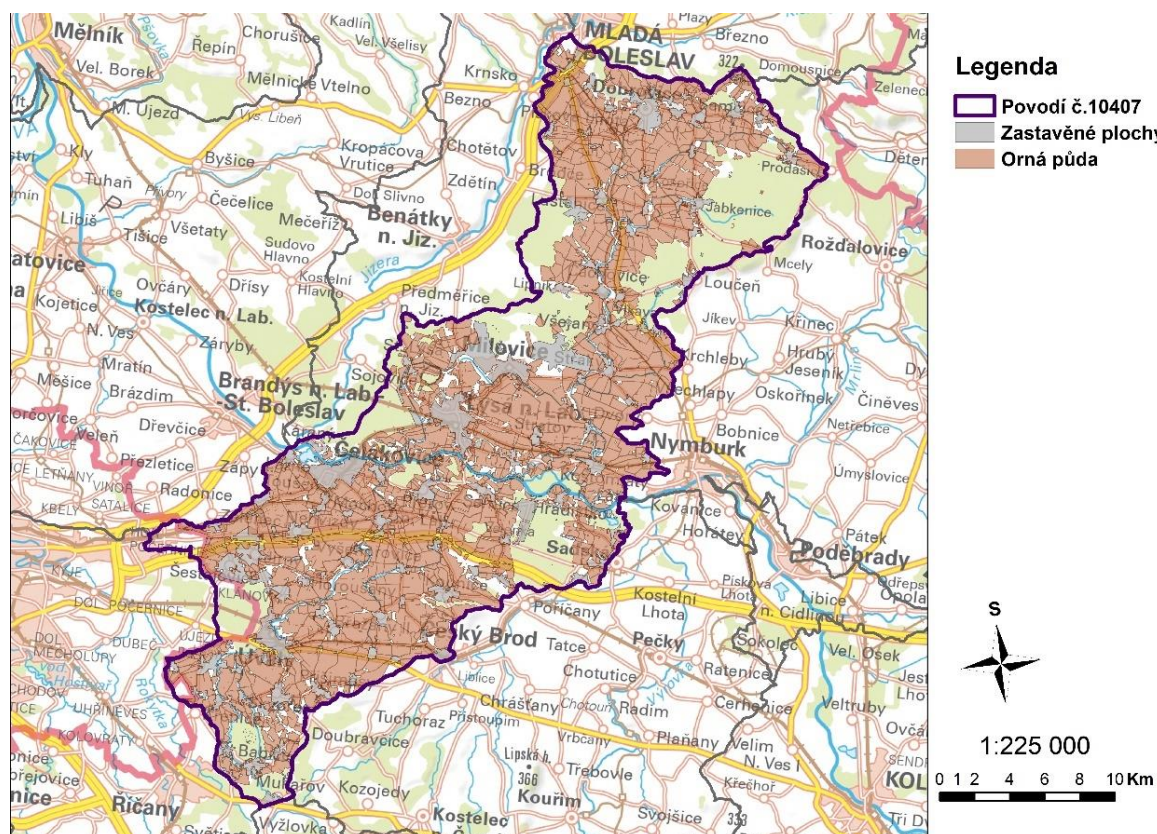
Obrázek 7: Přibližné zájmové území.

Povodí s hydrologickým číslem 1-05-04 je z těchto třech vybraných povodí svojí rozlohou 630,23 km² nejrozsáhlejší. Nachází se ve Středočeském kraji a částečně na území Hlavního města Prahy. Mezi největší města zde můžeme zařadit Brandýs nad Labem a Neratovice. Rozloha orné půdy označena hnědou barvou na Obrázek 8 zde dosahuje 359,06 km², to je 56,97 % z celkové rozlohy, což je nejvíce ze všech třech povodí. Rozloha zastavěného území dosahuje 72,13 km², to je z celkové rozlohy povodí 11,45 %, na obrázku 8 je označeno šedou barvou.



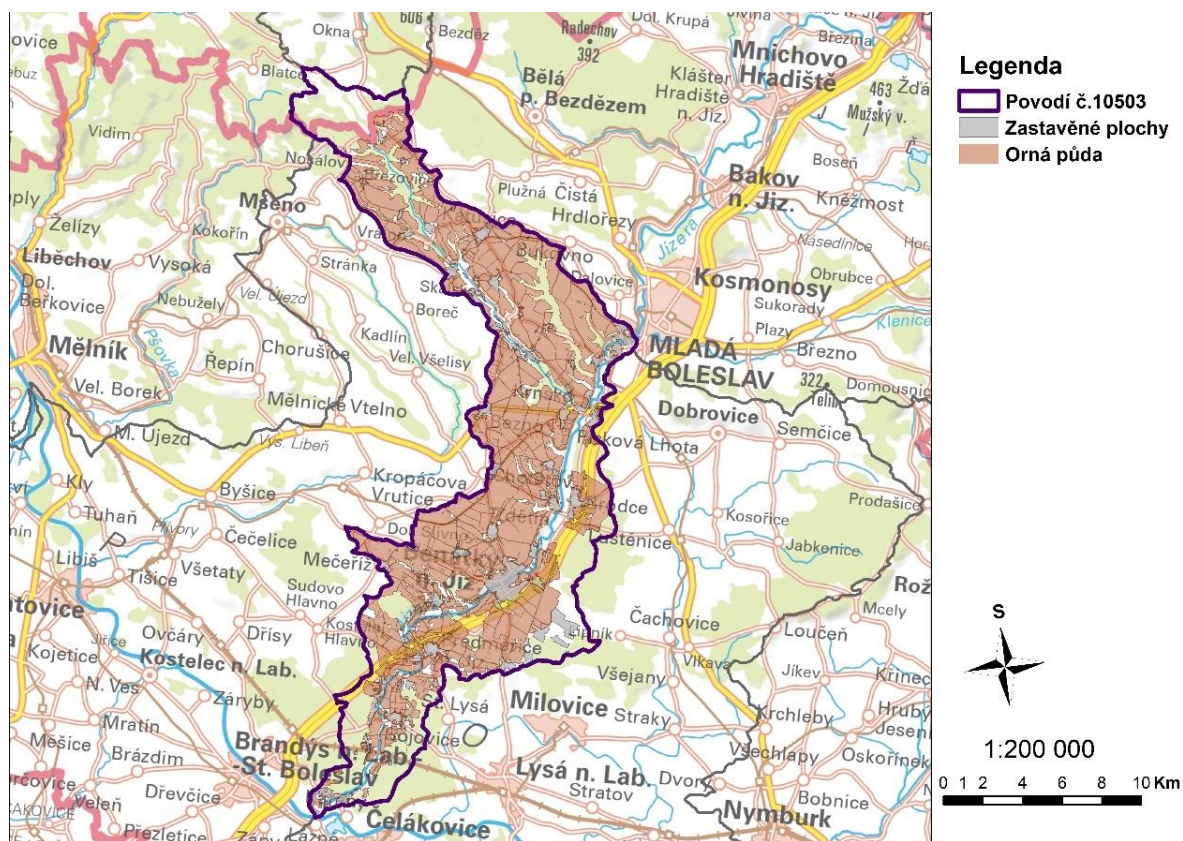
Obrázek 8: Znárodnění množství orné půdy a zastavěného území v rozměrově největším povodí 1-05-04.

Druhým největším povodím z těchto tří vybraných je z hlediska rozlohy 605,30 km² povodí s hydrologickým číslem 1-04-07. Také se nachází ve Středočeském kraji a částečně na území Hlavního města Prahy. Mezi největší města sem můžeme zařadit Lysou nad Labem, Milovice a Úvaly. Rozloha orné půdy označena hnědou barvou na Obrázek 9 zde dosahuje 325,98 km², to je 53,85 % z celkové rozlohy povodí. Rozloha zastavěného území je zde největší: 75,50 km², a to je 12,47 % z celkové rozlohy, označeno na Obrázek 9 šedou barvou.



Obrázek 9: Se znázorněním množství orné půdy a zastavěného území pro povodí s číslem 1-04-07.

Poslední, třetí povodí s hydrologickým číslem 1-05-03, je rozlohou 244,03 km² nejmenší. Toto povodí se také nachází ve Středočeském kraji, ale lehce zasahuje i kraj Liberecký. Největším městem zde jsou Benátky nad Jizerou. Rozloha orné půdy označena hnědou barvou na Obrázek 10 zde dosahuje 134,38 km², to je 55,07 % z celkové rozlohy, tudíž všechna povodí mají nad 50 % orné půdy z celkové rozlohy. Velikost zastavěného území označené šedou barvou na Obrázek 10 je zde nejmenší s hodnotou 19,95 km², to je z celkové rozlohy 12,47 %, což je úměrné k celkové rozloze tohoto povodí.



Obrázek 10: Se znázorněním množství orné půdy a zastavěného území pro povodí s číslem 1-05-03.

4.2 Popis vstupních dat

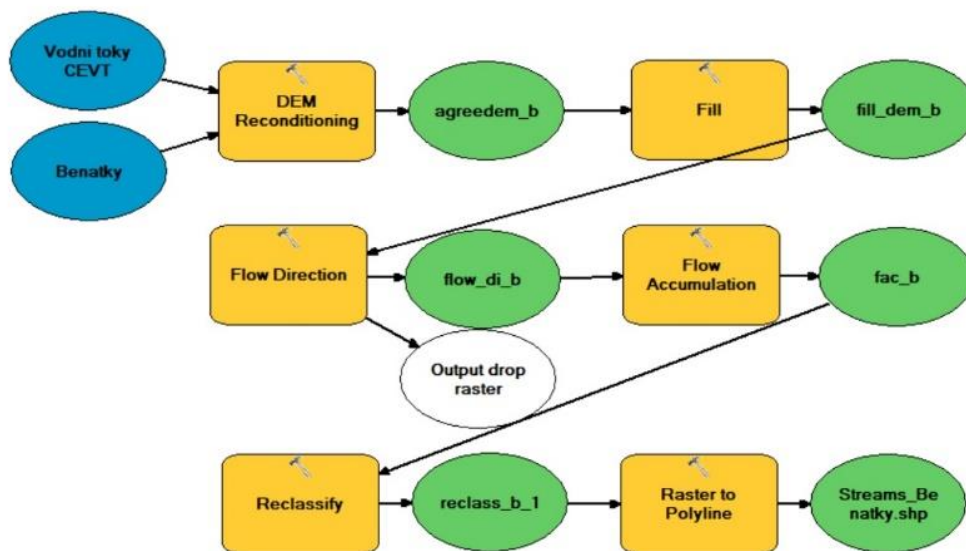
Jako vstupní soubor dat sloužil DMR 5G jehož popis je uvedený v rešeršní části práce v kapitole 3.7.1. Dalšími vstupními daty byly rastr hodnot CN od VÚMOP, rastr jednodenních srážkových úhrnů $N=100$ (Šamaj a kol., 1985) a vrstva s vymezením zastavěného území (Šindlerová a kol., 2022).

4.3 Tvorba digitálního modelu terénu a vygenerování drah soustředěného odtoku

Z letecky naskenovaného zemského povrchu v podobě surového digitálního modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G) musíme vytvořit pomocí interpolační metody IDW rastr hydrologicky korektního digitálního modelu terénu (DMT). Pro interpolaci bylo použito nastavení 12 okolních bodů a parametr metody byl stanoven 2.

Jako první krok použijeme funkci *DEM Reconditioning*, kterou najdeme v Arc Hydro Tools. Tato funkce provede v terénu vyhloubení koryt vodních toků do hloubky tak, aby byla trasa vodních toků jednoznačně identifikovatelná a nedocházelo v následující simulaci odtokových poměrů k chybnému vybřežování vody mimo vodní tok. Vstupními soubory pro funkci *DEM Reconditioning* jsou surový digitální model reliéfu a vrstva vodních toků. Provedeme nastavení číselných parametrů Number of cells: 5 – toto číslo udává počet buněk kolem vrstvy linií, pro které dojde k vyhlazení, Smooth Drop: 10 – tato hodnota bude využita k interpolování DEM, Sharp Drop: 50. Výsledkem je rastr terénu s vyhloubenými koryty dle vodních toků, který byl pojmenován např. *agreedem_b*. Jako další krok byla použita funkce *fill*, která pomocí interpolování okolních hodnot slouží k eliminaci bezodtokových depresí. Výsledkem je hydrologicky korektní model terénu DEM, který je následně použit pro odvození mapy směrů odtoku. K tomu je použita funkce *flow direction*, tento nástroj vypočte na základě okolí každého jednotlivého pixelu směr, který je nejstrmější. Tento proces se opakuje na všech buňkách rastru a následně je buňkám přiřazen směr odtoku. Na základě analýzy směrů odtoku následně provedeme výpočet vrstvy akumulace vody funkcí *flow accumulation*. Výsledek udává, jak velké území odvodňuje každý pixel. Nově vzniklým rastrům nastavíme funkcí *reclassify* novou hodnotu 0 – 300 000 = no data, 300 000 – 10 000 000 = 1, 10 000 000 – max = no data. Tímto krokem se zbavíme pixelů, které odvodňují příliš malé plochy pod 0,3 km² a zároveň příliš velké nad 10 km². Takto vybereme jen pixely odpovídající požadované rozloze odvodňované plochy, která by měla být

v rozmezí 0,3 – 10,0 km², což je 1. kritérium pro vymezení kritických bodů přívalových povodní. Výsledné rastry převedeme na polylinie funkcí *raster to polyline* (VÚV TGM, 2009). Celý výše popsaný postup je znázorněn na Obrázek 11.



Obrázek 11: Na tomto přiloženém obrázku je znázorněn ArcGIS Model Builder, kde je popsán výše uvedený postup.

4.4 Vymezení kritických bodů a jejich první výběr

Tam, kde vygenerované linie drah soustředěného povrchového odtoku vnikají do zastavěných částí obcí, se stanoví tzv. kritické body (KB). K tomu kroku použijeme funkci *intersect*, do které vstupují linie drah soustředěného odtoku a polygony zastavěného území obce (intravilánu). Velikost přispívající plochy soustředěného odtoku by měla být $\geq 0,3$ km². Z hlediska plošného rozsahu příčinného jevu přívalových srážek a primárně lokálních důsledků následných povodní se dále uvažují ty kritické body, jejichž přispívající plocha nepřesáhne velikost rozlohy 10 km². Kritických bodů nám vznikne více jak na vtokové, tak na výtokové části ze zastavěného území, proto je musíme podrobit ručnímu výběru a vybrat pouze ty na vtokové straně do intravilánů obcí (VÚV TGM, 2009).

4.5 Stanovení rozvodnic a sběrných ploch kritických bodů

Z vybraných KB jsou následně generovány orografické rozvodnice a polygony sběrných ploch. K vytvoření polygonů sběrných ploch je použita funkce *watershed*, která vytvoří rastr, ve kterém ke každému KB se vytvoří přispívající sběrná oblast. Jako vstupní

soubory jsou vrstva KB a vrstva směrů odtoku. Výsledný rastr sběrných ploch převedeme pomocí funkce *raster to polygon* na polygonovou vrstvu (VÚV TGM, 2009).

4.6 Stanovení fyzickogeografických charakteristik sběrných ploch kritických bodů

Důležitými atributy charakterizující KB sběrných ploch jsou: velikost sběrné (přispívající) plochy, její průměrný sklon, druhy pozemku a procentické zastoupení orné půdy. Ke stanoveným sběrným plochám kritických bodů se na základě nástroje Spatial Analyst (SA) - calculate geometry stanoví jejich rozloha. Následně s využitím zonální statistiky nástroje SA – slope jsou posuzovány sklonitostní poměry, kdy pro jednotlivé sběrné plochy KB je stanoven průměrný sklon. Pomocí zonální statistiky dopočteme i průměrnou hodnotu CNII (jedná se o půdní charakteristiku, která udává, kolik vody je půda schopná infiltrovat, což je dáno hodnotou příslušné CN křivky pro předchozí vláhové poměry II. třídy) a relativní hodnotu úhrnu H (jedná se o jednodenní úhrn s dobou opakování $N = 100$ let) pro každou přispívající plochu. Faktorem s významným vlivem na možné dopady povodní z přívalových srážek je způsob využití území. Jako jeden nejdůležitějších faktorů je podíl orné půdy. K jeho určení lze s dostatečnou přesností použít databázi krajinného pokryvu CORINE land cover (2006), pro naši analýzu jsme, ale použili Konsolidovanou vrstvu ekosystémů (KVES) (© CzechGlobe, © AOPK ČR, 2013). Pro určení procentického zastoupení orné půdy v každé přispívající ploše KB je zapotřebí nejprve provést průnik vrstev orné půdy a výsledných povodí KB, to uděláme funkcí *interscet*. Následně provedeme s využitím sumární statistiky výpočet tabulky, která nám pro „intersectovanou“ vrstvu spočítá sumu rozlohy orné půdy pro každé povodí KB. Výsledné tabulky zonální statistiky a sumární statistiky připojíme funkcí *join field* k polygonové vrstvě sběrných ploch KB. Všechny tabulky připojíme pomocí atributu gridcode, který jednoznačně identifikuje každou sběrnou plochu KB. Tento kód je obsažen jak v polygonové vrstvě, tak i ve statistických tabulkách. Ke každé sběrné ploše KB bude přiřazena hodnota průměrného sklonu, rozloha orné půdy, hodnota CNII a 100letý srážkový úhrn. Z celkové rozlohy přispívající plochy a ze sumy orné půdy dopočteme procentické zastoupení orné půdy. (VÚV TGM, 2009)

4.7 Finální výběr kritických bodů

Z podrobných analýz vyplývá, že rozhodující pro identifikaci ve vztahu k přívalovým srážkám problematických lokalit jsou následující charakteristiky. Pro výběr kritických lokalit, resp. kritických bodů je doporučeno kombinovat tato kritéria:

- K 1. velikost přispívající plochy 0,3 – 10,0 km²,
- K 2. průměrný sklon přispívající plochy $\geq 3,5$ %,
- K 3. podíl plochy orné půdy v povodí ≥ 40 %.

Dalším kritériem pro výběr KB je ukazatel kritických podmínek F. Hodnota ukazatele udává vznik negativních projevů povodí z přívalových srážek pro konkrétní přispívající plochu. Vstupními hodnotami je způsob využití území, fyzicko-geografické podmínky, regionální rozdíly krajinného pokryvu a potenciální výskyt extrémních hodnot. Navržený vzorec pro výpočet ukazatele kritických podmínek F je doplněn vahami relevantních veličin, neboť např. zesilující účinek podílu orné půdy v povodí se očekává obecně vyšší než v případě průměrného sklonu přispívající plochy.

Vzorec pro výpočet ukazatele kritických podmínek F:

$$F = P_{p,r} \cdot H_{m,r} \cdot (a_1 \cdot I_p + a_2 \cdot \text{ORP} + a_3 \cdot \text{CNII})$$

Kde **F** – ukazatel kritických podmínek [-],

a – vektor vah [1,48876; 3,09204; 0,467171],

P_{p,r} – relativní hodnota velikosti přispívající plochy (vzhledem k max.10 km²) [-],

I_p – hodnota průměrného sklonu přispívající plochy [%],

ORP – podíl plochy orné půdy [%],

CNII – hodnoty CNII pro území ČR,

H_{m,r} – relativní hodnota úhrnu jednodenních srážek s dobou opakování 100 let pro území ČR (vzhledem k max. 285,7 mm) [-].

Data CNII pro účely této bakalářské práce byly poskytnuty vedoucím práce a tvůrcem dat je Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (VÚMOP). Relativní hodnota H byla stanovena rastrem vytvořeným interpolací ze známých hodnot 579 stanic stanovených podle tabulky (Šamaj a kol., 1985). Hodnotu P musíme vydělit 10 a hodnotu H vydělit 285,7, abychom pro každou hodnotu dostali poměrné zastoupení vůči maximu (VÚV TGM, 2009).

Čtvrtým kritériem pro výběr KB je mezní hodnota ukazatele F:

K 4. ukazatel kritických podmínek $\geq 1,85$.

Celkový výběr lokalit byl rozšířen o další dvě kritéria na základě šetření na modelových povodích, kde byly zjištěny škody i z ploch povodí se zastoupením orné půdy nižším než 40 %, případně ploch zcela zalesněných. Z tohoto důvodu byl výběr provedený podle podmínek K1 až K4 rozšířen o kritické body s velikostí přispívající plochy od 1,0 km² do 10,0 km² a současně s průměrným sklonem od 5 % výše:

K 1A. velikost přispívající plochy 1,0 – 10,0 km²,

K 2A. průměrný sklon přispívající plochy ≥ 5 %.

Výsledné grafické výstupy KB a jejich přispívající plochy, mohou být využity pro účely návrhů úprav systémů povodňové ochrany dotčených obcí. (VÚV TGM, 2009)

5 Výsledky

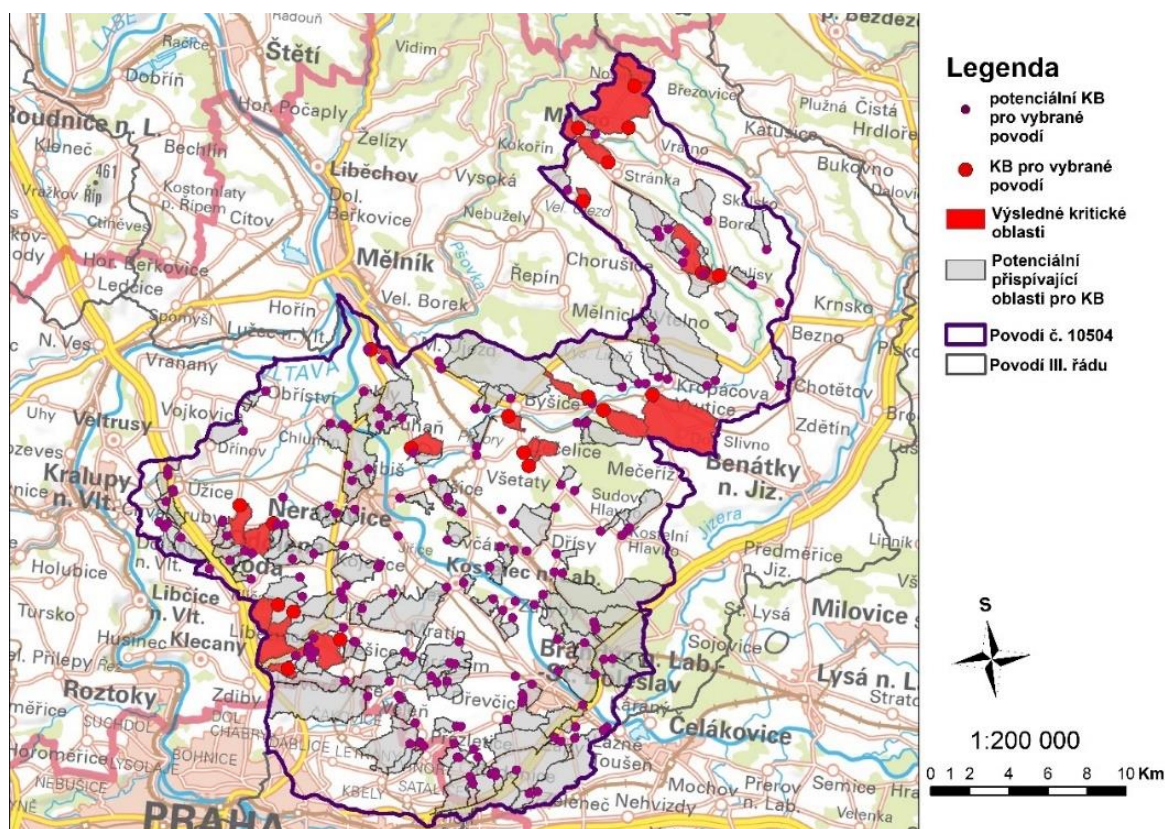
V této kapitole si popíšeme výsledky z analýzy a v závěrečné diskusi si porovnáme výsledky z analýzy oproti bodům stanoveným dle metodiky VÚV TGM a prezentovaným v rámci Povodňového informačního systému (POVIS) a body vymezenými rámci studie Šindlerová a kol. (2022) prezentovanými na webu Centrem pro vodu, půdu a krajinu (CVPK).

5.1 Výsledky analýzy

Z analýzy ze všech třech vybraných povodí III. řádu vzniklo celkem 467 potencionálních KB, tyto body vznikly na základě prvního kritéria rozlohy, z nich pouze 52 vyšlo jako kritických dle zbylých kritérií pro stanovení KB. U těchto bodů byla provedena kontrola správnosti ohrožení území. Celkem byly vyřazeny 3 body, protože se v daném místě nenacházely objekty, které by bylo potřeba ochránit před povodní. Sice se v těchto místech nacházela vrstva zastavěného území, ale nejednalo se zde o obytné či průmyslové objekty. Dále je potřeba zkontrolovat terénním průzkumem místa, zda odpovídají reálnému stavu a jestli jsou skutečně ohrožena.

5.1.1 Povodí č. 1-05-04

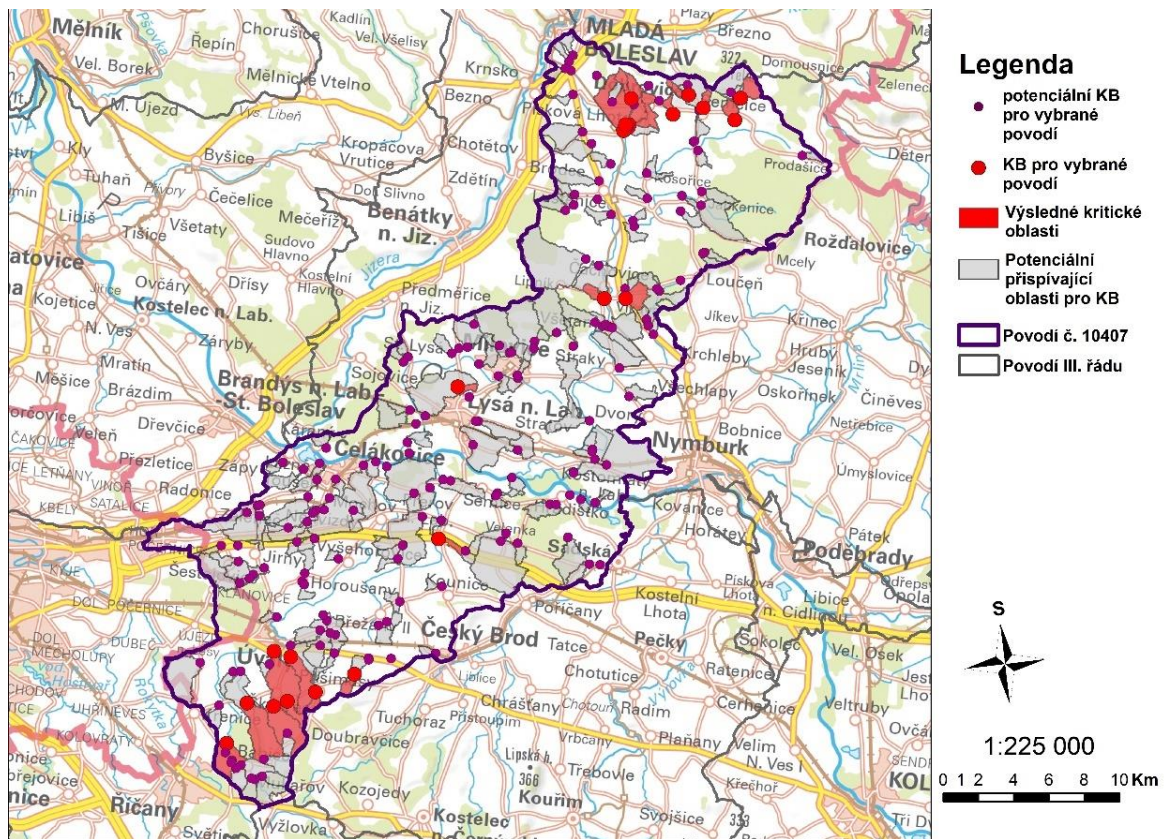
Z analýzy vzniklo v povodí celkem 212 potenciálních KB s vyhovující rozlohou dle prvního kritéria, které jsou na Obrázek 12 označeny fialovou barvou a jejich přispívající plochy barvou šedou. Z celkových 212 potencionálních bodů vyšlo pouze 21 jako kritických dle všech čtyř zadaných kritérií pro výběr kritických oblastí ohrožených přívalovou srážkou, ty jsou označeny barvou červenou. Z těchto zjištěných 21 bodů můžeme na první pohled hned dva odstranit. U prvního z bodů nacházející se v blízkosti obce Čechelice se zde nejedná o zastavěnou oblast, nýbrž o místo po pískovně. Druhý bod se nachází u obce Velký Újezd, tu by však přívalová povodeň nezasáhla, protože se bod nachází mimo zástavbu a zároveň je to nejnižší bod. Výsledných je tedy pouze 19 kritických oblastí.



Obrázek 12: Výsledné KB a výsledné kritické oblasti.

5.1.2 Povodí č. 1-04-07

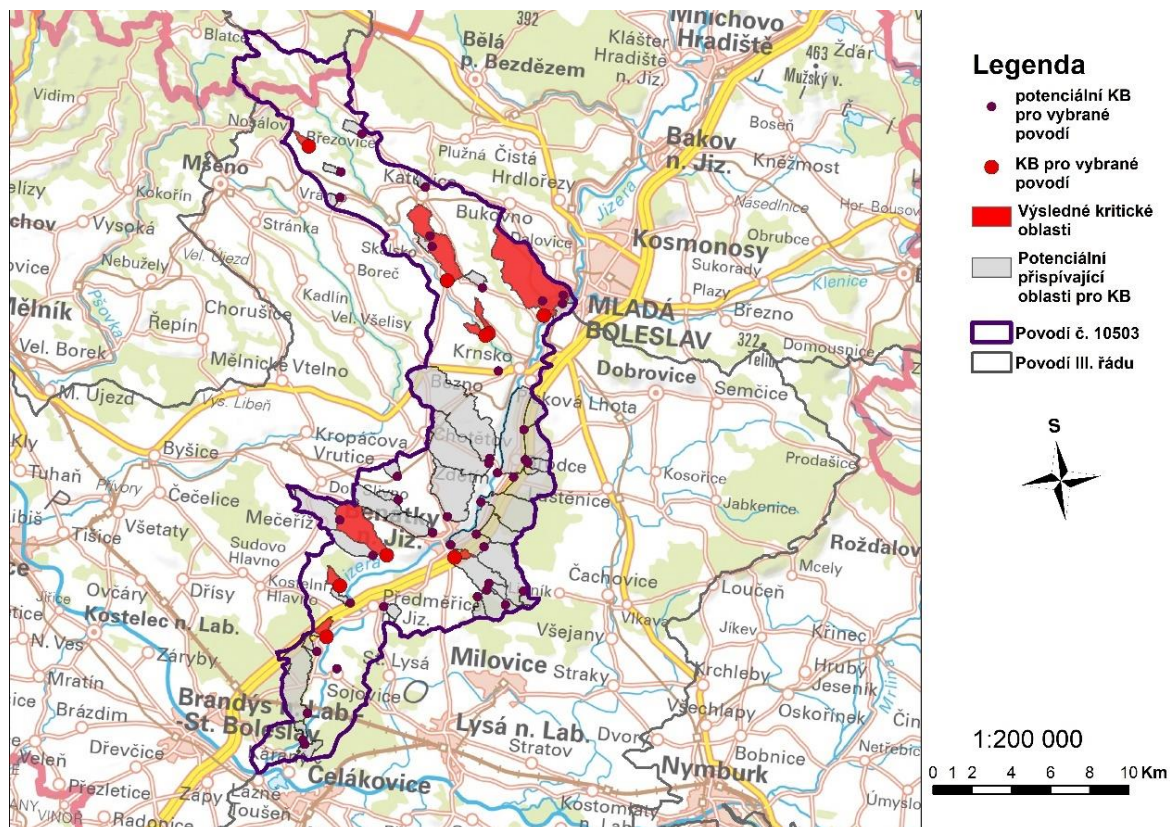
Pro toto povodí z analýzy vyplynulo 202 potencionálních KB splňující zadanou rozlohu, které jsou na Obrázek 13 označeny fialovou barvou a jejich přispívající plochy barvou šedou. Z celkových 202 potencionálních bodů vyšlo pouze 22 jako kritických dle zadaných kritérií pro výběr kritických oblastí ohrožených přivalovou srážkou, ty jsou označeny barvou červenou. Stejně jako u předchozího povodí i zde můžeme jeden z bodů vyřadit. Bod, jenž neodpovídá reálnému ohrožení se nachází u Lysé nad Labem v poli. Vztažený je k zastavěnému území, které ovšem v realitě zde není. Výsledných KB je tedy pouze 21.



Obrázek 13: Výsledné KB a výsledné kritické oblasti.

5.1.3 Povodí č. 1-05-03

Pro toto povodí z analýzy vyplynulo 53 KB, které jsou na Obrázek 14 označeny fialovou barvou a jejich přispívající plochy barvou šedou. Z celkového počtu 53 bodů vyšlo pouze 9 jako kritických dle zadaných kritérií pro výběr kritických oblastí ohrožených přivalovou srážkou, ty jsou označeny barvou červenou. U tohoto povodí na první pohled vypadají všechny KB v pořádku.

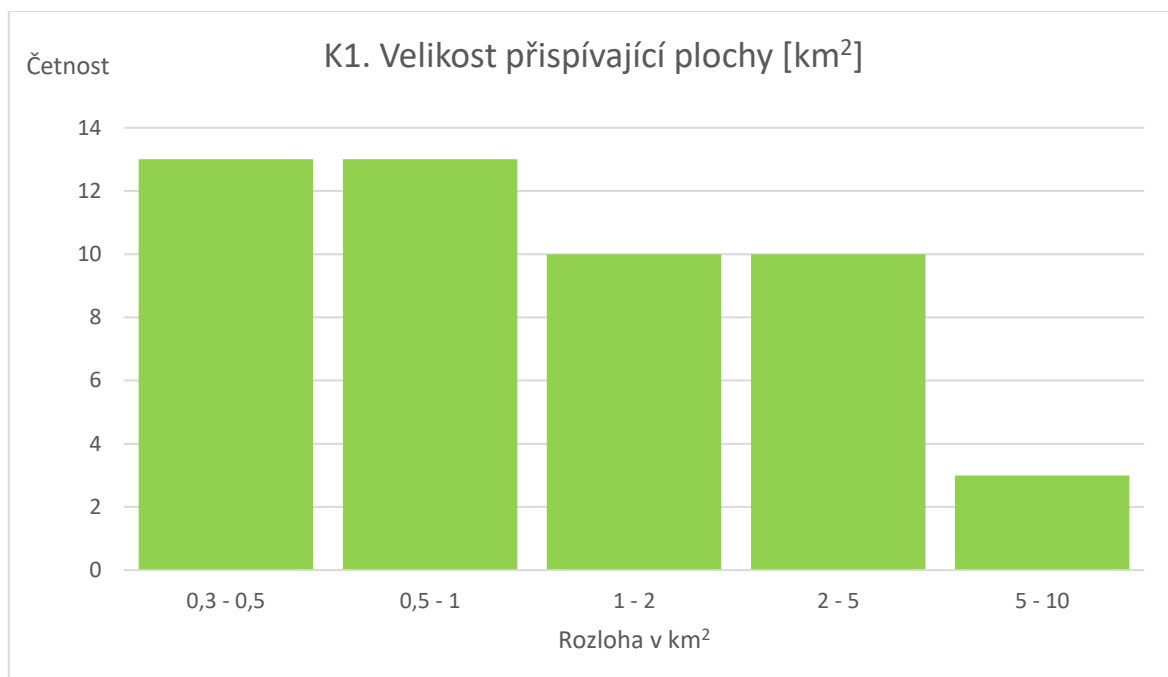


Obrázek 14: Výsledné KB a výsledné kritické oblasti.

5.1.4 Vyhodnocená kritéria

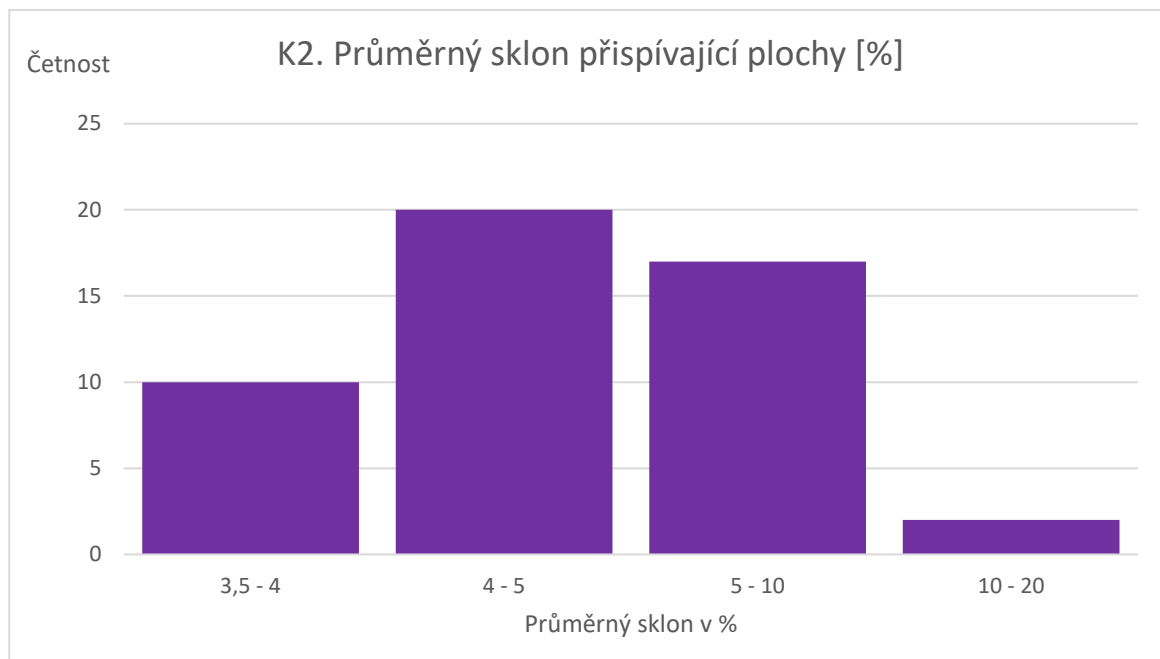
Celkový počet všech výsledných KB vymezených analýzou je 49. V následujících čtyřech histogramech si ukážeme na svislé ose četnosti výskytu vyhodnocených kritérií ve stanovených intervalech.

První kritérium pro výběr KB byla velikost přispívající plochy neboli rozloha, ta musela splňovat podmínku od 0,3 – 10,0 km². Na Obrázek 15 je první graf zobrazující četnosti rozdělené do pěti kategorií. U prvních dvou kategorií vyšla stejná četnost s hodnotou 13 výskytů, tyto dvě kategorie jsou nejčetnější. U dalších dvou kategorií vyšla opět stejná četnost s hodnotou 10 a poslední kategorie pouze 3. Z toho vyplývá, že nejčastěji ohrožené plochy byly spíše menšího rozsahu.



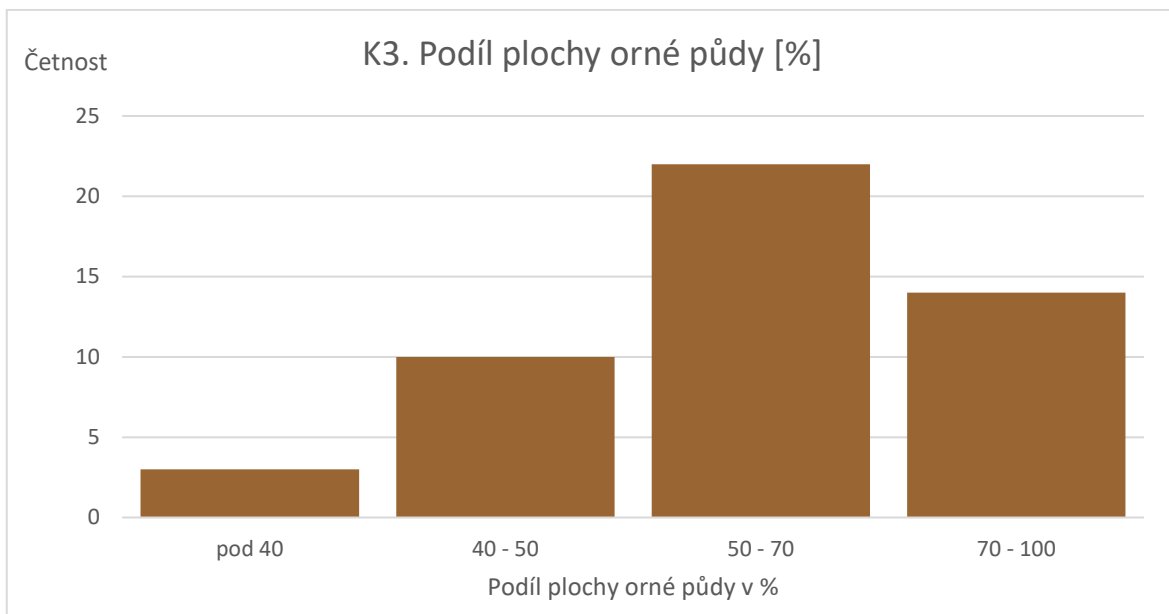
Obrázek 15: četnost velikosti přispívající plochy

Druhým kritériem byl průměrný sklon přispívající plochy, tento sklon musí splňovat podmínku nad 3,5 %. Jak je z Obrázek 16 vidět, nejčastější sklon byl v rozmezí 4 – 5 %, konkrétně pro 20 ploch. Druhá nejpočetnější kategorie je v rozmezí 5 – 10 % s četností 17. Nejméně početná kategorie je v rozmezí 10 – 20 % s četností 2. Většina ploch tedy nepřesáhne průměrný sklon 10 %.



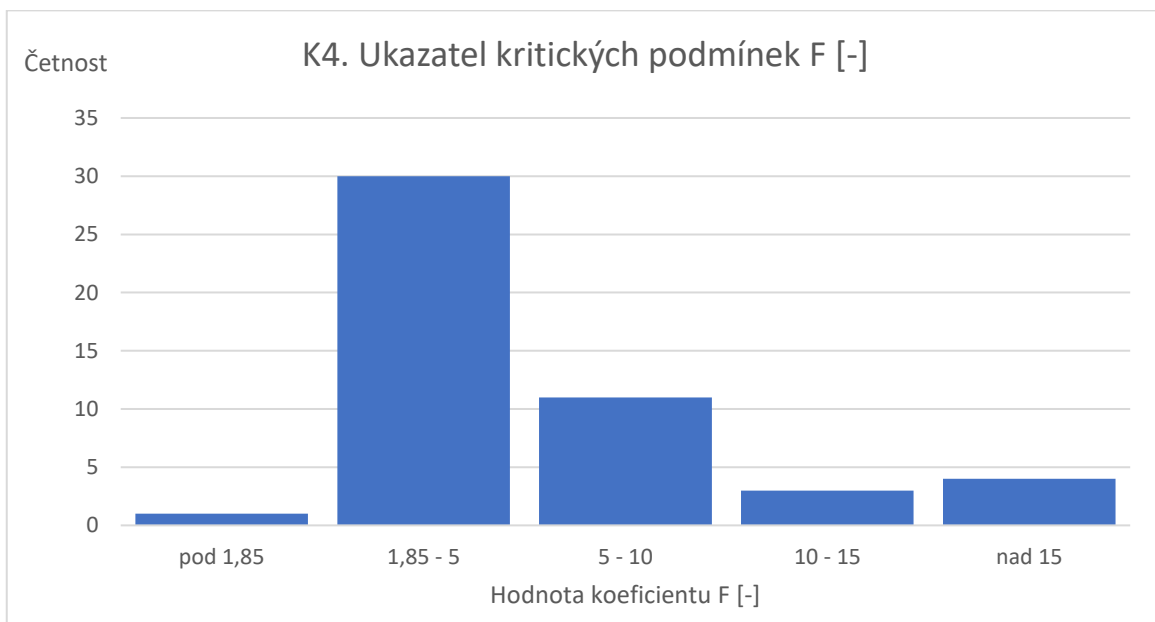
Obrázek 16: četnost průměrného sklonu přispívající plochy

Třetím kritériem pro výběr sloužil podíl plochy orné půdy v povodí. Toto kritérium muselo splňovat podmínku nad 40 %. Na základě šetření však byly zjištěny škody i v povodí s nižším zastoupením orné půdy, než je 40 %. Z tohoto důvodu byl výběr kritických bodů rozšířen o dvě doplňková kritéria, upravenou rozlohu a průměrný sklon a zároveň vypuštění zbylých dvou kritérií. První kritérium bylo upraveno na velikost přispívající plochy od 1 km² a současně druhé kritérium s průměrný sklonem nad 5 % výše. Proto se v Obrázek 17 vyskytuje kategorie pod 40 % plochy orné půdy s nejmenší četností 3. Naopak největší četnost má kategorie 50 – 70 % s hodnotou 22 výskytů a druhá nejčetnější kategorie 70 – 100 % dosahuje četnosti 14 ploch. Většinu kritických ploch tedy pokrývá orná půda z více než 50 %, což značí, že kritické oblasti jsou hlavně ty s větším podílem orné půdy.



Obrázek 17: četnost podílu plochy orné půdy

Posledním kritériem výběru byl ukazatel kritických podmínek F . Toto kritérium muselo splňovat podmínku nad 1,85. Nejvíce výskytů bylo pro kategorii 1,85 – 5 s počtem 30 ploch. Pod hodnotu 1,85 se dostala jedna plocha z důvodu rozšíření výběru o dvě podmínky zmíněné výše. Jak je patrné z Obrázek 18, většina ploch se pohybovala v rozmezí 1,85 až 10 hodnoty F .

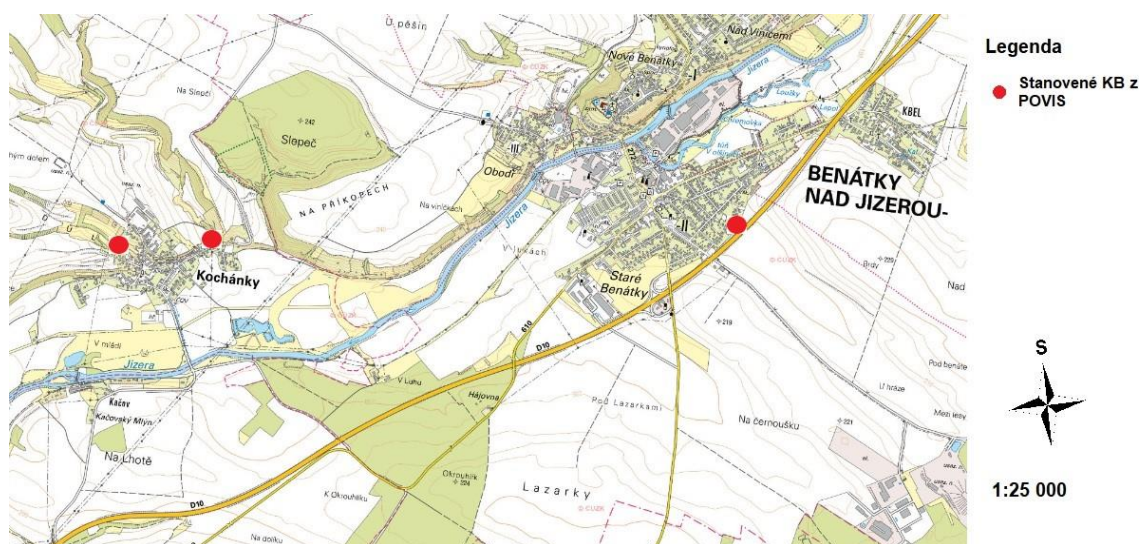


Obrázek 18: četnost ukazatele kritických podmínek F

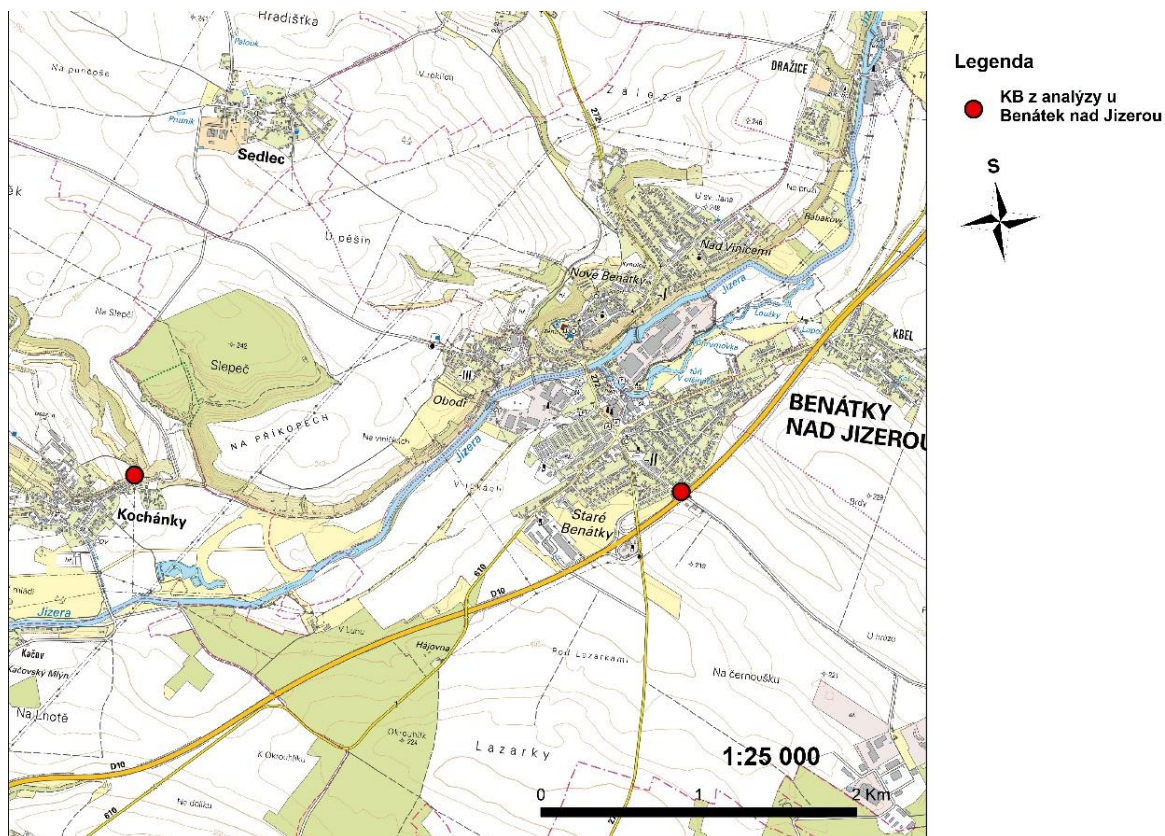
5.1.5 Terénní průzkum

Pro ověření analýzy terénním průzkumem jsme zvolili čtyři KB, dva nacházející se v povodí č. 1-05-03, jeden ohrožující obec Kochánky a druhý město Benátky nad Jizerou. Druhé dva KB se nacházejí v povodí č. 1-05-04, jedná se o obce Strážovice a Čečelice. Výběr jsem volil na základě velikosti přispívající plochy a ohroženosti zastavěného území v dané lokalitě.

Prvním vybraným místem terénního průzkumu byla obec Kochánky u Benátek nad Jizerou. V této obci jsou již stanoveny dva KB dle povodňového informačního systému (POVIS), viz Obrázek 19. Z analýzy předložené v této bakalářské práci však vyplývá, že v této obci je KB pouze jeden shodující se s jedním ze stanovených bodů dle portálu POVIS. Bod se nachází ve východním výběžku obce Kochánky, jak je patrné z Obrázek 20. Velikost povodí pro tento KB je 3,39 km² s průměrným sklonem přispívající plochy 5,60 % a podílem orné půdy 75,60 %. Mezní hodnota ukazatele F je 2,86 a to znamená, že přispívající plocha splňuje všechny čtyři kritéria. Jak je z fotodokumentace patrné, většinu přispívajícího území pokrývá orná půda ve svažitém terénu, to odpovídá zjištěným hodnotám z analýzy. Případná přívalová povodeň by mohla zasáhnout značnou část obce, což by mohlo mít fatální následky. Tento bod byl shledán jako místo s potenciálem nepříznivých dopadů přívalové povodně, a to z důvodu, že v daném místě přispívající plochy je 75 % orné půdy s velkým sklonem.



Obrázek 19: Stanovené KB dle portálu POVIS.



Obrázek 20: Výsledné KB z analýzy v GIS.

Červeným bodem je na následujících obrázcích Obrázek 21, Obrázek 22 a Obrázek 23 označena poloha předmětného KB u obce Kochánky a modrou šipkou je naznačen směr povrchového toku v případě přívalových srážek.



Obrázek 21: Pohled na přispívající plochu pro obec Kochánky.



Obrázek 22: Pohled na svažitě území v místě KB.



Obrázek 23: Pohled směrem na obec Kochánky.

Druhým místem, které bylo ověřeno terénním průzkumem, bylo místo KB podjezdu pod dálnicí D10 u Benátek nad Jizerou. Toto místo není nejnižším bodem v této lokalitě. Tento bod nebyl uváděn dle POVIS v tomto místě jako kritický, nýbrž byl uváděn v nejnižším místě přispívající plochy za dálnicí D10 v místě, kde se nachází vyústění propustku. Pokud by za povodně došlo k ucpání propustku pod dálnicí, jediným možným odtokovým místem z oblasti je námi stanovené místo KB v podjezdu. Až 90 % rozlohy pokrývá orná půda o velkých spojitých blocích a s průměrným sklonem přispívající plochy 4 %. Tento bod v podjezdu nebyl shledán kritickým pokud nedojde k ucpání propustku pod dálnicí. Jako KB pro tuto oblast bych uvažoval ten již stanovený v POVIS u vyústění propustku. Na následujících obrázcích Obrázek 24, Obrázek 25 a Obrázek 26 je modrou šipkou naznačený potencionální směr proudění vody a červeným bodem je označen kritický bod dle výsledků analýzy.



Obrázek 24: Pohled na nejnižší místo v přispívající oblasti.



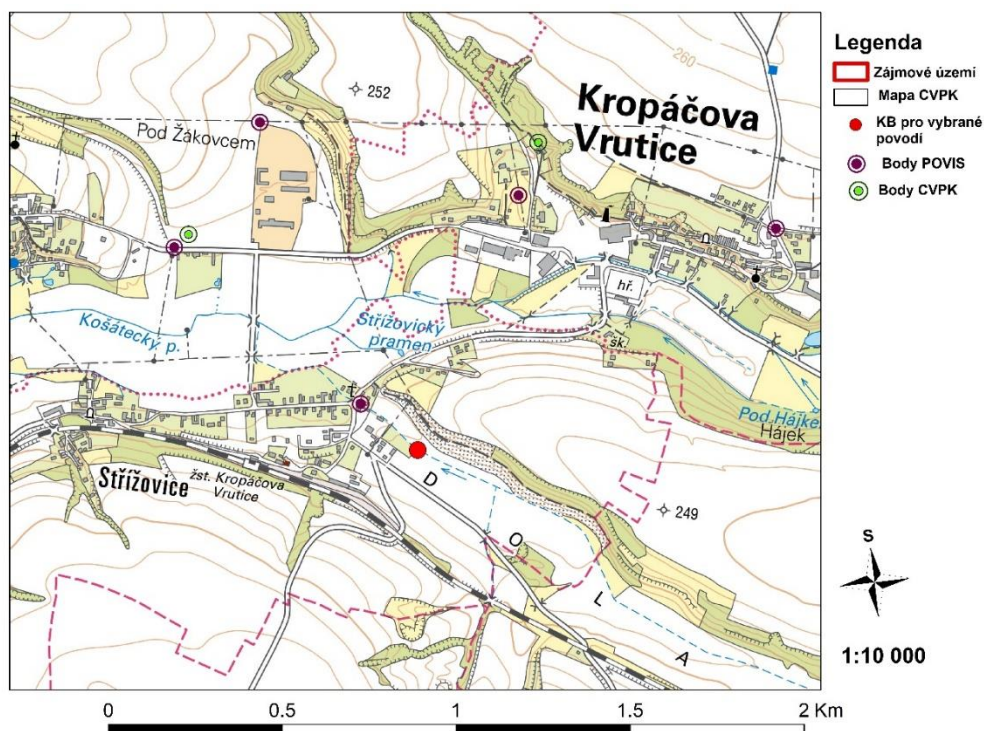
Obrázek 25: Kritický bod pod dálnicí.



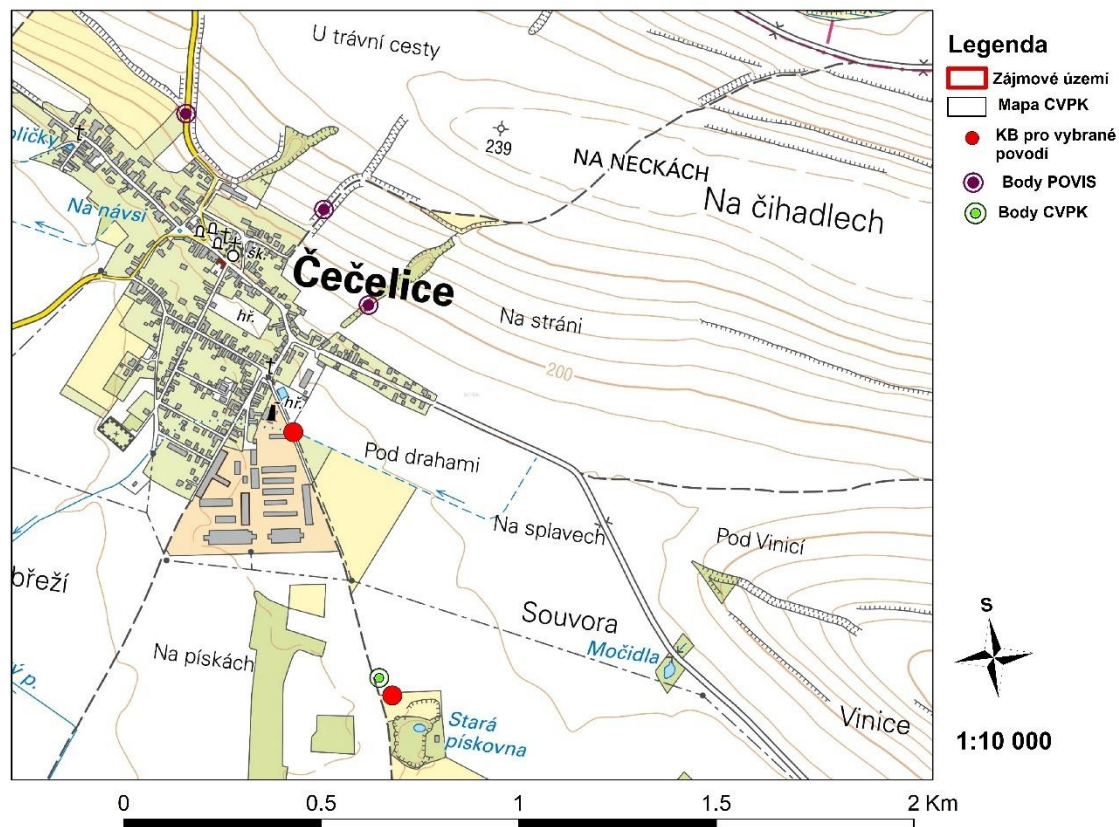
Obrázek 26: Pohled na celou přispívající plochu.

Třetí lokalita podrobená terénnímu průzkumu se nachází, v povodí s hydrologickým číslem 1-05-04, konkrétně v obcích Střížovice a Čečelice. U první zmíněné obce vyšel KB ve Střížovické potoce o kousek výš proti toku, než bod určený dle portálu POVIS, naopak u

obce Čečelice tento bod uváděn dle POVIS nebyl, ale u analýzy byl vyhodnocen jako kritický, viz Obrázek 27 a Obrázek 28.



Obrázek 27: Body určené jako kritické dle portálu POVIS, CVPK a výsledné body z analýzy v obci Strážovice.



Obrázek 28: Body určené jako kritické dle portálu POVIS, CVPK a výsledné body z analýzy v obci Čečelice.

Obcí Střížovice protéká Střížovický potok, který je ve většině roku vyschlý. Kritický bod se nachází před obcí směrem na východ na tomto potoce. Obec se nachází v údolí, tudíž veškerý povrchový odtok by se koncentroval právě do již zmiňovaného potoku. Velikost přispívající plochy činí 7,95 km² a průměrný sklon 3,78 %. Převážná část této plochy je orná půda, a to konkrétně 6,52 km² z celkové přispívající plochy, to je 82,06 %. Posledním kritériem byl ukazatel kritických podmínek F, který vyšel 69,08. Tento bod byl shledán jako místo s potenciálem nepříznivých dopadů přívalové povodně, a to z důvodu, že přes 80 % plochy pokrývá orná půda s průměrným sklonem 3,78 %. Případná povodeň by zasáhla převážnou většinu obce Střížovice. Na následujících obrázcích Obrázek 29, Obrázek 30 a Obrázek 31 je modrou šipkou naznačený potencionální směr proudění vody a červeným bodem je označen kritický bod.



Obrázek 29: Pohled na přispívající plochu.



Obrázek 30: Pohled na obec ve směru toku Střížovického potoka.



Obrázek 31: Střížovický potok v obci.

Posledním místem, které bylo předmětem terénního šetření, byla obec Čečelice. Opět jako u předchozího KB i tento se nachází v korytě místního potoka. Čečelický potok je také ve větší části roku vyschlý. Jeho přispívající plocha s průměrným sklonem 4,06 % o ploše 0,84 km². Větší část zde pokrývá orná půda, a to celkem 81,5 % z celkové rozlohy. Poslední podmínkou je hodnota součinitele F ta dosahuje 4,36. Zdejší terén zde není velmi sklonitý, což je vidět i z Obrázek 32. Převážná část svažitého území se nachází za silnicí III. třídy Konětopská. Nejohroženější je jižní část obce, ve které se nachází převážně zemědělské objekty, ve zbytku této části se nacházejí trvale obytné domy. Tento bod byl shledán jako místo s potenciálem nepříznivých dopadů přívalové povodně, a to z důvodu, že přes 80 % plochy pokrývá orná půda s průměrným sklonem přes 4 %. Na následujících obrázcích Obrázek 32 a Obrázek 33 je opět modrou šipkou naznačený potenciaální směr proudění vody a červeným bodem je označen výsledný kritický bod. Na obrázcích Obrázek 34 a Obrázek 35 je zachycena jižní část obce.



Obrázek 32: Pohled na Čečelický potok a přispívající plochu.



Obrázek 33: Pohled na KB ohrožené obce Čečelice.



Obrázek 34: Pohled na zemědělský objekt.



Obrázek 35: Pohled na zbytek obce.

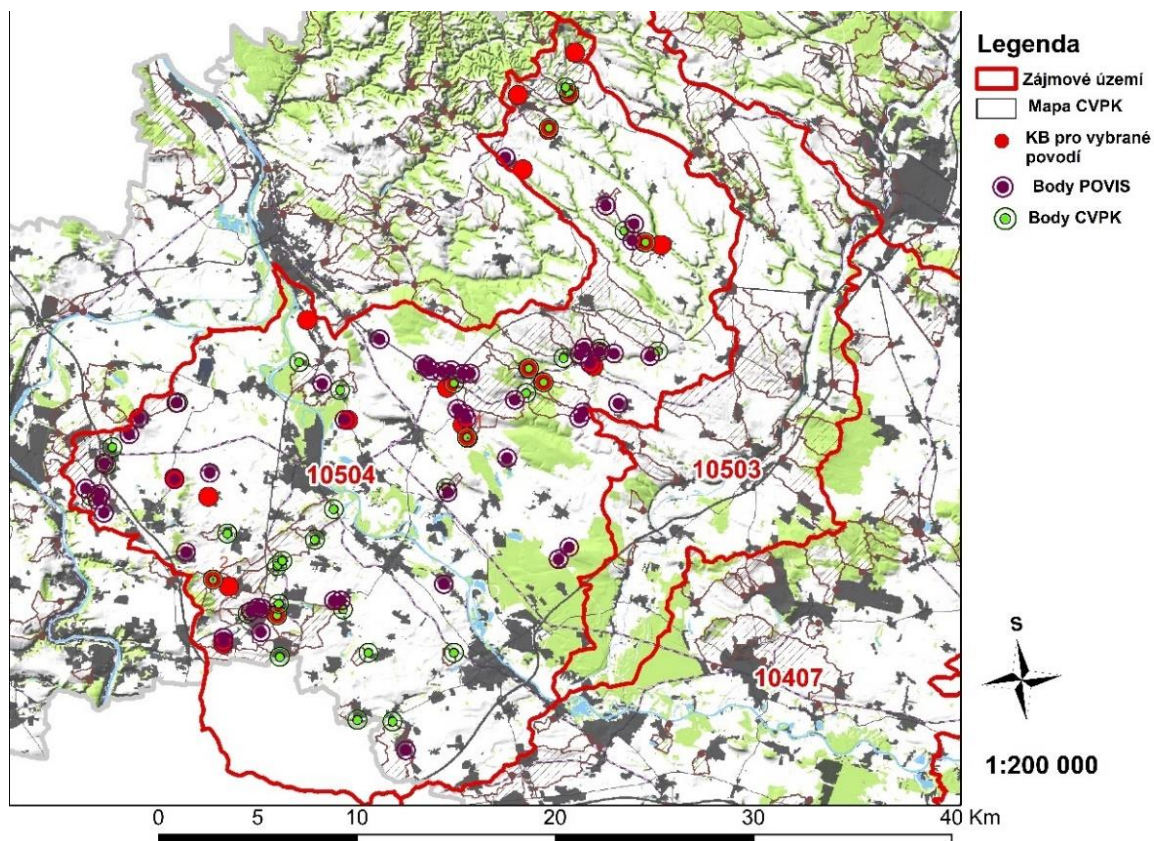
6 Diskuse

Dříve již byly KB pro všechna povodí III. řádu stanoveny Ministerstvem životního prostředí (MŽP) v rámci Operačního programu Životního prostředí (OPŽP) v programovém období v letech 2007–2013. Tento operační program byl financován Fondem soudržnosti, Evropským fondem pro regionální rozvoj a Státním fondem životního prostředí ČR a státním rozpočtem s cílem zlepšení kvality životního prostředí v České republice. Jednou ze součástí toho programu bylo stanovení Rizikových území při přívalových srážkách dle metodiky VÚV TGM. Výsledné KB těchto území, jsou prezentovány v Povodňovém informačním systému (POVIS). (SFŽP ČR, 2013)

Další dostupné kritické body, které můžeme porovnat s výsledky analýzy předložené bakalářské práce, byly vymezeny v rámci konceptu Živé krajiny v pilotním projektu Středočeský kraj: Region udržitelného hospodaření s vodou (Šindlerová et al., 2022) a jsou prezentovány na portále Centrum pro vodu, krajinu a půdu (CVPK) České zemědělské univerzity v Praze. Koncept živých krajiny se soustředí na tři hlavní cíle. (ČZU, © 2021)

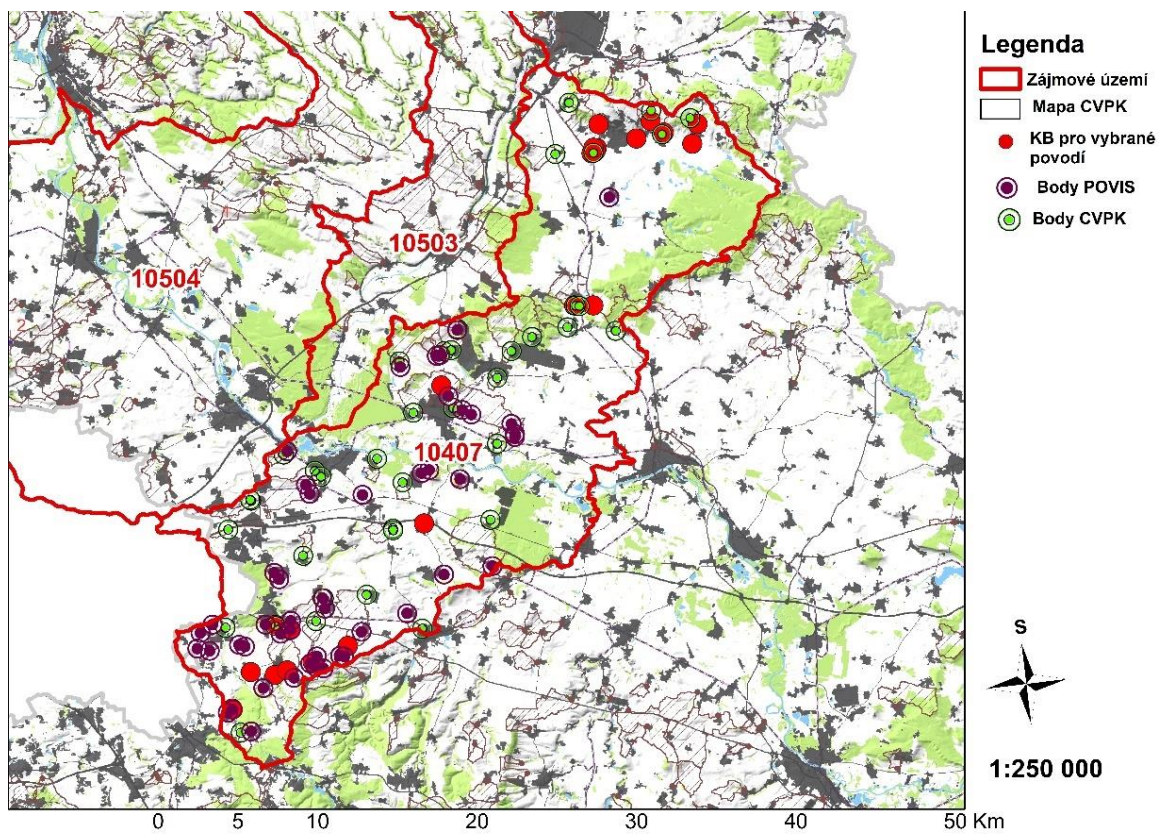
- 1) Zlepšení schopnosti krajin zadržovat vodu a předcházet tak negativním důsledkům extrémních hydrologických jevů jako jsou sucho či povodně.
- 2) Zachování a rozvoj produkční schopnosti krajin.
- 3) Zvýšení obytné a rekreační kvality krajin.

V povodí s hydrologickým č.1-05-04 je prezentováno dle portálu POVIS celkem 52 KB, které jsou na Obrázek 36 vyznačeny fialovým bodem. Většina z nich se neshoduje s body vymezenými analýzou v této práci, shodné jsou pouze 4 body, zatímco naše analýza jich vymežila 19. Studie Šindlerové a kol. (2022) zde vymežila 36 bodů, na Obrázek 36 jsou označeny zeleným bodem. Z toho pouze 8 bodů se shoduje s body vymezenými analýzou.



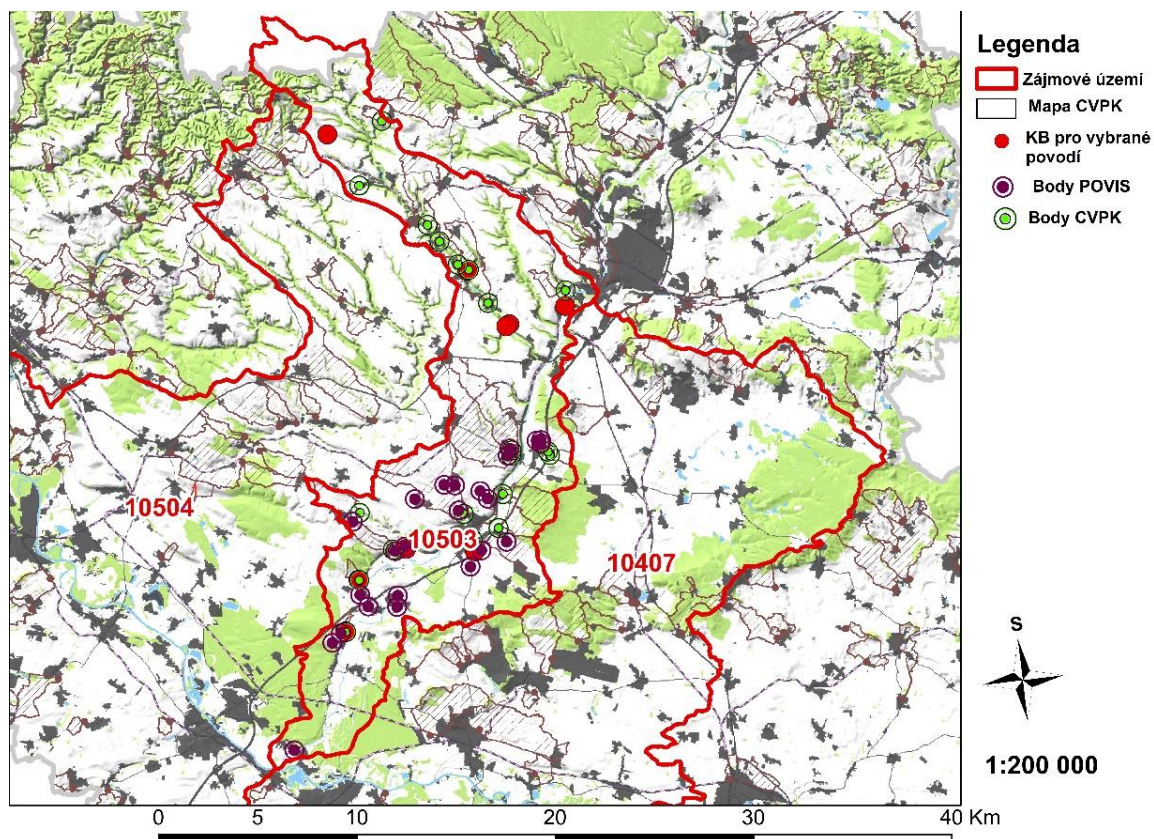
Obrázek 36: Porovnání KB z analýzy s dostupnými stanovenými body pro povodí č.1-05-04.

V povodí s hydrologickým č. 1-04-07 je prezentováno dle portálu POVIS celkem 47 KB, které jsou na Obrázek 37 jsou vyznačeny fialovým bodem. Většina z nich se neshoduje s body vymezenými analýzou v této práci, shodné jsou pouze 2 body, zatímco naše analýza jich vymežila 21. Studie Šindlerové a kol. (2022) zde vymežila 41 bodů na Obrázek 37 jsou označeny zeleným bodem. Z toho pouze 4 body se shodují s body vymezenými analýzou.



Obrázek 37: Porovnání KB z analýzy s dostupnými stanovenými body pro povodí č.1-04-07.

Pro povodí s hydrologickým č. 1-05-03 bylo prezentováno dle portálu POVIS celkem 24 KB, které jsou na Obrázek 38 jsou vyznačeny fialovým bodem. Většina z nich se neshoduje s body vymezenými analýzou v této práci, shodné jsou pouze 2 body, zatímco naše analýza jich vymezila 9. Dle CVPK je zde stanoveno 20 bodů, na Obrázek 38 jsou označeny zeleným bodem. Z toho pouze 3 body se shodují s body vymezenými analýzou.



Obrázek 38: Porovnání KB z analýzy s dostupnými stanovenými body pro povodí č.1-05-03.

V projektu VÚV TGM bylo vymezeno pro tato tři vybraná povodí celkem 123 bodů a v projektu vytvořeném dle Šindlerové a kol. (2022) bylo stanoveno celkem 97 bodů. V této bakalářské práci bylo analýzou vymezeno celkově 52 bodů podle zadaných kritérií, po kontrole všech míst byly 3 body odstraněny z výběru, protože nesplňovaly v daném místě ohrožení z důvodu špatného umístění zastavěného území. Všechny body byly porovnány s již vymezenými v rámci výše zmíněných studií a většina se jich neshodovala s body vymezenými touto analýzou.

Kritické body prezentované na portálu POVIS byly vymezeny již před více než 10 lety podle méně podrobných vstupních dat DMR 4G a CORINE Land Cover. V této bakalářské práci jsme využili podrobnější vstupní data DMR 5G a KVES. Navíc jsme použili velmi přesné

vymezení zastavěného území. To všechno by mělo nasvědčovat tomu, že výsledky prezentované v této práci jsou přesnější. Méně bodů nám mohlo vzniknout proto, že vlivem podrobnějšího rozlišení vstupních rastrů DMR mohlo dojít k extrakci podrobnější mikrosítě drah soustředěného odtoku, a to vedlo zase k případnému rozmělnění některých potenciálních povodí KB do menších celků, které pak nebyly vybrány jako skutečně kritické. Kritické body dle Šindlerové a kol. (2022), byly vymezeny ze stejných vstupních dat. Použili zde k extrakci sítě drah soustředěného odtoku extenze Arc Hydro Tools a ta mohla vést k mírně odlišným výsledkům, jak některé další studie ukazují Jehlička a Štych (2008).

7 Závěr

V této bakalářské práci jsem se zabýval stanovením kritických bodů přívalových povodní pro oblast Polabí ve Středočeském kraji. Území pro stanovované body bylo vymezené třemi povodími III. řádu. Kritické body byly odvozeny použitím velmi podrobného výškopisu DMR 5G dle zavedeného metodického postupu. Lokality vybraných kritických bodů byly validovány terénním průzkumem. Terénní průzkum potvrdil, že v kontrolovaných lokalitách může docházet k negativním projevům přívalových srážek. Výsledky této práce mohou pomoci pro vytipování míst, kde by měly být přednostně implementována přírodě blízká opatření pro zadržení vody v krajině, aby se zmírnily účinky případných přívalových povodní.

Na zájmovém území již byly kritické body vymezené dříve, a to v rámci projektů vypracovaných VÚV TGM a CVPK. Starší z těchto dvou projektů byl zhotoven VÚV TGM v roce 2009 v rámci „Vyhodnocení povodní v červnu a červenci 2009 na území České republiky“. Druhým projektem byl pilotní projekt „Středočeský kraj: Region udržitelného hospodaření s vodou“ v rámci konceptu Živé krajiny. Jedním z cílů tohoto konceptu byl návrh opatření pro předcházení extrémních hydrologických jevů zapříčiněný rychlým povrchovým odtokem. Při srovnání kritických bodů přívalových povodní vyhodnocených v rámci této bakalářské práce s výsledky výše uvedených dvou studií lze konstatovat, že námi vymezené body se poměrně liší, možné důvody jsou probrány v diskuzi. Výsledné kritické body nám ale v každém případě poukazují na lokality s vyšším potenciálem ohrožení při přívalových srážkách.

8 Přehled literatury a použitých zdrojů

8.1 Odborná publikace

- Freeman Graham T., 1991: Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid. *Computers & Geosciences* 17, P. 413-422.
- Grabs W. E., 2010: Regional Flash Flood Guidance and Early Warning System. WMO Climate and Water Department, Kathamandu, pp. 24-28.
- Huisman O., Rolf A. de By, 2010: Principles of Geographic Information Systems, The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, 332 s., ISBN 978-90-6164-269-5.
- Chris B. Jones, 1997: Geographical Information Systems and Computer Cartography. Routledge, Londýn, 344 s. ISBN 9781315846231.
- Jenson S. K. a Domingue J. O., 1988: Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54. P. 1593-1600.
- Jonkmann S. N., 2005: Global Perspectives on Loss of Human Life Caused by Floods. *Natural Hazards*. 151-175 s. DOI:10.1007/s11069-004-8891-3.
- Klimánek M., 2006: Digitální modely terénu. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, 85 s. ISBN 80-7157-982-3.
- Kučera J., Podhrázská J., Sztruc J., Karásek P., 2021: Infiltrační vlastnosti půd na erozně ohrožených pozemcích při pěstování širokořádkových plodin. *Listy cukrovarnické a řepařské*, 137: S. 260-262. ISSN 1805-9708.
- Novotný I., Papaj V., Podhrázská J., Kapička J., Vopravil J., Kristenová H., Mistr M., Žížala D., Kinel D., Srbek J., Pochop M., Dostál T., Krása J., Kadlec V., 2017: Příručka ochrany proti erozi zemědělské půdy. Ministerstvo zemědělství a Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha. 92 s. ISBN 978-80-7434-362-9
- Pacina J., Brejcha M., 2014: Digitální modely terénu. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Ústí nad Labem, 72 s. ISBN 978-80-7414-848-4.
- Rapant P., Mgr. Kolejka J., Inspektor T., 2016: Predikce rizika vzniku přívalové povodně s využitím dat meteorologických radarů. *Životné prostredie*, 50: S. 162-166. ISSN 0044-4863.

- Rejšek K., 1999: Lesnická pedologie: cvičení. MZLU, Brno, 152 s. ISBN 80-7157-352-3.
- Šamaj F., Valovič Š., Brázdil R., 1985: Denné úhrny zrážok s mimoriadnou výdatnosťou v ČSSR v období 1901 - 1980. In: Šamaj F. (ed.): Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu. ALFA, Bratislava s. 9
- Sáníka M., Vácha R., Poláková Š., Fiala P., 2018: Kritéria pro hodnocení produkčních a ekologických vlastností půd. Ministerstvo životního prostředí, Praha, 97 s. ISBN 978-80-7212-627-9.
- Sklenička P., 2003: Základy krajinného plánování. Nakladatelství Naděžda Skleničková, Brno, 321 s. ISBN 80-903206-1-9.
- Soukup M., 2006: Opatření v zemědělské krajině pro zlepšení vodních útvarů. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd, Praha, 108 s. ISBN 80-239-7643-5.
- Šťovíček V., 2022: Automatické vymezení povodí na území Česka v ArcGIS Pro. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace 64. S. 56. ISSN 0322-8916
- Voženílek V., 2001: Integrace GPS/GIS v geomorfologickém výzkumu. Univerzita Palackého, Olomouc. 185 s. ISBN 80-244-0383-8.

8.2 Internetové zdroje

- Abrams M., Crippen R., Fujisada H., ©2020: ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM) and ASTER Global Water Body Dataset (ASTWBD) (online) [cit. 2023.02.25], dostupné z <<https://www.mdpi.com/2072-4292/12/7/1156>>.
- Bayer T., 2016: Digitální modely terénu. (online) [cit. 2023.02.02], dostupné z <<https://docplayer.cz/11697250-Digitalni-modely-terenu.html>>.
- Brůha L., 2016: Digitální modely terénu (online) [cit. 2023.02.03] dostupné z <<https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/ke-stazeni/projekty/moderni-geoinformacni-metody-ve-vyuce-gis-kartografie-a-dpz/digitalni-modely-terenu/>>.
- Čada V., 2008: Přednáškové texty z Geodézie (online) [cit.2023.02.05], dostupné z <<http://old.gis.zcu.cz/studium/gen1/html/index.html>>.
- ČÚZK, ©2010: ZABAGED® - výškopis – úvod (online) [cit. 2023.01.15], dostupné z

[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(5dawe5o0ydfj0c0mnknpo0fs\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&text=vyskopisZBG&side=vyskopis&head_tab=sekce-02-gp&menu=30](https://geoportal.cuzk.cz/(S(5dawe5o0ydfj0c0mnknpo0fs))/Default.aspx?mode=TextMeta&text=vyskopisZBG&side=vyskopis&head_tab=sekce-02-gp&menu=30).

- © CzechGlobe, © AOPK ČR, 2013: Konsolidovaná vrstva ekosystémů 2013 (KVES) (online) [cit. 2023.01.19] dostupné z <https://data.nature.cz/ds/27>
- ČZU, © 2021: Centrum pro vodu, půdu a krajinu (online) [cit. 2023.02.25], dostupné z <https://cvpk.czu.cz/cs/r-16233-zive-krajiny>.
- Earthdata, 2019: New Version of the ASTER (online) [cit. 2023.01.06], dostupné z <https://www.earthdata.nasa.gov/news/new-aster-gdem>.
- Esri, © 2021: Flow Direction – ArcMap (online) [cit. 2023.02.06], dostupné z <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/flow-direction.htm>.
- Esri, © 2020: How Watershed works—ArcGIS Pro (online) [cit. 2022.12.30], dostupné z <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-watershed-works.htm>.
- Ivanov M., 2006: Půdní znaky a vlastnosti půd (online) [cit. 2023.01.10.], dostupné z https://is.muni.cz/el/sci/podzim2006/G8141/um/Pudni_znaky_vlast_pud.pdf.
- Litschmann T., 2010: Odborná přednáška Měření půdní vlhkosti (online) [cit. 2023.01.05], dostupné z https://is.muni.cz/el/1431/jaro2010/Z0075/um/Prednaska_Dr_Litschmann_Pudni_Vlhkost.pdf.
- Maguire D. J., 1991: An Overview and Definition of GIS (online) [cit. 2023.02.08], dostupné z <http://lidecc.cs.uns.edu.ar/~nbb/ccm/downloads/Literatura/OVERVIEW%20AND%20DEFINITION%20OF%20GIS.pdf>.
- Mikita T., 2014: Využití GIS a DPZ pro krajinné inženýrství přednáška č.8 (online) [cit. 2023.01.15], dostupné z http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/vgdp/vgdp_gis4.pdf.
- Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, 2015: Prevence zmírňování následků přívalových povodní ve vztahu k působnosti obcí (online) [cit. 2023.01.10], dostupné z https://www.mmr.cz/getmedia/e32acf20-7f24-40ef-a114-869f5311a14d/Methodika_Prevence-a-zmirnovani-nasledku-privalovych-povodni-ve-vztahu-k-pusobnosti-obci_3.pdf.

- Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, 2016: Prevence před přívalovými povodněmi (online) [cit. 2023.01.12], dostupné z <https://www.obcepro.cz/data/prevence_pred_privalovymi_povodnemi.pdf>.
- Novák P., Hejduk T., 2014: Prevence a zmírňování následků živelních a jiných pohrom ve vztahu k působnosti obcí (online) [cit.2023.01.20], dostupné z <<http://www.cbks.cz/sbornikMikulov14/NovakHejduk.pdf>>.
- Půda, eAGRI, ©2009: Vodní eroze půdy (online) [cit. 2023.03.01], dostupné z <<https://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/vodni-eroze-pudy/>>.
- SFŽP ČR: OPŽP 2007-2013 (online) [cit. 2023.03.01] dostupné z <<https://2014-2020.opzp.cz/o-programu/opzp-2007-2013/>>.
- Supergeo Technologies Inc., 2016: Flow Accumulation (online) [cit. 2023.02.07], dostupné z <https://www.supergeotek.com/SpatialAnalyst_ENG_HTML/flow_accumulation.htm>.
- Šindlerová V., Novotný V., Franke D., Hradilek V., Bašta P., Brant V., 2021: Koncepce udržitelného hospodaření s vodou v krajině. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha. (online) [cit. 2023.01.06], dostupné z <file:///E:/Bakal%C3%A1%C5%99sk%C3%A1%20pr%C3%A1ce/stazeno_interne_t/cvpk/d-nivy-a-vztahove-zony-vodnich-toku-a-ploch-text-2021-10-13.pdf>.
- Štroner M., 2015: 4. Digitální model terénu (online) [cit. 2023.01.03], dostupné z <https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/GEY2/pred_1_Metrologie_Vytycovani.pdf>.
- USGS, 2018: USGS EROS Archive – Digital Elevation – Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global (online) [cit. 2022.12.30], dostupné z: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1?qt-science_center_objects=0#overview>.
- VÚV TGM, 2009: Metodický návod pro identifikaci KB (online) [cit. 2022.12.15], dostupné z <https://www.povis.cz/mzp/KB_metodicky_navod_identifikace.pdf>.

8.3 Ostatní zdroje

- Čermák P., 2012: Vliv půdní struktury na hydraulické vlastnosti půdy. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno. 62 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. VUT v Brně
- Hittl R., 2016: Implementace algoritmů vícesměrného odtoku do prostředí ArcGIS. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Olomouc, 69 s. (bakalářská práce) „nepublikováno“ Dep. Repozitář publikací UP
- Jedlička J.; Štych, P., 2008: Hydrologické modelování v programu ArcGIS. CITT Akademie kosmických technologií, oblast Galileo, GMES, Praha, 62 s.
- Křikavová L., 2009: Interpolace bodových dat v GIS. České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Praha, 55 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“ Dep. Fakulta stavební ČVUT
- Kvíčala T., 2014: Analýza a hodnocení existujících 3D modelů a jejich využitelnosti při povodňových situacích. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Brno. 58 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“ Dep. Informační systém MU
- Lippl J., 2009: Hydrologické modelování v GIS. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, České Budějovice, 85 s. (diplomová práce). „nepublikováno“ Dep. Repozitář publikací JU
- Šilhavý J., 2010: Hydrologické analýzy v distribuovaném prostředí. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Plzeň, 88 s. (diplomová práce) „nepublikováno“ Dep. Repozitář ZČU

8.4 Seznam obrázků

Obrázek 1: Vlevo je označen interpolovaný nový bod otazníkem, vpravo je výsledný interpolovaný povrch terénu metodou IDW z vektorových bodů nadmořských výšek (Mitas, Mitasova, 1999). dostupné z <[https://docs.qgis.org/2.18/cs/docs/](https://docs.qgis.org/2.18/cs/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html)

[gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html](https://docs.qgis.org/2.18/cs/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html)>22

Obrázek 2: Znázornění kódování směrů proudění metodou D8 (Jenson a Domingue, 1988).

dostupné z <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-direction-works.htm>>24

Obrázek 3: Více směrný odtok (Arge a kol., 2001). dostupné z < https://www.geoinformatics.upol.cz/dprace/bakalarske/hittl16/Priloha_4_Text_BC.prace_HITTL.pdf >	25
Obrázek 4: Výpočet směru mezi dvěma povolenými směry (Tarboton, 1997). dostupné z < https://www.geoinformatics.upol.cz/dprace/bakalarske/hittl16/Priloha_4_Text_BC.prace_HITTL.pdf >	26
Obrázek 5: Výpočet ze směru odtoku na akumulaci odtoku (Supergeo Technologies Inc., 2016). dostupné z < https://www.supergeotek.com/SpatialAnalyst_ENG_HTML/flow_accumulation.htm >..	26
Obrázek 6: Na této mapě je červeně znázorněna vybraná povodí III. řádu pro analýzu dat. Modře jsou zde znázorněna ostatní povodí III. řádu a černou linií kraje ČR.	29
Obrázek 7: Přibližné zájmové území.	29
Obrázek 8: Znázornění množství orné půdy a zastavěného území v rozměrově největším povodí 1-05-04.	30
Obrázek 9: Se znázorněním množství orné půdy a zastavěného území pro povodí s číslem 1-04-07.	31
Obrázek 10: Se znázorněním množství orné půdy a zastavěného území pro povodí s číslem 1-05-03.	32
Obrázek 11: Na tomto přiloženém obrázku je znázorněn ArcGIS Model Builder, kde je popsán výše uvedený postup.	34
Obrázek 12: Výsledné KB a výsledné kritické oblasti.	38
Obrázek 13: Výsledné KB a výsledné kritické oblasti.	39
Obrázek 14: Výsledné KB a výsledné kritické oblasti.	40
Obrázek 15: četnost velikosti přispívající plochy	41
Obrázek 16: četnost průměrného sklonu přispívající plochy	42
Obrázek 17: četnost podílu plochy orné půdy	43
Obrázek 18: četnost ukazatele kritických podmínek F	43
Obrázek 19: Stanovené KB dle portálu POVIS.	44
Obrázek 20: Výsledné KB z analýzy v GIS.	45
Obrázek 21: Pohled na přispívající plochu pro obec Kochánky.	45
Obrázek 22: Pohled na svažité území v místě KB.	46
Obrázek 23: Pohled směrem na obec Kochánky.	46
Obrázek 24: Pohled na nejnižší místo v přispívající oblasti.	47

Obrázek 25: Kritický bod pod dálnicí.....	48
Obrázek 26: Pohled na celou přispívající plochu.	48
Obrázek 27: Body určené jako kritické dle portálu POVIS, CVPK a výsledné body z analýzy v obci Střížovice.	49
Obrázek 28: Body určené jako kritické dle portálu POVIS, CVPK a výsledné body z analýzy v obci Čečelice.	49
Obrázek 29: Pohled na přispívající plochu.	50
Obrázek 30: Pohled na obec ve směru toku Střížovického potoka.....	51
Obrázek 31: Střížovický potok v obci.	51
Obrázek 32: Pohled na Čečelický potok a přispívající plochu.	52
Obrázek 33: Pohled na KB ohrožené obce Čečelice.	53
Obrázek 34: Pohled na zemědělský objekt.	53
Obrázek 35: Pohled na zbytek obce.....	54
Obrázek 36: Porovnání KB z analýzy s dostupnými stanovenými body pro povodí č.1-05-04.	56
Obrázek 37: Porovnání KB z analýzy s dostupnými stanovenými body pro povodí č.1-04-07.	57
Obrázek 38: Porovnání KB z analýzy s dostupnými stanovenými body pro povodí č.1-05-03.	58