

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE



FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Vyšetření režimu vody v krajině Dolnobřežanska u Prahy a
rámcový návrh na zvýšení její retenční schopnosti

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Petr Bašta

Autor práce: Vojtěch Bužga

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vojtěch Bužga

Rozvoj venkova a zemědělství
Územní plánování

Název práce

Vyšetření vodního režimu krajiny Dolnobřežanska u Prahy a rámcový návrh na zvýšení její retenční schopnosti

Název anglicky

Analysis of water regime in Dolnobřežansko region and a design for its retention ability increase

Cíle práce

1. Hydrologická analýza vybraného území využitím nástrojů GIS za účelem zjištění retenční schopnosti krajiny
2. Návrh rámcových krajinných opatření na úpravu krajiny s ohledem na zvýšení její retenční schopnosti a zlepšení vodního režimu
3. Dílčím cílem bude rešerše odborné literatury na téma této práce

Metodika

1. Rešerše odborných zdrojů
2. Hydrologická analýza na vstupních datech DMR 5G užitím nástrojů GIS: tvorba hydrologicky korektního DMR, alokace bezodtokových depresí, alokace drah soustředěného odtoku a kritických bodů, alokace vztahových zón vodních toků (nivy)
3. Vyznačení nepříznivých jevů z hlediska retence krajiny
4. Návrh opatření v krajině ke zlepšení současného stavu
5. Diskuze, závěr

Doporučený rozsah práce
do 30 stran textu

Klíčová slova

voda v krajině, vodní režim, hydrologická analýza, DMR 5G, zadržování vody v krajině

Doporučené zdroje informací

- BRANT, Václav a kol., 2018: Půdní blok a jeho parametry ve vztahu k obhospodařování (1). Obecné principy. In: Agromanuál. 2018, 13. roč., č. 5/2018, s. 122-124. ISSN 18001-7673.
- CÍLEK, V. – JUST, T. – SŮVOVÁ, Z. – MUDRA, P. – ROHOVEC, J. – ZAJÍC, J. – DOSTÁL, I. – HAVEL, P. – STORCH, D. – MIKULÁŠ, R. – NOVÁKOVÁ, T. – MORAVEC, P. – KOHOUTOVÁ, M. *Voda a krajina : kniha o životě s vodou a návratu k přirozené krajině*. Praha: Dokořán, 2017. ISBN 978-80-7363-837-5.
- 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
- PAVELČÍK, Vojtěch a kol., 2009: Krajem soutoku Vltavy se Sázavou. Místa jižně od Prahy na dobových fotografiích Josefa Dvořáka z Davle. Praha: Mladá Fronta. ISBN 978-80-204-2106-7
- PLANCHON, O. – DARBOUX, F., 2002: A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. *Catena* 46(2): 159–176
- ŠARAPATKA, Bořivoj – NIGGLI, Urs a kol., 2008: Zemědělství a krajina. Cesty k vzájemnému souladu. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-224-1885-8
- VÚV, TGM, 2009: Metodický návod pro identifikaci kritických bodů. [online]. Praha: VÚV TGM. [cit. 1. 6. 2018]. Dostupné na http://www.povis.cz/mzp/KB__metodicky__navod__identifikace.pdf

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Petr Bašta

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2020

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 4. 3. 2020

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 10. 12. 2020

Prohlášení

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

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze 30.3. 2021

Bužga Vojtěch

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Baštovi za metodické vedení a věcné připomínky při zpracování této práce.

Abstrakt

Tato práce se zabývá vyšetřením vodního režimu krajiny Dolnobřežanska a návrhu rámcových opatření proti erozi a pro zvýšení retenční schopnosti krajiny na vymezených kritických místech. Součástí práce bylo i definování pojmů s ní spojenými. Práce je navržena i jako návod pro automatické vymezení povodí v prostředí GIS s definicemi jednotlivých postupů. V rámci práce byla vytvořena hydrologická analýza zájmového území pomocí programu ArcGIS, na základě které byly vytvořeny rámcové návrhy protierozních opatření. Hlavními výsledky práce jsou mapové výstupy hydrologické analýzy. V neposlední řadě dle mapových výstupů byla vybrána erozně nejohroženější místa, pro které byla vytvořena konkrétnější protierozní opatření. V rámci hydrologie je eroze často řešeným a aktuálním tématem, proto je práce zaměřena na území, kde dochází k rychlému rozvoji výstavby a vodní režim se tu rychle mění. Práce tak může sloužit jako podklad pro podrobnější studie tohoto území.

Klíčová slova: voda v krajině, vodní režim, hydrologická analýza, DMR 5G, zadržování vody v krajině

Abstrakt

This Bachelor thesis deals with the investigation of the water regime concerning the landscape of Dolnobrezansko region and the proposals of framework measures against erosion and to increase the retention capacity of the landscape at defined critical points. Part of this thesis includes a definition of the terms associated with it. The thesis is also composed as a guide for automatic delineation of water catchment area within the GIS environment with definitions of individual procedures. Within the work, a hydrological analysis of the area of interest was created using the ArcGIS program, on the basis of which framework proposals for anti-erosion measures were developed. Main results of the this thesis are map outputs of hydrological analysis. According to the map outputs, the most erosively endangered places were selected, for which more specific anti-erosion measures were created. Within hydrology, erosion is often a solved and current topic, therefore the thesis is focused on the area where is a rapid development of construction and the water regime is changing rapidly. The thesis can thus serve as a basis for more detailed studies of this area.

Keywords: water in the landscape, water regime, hydrological analysis, DMR 5G, water retention in the landscape

Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Cíle práce	2
3.	Rešeršní část.....	3
3.1	Základní pojmy.....	3
3.2	Vstupní data.....	4
3.2.1	Digitální model reliéfu	4
3.2.2	CORINE Land Cover	5
3.2.3	Urban Atlas	6
3.2.4	Vodní toky – jemné úseky.....	6
3.2.5	Vodní nádrže	6
3.3	Hydrologická analýza v prostředí GIS	6
3.3.1	Vyplnění bezodtokových oblastí.....	7
3.3.2	Směr odtoku	7
3.3.3	Soustředění odtoku.....	8
3.3.4	Svažitost terénu	9
3.3.5	Vymezení povodí	9
3.4	Návrhy opatření v krajině.....	9
3.4.1	Opatření organizační	10
3.4.2	Agrotechnická opatření	11
3.4.3	Technická opatření	12
4.	Metodika	16
4.1	Zájmové území	16
4.2	Hydrologická analýza.....	17
4.2.1	Příprava souborů	18
4.2.2	Vyplnění bezodtokových oblastí (funkce Fill).....	18
4.2.3	Vytyčení kritických bodů	18
4.2.4	Vymezení sběrné oblasti pro kritické body.....	19

4.2.5	Rámcový návrh opatření na základě kritických bodů	19
4.2.6	Identifikace bezodtokových oblastí.....	20
4.2.7	Rámcový návrh opatření na základě bezodtokových oblastí	21
5.	Výsledky	22
5.1	Kritické body	22
5.2	Bezodtokové oblasti	25
6.	Diskuse.....	31
7.	Závěr	32
	Přehled literatury a použitých zdrojů	33
	Přílohy	36

1. Úvod

Vodní eroze je jedna z nejrozšířenějších forem degradace půdy. Způsobuje škody jak na zemědělských plochách, tak i na obecním a soukromém majetku. Na základě toho je ochrana proti erozi částečně řešena ministerstvem zemědělství pomocí určitých standardů. Pro nejlepší účinek jednotlivých opatření je třeba znát vodní režim krajiny.

Tato práce je zaměřena na vyšetření režimu vody v daném území a jeho případné zlepšení. Je vybráno takové území, kde dochází k rozvoji osídlení a tím i k změnám vodního režimu. Práce je složena ze dvou částí. První je zaměřena na obecné pojmy hydrologie, definice a fungování GIS při tvorbě hydrologické analýzy, charakteristiky vstupních dat a charakteristikou protierozních opatření. Druhá a hlavní část je popisem hydrologické analýzy a návodem na její tvorbu pro konkrétní území v programu ArcGIS. V rámci hydrologické analýzy byla řešena témata vytyčení kritických bodů a vymezení jejich sběrných oblastí a vymezení bezodtokových oblastí. Na základě hydrologické analýzy byla vytvořena rámcová protierozní opatření.

2. Cíle práce

Hlavním cílem práce bude vytvoření hydrologické analýzy na základě vstupních dat pomocí GIS (Geografický informační systém), podle které se stanoví riziková místa z hlediska nedostatečné retenční schopnosti krajiny, přívalových povodní a zamokřené orné půdy. Dále návrh rámcových opatření pro riziková místa vyplívající z hydrologické analýzy. Dílčím cílem je vytvoření literární rešerše publikací, která se zaměří na seznámení s GIS jako takovým, vstupními daty, jednotlivými funkcemi využívanými pro hydrologickou analýzu a na jednotlivé druhy opatření proti erozi.

3. Rešeršní část

Literární rešerše popisuje základní pojmy spojené s prací jako je třeba samotný pojem Hydrologie nebo Geografický informační systém, v kterém je většina práce tvořena. Dále popisuje samotná vstupní data, s kterými se pracuje a následně seznamuje s hydrologickou analýzou v prostředí GIS. V neposlední řadě jsou v literární rešerši popsána jednotlivá protierozní opatření a jejich využití.

3.1 Základní pojmy

Hydrologie

Hydrologie je věda, která se zabývá vodou na zemi, jejím pohybem, výskytem, oběhem a samotnou její úlohou v přírodě. Hydrologické údaje jsou jednou ze základních charakteristik pro přírodní bohatství země. Navíc slouží jako podklady k investiční činnosti téměř ve všech odvětvích národního hospodářství (Dub, a další, 1969).

Geografický informační systém (GIS)

Definovat co je vlastně GIS není jednoduché a jednoznačná definice vlastně neexistuje. Záleží na přístupu k definici a nejpoužívanější jsou definice založené na funkčních vlastnostech (Jan Tuček, 1998). Definice samozřejmě existují, ale všechny se trochu liší.

Geografický informační systém je systémem tvořeným lidmi, technickými a organizačními prostředky, který činí přenos, sběr, uložení a zpracování údajů za účelem produkce informací náležitých pro další použití v geografickém výzkumu a jeho praktických aplikacích (Smutný, 2001).

GIS se skládá z pěti vzájemně se ovlivňujících objektů, software, hardware, dat, postupů a lidí (Law, Collins, 2016).

GIS je propojení hardwaru, softwaru počítače, geografických dat a osob, vytvořené za účelem efektivního získávání, ukládání, aktualizace, manipulace, analýzy a zobrazení všech geografických informací (ESRI, 1990).

Je to informační systém na získávání, analýzu, modelování, vizualizaci a manipulaci geoinformací, založený na počítačích. Používaná geo data, popisují geometrii, topologii, tematiku a dynamiku geoobjektů (Numann, 1996).

Vodní eroze

Jedná se o proces, při němž dochází k narušení půdního povrchu, přesunu vrchní části půdy a k její sedimentaci neboli usazování pevných částí, a to vše za přítomnosti vody. Eroze lze rozlišit na erozi normální a erozi zrychlenou. Normální eroze neustále přetváří reliéf území, je přirozená, probíhá postupně v dlouhodobém měřítku a je tedy prakticky nepozorovatelná a je nahrazována půdotvorným procesem. Naopak zrychlená eroze probíhá v kratším časovém úseku a zároveň smývá zeminu v takovém množství, že ji nestíhá nahrazovat půdotvorným procesem, je ovlivněna lidskou činností, způsobem hospodaření a díly půdního bloku je tak nutné před ní chránit (Novotný a kol. 2017).

Retence vody

Retence vody je definována dle ČSN 750101 takto (Pavlík, 2014):

- 1) krátkodobé přirozené nebo umělé zadržení vody na povrchu terénu, v půdě, v korytě toku, vodní nádrži apod.,
- 2) objem vody krátkodobě zadržené na povrchu terénu, v půdě, v korytě toku, vodní nádrži apod.,
- 3) rozdíl přítoku do řešeného prostoru a odtoku z něho za určitý čas

Celková přirozená retence vody ve specifickém povodí se skládá z prvků povrchové, půdní, podzemní a evapotranspirační. Retence vody v půdním profilu je zásadním činitelem majícím vliv na hydrologický režim území. Samotná retence závisí na fyzikálních a chemických charakteristikách půdních horizontů, stabilitě půdních agregátů, obsahu organické hmoty, biodiverzitě půdních fondů, prostorových charakteristikách a možnosti odtoku vody (Kvítek, 2017).

3.2 Vstupní data

3.2.1 Digitální model reliéfu

Digitální model reliéfu je zobrazením neupraveného nebo lidským působením upraveného zemského povrchu v digitální podobě. Český ústav zeměměřický a katastrální nabízí DMR 4. a 5. generace.

Digitální model reliéfu 4. generace je vytvořen na základě dat z leteckého laserového skenování, při kterém vznikají body jednotlivých odrazů laserových paprsků. Základní data následně projdou procesem robustní filtrace, kdy se separují laserové paprsky, které dopadly až na terén, dále vegetaci, stavby a výškové překážky leteckého provozu. V místech, kde paprsky nedopadají na samotný reliéf se vybírají tzv. uzlové body. Proces vybírání uzlových bodů probíhá, tak že jednotlivé oblasti se berou po čtvercích o rozměrech 5 x 5 m a je vybrán bod s nejnižší výškou. Následně dochází k interpolaci bodů z nepravidelné sítě (5 x 5 m) do sítě pravidelné (5 x 5 m). Vzniká tak zobrazení výšek diskrétních bodů v pravidelné síti (5x5 m) o souřadnicích X, Y, H, kde H představuje nadmořskou výšku s úplnou střední chybou 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu (Brázdil a kol. 2016a).

Digitální model reliéfu 5. generace je tvořen stejně jako DMR 4. generace na základě dat z leteckého skenování. Stejně tak data prochází robustní filtrací. Změna přichází ve vybírání uzlových bodů. Výběr bodů je rozdělen do dvou kategorií, a to výběr v zemědělsky obhospodařovaných oblastech a výběr v ostatních areálech. Při výběru v zemědělsky obhospodařovaných oblastech se jedná o plochy s body na nízké vegetaci, které byly nesprávně zařazeny do kategorie reliéf. Zde se používají pro výběr opět body s nejnižší výškou ve čtvercích 5 x 5 m jako tomu je u DMR 4. generace. V případě výběru v ostatních oblastech se používají čtverce o velikosti 1 x 1 m. Následně je ještě model zjednodušen pomocí metody, kdy se odstraňují nadbytečné body a upravuje výška, avšak maximálně o 0,16 m. Pro toto zobrazení se používá forma diskrétních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN), tedy pomocí tří bodů o souřadnicích X, Y, H, kde H představuje nadmořskou výšku s úplnou střední chybou 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu (Brázdil a kol. 2016b).

V angličtině je používáno termínu Digital Terrain Model (DTM), tedy v češtině Digitální model reliéfu (DMR) (Pacina, Brejcha, 2014).

3.2.2 CORINE Land Cover

Data CORINE Land Cover poskytují informace o biofyzikálních charakteristikách zemského povrchu už od roku 1990. Hlavním zdrojem dat pro odvození informací o krajinném pokryvu a využití půdy, jsou snímky z družic pro pozorování země. Pro CLC vytvářejí databázi dat národní týmy pro vlastní zemi a

data jsou následně integrována na evropské úrovni. Vytváření CLC 2012 se zúčastnilo 39 Evropských zemí (Copernicus, 2017a).

3.2.3 Urban Atlas

Urban Atlas jsou mapová data poskytující informace o krajinném pokryvu a využití půdy ve městech a jejich okolí. Zdroje těchto dat jsou založeny na kombinaci klasifikace a vizuální interpretaci satelitních snímků s velmi vysokým rozlišením. Databáze dat Urban Atlasu je tvořena 700 větších měst a jejich okolí v zemích Evropské unie (Copernicus, 2017b).

Pro účely práce byl využita upravená klasifikace tříd land use / land cover (LULC) dle studie (Geletič, 2019), která kombinuje výhody metodiky UrbanAtlas 2012 a tzv. místních klimatických zón (LCZ).

3.2.4 Vodní toky – jemné úseky

Vodní toky – jemné úseky je mapový podklad z katalogu digitální báze vodohospodářských dat obsahující část přirozeného nebo umělého toku, které odvádí vodu do páteřních toků z přilehlého povodí (DIBAVOD, 2020).

3.2.5 Vodní nádrže

Vodní nádrže je mapový podklad z katalogu digitální báze vodohospodářských dat. Jedná se o vodní útvar vzniklý akumulací vody v uměle vytvořeném prostředí nebo v přírodní prohlubni na zemském povrchu, ve kterém se zadržuje nebo zpomaluje odtok vody z povodí. Patří do nich tedy umělé vodní nádrže (rybník, přehradní nádrž) a přirozená nádrž (jezero) (DIBAVOD, 2020).

3.3 Hydrologická analýza v prostředí GIS

Využití GIS pro analýzu dokáže získávat, posuzovat a uchovávat velké množství dat o reliéfu a vytvářet tak náročné prostorové analýzy. Je ale zapotřebí rozumět jednotlivým krokům, základním pracím s daty a prostorovým operacím. Pro zpracování hydrologické analýzy je potřeba zvolit vhodný datový model, a to vektorový nebo rastrový datový model (DMR). Pro rastrový model je postup následující. První je úprava vstupního digitálního modelu reliéfu vyplněním jeho bezodtokových terénních depresí, následuje výpočet rastru směrů odtoku z něj je spočten rastr akumulace vody. Na základě vyhodnocené akumulace vody

prahováním vzniká rastr soustředěného odtoku. Výsledkem analýzy je vymezení povodí námi vybraných vodních toků ke zvoleným uzávěrovým profilům nebo kritickým bodům v území. V případě vektorového modelu nedochází k vymezování drah soustředěného odtoku pomocí rastru akumulace odtoku, ale pouze převedením vektorových linií. Výsledky variant mohou být rozdílné, vždy záleží na kvalitě a podrobnosti vstupních dat a také na účelu využití výsledku. (Jedlička, Mentlík, 2002).

Já jsem pro hydrologickou analýzu použil rastrový model. Analýza v mé práci slouží k určení erozně rizikových míst a bezodtokových oblastí na zemědělské půdě.

3.3.1 Vyplnění bezodtokových oblastí

Vyplnění bezodtokových oblastí je proces, při kterém dochází k zaplnění míst kde se zadržuje voda a nemá kam odtéct. Existují dvě metody pro tento proces.

První metoda vyhledává jednotlivá místa a následně je eliminuje. Proces tedy upravuje původní sadu dat DMR, kde jsou veškeré buňky srovnané svisle, vodorovně nebo úhlopříčně (čtvercová struktura buněk rastru), na bezdepresivní tak, aby jednotlivé buňky byly součástí jedné klesající cesty. Upravované hodnoty nadmořské výšky buňky DMR jsou vždy snižené na okraj nejvyšší nebo zvýšené na okraj nejnižší hodnoty nadmořské výšky na okraji deprese (Jenson, Domingue, 1988).

V druhé metodě je původní sada dat DMR upravována na bezdepresivní, takže se nejprve povrch zaplní silnou vrstvou vody a následně je přebytečná voda odstraněna. V této metodě lze prohlubně zaplnit buď povrchem vodorovným, nebo mírně sklonitým. Zde je celkový proces vyplnění bezodtokových oblastí méně náročný z hlediska času (Planchon, Darboux, 2001).

3.3.2 Směr odtoku

Funkce už podle názvu určuje směr odtoku, a to na základě výškopisu. Přesněji vytváří datovou sadu, ve které stanovuje směr odtoku z jednotlivých buněk, tedy jakým směrem a do jaké buňky bude voda odtékat. Jedná se o zásadní krok celé hydrologické analýzy.

Odtokové algoritmy se dělí podle různých přístupů distribuce toku po povrchu. Jedna skupina metod je spojena s možností proudění vody mezi

čtvercovými buňkami DMR, takže odtok je omezen na osm možných směrů (násobků 45°) (O'Callaghan a kol. 1984; Fairfield a ko. 1991; Lea a kol. 1992), zatímco druhá skupina metod umožňuje volné proudění vody do libovolného směru bez omezení (Lea a kol. 1992; Costa-Cabral a kol.1994; Tarboton, 1997). Jiné dělení rozlišuje odtokové algoritmy na jednosměrné a vícesměrné. Ty jednosměrné umožňují odtok vody právě jedním směrem, takže z každé buňky voda odtéká pouze do jedné sousední buňky (O'Callaghan a kol. 1984; Fairfield a kol. 1991; Lea a kol. 1992). Vícesměrné algoritmy umožňují roztékání vody do více okolních buněk, a tedy větvení odtokových cest (Quinn a kol. 1991; Freeman a kol. 1991; Costa-Cabral a kol. 1994; Tarboton, 1997; Seibert a kol. 2007).

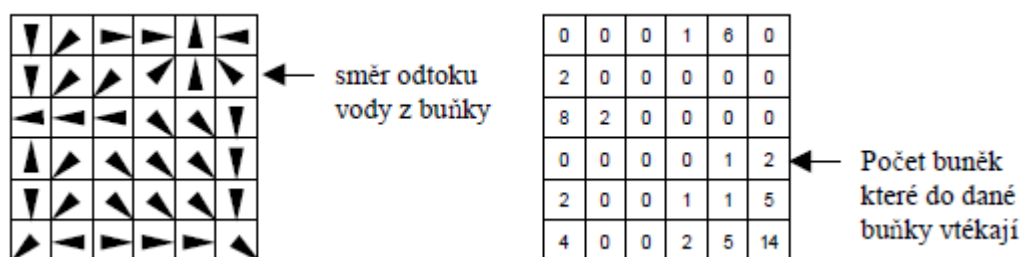
V praxi je nejvyžívanější jednosměrný algoritmus D8, který je nejjednodušší a který představili O'Callaghan a Mark (1984). Nástroj pracuje tak aby směr odtoku odpovídal orientaci jedné z osmi buněk, které obklopují řešenou buňku (Jenson, a další, 1988). Výpočet směru odtoku probíhá na základě principu posuvného okna o velikosti 3 x 3 buňky. V tomto okně se určuje buňka s nejnižší hodnotou nadmořské výšky je tomu v Obrázku 1. Směr odtoku je přiřazen buňkám po dokončení procesu posuvného okna na všech buňkách rastru (Jedlička, Štych, 2007).



Obrázek 1: Princip výpočtu směru odtoku (Jedlička, Mentlík, 2002)

3.3.3 Soustředění odtoku

Nástroj pro určení soustředěného odtoku navazuje a využívá datovou sadu směru odtoku. Stanovuje hodnoty pro jednotlivé buňky, kde hodnota odpovídá počtu buněk, které do ní proudí (viz Obr. 2). Pokud do buňky vtéká určité procento buněk je následně označena jako vodní toku. (Jenson, Domingue, 1988).



Obrázek 2: Princip výpočtu akumulace vody (Jedlička, Mentlík, 2002)

3.3.4 Svažitosť terénu

Při procesu výpočtu svažitosti terénu se používají vstupní data v podobě výškopisu, který udává výšku jednotlivé buňky. Sklon je určován ve stupních nebo v procentech. Výpočet sklonu se provádí mezi sousedícími buňkami v šachovnicovém prostředí, pomocí vzorce, kde známe vzdálenost středů sousedících buněk a jejich výškový rozdíl. Sklon v šachovnicovém okolí buňky ve všech směrech je zprůměrován pomocí techniky průměrného maxima. Je tedy do buněk ukládána hodnota směru největšího sklonu stejně jako to je u směru odtoku (Jedlička, Mentlík, 2002).

3.3.5 Vymezení povodí

Funkce sloužící pro vymezení sběrné oblasti povodí ke stanovenému bodu na odtokové cestě. Nejdříve se určí podmínky pro závěrový bod, tedy pro takový bod, pro který se vymezuje sběrná oblast povodí. Určují se podmínky, zda má být vymezeno povodí či ne a zda má být bod přichycen k nejbližší linii představující tok nebo ne. Po zadání všech bodů dochází k samotnému vymezení povodí pro dané body (Jedlička, Štych, 2007).

3.4 Návrhy opatření v krajině

Jedná se o ochranu proti vodní erozi na zemědělské půdě, která je největším důsledkem vodní eroze u nás. Hlavním úkolem protierozního opatření je zabránit nežádoucímu působení eroze, ochraňovat půdu a zabraňovat znečištění vod (Tlapák a kol. 1992).

Máme tři skupiny protierozního opatření (Novotný a kol. 2017).

Opatření organizační:

- Optimální tvar a velikost pozemku, dílu půdního bloku nebo parcely
- Správné umístění pěstovaných plodin a ochranné zatravnění
- Pásové střídání plodin

Agrotechnická opatření:

- Setí po vrstevnici, ochranné obdělávání
- Hrázkování, důlkování, plečkování, dlátování a podrývání
- Setí kukuřice do úzkého řádku a pásové zpracování půdy

Technická opatření:

- Příkopy, průlehy, ochranné hrádky a nádrže
- Terénní urovnávky, terasy, protierozní meze
- Polní cesty s protierozní funkcí
- Zatravněné údolnice se stabilizovanou drahou odtoku

3.4.1 Opatření organizační

Základní organizační opatření je situování pozemku, a to delší stranou pozemku ve směru vrstevnic.

Optimální tvar a velikost pozemku

Velikost pozemku je vytvářena na základě dvou protichůdných skupin faktorů. Jedná se o tzv. faktory přírodní, které iniciují k vytváření menších půdních celků a faktory ekonomické, které naopak upřednostňují tvorbu větších pozemků (Janeček a kol. 2012).

Správné umístění pěstovaných plodin a ochranné zatravnění

Za vhodné neboli správné umístění pěstovaných plodin se považuje pěstování erozně nebezpečných plodin na neohrožených, nebo mírně ohrožených dílech půdních bloků a erozních parcelách. V této souvislosti na silně ohrožených plochách, pásech podél břehů apod., by mělo být navrženo ochranné zatravnění. Ochranné travní porosty zvyšují drsnost povrchu, zlepšují zachycování smyté zeminy a zpomalení povrchového odtoku. V případě ochranné funkce by šířka travního pásu měla být minimálně 6 m (Novotný a kol. 2017).

Pásové střídání plodin

Pásové střídání plodin slouží k omezení ztrát půdy erozí. A to tak, že se střídají pásy chránící půdu a pásy plodin s nízkou proti erozní účinností. Šířka těchto pásů je závislá na délce a sklonu svahu, propustnosti půdy a na síle ohroženosti erozí. Doporučená šířka pásů je od 20 do 40 m v závislosti na sklonu svahu. Jejich počet pak závisí na délce svahu (Janeček a kol. 2012).

3.4.2 Agrotechnická opatření

Při obdělávání svažité půdy, je nutné dodržovat směr po vrstevnicích, nebo směr blízký vrstevnicím a klopení skýv proti svahu. Tyto způsoby snižují škody vodní eroze. Klopení v obou směrech umožňují oboustranné otočné pluhy (Janeček a kol. 2012).

Setí po vrstevnici, ochranné obdělávání

Ochranné obdělávání spočívá v uchování co největšího množství zbytků meziplodin a vytvářením mulče na povrchu orné půdy, aby docházelo k přirozenému vývoji půdy (Novotný a kol. 2017).

Hrázkování a důlkování

Účelem hrázkování meziřadí a důlkování povrchu půdy je zabránit vzniku povrchového odtoku, vytvoření malých akumulčních prvků, které zadržují vodu přímo na pozemku. Při hrázkování se jedná o založení hrázek v meziřadí u širokořádkových plodin, čímž vzniknou malé akumulční příkopy. Důlkování lze použít u všech širokořádkových plodin a v jejich případě jsou samotné důlky akumulčním prvkem (Podhrázká, Dufková, 2005).

Plečkování, dlátování a podrývání

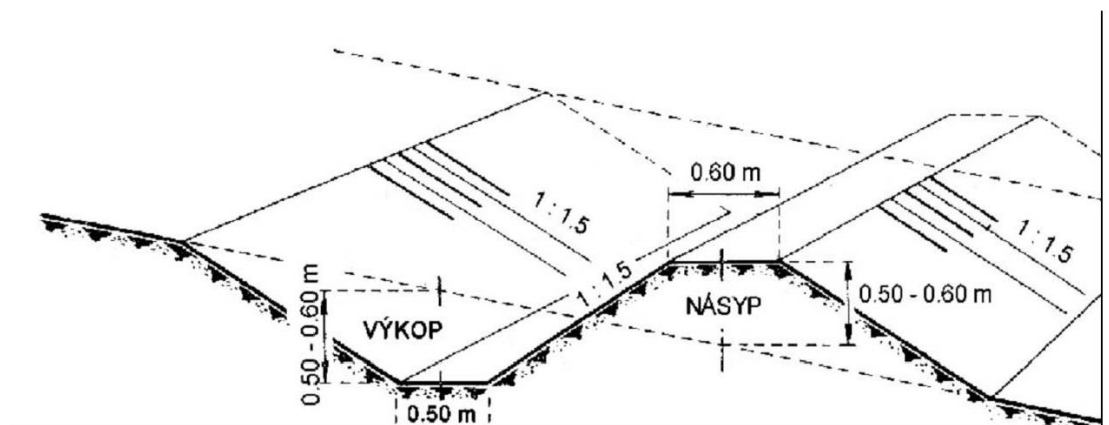
Plečkování je meziřádková kultivace, používaná u širokořádkových plodin, která slouží jako zpomalení povrchového odtoku pomocí nakypřené vrstvy půdy. Dlátování neboli hloubkové kypření používané převážně u cukrové řepy je stejně jako u plečkování kultivace meziřadí rostlin. S rozdílem vyššího efektu zabraňování povrchového odtoku. Podrývání je v podstatě velmi hluboké kypření půdy při minimálním narušení jejího povrchu. Podrývání snižuje riziko vodní eroze, díky zlepšení infiltračních vlastností půdy a snížení jejího zhutnění (Novotný a kol. 2017).

3.4.3 Technická opatření

Na technické protierozní opatření dochází tehdy, pokud nelze dosáhnout dostatečné protierozní ochrany organizačními a agrotechnickými opatřeními. Na rozdíl od ostatních skupin protierozních opatření u technického je jistota stále účinnosti proti erozi. Prvky technického opatření jsou trvalou překážkou rozdělující příliš velké délky svahů, omezující škodlivé působení povrchových vod a navrhovány i tak, aby udávali směr obdělávání pozemků (Janeček a kol. 2007).

Protierozní příkopy

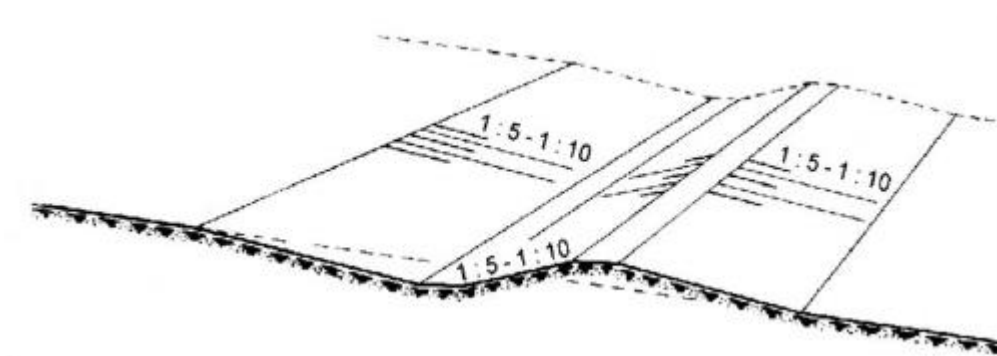
Protierozní příkopy jsou liniové prvky se zpevněným nebo nezpevněným povrchem nejčastěji lichoběžníkového profilu. Slouží k zachycování vody a ochraně zemědělských ploch, zastavěného území a vodních útvarů. V případě zemědělských ploch jsou příkopy dimenzovány minimálně na 5letou dobu opakování srážek. V případě ostatních zmíněných prvků se jedná zpravidla o dobu 10-50, výjimečně 100 let. Jsou tři druhy příkopů, příkop záchytný, sběrný a svodný. Záchytný příkop se umísťuje nad zájmový pozemek a slouží k zabraňování přítoku vnějších vod na pozemek. Jeho úkolem je tedy zachytit cizí vodu a odvést mimo zájmový pozemek. Příkop sběrný je budován přímo na zemědělském pozemku a slouží ke zkrácení délky povrchového odtoku, tak aby nebyla překročena přípustná ztráta půdy. Poslední příkop svodný zachycuje a svádí vodu mimo zájmový pozemek a slouží jako recipient příkopům záchytným a sběrným. Do příkopu může být připojeno až několik příkopů záchytných a sběrných, a proto je jeho dimenze větší. Díky většímu sklonu příkopu jsou příkopy zpravidla zpevněny například pomocí betonových žlabovek (Novotný a kol. 2017).



Obrázek 3: Příčný řez záchytným příkopem (Janeček a kol. 2007)

Protierozní průlehy

Protierozní průlehy se funkcí od příkopů zásadně neliší. Hlavními rozdíly mezi průlehy a příkopy, jsou jejich rozměry. Průlehy jsou oproti příkopu mělké a mají menší sklo tak, aby byl přejezdný a popřípadě i obdělávatelný (Novotný a kol. 2017).



Obrázek 4: Příčný řez záchytným průlehem (Janeček a kol. 2007)

Ochranné hrázky

Protierozní hrázky jsou umístovány na úpatí svahů a zemědělského pozemku k ochraně objektů před zatopením a zanesením příčinou eroze. Hrázky jsou budovány ve směru vrstevnic 1 m až 1,5 m vysoké a musí být vybaveny vypouštěcím zařízením, který zajistí odtok vody (Janeček a kol. 2012).



Obrázek 5: Příčný řez protierozní hrázkou (Janeček a kol. 2012)

Ochranné nádrže

Ochranné retenční nádrže slouží k zadržování velkého množství vody, a tím chrání níže položené území před negativním účinkem vodní eroze. Nádrže se převážně umísťují v horních oblastech povodí. Pokud je nádrž naplněna voda je pozvolně vypouštěna, tak aby nádrž mohla vždy zachytit povodňovou vlnu. Jestli že

nádrže zadržují celé průtoky poměrně čisté vody, plní funkci protipovodňovou. Pokud odstraňují z vody sedimentací splaveniny, plní i funkci záchytnou. Záchytné nádrže mohou být jak dočasným, tak trvalým opatřením. Dočasná opatření se po zanesení již neobnovují, a naopak u trvalých se při návrhu musí počítat s přístupem mechanizace k odstranění jejich nánosů (Pasák a kol. 1984).

Terenní urovnávky

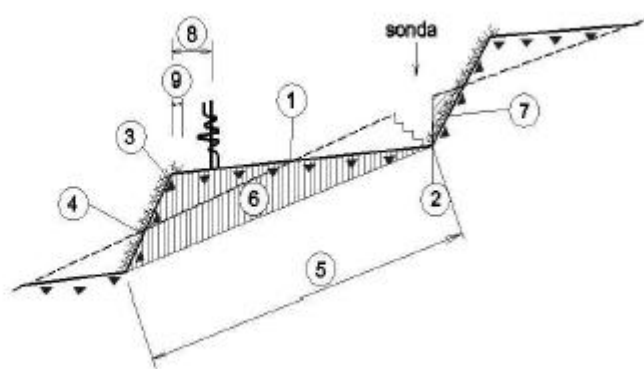
Jedná se především o odstranění nerovností a terénních útvarů, které zásadně ovlivňují trasování a soustřeďování povrchového odtoku. Neběžněji se jedná o odstraňování mělkých údolnic na pozemcích (Novotný a kol. 2017).

Terasy

Terasování je jednou z variant protierozních opatření využitelných na extrémě svažitéch pozemcích o sklonu $> 20\%$ s podmínkou hluboké až velmi hluboké půdy. Terasování se využívá k vytvoření podmínek pro zemědělské využití svažitých pozemků. Navrhují se terasy úzké o šířce umožňující výsadbu 1 nebo 2 řad ovocných stromů nebo vinné révy. A nebo terasy široké umožňující výsadbu 3 a více řad, popřípadě pěstování jiných plodin. Budují se terasy zemní, kdy terasy mají svah zpevněn vegetací a nebo terasy s opěrnými zdmi při sklonu pozemku nad 30% (Janeček a kol. 2007).

Legenda ke schématu:

- (1)=terasová plošina (T_p)
- (2)=pata terasy (P_t)
- (3)=hrana terasy (H_t)
- (4)=svah terasy (S_t)
- (5)=rozchod teras (R_t)
- (6)=tělo terasy
- (7)=narušený půdní profil (h)
- (8)=okraj terasy (O_t)
- (9)=okrajový pás (O_p)

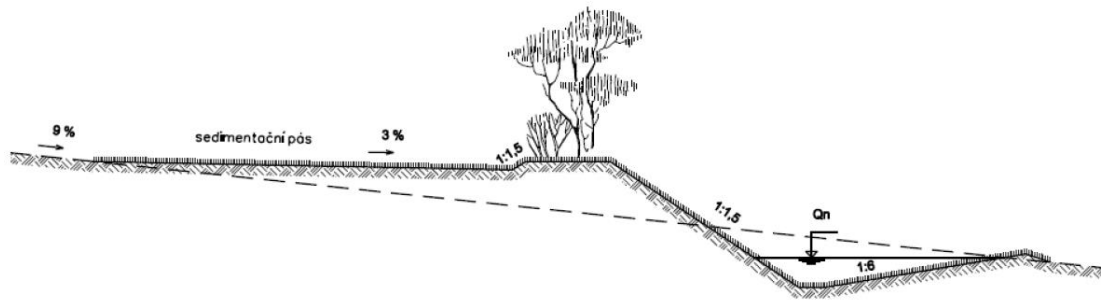


Obrázek 6: Schéma uspořádání zemních teras (Janeček a kol. 2012)

Protierozní meze

Protierozní meze jsou často budovány s průlehy ve spodní části, nebo bez průlehu jako bezodtokové. Pro nejvyšší účinnost by jejich návrhy měly být složeny

ze tří částí: zasakovacího pásu nad mezí, vlastního tělesa meze a odváděcího průlehu pod mezí. V této formě se meze stávají trvalou překážkou povrchového odtoku. Kromě funkce protierozní slouží meze krajinně z estetického hlediska a pro migraci zvěře, díky umístěným porostům na tělesu meze. Meze vytváří problém v případě přejezdu, proto se při potřebě přejíždění navrhuje vynechávky mezí a ponechává se jen průlehy, který je možný přejet (Podhrázská, Dufková, 2005).



Obrázek 7: Příčný řez protierozní meze (Janeček a kol. 2012)

Polní cesty s protierozní funkcí

Jedná se o kombinované protierozní opatření. Cesty jsou navrhovány v přibližném směru vrstevnic a slouží k rozdělení příliš dlouhého a erozně ohroženého svahu. Opatření je kombinované, protože na straně směrem ke svahu jsou cesty doplněny o cestní příkopy, které slouží k odvodnění cesty a zároveň slouží k zachycení povrchového odtoku. Přilehlé příkopy jsou navrhovány jako protierozní příkopy s požadavky odpovídající cestním příkopům. Problémové místo vzniká při křížení cesty a údolnice, kde může vzniknout bezodtoková oblast. To je řešeno návrhem propustky a odvodem vody údolnicí (Novotný a kol. 2017).

Zatravněné údolnice se stabilizovanou drahou odtoku

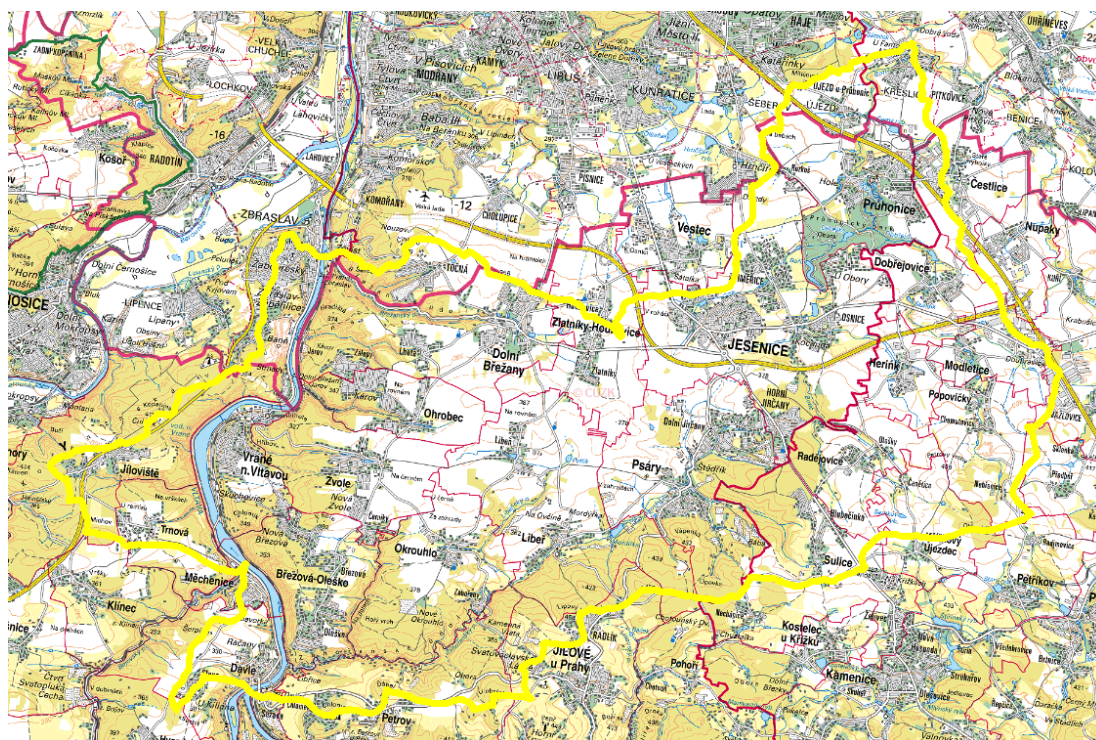
Údolnice jsou v tomto případě místem, kde úmyslně vzniká dráha soustředěného odtoku. Mohou soustřeďovat a odvádět odtok povrchové vody z přilehlých pozemků, nebo odvádět vodu z příkopů či průlehy. Údolnice je zpevněna pouze trvalým drnem, který by měl být pravidelně sečen a udržován (Novotný a kol. 2017).

4. Metodika

V metodické části se seznámíme s řešeným územím a pracovním postupem hydrologické analýzy v prostředí GIS, tedy jak přesně byla využita vstupní data k stanovení erozně rizikových míst a následně k proces návrhu opatření.

4.1 Zájmové území

Pro praktickou část bylo vybráno území Dolnobřežanska u Prahy. Území se nachází jižně od hlavního města Prahy. Řešené území se rozkládá na ploše téměř 154 km². Nejhlavnějším vodním prvkem ležícím v území je řeka Vltava, která leží při západní hranici území. Mapový výstup zájmového území nalezne v příloze č. 1 a na Obr. 8.

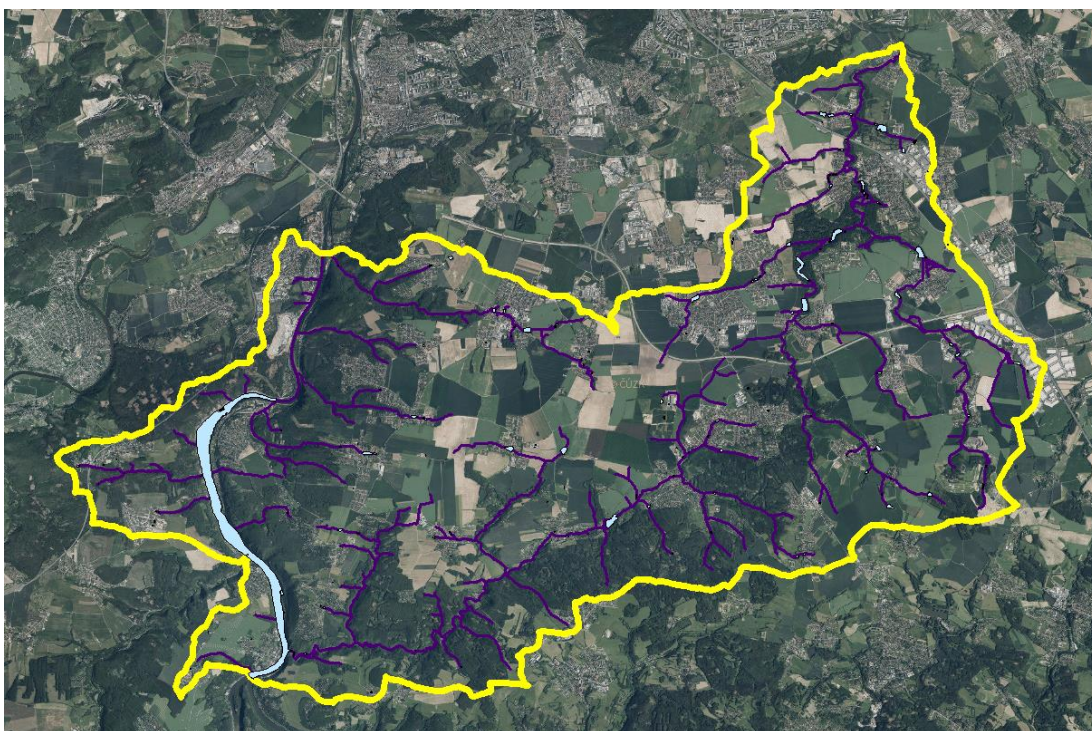


Obrázek 8: Základní mapa zájmového území

Zájmového území je tvořeno mírně zvlněnou kulturní krajinou s nahodilým osídlením, převážně intenzivním zemědělstvím, lesními porosty. Na území převažují zemědělské plochy. Druhý největší rozmach mají lesní ploch, které se zemědělskými plochy zabírají většinou část území.

V zájmovém území se nachází řada významných toků sítě vodních toků je znázorněno v obr. 9. Nejvýznamnější je již zmíněná řeka Vltava protékající územím a je jedinou řekou v rámci řešeného území. U zbylých významných vodních toků se

jedná o potoky. Jedním ze dvou nejvýznamnějších je potok Botič proudící na východní straně území, do kterého se vlévají další dva menší potoky Dobřejovický a Jesenický. Sám potok Botič se vlévá do řeky Vltavy, ale mimo zájmové území. Druhým nejvýznamnějším potokem je Záhořanský potok tekoucí na severní straně území s vyústěním do Vltavy. Vyústění potoka je v rámci řešeného území. Do Záhořanského se také vlévají dva menší potoky, a to potok Libeňský a potok Sulický. Posledním významnějším potokem ležícím na řešeném území je potok Břežanský, který také ústí na zájmovém území do řeky Vltavy jako tomu je u potoka Záhořanského. Všechny tyto zmíněné potoky pramení v zájmovém území a jsou doplňovány menšími ne tak významnými vodními toky. Mapový výstup nalezneme v příloze č. 2 a na Obr. 9.



Obrázek 9: Mapa vodních toků a nádrží zájmového území

4.2 Hydrologická analýza

V rámci hydrologické analýzy jsou popsány jednotlivé kroky postupu, prováděné v programu ArcGIS. Na vyhotovené povodí navazují rámcové návrhy protierozních opatření.

4.2.1 Příprava souborů

Před samotným tvořením jednotlivých částí hydrologické analýzy, je třeba udělat několik prvotních kroků. Po nahrání jednotlivých dat a nastavení místa pro ukládání souborů je důležitým krokem nastavení souřadnicového systému, který se používá pro celé území ČR, a to je S-JTSK Krovak EastNorth (Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální).

4.2.2 Vyplnění bezodtokových oblastí (funkce Fill)

Základní vstupní datová vrstva pro vytvoření hydrologické analýzy je digitální model reliéfu v našem případě 5. generace neboli DMR 5G. Tento model obsahuje bezodtokové oblasti neboli deprese, je ho tedy potřeba upravit. Pomocí funkce **Fill** (vyplnit) se těchto oblastí zbavíme, a to jejich vyplněním. Nová datová vrstva nese tedy označení *dmr_fill*.

4.2.3 Vytyčení kritických bodů

Kritické body jsou erozně nebezpečná místa, kde dochází ke střetu soustředěného odtoku povrchových vod a intravilánu.

Při vytyčení kritických bodů již pracujeme s upraveným modelem reliéfu. Funkce **Flow direction** nám po vložení *dmr_fill* určí, jak se voda pohybuje po povrchu a jakým směrem. Přesně určuje směr odtoku z jednotlivé buňky do buňky další do té doby, než není analýza kompletní. Je tedy vytvořena vrstva směru odtoku s názvem *fd_*.

Na základě analýzy odtoku se vygeneruje datová vrstva soustředěného odtoku (*fa_*) pomocí funkce **Flow accumulation**. Před dalším krokem je potřeba vrstvu soustředěného odtoku upravit, a to pomocí funkce **Reclassify** a tím eliminovat buňky se zanedbatelně nízkými hodnotami akumulace, kde nedochází k soustředěnému odtoku a kde tedy nelze předpokládat účinky eroze. Vytváříme tak dráhy soustředěného odtoku vymezené sběrnou plochou nad 10 000 pixelů neboli nad 4 hektary (*fa_r10k*).

V následujícím kroku uděláme první vytyčení kritických bodů. Jednotlivé body budeme vytyčovat v místě vzniku vymezených drah soustředěného odtoku (*fa_r10k*) s hranicemi zastavěného území (tzn. pouze tam, kde linie soustředěného

odtoku vstupuje do zastavěného území). Hranice zastavěného území vytvoříme z podkladu Corine Land Cover, kde si v properties a následně v záložce Symbology nastavíme pouze ty plochy s kódem odpovídajícím zastavěnému území.

Posledním krokem bude zredukování takto vytyčených bodů. Eliminujeme ty body, které leží na vodních tocích, jelikož tato práce se zaměřuje především na rychlý odtok ze zemědělských ploch a na místě střetu vodního toku a zástavby lze předpokládat už vytvořená opatření. Dokončením posledního kroku vzniká první podklad neboli mapa kritických bodů pro návrh protierozních opatření.

4.2.4 Vymezení sběrné oblasti pro kritické body

Pro námi vytyčené kritické body se vymezí sběrné oblasti určující míru ohroženosti erozí na základě jejich vlastností (rozloha, max. sklon, průměrný sklon). Sběrné oblasti se vymezí pomocí funkce **Watershed** do které vkládáme vrstvu směru odtoku a vrstvu našich vytyčených kritických bodů. Vzniká vrstva *povodí*, kde ke každému bodu náleží sběrná oblast.

4.2.5 Rámcový návrh opatření na základě kritických bodů

Pro zabránění negativních účinků eroze na místech kritických bodů neboli omezení povrchového odtoku, spočívá výběr protierozních opatření především ve výskytu povrchového odtoku. Je třeba brát v potaz druh půdy na které je povrchový odtok tvořen, sklon svahu a velikost oblasti z které povrchový odtok vychází. Jedná-li se o zamezení povrchového odtoku vybírá se ze skupin agrotechnických a technických opatření. Na obdělávaných zemědělských plochách je vhodné využít návrh agrotechnických opatření jako je hrázkování a důlkování, která zamezují vzniku povrchového odtoku nebo plečkování, dlátování a podrývání, které plní funkci zpomalování povrchového odtoku. V oblastech, kde agrotechnická opatření nejsou dostačující nebo v oblastech půdy bez zemědělských plodin dochází na technická opatření. Pro účel zamezení povrchového odtoku nebo jeho usměrnění slouží protierozní příkopy, průlehy, meze, hrázky, zatravněné údolnice, ochranné nádrže a polní cesty s protierozní funkcí.

4.2.6 Identifikace bezodtokových oblastí

Bezodtokové oblasti jsou místa, kde se na povrchu usazuje voda a nemá kam dále odtéct. Bezodtokové oblasti se stávají řešeným problémem, když se nacházejí na zemědělské půdě.

Nejprve si vytvoříme základní datovou vrstvu pro zjištění bezodtokových oblastí, a to pomocí už zmíněné datové vrstvy *dmr5g* a její upravené verze *fill_*, kde jsme tyto oblasti zaplnili. Tyto dvě vrstvy od sebe odečteme pomocí funkce **minus**. V našem případě byl odečten surový DMR5G od upraveného DMR, tj. *fill_*, kdy výsledné kladné hodnoty implikují vyplněné prohlubně (v metrech). Tímto procesem vytvoříme vrstvu *dmr_minus*.

Vytvořená vrstva *dmr_minus* je rastr, kde jsou buňky s hodnotami, které definují hloubky nalezených terénních depresí (prohlubní), které jsou odstínem barvy odlišeny na základě jejich hloubek. Pro další práci je potřeba tento rastr převést na polygon. Dříve než budeme vůbec moci rastr převést jej musíme reklasifikovat. Je potřeba převést vytvořený rastr, kde mají buňky spojitě spektrum hodnot na rastr s hodnotami buněk rozdělených do tříd hloubek terénních depresí, a to pomocí funkce **Reclassify**. Vzniká tedy nový rastr s názvem *Reclass_dmr*. Tento rastr už můžeme převést na polygon, jednoduše funkcí **Raster to Polygon**. Máme tak polygon *re_dmr_polygon* se všemi významnými bezodtokovými oblastmi na našem území. Veškeré vygenerované terénní deprese jsou podstatné, ale v rámci naší analýzy a našeho území se zabýváme pouze těmi většími. Proto stanovíme kritérium velikosti pro výběr významných bezodtokových oblastí, a to nad 1000 m². Vytvoříme tedy novou vrstvu z vybraných ploch a exportujeme jako nový shapefile *re_dmr_p1000*.

Nyní se z takto vybraných ploch musí odseparovat vodní nádrže, které mohou být součástí terénních depresí, ale logicky se nepočítají do rizikových bezodtokových oblastí. Tedy odečteme od *re_dmr_p1000* vrstvu *vodni_nadrze*.

Posledním krokem pro identifikaci rizikových bezodtokových oblastí je výběr těchto depresí ležících na zemědělské půdě, protože deprese ležící např. v zalesněném území ničemu nevadí. Plochy zemědělské půdy jsou vymezeny ve vstupních datech Urban Atlas, kde zemědělská půda odpovídá kódu 21000. Proto vytvoříme její výběr opět pomocí **Select By Attributes**. Následně funkcí **Clip**, kam vkládáme stávající bezodtokové oblasti a vrstvu Urban Atlas, stanovíme ty

bezodtokové oblasti, které leží na zemědělské půdě. Tímto vzniká finální vrstva *_bezodtok_o*.

4.2.7 Rámcový návrh opatření na základě bezodtokových oblastí

Negativní vliv vzniká při vytvoření samotné bezodtokové oblasti, kdy dochází ke ztrátě živin v půdě trvalým zamokřením. Oblasti jsou vytyčeny na zemědělských plochách, proto půdu po jejich vzniku nelze dále zemědělsky obhospodařovat. Nelze docílit samotného zamezení vzniku bezodtokových oblastí. Účelem návrhu je tedy navýšit retenční schopnost a navrátit přirozenou sukseci samotných oblastí. Návrhy opatření spočívají především ve velikosti oblasti, jednoduše řečeno čím větší oblast tím zásadnější je opatření. Jednotlivá opatření jsou tedy navrhována za účelem vytvoření přirozené retence vody. Toho lze docílit návrhy typu zamezení zemědělského obhospodařování, vytvoření trvalých travních porostů a vysazením půdních dřevin.

5. Výsledky

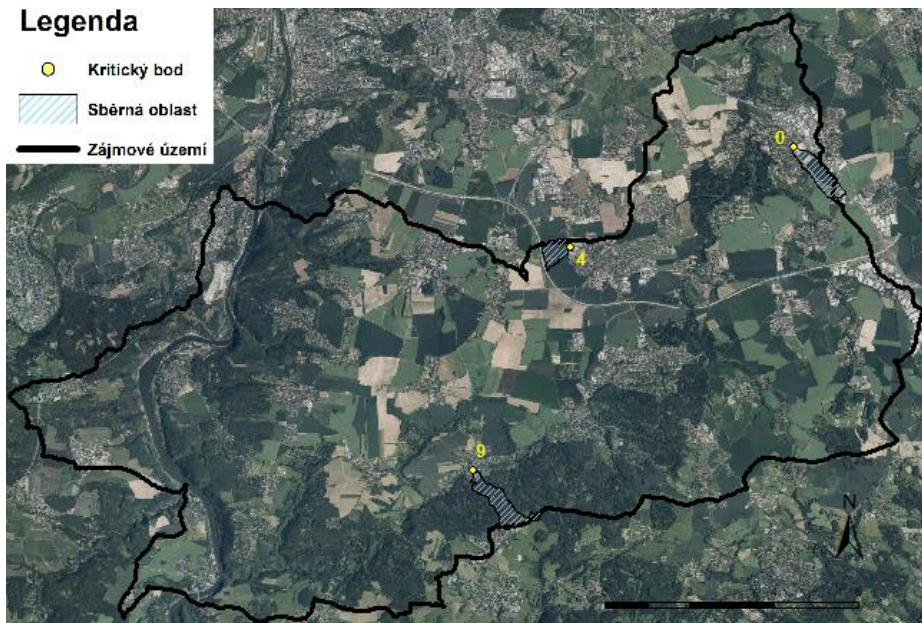
5.1 Kritické body

Vytvořený mapový výstup vytyčených kritických bodů a jejich sběrných oblastí je v příloze č. 3. Celkem bylo na území Dolnobřežanska vytyčeno 10 kritických bodů a následně k bodům byly vymezeny jejich sběrné oblasti. Zjištěné charakteristiky sběrných oblastí jsou uvedeny v tab. 1.

Tabulka 1: Charakteristika vymezených sběrných oblastí

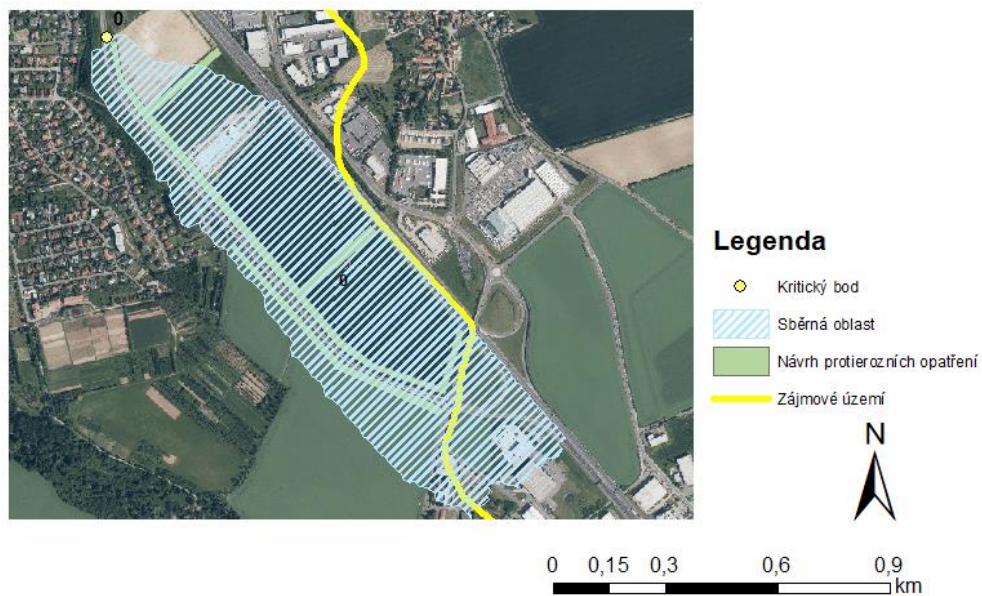
Krit. bod (FID)	Rozloha (km ²)	Max. sklon (%)	Prům. sklon (%)	STD
0	0,559	45,25	2,48	4,59
1	0,339	23,08	1,70	1,49
2	0,370	20,65	2,89	1,71
3	0,362	33,34	1,36	2,07
4	0,317	40,56	1,52	2,55
5	0,931	35,04	1,01	0,97
6	0,579	29,83	1,38	1,15
7	0,337	16,48	1,69	1,09
8	0,338	6,92	0,99	0,59
9	0,664	68,38	7,87	5,12

Na základě charakteristik sběrných oblastí byly vybrány 3 erozně nejohroženější kritické body: bod č. 0 nacházející se na kraji obce Průhonice, bod č. 4 ležící u obce Jesenice a bod 9 nacházející se u obce Libeň (viz Obr.10) pro tyto body byl vytvořen konkrétnější návrh protierozních opatření.



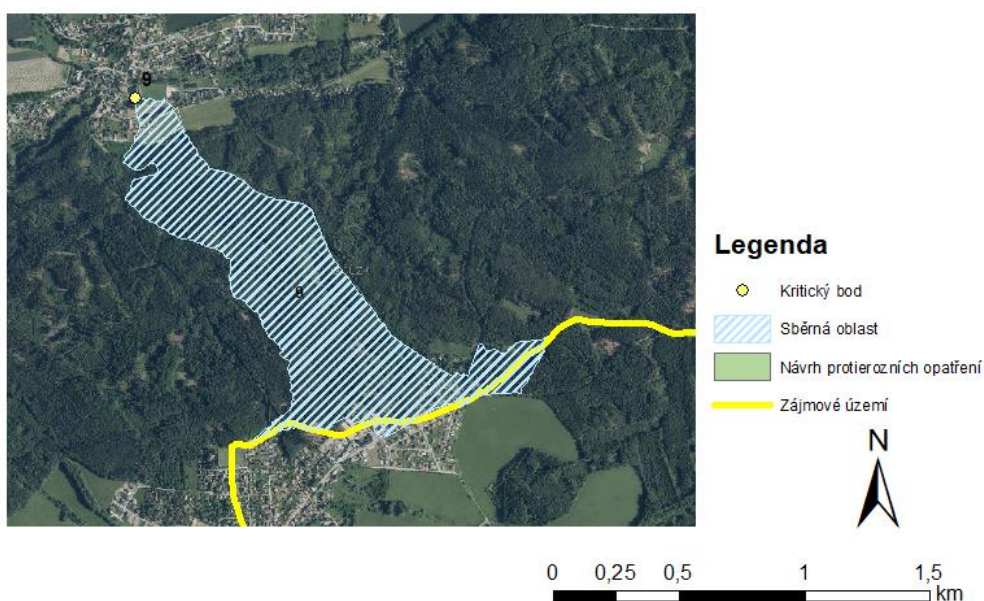
Obrázek 10: Mapa umístění kritických bodů

Sběrná oblast č. 0 je tvořena převážně zemědělskými pozemky (viz Obr. 11). V oblasti byla navržena kombinace opatření v podobě sběrných průlehů umístěných přímo na zemědělské půdě, záchytných příkopů umístěných nad hranicemi pozemků a příkopem svodným, který slouží jako recipient pro ostatní prvky. V neposlední řadě bylo navrženo plečkování nebo dlátování (závisí na druhu pěstované plodiny) při obhospodařování zemědělských pozemků.



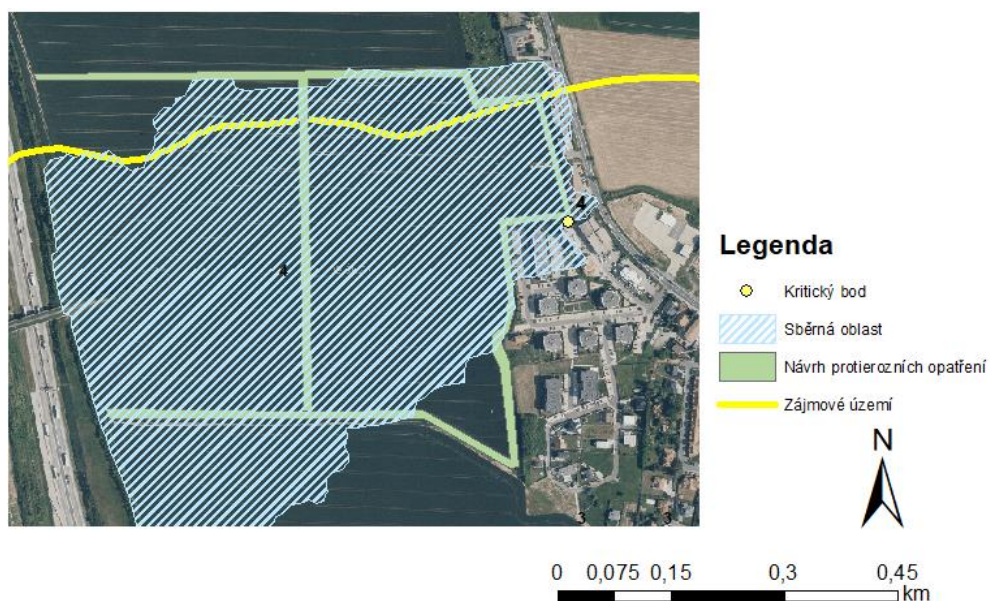
Obrázek 11: Detail kritického bodu a sběrné oblasti č. 0

Sběrná oblast č. 9 je pokryta převážně lesními porosty (viz obr. 12), tím je zmírňován povrchový odtok, a proto není tento kritický bod tolik ohrožen z hlediska eroze. I přes rozsáhlý pokryv lesního porostu s příznivou retenční funkcí lze v tomto kritickém bodě s ohledem na relativně svažité terén celé sběrné oblasti i tak předpokládat jistý potenciál pro přívalovou povodeň nebo nebezpečný zrychlený povrchový odtok při extrémnější srážkové události. Z toho důvodu je návrh opodstatněný i zde. Proto byla zde navržena kombinace záchytných příkopů na hranicích zemědělského pozemku a svodného průlehu.



Obrázek 12: Detail kritického bodu a sběrné oblasti č. 9

Sběrná oblast pro kritický bod č. 4 se celá rozkládá na zemědělské půdě. Na zemědělském pozemku byla navržena kombinace opatření v podobě sběrných průlehuů rozdělujících zemědělské plochy na menší segmenty, záchytných příkopů umístěných nad hranicemi pozemků a příkopem svodným, který slouží jako recipient pro ostatní prvky (viz obr. 13). V neposlední řadě bylo navrženo plečkování nebo dlátování (závisí na druhu pěstované plodiny) při obhospodařování zemědělských pozemků.

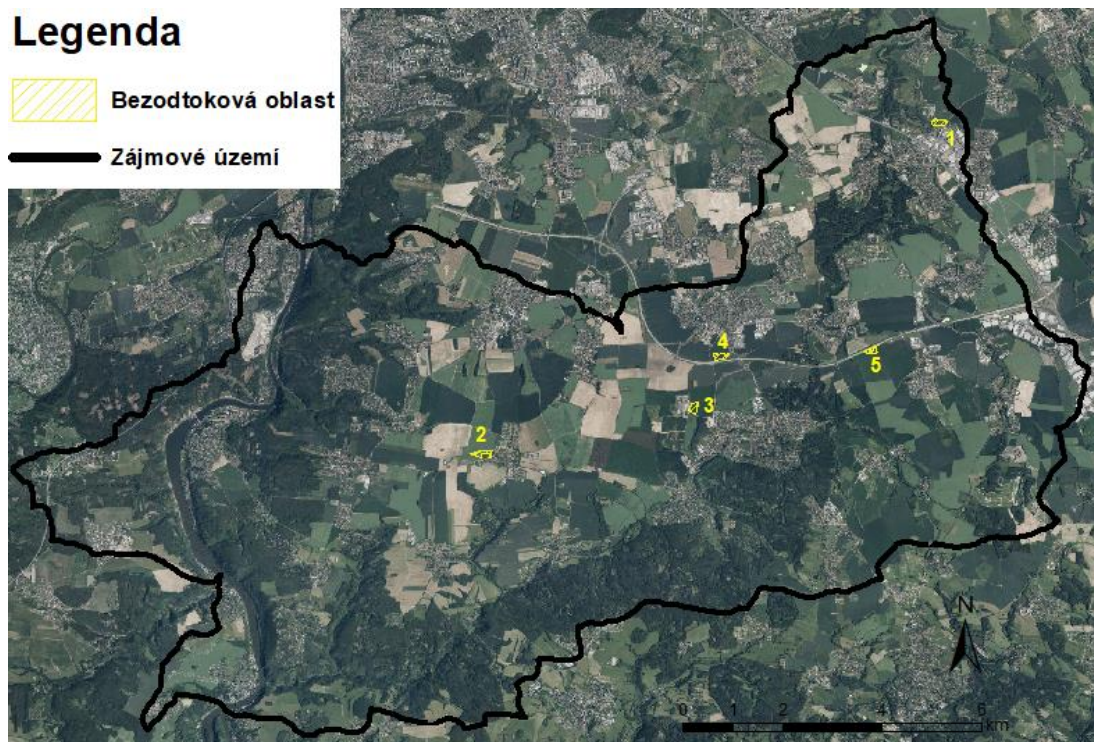


Obrázek 13: Detail kritického bodu a sběrné oblasti č. 4

5.2 Bezodtokové oblasti

Mapový výstup identifikovaných bezodtokových oblastí je v příloze č. 4. Celkově bylo zjištěno na území Dolnobřežanska 72 bezodtokových oblastí a to s velikostmi od 1035 m² do 30 989 m².

Na základě rozměrů a lokality byly vybráno 5 největších bezodtokových oblastí (viz tab. č.2 a obr. 14) pro které byla navržena konkrétnější opatření.

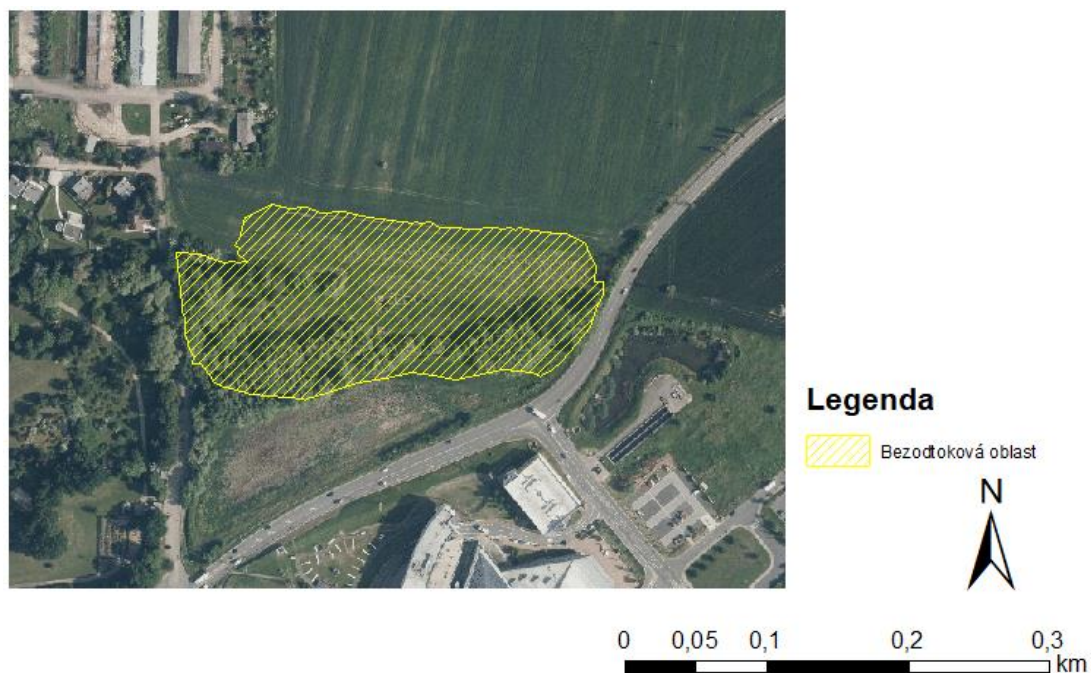


Obrázek 14: Mapa umístění vybraných bezodtokových oblastí

Tabulka 2: Vybraných bezodtokových oblastí

Ozn. bezodtokové oblasti	Plocha (m ²)
1	30 989
2	28 614
3	28 035
4	26 367
5	19 624

Bezodtoková oblast č. 1 s největším rozměrem leží většinou částí na již trvale zatravněné ploše se stromy (viz Obr. 15). Zde se tedy nejedná o tak kritickou oblast jako tomu je u oblastí ležících čistě na zemědělské půdě. Tento výsledek vychází z neaktualizovaných dat UrbanAtlas využitých pro identifikaci zemědělských ploch.



Obrázek 15: Detail bezodtokové oblasti 1

Bezodtoková oblast č. 2 s rozlohou 28 614 m² byla vymezena většinou na dvou zemědělských pozemcích s mírným výčnělkem do zástavby (viz obr. 16). Pro tuto oblast bylo navrženo opatření v podobě trvalého travního porostu s výsadbou dřevin bez zemědělského obhospodařování. Výsadba dřevin byla navržena jako liniový prvek mezi trvalým travním porostem a zemědělskou půdou.



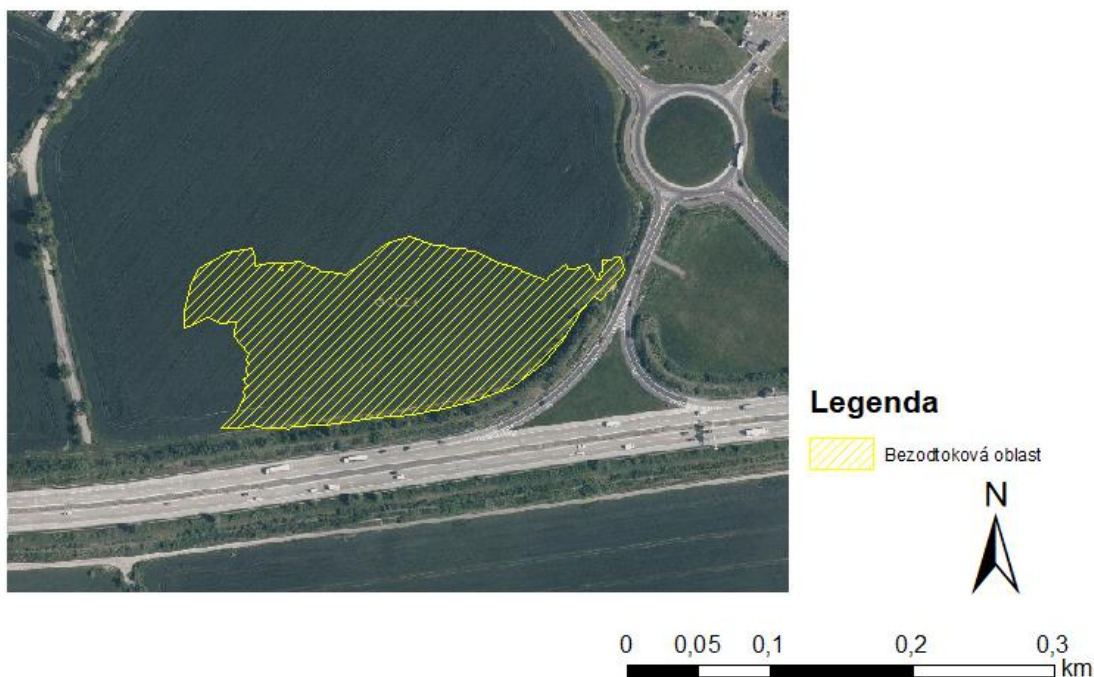
Obrázek 16: Detail bezodtokové oblasti 2

Bezdotokové oblast č. 3 s rozlohou 28 035 m², ta byla vymezena celá na zemědělské půdě (viz Obr. 17). Možný negativní projev byl eliminován návrhem trvalého travního porostu bez zemědělského obhospodařování, doplněn po celé její ploše o vysázení původních dřevin.



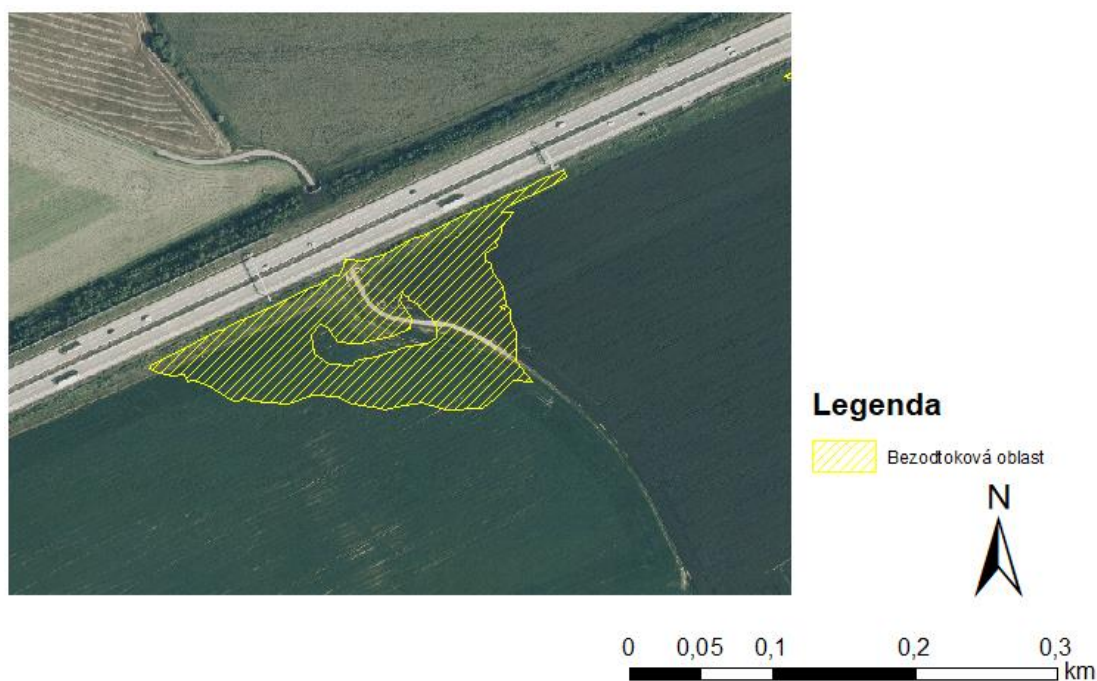
Obrázek 17: Detail bezdotokové oblasti 3

Bezdotokové oblast č. 4 s rozlohou 26 367 m² byla vymezena celá na zemědělské půdě jako tomu bylo u oblasti 3 (viz Obr. 18). Možný negativní projev intenzivního zemědělství na potenciálně zamokřené půdě byl tedy eliminován návrhem trvalého travního porostu bez zemědělského obhospodařování po celé její ploše doplněn o vysázení původních dřevin.



Obrázek 18: Detail bezodtokové oblasti 4

Bezodtoková oblast č. 5 s rozlohou 19 624 m² byla vymezena na zemědělské půdě protínající polní cestou (viz Obr. 19). Zde bylo navrženo zatravnění trvalým porostem bez zemědělského obhospodařování. Polní cesta vedoucí přes zemědělské plochy byla navržena jako protierozní polní cesta, s příkopy veducí podél ní a výsadba aleje původních dřevin jako větrolam.



Obrázek 19:Detail bezodtokové oblasti 5

6. Diskuse

Hydrologická analýza byla tvořena prostřednictvím GIS, a to konkrétně v programu ArcGIS v extenzi Spatial Analyst, poskytující procesy pro analýzu soustředěného povrchového odtoku, vymezení sběrných oblastí kritických bodů, vymezení bezodtokových oblastí a určení svažitosti terénu. Program pracuje na automatických algoritmech. Přesnost výsledků při správném postupu tedy závisí na přesnosti a aktuálnosti a na druhu vstupních dat. Pro vytvoření hydrologické analýzy je široký výběr vstupních dat. Hlavním vstupním souborem dat je model terénu. Pro práci byl zvolen digitální model reliéfu 5. generace, který je v současné době nejpodrobnějším modelem terénu v České republice, je tedy velmi přesný. DMR 5G je například oproti starší verzi DMR 4G nebo oproti dříve používanému výškopisu ZABAGED, také kvalitnější. Zvolení DMR 5G jako vstupní data je tedy vhodné, jejím použitím se snižuje zkreslení výstupů hydrologické analýzy, a tedy i zkreslení lokalizace vymezení kritických bodů. Další data jako jsou Corine Land Cover a UrbanAtlas použité pro určení pokryvu, a tedy k identifikaci zemědělských pozemků, na nichž jsou důsledky eroze a retenční schopnosti krajiny nejzásadnější, mohou také ovlivňovat přesnost výstupy samotné práce. Jejich přesnost závisí na jejich verzi.

Tvorba hydrologické analýzy doprovázela také volba jednotlivých funkcí. Například při určení směru povrchového odtoku byl použit algoritmus D8. Tento algoritmus je sice nejjednodušší a nejrychlejší, ale zároveň ne tak přesný oproti složitějším a zdouhavějším metodám uvedeným v rešeršní části práce. Volba algoritmu D8 může tedy do jisté míry ovlivnit přesnost následného vymezení drah soustředěného odtoku a jejich skutečná dráha může být situován o kousek vedle, a to vše by mohlo mít negativní vliv při následném umístění navrhovaných opatření.

V rámci návrhu protierozních opatření byla použita řada prvků k snížení nebo eliminování negativního účinku eroze. Existuje mnoho dalších protierozních opatření, které nebyla použita. Některá opatření jsou navrhována na specifických plochách, jako je tomu například u teras, která se využívají na velmi svažitých pozemcích určených pro zemědělství. Jelikož se ve vymezených oblastech žádné takovéto pozemky nenacházeli, nebylo možné je ani navrhnout.

7. Závěr

Hlavní problematikou, kterou se tato práce zabývá, je šetření vodního režimu daného území pomocí programu ArcGIS. Výsledkem práce bylo vytvoření hlavních výstupů identifikujících potenciálně nebezpečná místa z hlediska eroze a zamokření a návrhu opatření na takto vybraných místech. Prvním výstupem je lokalizace kritických bodů a jejich sběrných oblastí. Byla vytvořena mapa, kde je zobrazeno všech 10 vytyčených bodů a vymezených oblastí a následně detailnější mapy pro vybraná kritická místa. Druhým výstupem jsou mapy bezodtokových oblastí. Byla vytvořena jak mapa všech 72 bezodtokových oblastí, tak detailní mapy 5 vybraných oblastí. Hydrologická analýza na základě výstupů obsahujících hojný počet rizikových míst ukázala, že na území časem došlo ke změně vodního režimu. Pro tato kritická místa byla navržena rámcová opatření optimalizující vodní režim nebo nevhodné zemědělské hospodaření.

Výsledky této práce mohou sloužit jako podklad k případné detailní studii vodního režimu na území Dolnobřežanska, popřípadě jako základ pro aplikaci protierozních opatření nebo k podrobnějším analýzám.

Přehled literatury a použitých zdrojů

- Brázdil, Karel a kolektiv. 2016a.** Geoportál ČÚZK. [Online] 2016a.
https://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_4G.pdf.
- **2016b.** Geoportál ČÚZK. [Online] 2016b.
https://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_4G.pdf.
- Copernicus. 2017b.** Copernicus. [Online] 2017b. <https://land.copernicus.eu/user-corner/publications/ua-flyer>.
- **2017a.** Copernicus. [Online] 2017a. <https://land.copernicus.eu/user-corner/publications/clc-flyer/view>.
- Costa-Cabral, Mariza C. Stephen, Burges a J. 1994.** Digital Elevation Model Networks (DEMON): A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas. *Water Resources Research*. 1994. Sv. 30, 6, stránky 1681-1692.
- DIBAVOD. 2020.** Oddělení geografických informačních systémů a kartografie. [Online] Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, 2020.
<https://www.dibavod.cz/index.php?id=27>.
- Dub, Oto, Němec, Jaromír a kolektiv, a. 1969.** *Hydrologie*. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1969. Sv. 34.
- ESRI, Enviromental Systems Research Institute. 1990.** Understanding GIS, The ARC/INFO Method. USA : ESRI, 1990.
- Fairfield, J. a Levmarie, P. 1991.** Drainage Network From Grid Digital Elevation Models. *Water Resources Research*. 1991. Sv. 27, 5, stránky 709-717.
- Freeman a Graham, T. 1991.** Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid. *Computer & Geosciences*. 1991. Sv. 17, 3, stránky 413-422.
- Geletič, J. 2019.** Mapy s land cover klasifikací pro vybraná města, vysvětlivky s vlastnostmi klasifikovaných tříd. Adaptační výzvy měst: podpora udržitelného plánování s využitím integrované analýzy zranitelnosti. „Nepublikováno“, výsledek projektu TA ČR reg. č. TL01000238. Praha : Ústav informatiky AV ČR, 2019.
- Janeček, Miloslav a kolektiv. 2012.** Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha : Česká zemědělská univerzita Praha, Fakulta životního prostředí, 2012.

- Janeček, Miroslav a kolektiv. 2007.** Ochrana zemědělské půdy před erozí. *Metodika*. Praha : Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2007. ISBN 978-80-254-0973-2.
- Jedlička, Jan a Štych, Přemysl. 2007.** Hydrologické modelování v programu ArcGIS. místo neznámé : CITT Praha Akademie Kosmických technologií oblast Galileo, GMES, 2007.
- Jedlička, Karel a Mentlík, Pavel. 2002.** Hydrologická analýza a výpočet základních morfometrických. Ústí nad Labem : autor neznámý, 2002. stránky 46–58. ISBN: 80-7044-410-X.
- Jenson, S. a Domingue, O. 1988.** Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. Anchorage : American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1988. stránky 1593-1600.
- Kvítek, Tomáš. 2017.** *Retence a jakost vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce*. Praha : Povodí Vltavy, státní podnik, 2017, 2017. ISBN 978-80-270-2488-9.
- Law, Michael a Collins, Amy. 2016.** *Getting to know ArcGIS Pro*. New York : autor neznámý, 2016.
- Lea, N. L., Parsons, A. J. a Abrahams, D. A. 1992.** An aspect driven kinematic routing algorithm. *Overland flow: Hydraulics and erosion mechanics*. New York : Chapman & Hall, 1992. stránky 147-175.
- Novotný, Ivan a kolektiv. 2017.** Příručka ochrany proti erozi zemědělské půdy. Praha : Ministerstvo zemědělství, 2017. ISBN MZE 978-80-7434-362-9.
- Numann, Jan. 1996.** *Geografická informace*. Praha : Ministerstvo hospodářství ČR, 1996. ISBN 80-238-0650-5.
- O'Callaghan, John F. a Mark, David M. 1984.** The Extraction of Drainage Networks from Digital. *COMPUTER VISION, GRAPHICS, AND IMAGE PROCESSING*. 1984. Sv. 28, stránky 323-344.
- Pacina, Jan a Brejcha, Marcel. 2014.** Digitální model reliéfu. Ústí nad labem : Univerzita J. E. Purkyně v Ústí n. Labem, Fakulta životního prostředí, 2014. ISBN 978-80-7414-848-4.

- Pasák, Vlastimil a kolektiv. 1984.** *Ochrana půdy před erozí.* Praha : Státní zemědělské nakladatelství, 1984.
- Pavlík, František. 2014.** Kvantifikace přirozené vodní retenční schopnosti krajiny ve vybraných povodích. Brno : VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ - FAKULTA STAVEBNÍ, 2014.
- Planchon, Olivier a Darboux, Frédéric. 2001.** A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. *CATENA*. 2001. stránky 159-176. ISSN 0341-8162.
- Podhrázká, Jana a Dufková, Jana. 2005.** *Protierozní ochrana půdy.* Brno : Mendlova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2005. ISBN 80-7157-856-8.
- Quinn, P., a další. 1991.** The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. 1991. Sv. 5, 1, stránky 59-79.
- Seibert, Jan a McGlynn, Brian L. 2007.** A new triangular multiple flow direction algorithm for computing upslope areas from gridded digital elevation models. *Water Resources Research*. 2007. Sv. 43, 4.
- Smutný, Jaroslav. 2001.** *Geografické informační systémy a jejich využití ve stavebnictví.* Brno : Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. , 2001. ISBN 80-214-1812-5.
- Tarboton, David G. 1997.** A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research*. 1997. Sv. 33, 2, stránky 309-319.
- Tlapák, Václav, Šálek, Jan a Legát, Vladimír. 1992.** *Voda v zemědělské krajině.* Praha : Zemědělské nakladatelství brázda s ministerstvem životního prostředí ČR, 1992. ISBN 80-209-0232-5.

Přílohy

Příloha č. 1: Základní mapa zájmového území

Příloha č. 2: Mapa vodních toků a nádrží zájmového území

Příloha č. 3: Mapa kritických bodů a sběrných oblastí

Příloha č. 4: Mapa bezodtokových oblastí