

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE



FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ GEOINFORMATIKY A ÚZEMNÍHO PLÁNOVÁNÍ

Mapy povodňových rizik

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Jiří Zezulák, DrSc.

Diplomantka: Bc. Jana Hnilíčková

PRAHA, 2014

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Hniličková Jana

Voda v krajině

Název práce

Mapy povodňových rizik

Anglický název

Flood risk maps

Cíle práce

Vytvořit mapy povodňových nebezpečí a rizik pro obec Křešice. Posoudit účinnost protipovodňové ochrany obce na základě porovnání vyhotovených map povodňových nebezpečí a rizik při zohlednění a bez zohlednění této stěny. Odhad výše potenciálních škod.

Metodika

Bude provedena literární rešerše problematiky tvorby map povodňových nebezpečí a rizik a analýza zájmového území. Dalším krokem bude vyhotovení digitálního plánu funkčních ploch obce. Následně bude vypracován hydraulický model toku pro řešené území, na základě výsledků modelu budou zpracovány mapy rozlivů, hloubek a rychlostí vody v oblasti. Z těchto podkladů budou vytvořeny mapy povodňových nebezpečí a rizik a na základě porovnání výsledků bude vyhodnocena účinnost protipovodňových opatření.

Harmonogram zpracování

1. Úvod, cíle, zdrojová data do 31.10.2013
2. Vytvoření plánu funkčních ploch pro obec do 15.11.2013
3. Literární rešerše, metodika práce do 31.12.2013
4. Vyhotovení hydraulického modelu, grafické zpracování výstupů modelu do 15.1.2014
5. Vypracování map povodňového nebezpečí a rizik, porovnání výsledků do 15.3.2014
6. Závěr, diskuze, konečné mapové výstupy do 31.3.2014

Rozsah textové části

50-70 stran

Klíčová slova

mapy povodňových nebezpečí a rizik, záplavová území, hydraulický model

Doporučené zdroje informací

Dráb, A., 2010: Riziková analýza záplavových území s podporou GIS. VUTIUM, Brno, 35s.

Drbal, K., & kol., 2009: Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masarika, Praha, 144s.

Říha, J., & kol., 2005: Riziková analýza záplavových území. CERM, Brno, 286s.

US Army Corps of Engineers., 2009: HEC-GeoRAS GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGIS. Hydrologic Engineering Center, California, 2009, 246s.

Vedoucí práce

Zezulák Jiří, prof. Ing., DrSc.

Elektronicky schváleno dne 3.4.2014

Ing. Petra Šímová, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8.4.2014

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, pod vedením prof. Ing Jiřího Zezuláka, DrSc. a za odborné konzultace s panem Ing. Zbyňkem Novákem. Informace byly čerpány z uvedené odborné literatury a ostatních zdrojů.

V Praze dne 22. 4. 2014

Jana Hnilíčková

Poděkování

Ráda bych poděkovala panu prof. Ing Jiřímu Zezulákovi, DrSc. a panu Ing. Zbyňkovi Novákovi za odborné vedení a konzultaci diplomové práce, za jejich ochotu a cenné rady. Především si vážím jejich lidského přístupu a ochotě pomoci při řešení potíží.

Dále bych ráda poděkovala Zeměměřičskému úřadu za poskytnutí dat, bez kterých by tato diplomová práce nemohla vzniknout.

Abstrakt

Povodně jsou v současné době stále častěji se vyskytujícím jevem a úkolem dnešní společnosti je snižovat negativní dopady těchto událostí. Jako vhodný nástroj pro předcházení vzniku povodňových škod se jeví vytváření map povodňových nebezpečí a rizik, které podávají informace o průběhu hladiny vody v toku v případě zvýšených průtoků a určují míru ohroženosti řešeného území.

Výstupem této diplomové práce jsou mapy povodňových nebezpečí a rizik pro obec Křešice na Litoměřicku. Proces se opírá o Metodiku tvorby map povodňových nebezpečí a rizik vydanou Výzkumným ústavem vodohospodářským T.G. Masaryka v Praze. Díky implementaci této metodiky na konkrétní lokalitu vznikne vlastní metodika práce, která nabídne uživatelům podrobný popis kroků ve specializovaném programu HEC-RAS a jeho extenzi HEC-GeoRAS. Tato diplomová práce se rovněž zabývá posouzením účinnosti protipovodňové stěny, která byla vybudována na ochranu obce.

Samotné vyhotovení map povodňových nebezpečí a rizik je založeno na analýze zájmového území, zpracování hydrologických podkladů do podoby hydraulického modelu, následná vizualizace výsledků modelu a vytvoření plánu funkčních ploch v obci Křešice. Součástí práce je i literární rešerše zdrojů popisující problematiku vytváření map povodňových nebezpečí a rizik.

Klíčová slova: záplavová území, povodně, hydraulický model, HEC-RAS, povodňové ohrožení

Abstract

Floods are nowadays increasingly occurring phenomenon and task of our society is to reduce the negative impact of these events. As a suitable tool for the prevention of flood damage prevention seems to be creation of flood hazard and risk maps that provide information about the water level in the case of increased flows and determine the degree of vulnerability of the area.

The outcomes of this thesis are maps of flood hazard and risk for a village Křešice in the region of Litomeřice. The process is based on the Methodology of creation the flood hazard and risk maps issued by the Water Management Research Institute T.G. Masaryk in Prague. Through the implementation of this methodology to the specific place the personal work methodology will be created. This methodology offers users a detailed description of the steps in a specialized program HEC-RAS and its extension HEC-GeoRAS. This thesis also deals with assessing the effectiveness of flood walls, that were built to protect the village.

The actual preparation of flood hazard and risk maps is based on an analysis of the area, the processing of hydrological data into a hydraulic model , subsequent visualization of model results and creating a plan of functional areas in the village Křešice. The work also includes a literature review of sources describing the issue of creation of flood hazard and risk maps.

Keywords: flood plains, floods, hydraulic model, HEC-RAS, flood threat

Obsah

1.	Úvod.....	10
2.	Cíle.....	11
3.	Literární rešerše.....	12
3.1	Problematika map povodňových nebezpečí a rizik.....	12
3.1.1	Právní a legislativní vymezení.....	12
3.1.2	Vyjádření povodňového rizika.....	13
3.2	Povodňové riziko – semikvantitativní přístup.....	14
3.3	Povodňové riziko – kvantitativní přístup.....	17
3.4	Data potřebná pro tvorbu map povodňových nebezpečí a rizik.....	18
3.4.1	Digitální model terénu.....	18
3.4.2	Mapové podklady.....	18
3.4.3	Terénní průzkum území.....	19
3.4.4	Geodetické podklady.....	19
3.4.5	Hydrologická data.....	19
3.4.6	Historická data.....	19
3.4.7	Kalibrační podklady.....	19
3.4.8	Hydraulické modely.....	19
3.5	Nepřesnost mapování.....	20
3.6	Využívaný software.....	21
4.	Metodika.....	21
4.1	Řešené území.....	22
4.1.1	Historie povodní.....	24
4.1.2	Protipovodňová ochrana obce.....	25
4.2	Práce s ArcMap.....	28
4.3	Práce s extenzí HEC-GeoRAS a softwarem HEC-RAS.....	29
4.3.1	Pre - processing.....	29
4.3.2	Processing.....	33
4.3.3	Post - processing.....	39
4.4	Vyjádření povodňového rizika – semikvantitativní přístup.....	42
4.4.1	Stanovení zranitelnosti území, plán funkčních ploch obce.....	42
4.4.2	Kvantifikace povodňového nebezpečí.....	43
4.4.3	Stanovení povodňového ohrožení.....	46
4.4.4	Stanovení povodňového rizika.....	49

4.5	Vyjádření povodňového rizika – kvantitativní přístup.....	50
4.6	Problémy při zpracovávání dat.....	56
5.	Výsledky	58
5.1.1	Mapy povodňového nebezpečí.....	58
5.1.2	Mapy povodňového ohrožení a rizik.....	59
6.	Diskuze.....	60
7.	Závěr	62
8.	Přehled literatury a použitých zdrojů	63
9.	Seznam obrázků a tabulek.....	65
10.	Přílohy.....	66

1. Úvod

Povodně a povodňové nebezpečí jsou aktuální problémy, kterým je velmi důležité věnovat pozornost, jelikož k povodňovým událostem dochází v dnešní době stále častěji. Povodně nejsou problémem posledních let, tento jev je přirozený a v minulosti na některých územích byl výskyt dokonce žádaný. V České republice jsou povodně způsobovány vysokými srážkovými úhrny a je pravděpodobné, že k povodním bude docházet častěji vzhledem ke globální změně klimatu, která přispívá i ke změně hydrologického cyklu.

Povodně představují ničivou hrozbu na majetku lidí a ohrožují na lidských životech. Proto je nezbytné snižovat povodňová rizika a zamezovat tak vzniku škod. Z tohoto důvodu se aplikují protipovodňová opatření. V intravilánu lze zastavěná území chránit různými technickými protipovodňovými opatřeními, a to například protipovodňovými stěnami, hrázemi a přehradami. V extravilánu by mělo docházet k takovým opatřením, která zpomalují povrchový odtok, podporují retenci a akumulaci vody v krajině a následně i její infiltraci do půdy. Mezi taková opatření patří různé zasakovací pásy, průlehy, suché poldry, protierozní nádrže a v první řadě vhodný vegetační pokryv krajiny.

Do opatření snižující potenciální objem škod patří i stanovení záplavových zón a následné rozhodování o využívání území v těchto zónách. Nedílnou součástí protipovodňové ochrany při krizových stavech je také dostupnost informací, funkčnost a operativnost lokálních výstražných systémů a připravenost jednotlivých záchranných složek. Tomu napomáhají právě mapy povodňových nebezpečí a rizik.

Povinnost vyhodnocovat povodňová nebezpečí toků je v současné době ukotvena v legislativě a to směrnicí Evropského parlamentu a Rady o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik – „Directive of the European Parliament and of the Council on the assessment and management of flood risks“. Tato směrnice ukládá členským státům za úkol vyhodnotit povodňová nebezpečí a rizika toků a formulovat je pomocí mapových výstupů (Drbal & kol., 2009). Plán hlavních povodí České republiky, který byl schválen vládou v květnu roku 2007, stanovuje řadu úkolů pro přípravu a realizaci protipovodňových opatření. Pro zajištění regionální či státní protipovodňové ochrany je nutné rozhodnout o tom, kde a jakým způsobem se budou provádět protipovodňová opatření a ochrana. Pro tyto účely slouží právě mapy povodňových nebezpečí a rizik, které pomohou určit, kde protipovodňovou ochranu realizovat a jak tedy optimalizovat využívání financí z veřejných prostředků (Drbal K. & kol., 2008).

Pro vyhotovení map povodňových nebezpečí a rizik je v možné uplatnit několik přístupů. Mezi takové patří integrace matematických modelů, které simulují průběh hladiny toku, s nástroji geoinformačních programů jako je například program ArcGIS. Výstupy z matematických modelů, které podávají informaci o možném

chování toku v případě N-letých průtoků, lze díky extenzím geoinformačních programů zpracovat a v závislosti na funkčním využívání území, které pramení z územního plánu obcí, vyhotovit grafické výstupy určující povodňová rizika v záplavových územích a následně spočítat výši potenciálních škod způsobených vyběžením toku do okolí (Drbal & kol., 2009).

2. Cíle

Cílem této diplomové práce je vyhotovení map povodňových nebezpečí a rizik a vytvoření vlastní metodiky popisující kroky a postupy práce související s danou problematikou. Mapy povodňových nebezpečí a rizik budou v diplomové práci vyhotoveny pro konkrétní místo - pro obec Křešice, která je v těsném kontaktu s řekou Labe a je velmi často povodněmi ohrožována. Samotnému vyhotovení těchto map bude předcházet zpracování prostorových a hydrologických informací pomocí hydraulického modelu pro Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} , jehož výsledky budou následně vizualizovány do podoby rastrových map hloubek a rychlostí vody zasahující do území obce. Z těchto podkladů bude stanoveno povodňové nebezpečí. Po implementaci matice rizika do výstupů z hydraulického modelu bude vyjádřeno povodňového ohrožení obce na základě výpočtu intenzity povodně pro zkoumané povodňové scénáře. V dalším kroku bude vytvořena kategorizace funkčního využití ploch v řešeném území, na základě které se vyhotoví mapa zranitelnosti. Tato mapa zranitelnosti bude podkladem pro zpracování mapy povodňových rizik. Součástí práce je i vyčíslení škod pro návrhové průtoky Q_{100} a Q_{500} .

V obci je vybudována protipovodňová ochrana na Q_{20} , proto bude v práci zhodnocena její účinnosti a výsledky budou porovnány se situací, kdy by obec protipovodňovou ochranou nedisponovala.

Práce se skládá ze dvou částí - části teoretické a části praktické. V teoretické části bude popsána problematika tvorby map povodňového nebezpečí a rizik díky rešerši literárních zdrojů - prameny tedy představuje dostupná odborná literatura a metodiky výzkumných institucí. Mimo jiné teoretická část podá informace o obci, historii povodní na jejím území, rovněž popíše protipovodňovou ochranu Křešic. V praktické části budou aplikovány teoretické poznatky na vlastní vyhotovení map. Výsledkem praktické části bude tedy vlastní metodika popisující jednotlivé kroky při tvorbě map povodňového nebezpečí a rizik v dané obci. Praktická část bude zpracována rovněž za pomoci metodik, především se bude opírat o nejnovější metodiku pro danou problematiku – Metodiku tvorby map povodňových nebezpečí a rizik od Výzkumného ústavu vodohospodářského T.G. Masaryka a dále zkušeností dalších odborných institucí a to při využití softwarových aplikací ArcGIS a HEC-RAS.

3. Literární rešerše

3.1 Problematika map povodňových nebezpečí a rizik

Mapy povodňových nebezpečí a rizik se vyjadřují charakteristikami průběhu povodně pro scénáře nebezpečí s kulminačními průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{500} .

Podnětem pro vytváření map povodňového nebezpečí a povodňových rizik v České republice se stala směrnice EU 2007/60/ES o vyhodnocování a zvládnání povodňových rizik. Dle této směrnice by měly být tyto mapy vyhotoveny pro zeměpisné oblasti, které jsou ohroženy povodněmi těchto typů:

- a) povodněmi s nízkou pravděpodobností výskytu nebo extrémní povodňové scénáře;
- b) povodněmi se středně vysokou pravděpodobností výskytu (pravděpodobná doba opakování ≥ 100 let);
- c) případně povodněmi s vysokou pravděpodobností výskytu;

Předmětem směrnice je zvládnání povodňových rizik s cílem snížit nepříznivé účinky na lidské zdraví, životní prostředí, kulturní dědictví a hospodářskou činnost, které souvisejí s povodněmi. Mapy povodňových nebezpečí a rizik mají být základem pro územní plánování a rozhodování ve veřejné správě, které korespondují se zvládnáním povodňových rizik a protipovodňovou ochranou (Povodí Labe, 2009).

3.1.1 Právní a legislativní vymezení

V listopadu roku 2002, několik měsíců po tom, co došlo v Evropě (Rakousku, České republice a Německu) k ničivým povodním, se členské státy dohodly na tom, že je nutné zlepšit povodňovou předpověď a prevenci. Díky tomuto impulsu vznikla skupina zvaná EXCIMAP, která dala vzniku příručce „Guide of best practices on flood prevention, protection and mitigation“. V zásadě je tento dokument manuálem k tomu, jak předcházet a zvládat povodně a základní ideou tohoto projektu je výměna informací mezi okolními státy. Mimo jiné příručka rovněž obsahuje informace o typu povodní, pravděpodobnostech výskytu, transformaci povodňových vln a informace o tom, jak získat údaje o výších možných škod (EXCIMAP, 2007).

Předpokladem k efektivním a účinnému předcházení povodní a minimalizování škod po povodních je tedy znalost možných hrozeb a nebezpečí. Pro efektivní protipovodňové hospodaření je proto nutné vědět, jaký typ povodní může dané území sužovat, znát pravděpodobnost výskytu a rozsah případných povodní, výšky hladiny vody a její rychlosti při daných průtocích a v neposlední řadě také výši případných škod. Právě povodňové mapy jsou nástrojem pro podání takových informací - tedy možných rizik a nebezpečí. Tyto mapy určují, kde a jak využít nástroje pro prevenci vzniku povodní.

Z pohledu Evropské unie v souvislosti s danou problematikou zvládání povodňových situací souvisí rámcová směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES o vodní politice a dále směrnice 2007/60/ES o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik. Ta členskými státy ukládá povinnost vypracovat tyto tři dokumenty:

- Posouzení předběžných povodňových rizik,
- Mapy povodňových nebezpečí a rizik,
- Plány řízení povodňových rizik (EXCIMAP, 2007).

Definice:

- Povodní se podle vodního zákona č. 254/2001 Sb., o vodách ve znění zákona č. 150/2010 Sb., o vodách, v platném znění; rozumí přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody
- Povodňovým rizikem se dle směrnice 2007/60/ES, o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik, v platném znění, rozumí kombinace pravděpodobnosti výskytu povodně a možných nepříznivých účinků na lidské zdraví, životní prostředí, kulturní dědictví a hospodářskou činnost, které souvisejí s povodní
- Povodňové nebezpečí charakterizuje stav s potenciálem způsobit nežádoucí následky (povodňové škody) v záplavovém území. Povodňové nebezpečí lze definovat také jako „hrozbu“ události (povodně), která vyvolá např. ztráty na lidských životech, škody na majetku, přírodě a krajině. Kvantifikace povodňového nebezpečí se provádí na základě hodnot charakteristik průběhu povodně (VÚV T.G.M., 2011)
- Zranitelnost území je vlastnost území, která se projevuje jeho náchylností k poškození a škodám v důsledku malé odolnosti vůči extrémnímu zatížení povodní, tj. v důsledku tzv. expozice (VÚV T.G.M., 2011)
- Mapy povodňového nebezpečí zobrazují místa, která by mohla být povodní zaplavena a rozdělují je do 3 kategorií, dle nebezpečí na místa málo, středně a vysoce ohrožená, s přihlédnutím na typ povodně, rozsah povodně, výšku vody, rychlost a směr proudění (EXCIMAP, 2007)
- Mapy povodňových rizik určují možné negativní povodňové následky s ohledem na počet ohrožených obyvatel, typ území a objektů popřípadě zasažených povodní (EXCIMAP, 2007)

3.1.2 Vyjádření povodňového rizika

Povodňová rizika jsou vyjadřována pro různou hierarchii územních celků a skupin ohrožených objektů a to pro nebezpečí vznikající z povodňových scénářů s kulminačními průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{500} . Přístup k určení povodňových rizik je různý, nejčastěji se však povodňová rizika vyjadřují pomocí semikvantitativní a kvantitativní analýzy (Drbal & kol., 2009).

- Semikvantitativní hodnocení – vyjadřuje riziko na základě stupnice – numerické, nebo barevné. Výsledkem této analýzy je vyjádření relativní výše rizika. Jako příklad tohoto přístupu lze uvést metody vycházející z vyjádření maximálního přijatelného rizika nebo metody založené na matici rizika (Drbal & kol., 2009).

- Kvantitativní hodnocení – na základě pravděpodobnosti výskytu stavu jednotlivých prvků systému je stanovena pravděpodobnost finálního stavu celého systému a tím je rovněž vyjádřena jeho spolehlivost (Drbal & kol., 2009). Tato metoda vyjadřuje riziko v měrných jednotkách (v peněžních jednotkách, počet úmrtí a podobně). Jako běžně používanou metodou kvantitativního přístupu lze uvést postup, který vychází ze stanovení potenciálních škod. Základem metody je ohodnocení možného povodňového nebezpečí, zranitelnosti území a ekonomických škod.

3.2 Povodňové riziko – semikvantitativní přístup

Způsob, kterým lze plošně hodnotit povodňové nebezpečí, zranitelnost a následná rizika je prováděno pomocí metody matice rizika (Říha & kol. 2005; Drbal & kol.; 2009, Dráb, 2010). Tato metoda definuje povodňové ohrožení jako funkci intenzity povodně, která vyjadřuje povodňové nebezpečí. Metoda spočívá v těchto krocích:

- Kvantifikace povodňového nebezpečí – výpočet intenzity povodně na základě hloubek a rychlosti proudění vody
- Stanovení povodňového ohrožení - pomocí matice rizika
- Stanovení zranitelnosti území – podle územního plánu (Dráb, 2010)

Kvantifikace povodňového nebezpečí

Povodňové nebezpečí je vyjádřeno tzv. charakteristikami průběhu povodně pro scénáře nebezpečí s kulminačními průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{500} . Tyto charakteristiky podávají informace o rozsahu rozlivů, hloubkách zaplavení a rychlostech proudění vody. Pro vyjádření povodňového nebezpečí se určuje prostorové rozdělení popsanych charakteristik (Drbal & kol., 2009; Dráb, 2010).

Pro vyhodnocení povodňového nebezpečí se využívá výsledků z hydraulického modelu toku - hloubek vody a rychlosti proudění při daných povodňových scénářích. Výsledky hydraulických výpočtů se poté graficky vypracovávají v programu ArcGIS a to díky extenzi HEC-GeoRAS. Výstupem jsou následně mapy, které barevnou škálou popisují míru ohroženosti místa povodněmi na základě hloubky zaplavení a rychlosti proudění vody. Povodňové nebezpečí je nejčastěji vyjadřováno pomocí intenzity povodně IP .

Při kvantifikaci nebezpečí způsobeného povodněmi je nebezpečí definováno veličinou intenzity povodně IP . Tato veličina představuje míru ničivosti povodně a je funkcí hloubky vody h [m] a rychlosti proudění vody v [m/s] (Beffa, 2000; Drbal &

kol., 2005; Říha & kol., 2005). Z hodnot představujících hloubku a rychlost proudění vody se získají hodnoty intenzity povodně IP po implementaci následující matice rizika:

$$IP = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & h = 0 \text{ m} \\ 0,3 + 1,35 \cdot h & h > 0 \text{ m}, v < 1 \text{ m/s} \\ 0,3 + 1,35 \cdot h \cdot v & v > 1 \text{ m/s} \end{array} \right\}$$

(Drbal & kol., 2009)

Vstupními daty pro výpočet intenzity povodně jsou tedy hodnoty hloubek a rychlostí vody pro uvažované N-leté průtoky v řešeném území. Prostorové rozložení těchto hodnot je dáno rastry hloubek a rychlostí, které je možné získat po vypracování hydraulického modelu a to z jeho výsledků v prostředí HEC-GeoRAS. Výpočet IP je potřebné provést pro všechny sledované scénáře povodňového nebezpečí (pro Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}) (Drbal & kol., 2009).

Výsledkem těchto výpočtů jsou rastrová data (gridy), ve kterých má každá buňka rastru údaj o intenzitě povodně IP pro jednotlivé povodňové scénáře (Drbal & kol., 2009).

Stanovení povodňového ohrožení

Míra ohroženosti $H_i(x,y)$ vychází z hodnot intenzity povodně IP pro každý ze zkoumaných povodňových scénářů. Ohrožení $H_i(x,y)$ při daném povodňovém scénáři $Q_i(P_i)$ je v určitém místě (se souřadnicemi x , y) řešeného území vyjádřeno jako funkce pravděpodobnosti P_i výskytu daného povodňového scénáře (při stanovené N-letosti kulminačního průtoku) a intenzity povodně $IP_i(x,y)$ (Beffa, 2000):

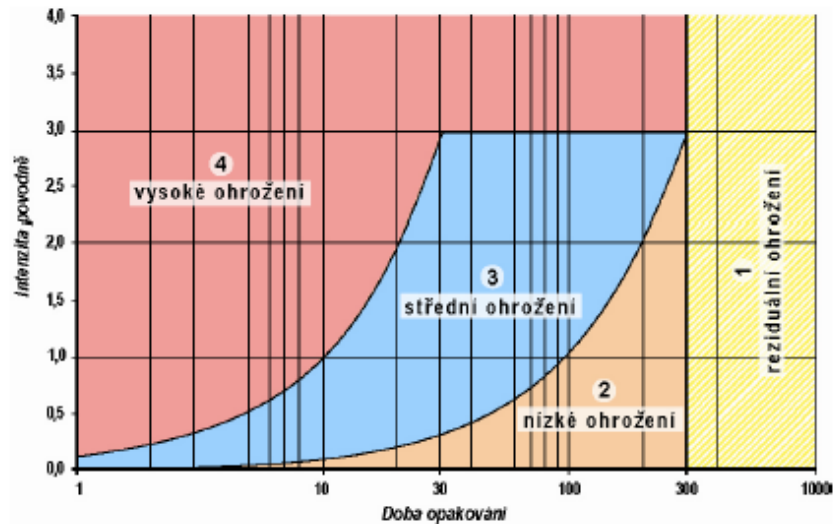
$$H_i(x,y) = IP_i(x,y) \cdot P_i$$

kde

$$P_i = 1 - e^{(-1/N)}, \text{ resp. } P_i = 1/N \text{ pro velká } N \text{ (cca } N > 10)$$

N je doba opakování povodňové události v rocích

Na základě hodnot intenzity povodně IP a době opakování N (v letech) je potřebné určit míru ohrožení a toto ohrožení klasifikovat do 4 kategorií a to v rozmezí od 1 (reziduální) do 4 (vysoké), viz obrázek č. 1 (Drbal K. & kol., 2008).



Obrázek č. 1, Grafické vyjádření povodňového ohrožení, (Drbal & kol., 2009)

Stanovení zranitelnosti území

Informace o způsobu využití území vycházející z digitální grafické části územně plánovací dokumentace tvoří základní podklad pro stanovení zranitelnosti území. V případě, že zkoumaná obec nemá vyhotovený digitální územní plán, nebo je územní plán neaktuální, se zranitelnost území určuje na základě jiných zdrojů informací jako je například základní mapa (ZABAGED), katastrální mapa, internetové stránky obce, terénní průzkum atd. Pro stanovení zranitelnosti řešeného území se funkční plochy v daném místě rozdělují do uvedených kategorií dle obrázku č. 2 ve třech časových aspektech pro stav současný, návrhový a výhledový a zároveň se pro účely jednotnosti při vytváření ploch zranitelnosti v grafických programech využívají tato barevná rozlišení:

	stav	návrh	výhled
Bydlení			
Smišené plochy			
Občanská vybavenost			
Technická vybavenost			
Doprava			
Výrobní plochy a sklady			
Rekreace a sport			
Zahrady			

Obrázek č. 2, Barvy a výplně jednotlivých kategorií funkčních ploch pro určení zranitelnosti území (Drbal K. & kol., 2008)

V souvislosti s rizikovou analýzou území je potřebné v některých kategoriích funkčního využití ploch znázornit tzv. citlivé objekty. Jako citlivé objekty jsou označována místa, ve kterých dochází ke zvýšené koncentraci obyvatel, jež mají

specifické potřeby při případné evakuaci (školy, nemocnice, ústavy sociální péče atd.) nebo zařízení, která zabezpečují fungování obce a jejichž vyřazení z provozu by znamenalo omezení této funkčnosti (čistírny odpadních vod, úpravny vod, trafostanice, tlakové stanice plynu atd.) (Drbal & kol., 2009). Kategorie a označení jsou patrné na obrázku č. 3:

Kategorie	BW	CO
Školství	Černý diamant	Růžový diamant
Zdravotnictví a soc. péče	Černý kříž	Růžový kříž
Policie, Armáda, Hasičský záchranný sbor	Černá hvězda	Zelená hvězda
Kulturní objekt	Černý štít	Fialový štít
Energetika	Černý trojúhelník	Modrý trojúhelník
Vodohosp. infrastruktura	Černý čtverec	Modrý čtverec

Obrázek č. 3, Označení kategorií citlivých objekt, (Drbal & kol., 2009)

Stanovení povodňového rizika

Pro vyhodnocení povodňového rizika je využíváno průniku informací o povodňovém ohrožení a zranitelnosti území. Na základě jednotlivých kategorií zranitelnosti území je stanovena míra přijatelného rizika (Drbal & kol., 2009). Mapy povodňového rizika poté znázorňují plochy, které jsou barevně vyšrafovány dle přijatelného rizika podle kategorií uvedených v tabulce č. 1.

Kategorie zranitelnosti území	Označení	Přijatelné riziko
Býdlení	BY	Nizké
Občanská vybavenost	OV	Nizké
Technická infrastruktura	TV	Nizké
Dopravní infrastruktura	DO	Nizké
Výrobní plochy a sklady	VY ZV	Nizké Nizké
Sport a hromadná rekreace	RS	Střední
Lesy, zeleň	Zel	Vysoké

Tabulka č. 1, Míra přijatelného rizika (Drbal & kol., 2009)

3.3 Povodňové riziko – kvantitativní přístup

Stanovení potenciálních škod se provádí pro movitý i nemovitý majetek, krajinné i přírodní hodnoty v inundačním území. Škody vyjadřují rozsah poškození, oběti na životech, lidská zranění, ekonomické ztráty a podobně. Základním dělení povodňových škod je na materiální a nehmotné, přičemž materiální škody jsou dále

rozřazeny na přímé a nepřímé. Nepřímé škody jsou dlouhodobějšího charakteru na regionální úrovni a mohou způsobovat například snížení hospodářského růstu dané oblasti vlivem působení škod přímých.

Do kategorie přímých škod patří škody na bytovém fondu a jeho vybavenosti, škody na občanské vybavenosti (školy, nemocnice, kulturní dědictví, sportoviště), dopravní infrastruktury (silnice, železniční trati, mosty, nádraží, dopravní prostředky), inženýrských sítích, vodním hospodářství (vodní díla, koryta toků, čistírny odpadních vod), zemědělství (objekty pro pěstování rostlin a zvířat), lesním hospodářství (produkční lesy, rekreační lesy), průmyslu, energetice a službách (elektrárny, trafostanice, těžba surovin) (Drbal & kol., 2009).

3.4 Data potřebná pro tvorbu map povodňových nebezpečí a rizik

3.4.1 Digitální model terénu

Digitální model terénu (DMT) reprezentuje reliéfové poměry území. Digitální model terénu je základním podkladem pro vyhotovení příčných profilů koryta toku a inundačním územím a pro následné stanovení hloubek vody zaplavující toto území při jednotlivých N-letých průtocích. DMT je možné získat pomocí LiDAR snímkování, z digitálních satelitních map a podobně (EXCIMAP, 2007). Pro tvorbu DMT se používají výšková data, která pokrývají danou oblast pouze v bodech nebo ve vrstevnicích. Pro kompletní prezentaci povrchu se využívají interpolační metody, které simulují tvar reálného terénu. Kvalita výstupního DMT se tedy odvíjí od kvality vstupních dat a také od zvoleného druhu interpolační metody. Jednou z možností získání souvislého povrchu reprezentující nadmořské výšky v území je metoda TIN (triangulated irregular network - nepravidelná trojúhelníková síť). Povrch je reprezentován sítí trojúhelníků, jejichž hodnota je vypočítána interpolací ze vstupních dat (Oršulák & kol., 2010).

3.4.2 Mapové podklady

Mapové podklady se využívají především jako podklad pro určení funkčního využití ploch řešeného území nebo jako podklad pro vytvořené mapové výstupy a jejich prezentaci.

- ZABAGED – je základní mapový podklad v měřítku 1:5 000 nebo 1:10 000 v souřadnicovém systému S-JTSK. Polohopisná část poskytuje prostorové a popisné informace o sídlech, komunikacích, rozvodných sítích a produktovodech, vodstvu, územních jednotkách a chráněných územích, vegetaci a povrchu, terénním reliéfu. Její součástí jsou i vybrané údaje o geodetických bodech na území ČR (ČUZK, 2010). Mapové podklady ZABAGED se používají jako nástroj pro identifikaci objektů v záplavovém území při odhadu výše škod na hmotném majetku (Drbal & kol., 2009).

- Ortofotomapy - rovněž mohou sloužit jako podklad pro výsledné výstupy z modelování nebo pro určení objektů v řešeném území. Jsou vhodným vodítkem pro určení druhů povrchů a rozmístění vegetace ve sledovaném území (Drbal & kol., 2009).

3.4.3 Terénní průzkum území

Terénní průzkum území tvoří velmi důležitou část při vytváření numerického modelu. Jedním z důvodů rekognoskace terénu je stanovení objektů důležitých při tvorbě hydrodynamického modelu jako jsou terénní překážky či velké stavební celky, vlastnosti a tvar povrchu a jeho drsnostní součinitel. Tyto charakteristiky mají vliv na plochu rozlivu a rychlosti proudící vody a proto je nutné je při modelování modelu vzít v potaz (Drbal & kol., 2009).

3.4.4 Geodetické podklady

Geodetické podklady jsou základním podkladem pro hydraulické modelování i pro vyhodnocení míry zaplavení území. Mezi tyto podklady patří geometrie vodního toku, geometrie objektů na vodním toku a geometrie inundačního území.

3.4.5 Hydrologická data

Hydrologické údaje jsou představovány informacemi o N-letých průtocích povrchových vod pro povodňové scénáře s dobou opakování 5, 20, 100 a 500 let v horním a dolním profilu sledované části vodního toku a v místě všech významných přítoků (Drbal & kol., 2009).

3.4.6 Historická data

Historická data hrají důležitou roli při kalibraci povodňových modelů. Mezi takové údaje patří povodňové mapy, záznamy o výšce vody a rychlosti proudění při předchozích povodních, historické zprávy, obrázky, dokumenty, ortofoto mapy, historické N-leté průtoky a povodňové značky v terénu (EXCIMAP, 2007).

3.4.7 Kalibrační podklady

Jako kalibrační údaje jsou uváděny záznamy o minulých povodních, maximální hladiny, velikosti kulminačních průtoků, záplavové čáry a podobně (EXCIMAP, 2007).

3.4.8 Hydraulické modely

Hydraulické modelování slouží primárně pro předpověď situací a odhadování důležitých informací spojených s výskytem povodňové události. Takové informace jsou tvořeny rozsahem potenciálně zaplaveného území, hloubkami a rychlostmi vody v území. Hydraulický model predikuje zmíněné charakteristiky na základě zpracování vstupních dat. Vstupy představují údaje o morfologii terénu, N-letých průtocích, geometrii toku a hodnotách drsnosti řešeného území. V současné době se pro vytvoření takového modelu využívají 1D, 1,5D nebo 2D modely. Výběr závisí na

charakteristikách a místních podmínkách řešeného toku. Hydraulické modely je možno vytvořit například v softwaru Mike 11 nebo v programu HEC-RAS (EXCIMAP, 2007). Výstupem hydraulických modelů jsou hodnoty, které se dále graficky zpracují do podoby map povodňových nebezpečí a rizik.

Jednorozměrné (1D) modely - výhodou těchto modelů je jejich jednoduchost při vytváření, schematizace toku a snadná kontrola výstupů. Při použití 1D modelu pro simulaci proudění toku se vychází ze soustavy příčných profilů aplikovaných na vyšetřovanou délku toku. V tomto případě se předpokládá, že proudění probíhá mezi spojnicemi jednotlivých příčných profilů a proudění lze popsat v každém z profilů dle střední průřezové rychlosti a polohy hladiny ve směru osy koryta. Jednorozměrný model lze využít v případě koryt toků, které jsou charakteristické pravidelným tvarem koryta, úroveň hladiny v příčném směru je konstantní a proudění v toku a inundačním území je paralelní, celkově je proudění v korytě charakterizováno jako proudění ustálené (Drbal & kol., 2009).

Kvazi-dvouřozměrné (1,5D) modely - zásadou těchto modelů je využití jednodušších principů jednorozměrného modelování před principy složitějšího dvouřozměrného modelování i v geometricky složitějších inundačních územích. Při vytváření tohoto modelu se území schematizuje větvenou či okružovou sítí. Tento postup je vhodný pro řešení tehdy, kdy je možné dopředu s jistotou určit hlavní směry proudění vody v korytě. Je nutné znát přesná místa nátoků, výtoků z dešťových kanalizačních sítí a jiných objektů, které mohou mít vliv na směry proudění v toku nebo inundačním území. Pokud není možné proudění v některých částech řešeného území jednoznačně určit, tento model by neměl být pro řešení úlohy vybrán (DRBAL & kol. 2009).

Dvouřozměrné (2D) modely - přístup těchto modelů je odlišný od 1D a 1,5D modelů v tom, že řeší oblast toku v podobě spojitého digitálního modelu terénu. Hodí se tedy pro toky, kde dochází k neustálenému proudění tedy v případech nepravidelných koryt, náhonů, hrází atd. Dvouřozměrné modely poskytují velmi podrobné výstupy, přirozeně jsou tedy náročnější na vstupní data (Drbal & kol., 2009).

3.5 Nepřesnost mapování

Povodňové mapování není exaktní věda. V tomto ohledu je zde jistá míra nepřesnosti u každého modelování a mapování povodňových nebezpečí a rizik. V podstatě jsou zde dva důvody způsobující nepřesnosti mapování a to nepřesnosti spojené s přírodními jevy, hydrologií a klimatem. Další nepřesnosti mohou být způsobeny při získávání dat, vytváření modelů a při měření (EXCIMAP, 2007).

V zásadě existuje široká škála dostupných vědeckých metod pro stanovení těchto nepřesností. Mnoho z nich je ale velmi složité použít v případě tvorby map povodňových nebezpečí a rizik. Jako alternativní přístup je možné stanovit nepřesnost skrz kvalitativní přístup, který je založený na kvalitě a možnosti získání

kalibračních dat, hydrologických a hydraulických metod a vstupních dat (EXCIMAP, 2007).

3.6 Využívaný software

Ke zpracování dat a získání výsledků pro tuto diplomovou práci bude využíván program HEC-RAS 4.1.0, ArcMap 10.1 a jeho extenze HEC-GeoRAS 10.1.

ArcMap je platforma, díky níž lze vizualizovat, zpracovávat a provádět analýzy prostorových informací. Extenzí programu ArcMap je platforma HEC-GeoRAS, ve které dojde k editaci geometrických charakteristik a příčných profilů zvolené část vodního toku Labe a k následné vizualizaci výsledků hydrodynamického modelu z prostředí HEC-RAS.

Neméně důležitým softwarem pro stanovení potenciálně zaplaveného území je program HEC-RAS. Tento program byl vyvinut inženýry Americké armády. Vytváří hydrodynamický 1,5D model ustáleného a neustáleného proudění pro zkoumaný vodní tok nebo jeho část. HEC-RAS při výpočtu zohledňuje drsnost prostředí jednotlivých profilů a vstupem, na kterém závisí pozdější výpočet, jsou vybrané N-leté průtoky a okrajové podmínky, které uživatel nadefinuje (Evans & kol., 1999). Systém je vybaven rozhraním pro grafickou a analýzu a prezentaci dat, které se do tohoto systému importují po předchozím zpracování shapefileových vrstev v programu ArcMap, dále nástroji pro hydraulickou analýzu a nástroji pro ukládání získaných výpočtů. HEC-RAS se rovněž využívá pro stanovení sedimentačních a transportních procesů ve vodních tocích (Brunner, 2010a).

V zásadě zde tedy funguje spolupráce mezi HEC-GeoRAS a HEC-RAS programy a to tak, že HEC-GeoRAS importuje výškové údaje z digitálního modelu terénu a geometrické údaje ze shapefile vrstev jako je například osa toku, břehy nebo příčné řezy územím. Následně HEC-RAS zpracuje vstupy z HEC-GeoRAS a vytváří neúplný model možného zaplavení území. Posléze uživatel doplní model přidáním hydraulických informací, jako jsou N-leté průtoky, okrajové podmínky a drsnost prostředí. Poté lze dopočítat hydraulický model v prostředí HEC-RAS a výsledná data mohou být importována zpět do prostředí HEC-GeoRAS a v něm vizualizována. Mezi výstupy, které se vizualizují, patří mapy rozlivů a hloubky a rychlosti proudící vody v záplavovém území (Evans & kol., 1999). Detailní popis kroků při práci se zmíněnými programy je uveden v metodice práce.

4. Metodika

V České republice doposud neexistuje komplexní volně dostupná metodika, která by nabídla návod na postup při zpracovávání hydrologických podkladů v prostředí freeware programů HEC-RAS a HEC-GeoRAS pro vytvoření map povodňových nebezpečí a rizik. Vzhledem k tomu, že jsou tyto programy vytvořeny

Armádou Spojených států amerických, vyžadují určité přenastavení českého systému Windows a problémy, které se vyskytují při používání tohoto software, zatím nejsou kompletně popsány.

Pro obec Křešice jsou mapy povodňových nebezpečí a rizik vyhotoveny firmou DHI a.s., která jej zpracovala v programu MIKE 11. Porovnáním výsledků z různých platforem lze ověřit správnost výsledků a zároveň odhalit odchylky ve výsledcích z různých programů.

4.1 Řešené území

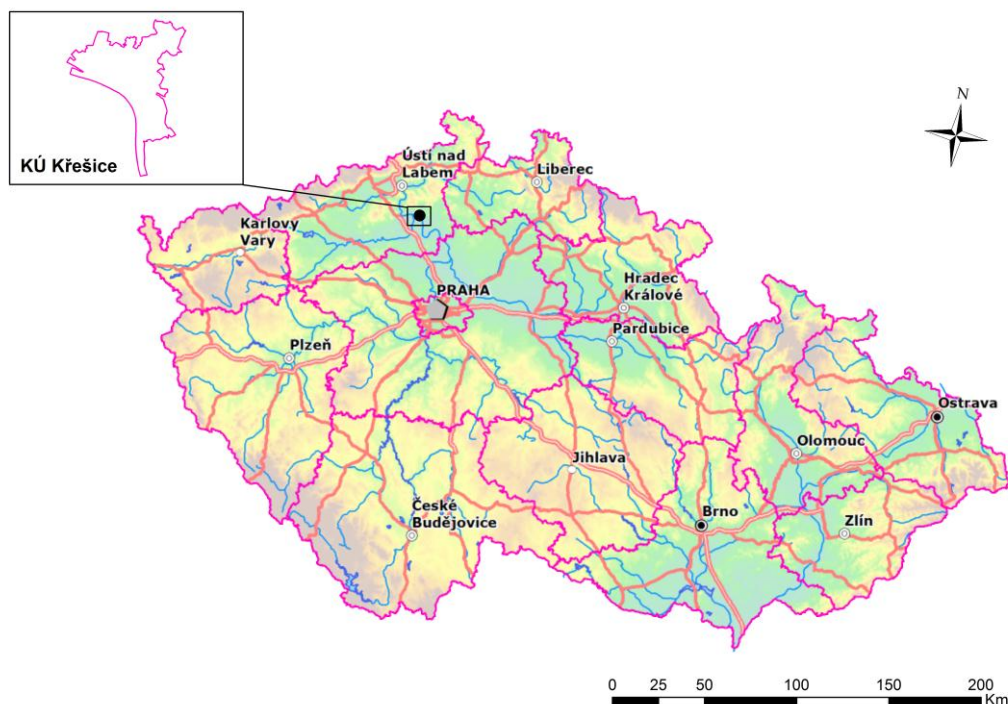
Mapy povodňových nebezpečí a rizik budou vyhotoveny pro obec Křešice. Obec se nachází na severovýchodě Čech v okrese města Litoměřice v Ústeckém kraji (obrázek č. 4). Katastrální území obce je tvořeno z několika částí - z částí Křešice, Záhořany, Třeboutice, Nučnice a Sedlec. Plocha všech částí obce představuje 1.1 tis ha (OÚ Křešice, 2014). V obci žije asi 1400 obyvatel. Katastrální území obce je převážně tvořeno zemědělskými plochami, trvalým travním porostem, lesním porostem a v menší míře zastavěnými plochami se zahradami. Zájmové území je rovinaté s malým spádem, v katastrálním území obce se nachází vyvýšený terén pojmenovaný Křemín, kde nadmořská výška dosahuje 250 m n.m.

Občanská vybavenost je na dostačující úrovni odpovídající menší obci. V obci je občanům k dispozici mateřská a základní škola. Disponuje zde sbor dobrovolných hasičů a městská policie. K občanské vybavenosti obce rovněž přispívá knihovna, pošta, obecní úřad a ordinací lékaře. V Křešicích je možné využívat hřiště a restauraci.

Původní historická zástavba obce - kostel Nejsvětější trojice, kostel Panny Marie a kostel sv. Matouše představují kulturní hodnoty obce. V obci je také hřbitov.

Technická vybavenost je v obci zajišťována díky veřejné kanalizaci, vodovodu, plynovodu a silnici II. třídy, která spojuje obec s Litoměřicemi. Doprava do obce je zabezpečována autobusovými linkami a železničním spojením, na území obce se nachází nádraží.

Díky úrodným půdám se v obci uplatňuje zemědělská malovýroba, pracovní možnosti nabízí textilní závod Schoeller (PROXIMA, 2009).



Obrázek č. 4, Zájmové území

Klimatické charakteristiky

Obec Křešice leží v teplé klimatické oblasti T2, která se vyznačuje dlouhým, teplým a suchým létem s průměrnou teplotou 18.5 °C. Jaro a podzim je velmi krátké teplé. Zima je také krátká, suchá až velmi suchá, mírně teplá, trvání sněhové pokrývky je krátké, průměrná teplota v zimním období se pohybuje kolem -2.5 °C. Průměrná roční teplota obce činí 8 °C. Průměrný srážkový úhrn oblasti je naměřen na 500 – 550 mm, přičemž nejvyššího srážkového úhrnu je dosahováno v červnu, červenci a srpnu (Starý, 2007).

Pedologické a geologické charakteristiky

V oblasti převažují černozemně, hnědé půdy a rendziny. V oblasti se vyskytují i takzvané antropogenní půdy, které vznikly devastací a stavební činností či skládkováním odpadů. Zájmové území leží v prostoru České svrchnokřídové tabule, nejdůležitějším horninovým celkem jsou svrchnokřídové sedimenty.

Hydrologické vlastnosti

Území Křešic patří pod povodí Labe, kde číslo hydrologického pořadí je 1-12-03-069 až 1-12-03-073. Z hydrogeologického hlediska je území obce zařazeno do rajónu 452 – Křída pravostranných přítoků Labe. Charakteristikou území je vícekolektorový zvodnělý systém. Hluboko uložené křídové pískovcové kolektory s napjatou hladinou podzemní vody, tvořené především kolektorem cenomanským, mají značný vodárenský význam (Herčík & kol., 1999).

Obec má velmi nepříznivou polohu vzhledem k možným výskytům povodní, protože se rozkládá v bezprostředním kontaktu s řekou Labe a to na jejím pravém břehu. Úsek Labe, na kterém bude prováděna analýza, je vymezen 795.9 až 801.6 říčním kilometrem. Obcí dále protéká Blatenský a Luční potok, které mohou při

povodňových situacích rovněž negativně přispívat. Vzhledem k tomu, že řeka Labe má ale mnohonásobně větší povodí než tyto drobné toky, při extrémní hydrologické situaci má tedy na ohroženost obce zásadní vliv právě řeka Labe a proto bude vliv na ohrožení obce povodněmi v této obci posuzován dle N-letých průtoků pro úsek řeky Labe. Informace o N-letých průtocích na webových stránkách Českého hydrometeorologického ústavu pro měrnou stanici Mělník dle tabulky č. 2.

N-leté průtoky [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]						
Q1	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
1080	1490	2060	2520	2990	3640	4150

Tabulka č. 2, N-leté průtoky pro měrnou stanici Mělník (ČHMÚ, 2014)

Jako hodnota průtoku Q_{500} se uvádí údaj o povodni z roku 2002, která Křešice zasáhla. Hodnota tohoto průtoku je stanovena na hodnotu $5070 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

4.1.1 Historie povodní

Obec Křešice vzhledem ke své nepříznivé poloze zažila v novodobých dějinách ničivé povodně již několikrát. První povodní, která způsobila vysoké škody, jak uvádí kronika obce, byla povodeň v roce 1821. Poté do roku 1940 následovala řada osmi povodní s průměrnou dobou opakování po 13,5 letech. V historii obce zatím nejničivější povodeň přišla v roce 2002, kdy byl v Labi překročen průtok $5\,300 \text{ m}^3$, který je klasifikován jako průtok Q_{500} . Od roku 2002 se do roku 2013 vyskytly další čtyři povodňové události po průměrné době opakování 3 let. V roce 2006 byla vesnice opět zasažena povodní s podobným charakterem jako v roce 2002, ale s menším rozsahem zaplavení, než v roce 2002. V roce 2013 se situace znovu přiblížila stavu v roce 2002, ovšem výška hladiny vody z roku 2002 překonána nebyla. (Pála, 2013). Při většině povodňových událostí byly zasaženy domy ležící v blízkosti řeky Labe pro jeho zvýšenou hladinu, v případech rozlivů při Q_{100} a Q_{500} byla potom ohrožena většina území Křešic. Na obrázku č. 5 jsou patrné povodňové stopy po minulých povodních (fotodokumentace březen 2014).



Obrázek č. 5, Povodňové stopy po minulých povodních (zdroj mapových podkladů: ČUZK, fotodokumentace: vlastní archiv)

4.1.2 Protipovodňová ochrana obce

Podnětem k vybudování protipovodňové ochrany v obci byla povodeň z roku 2002, kdy byla zaplavena převážná část obce a hladina Labe tehdy dosáhla nejvyšší úrovně v historii Křešic a také povodeň z roku 2006, při které průtok Labe dosáhl hodnoty Q_{20} . Reakcí na tyto katastrofální povodně byla odezva Ministerstva zemědělství, kdy byl na jeho podnět zahájen dotační program 129 120 „Podpora prevence před povodněmi II. na období 2007–2012“. Tyto finanční prostředky, které jsou investovány státním podnikem Povodí Labe, státní podnik, umožnily vybudovat protipovodňovou ochranu pro region dolního Labe, tedy i pro obec Křešice.

Vzhledem k místním podmínkám obce Křešice byly v obci navrženy jako protipovodňová opatření trvalé betonové zdi za současného využití mobilních prvků. Protipovodňové opatření je navrženo na Q_{20} . Ochrana na vyšší návrhový průtok by v podstatě oddělila vizuálně obec od řeky Labe a byla by velice technicky náročná na provedení. Navrhované zdi v kombinaci s mobilními stěnami zajistí ochranu obce před rozlivem vody.

Betonové zdi se skládají ze spodní stavby, nadzemní části a mobilního hrazení. Spodní stavba je tvořena trvalou konstrukcí s těsnící statickou funkcí. Hloubka nadzemní části je navržena podle místních průsakových a stabilních poměrů. Další funkcí podzemní části stavby je statická funkce, jelikož díky této konstrukci dochází k přenesení vodorovných sil a momentů od zatížení nadzemní

části konstrukce PPO vodním tlakem do podloží. Nadzemní část je tedy tvořena betonovou stěnou ve výšce od 0.20m – 2.95m, jak je patrné z obrázku č. 6 a obrázku č. 7. V místech vjezdů, přechodů komunikací a přístupů na pozemky jsou navrhovány mobilní protipovodňové stěny (obrázek č. 8). Část protipovodňové ochrany je řešena i instalací pytlů s pískem. V případě přetečení protipovodňových bariér a tedy pro účely odvedení vnitřních vod budou spuštěna čerpadla, která budou vodu přečerpávat za linii bariéry (Povodí Labe, 2014a).



Obrázek č. 6, Protipovodňová stěna v těsné blízkosti řeky (vlastní archiv)

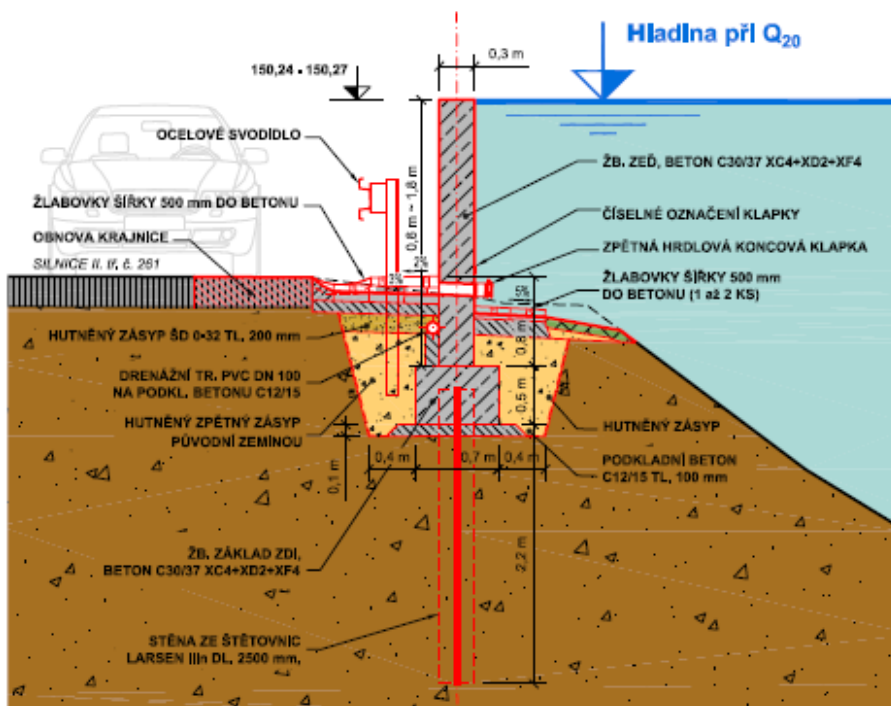


Obrázek č. 7, Protipovodňová stěna v obci (vlastní archiv)



Obrázek č. 8, Mobilní protipovodňová ochrana v místech přístupů na pozemky, <http://www.hgpartner.cz/images/aktuality/a01.jpg>

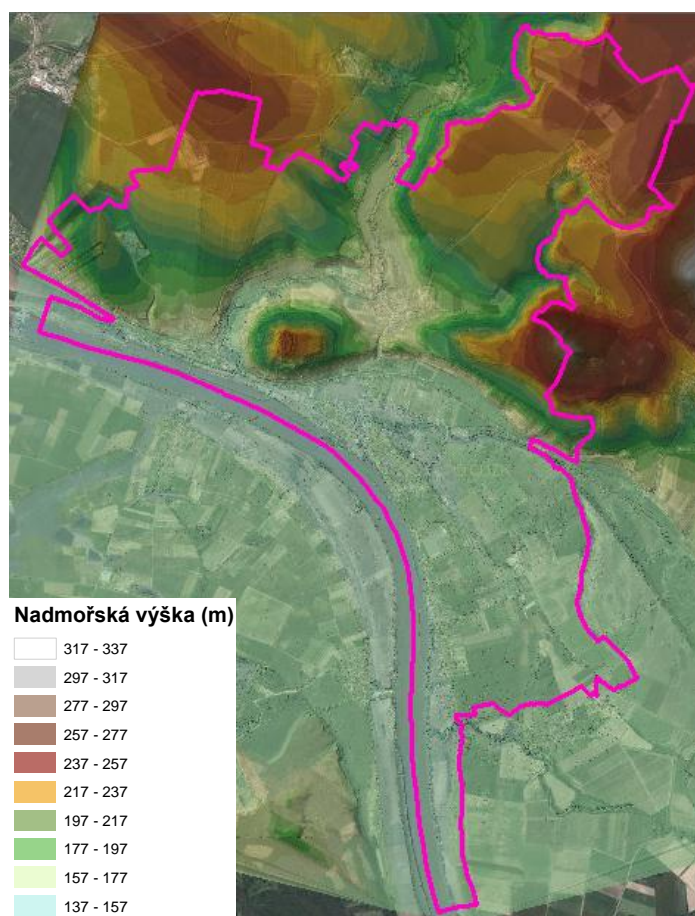
Celková délka linie různých druhů protipovodňového opatření je 2328.72m. Stěna má obec chránit před Q_{20} , při kterém hladina vody dosahuje 150.24-150.61 m n.m. Celkové náklady na stavbu činily 193.7 mil. Kč. Investor, kterým byl státní podnik Povodí Labe, započal stavbu v červenci roku 2009 a dokončil v červenci roku 2011 (Povodí Labe, 2014). Na obrázku č. 9 je patrný příčný řez protipovodňovou stěnou.



Obrázek č. 9, Příčný řez protipovodňovou stěnou, (Zidek, 2011)

4.2 Práce s ArcMap

Zeměměřičský úřad poskytl digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G) ve formě nepravidelné sítě bodů, který vzniká pomocí leteckého laserového skenování s úplnou střední chybou výšky 0.18 m v odkrytém terénu a 0.30 m v zalesněném terénu (Brázdl & kol., 2012). Z této datové sady bylo možné vytvořit pomocí nástrojů v *ArcMap* digitální model území. Rozhodla jsem se pro vytvoření vektorového datového modelu TIN. TIN charakterizuje povrch nepravidelnou trojúhelníkovou sítí. Vzhledem k tomu, že tato data byla ve formátu .xyz, bylo nutné nejprve provést konverzi na shapefile dokument. V prostředí ArcGIS je tato funkce dostupná takto: *ArcToolbox* -> *3D Analyst Tools* -> *Conversion* -> *From File* -> *ASCII 3D to Feature class*. Protože ale vodní hladina při skenování paprsek radaru pohltí a neodrazí zpět, síť bodů tedy nepokrývá místa pod vodní hladinou, musela jsem tedy pro vytvoření TINu využít ještě vrstevnice pro vodní koryto, které jsem získala od Povodí Labe, s.p. Pro tvorbu digitálního modelu terénu byly vyjmuty vrstevnice, které se překrývaly s bodovou sítí. Následně byl z bodů a vrstevnic vytvořen TIN a to pomocí *ArcToolbox* -> *3D AnalystTools* -> *Data Management* -> *TIN* -> *Create TIN*. TIN katastrálního území Křešic je vidět na obrázku č. 10.



Obrázek č. 10, TIN katastrálního území Křešic

4.3 Práce s extenzí HEC-GeoRAS a softwarem HEC-RAS

Práce se softwarem HEC-RAS a HEC-GeoRAS se dá rozdělit na tři bloky zpracování:

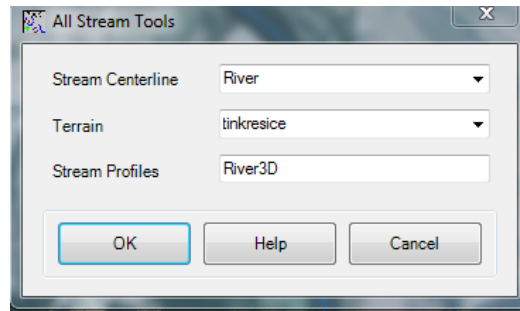
- 1) Pre-processing - příprava podkladů ve formě geometrie a příčných profilů toku v ArcMap díky extenzi HEC-GeoRAS pro pozdější analýzu v programu HEC-RAS
- 2) Processing - Analýza průběhu daných N-letých průtoků vymodelovaným tokem a jeho profily v HEC-RAS
- 3) Post – processing – vyhodnocení hydraulických výpočtů z HEC-RAS grafickou formou za vytvoření rastrů hloubek a rychlostí v prostředí ArcMap

4.3.1 Pre - processing

Prvním krokem v této části bylo vyhotovení geometrie toku. Pro tento účel slouží nadstavba HEC-GeoRAS. Před samotnou prací je nutné si nastavit pracovní prostředí. Nejprve přes *Customize -> Extensions ->* musí být zatrhnuto *3D Analyst, Network Analyst a Spatial Analyst*, V prostředí ArcMap jsem si dále zapnula ovládací panel extenze HEC-GeoRAS. V tomto menu jsem si poté nastavila strukturu pracovní vrstvy a to přes *RAS Geometry -> Layer setup*. V daném kroku se pod záložkou *Required Surface* nastavila výchozí datová sada, v mém případě se jednalo o vytvořený TIN zájmové oblasti.

Jako další krok jsem si vytvořila potřebné RAS vrstvy pro budoucí analýzu popisující geometrii toku a to pomocí *HEC-GeoRAS -> RAS Geometry -> Create RAS Layers*. Zhotovila jsem vrstvy *XS Cut Lines* (příčné řezy), *Stream Centerline* (osa toku), *Flow Path Centerline*, *Bank Lines* (břehové linie), které jsem následně editovala pomocí editační funkce ArcMap. Takto vytvořené vrstvy se ukládají do softwarem automaticky vygenerované geodatabáze a dále je možné je editovat.

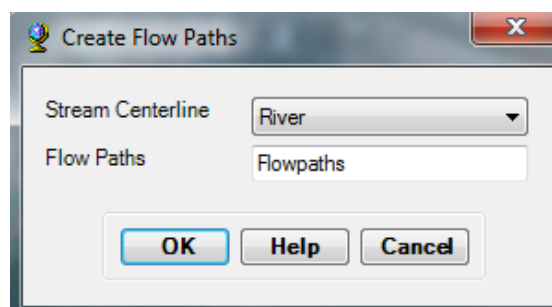
Nejvhodnější je začít s editací vrstvy *Stream Centerline* (osa toku). Pomocí *Editor -> Start Editing -> Stream Centerline -> Edit Tool* v prostředí ArcMap jsem zdigitalizovala osu toku. Základním pravidlem je digitalizovat tuto osu po směru proudění vody, tedy od horní části území po spodní část území. Pro orientaci v terénu jsem použila digitální model terénu a ortofoto území. Po skončení editace osy toku bylo nutné vytvořené linii přiřadit kód a název. K tomuto účelu slouží tlačítko *Assign River Code/Reach Code*, kdy po vyplnění názvu dojde i k propsání údajů do atributové tabulky dané linie. Já jsem linii pojmenovala Labe. V atributové tabulce se načetly i další charakteristiky vytvořené linie jako například délka nebo Hydro ID, což je unikátní číslo pro každý objekt vytvořený v databázi. Dále pomocí *RAS Geomoetry -> Stream Centerline Atributes -> All* (obrázek č. 11) jsem načetla do atributové tabulky i další údaje (topologie, délka, nadmořská výška bodů). Touto funkcí byla rovněž vytvořena 3D vrstva osy toku.



Obrázek č. 11, RAS Geomoetry -> Stream Centerline Atributes -> All

V dalším kroku jsem editovala vrstvu *Bank Lines* (břehové linie). Břehové linie oddělují hlavní vodní tok od oblasti, do které se vylévá voda z koryta při vyšších průtocích. Pomocí *Editor -> Start Editing -> Banks -> Edit Tool* v prostředí ArcMap jsem zdigitalizovala oba břehy. Zásadou je opět dodržovat směr proudění, nejprve digitalizovat levý břeh, poté pravý. Jako vodící linii pro vytvoření břehových linií jsem použila digitální model terénu a ortofoto. Nakonec jsem využila funkci *RAS Geometry ->Stream Centerline Attribute-> All*. Díky této funkci byla vyplněna atributová tabulka vrstvy *Stream centerline*

Z vrstvy *Stream Centerline* vychází částečně vrstva *Flow Path Centerline*. Proto bylo možné vrstvu osu toku vytvořenou v předchozí editaci do této vrstvy pouze zkopírovat. Postup by následující: *RAS Geometry -> Create RAS Layers -> Flow Path Centerlines -> výběr* viz obrázek č. 12.

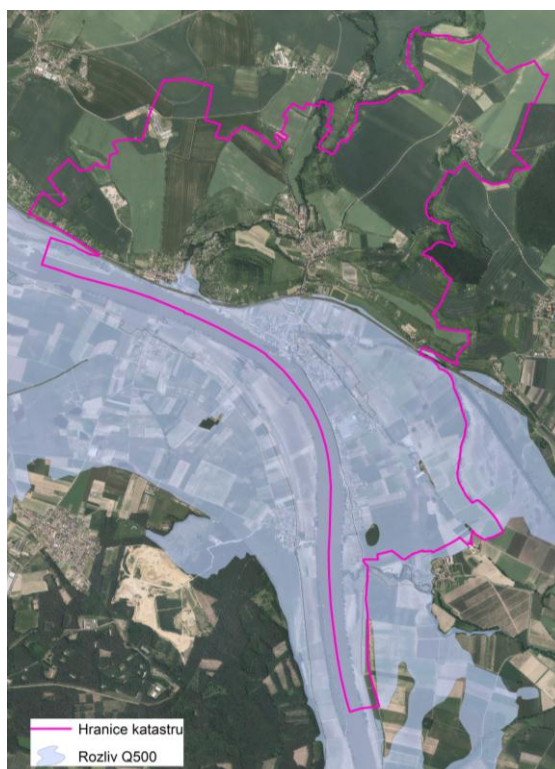


Obrázek č. 12, RAS Geometry -> Create RAS Layers -> Flow Path Centerlines

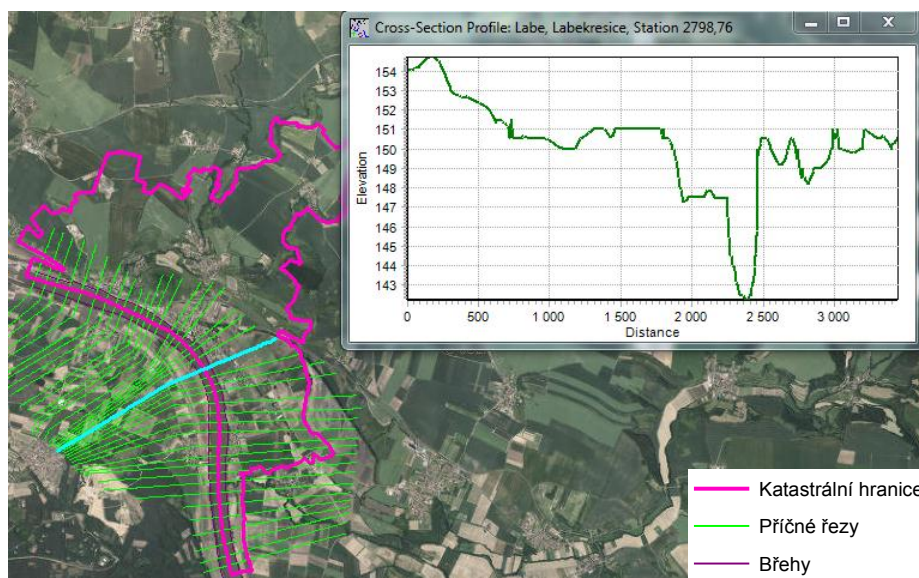
Pomocí *edit tool* jsem ve vrstvě *Flow Paths* následně vytvořila levou i pravou linii břehové čáry. Naposledy v této části jsem funkcí *Assign Line Type* pojmenovala a určila *Flow Paths*.

Klíčovou vrstvou celé analýzy je vrstva *XS Cut Lines*. Při vytváření *Cut Lines* (příčných řezů tokem) v editačním režimu v ArcMap je nutné dodržovat několik pravidel. Za prvé je pro správný a realitě se nejvíce blížící výsledek potřebné vytvořit dostatek příčných profilů. Všechny příčné profily musí být kolmé na osu toku, dále musí být zajištěno, aby procházely celým záplavovým územím, a profily je nutné vytvářet zleva doprava (Oregon State University, 2013). Vzdálenosti mezi profily jsem volila podle místních okolností, průměrná vzdálenost však je 150 m. Šířka

příčných profilů vychází ze šířky záplavové oblasti (obrázek č. 13) podle HEIS VÚV při největší zaznamenaná povodni. V případě, že došlo ke křížení příčných profilů, byly profily po své délce zalomeny. Naposledy jsem pomocí tlačítka *Profile Tool* zkontrolovala vzhled příčných profilů a ujistila se, že jsou vedeny přes dostatečně široké území při případném rozlivu vody z koryta toku. Příčné profily vedené územím společně s ukázkovým profilem jsou vyobrazeny na obrázku č. 14.



Obrázek č. 13, Doposud největší přirozený rozliv řeky Labe v obci Křešice, http://heis.vuv.cz/data/spusteni/identchk.asp?typ=96&oblast=isvs_zapluz



Obrázek č. 14, Ukázkový příčný profil

Posléze jsem vytvořila atributy a doplnila výškové poměry pro vrstvu *XS Cut Lines* pomocí *RAS Geometry -> XS Cut Line Attributes -> All*. Výsledkem této činnosti byla identická vrstva s vrstvou *XS Cut Lines* doplněná výškovými charakteristikami.

V obci Křešice je vystavěná protipovodňová ochrana na Q_{20} . Tato skutečnost musí být rovněž zaznamenaná a zohledněná při výpočtu hydraulického modelu. Proto jsem si vytvořila vrstvu *RAS Geometry -> Create RAS Layers -> Levee Alignment*. Vrstvu jsem nadefinovala pomocí editoru. Po vytvoření linií znázorňující protipovodňové stěny (obrázek č. 15) jsem pomocí *Assign Levee Elevation* nadefinovala nadmořskou výšku horní hrany stěny pro několik bodů na linii stěny. Tato hodnota se pro všechny tři části protipovodňových stěn pohybovala v rozmezí 150.3-150.5 m n.m. Následně jsem pomocí *RAS Geometry -> Levees -> Profile Completion* vytvořila 3D podobu této prostorové bariéry, která byla později zohledněna v hydraulických výpočtech.



Obrázek č. 15, Protipovodňová ochrana na území obce – kombinace mobilních stěn a trvalých betonových zdí

Prostředí HEC-GeoRAS nabízí možnost editovat například i objekty na toku jako jsou mosty. V mém případě se na uvažovaném úseku žádné objekty nenacházejí, mohla jsem tedy uložit vytvořené vrstvy a ukončit práci s editorem v prostředí ArcMap.

Export geometrie toku z prostředí HEC-GeoRAS

Po tom, co byl vytvořen TIN a geometrie toku, lze přejít k exportu vytvořených dat pro práci v prostředí HEC-RAS. Před samotným importem bylo nutné nastavit, jaké vrstvy budou exportovány. Pomocí *RAS Geometry-> Layer Setup* jsem zkontrolovala nastavení pro *Required Layer*, kde musí být vybrány vrstvy *River*, *XS Cut Lines* a *XS Cut Lines 3D* a *Levees*. Dále *Required Surface*, který je

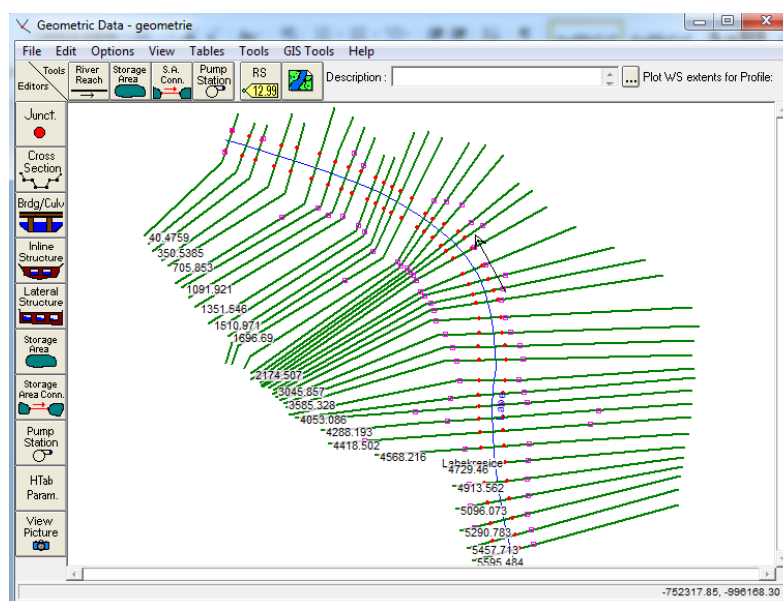
představován vytvořeným TIN a *Optional Layers*, představující další vrstvy, které je možné vyexportovat, ale pouze za podmínky, že tyto vrstvy byly editovány a vytvořeny.

Posledním krokem v tomto bloku je tedy samotný export dat a to pomocí *RAS Geometry* -> *Export RASData*. Tento proces vytvořil dva dokumenty *GIS2RAS.xml* a *GIS2RAS.RASImport.sdf*.

4.3.2 Processing

Import geometrických dat do software HEC-RAS

Po otevření programu HEC-RAS jsem ze všeho nejdřív uložila nový projekt do zvoleného adresáře pomocí *File* -> *Save Project As* a to s koncovkou *.prj*. Následně jsem importovala vytvořená data z HEC-GeoRAS a to přes *Edit* -> *Geometric Data* -> *File* -> *Import Geometry Data* -> *GIS Format*. V otevřeném okně jsem vyhledala soubor s koncovkou *.sdf*, který byl původně vyexportován z HEC-GeoRAS programu. V dalším kroku jsem si nastavila výchozí jednotky pro projekt, tedy metrické (soustavy SI) a ostatní okna jsem pouze potvrdila bez přenastavování. Posléze byla nahrána geometrická data vyexportovaná z programu ArcGIS do okna *Geometric Data* (obrázek č. 16). V tomto okně je možné si prohlížet příčné profily přes tlačítko *Cross Section*.



Obrázek č. 16, Geometrie toku v prostředí HEC-RAS

V hlavním okně s geometrií toku je také nezbytné vložit informace o hydraulické drsnosti prostředí, která ovlivňuje rychlost proudění vody. Ta se nastaví v okně pro editaci geometrie přes *Tables* -> *Manning's n or k values*. Profily jsou v této tabulce rozděleny na tři části. Sloupec vlevo a vpravo popisuje drsnost prostředí mimo koryto toku a prostřední sloupec popisuje drsnost prostředí uvnitř

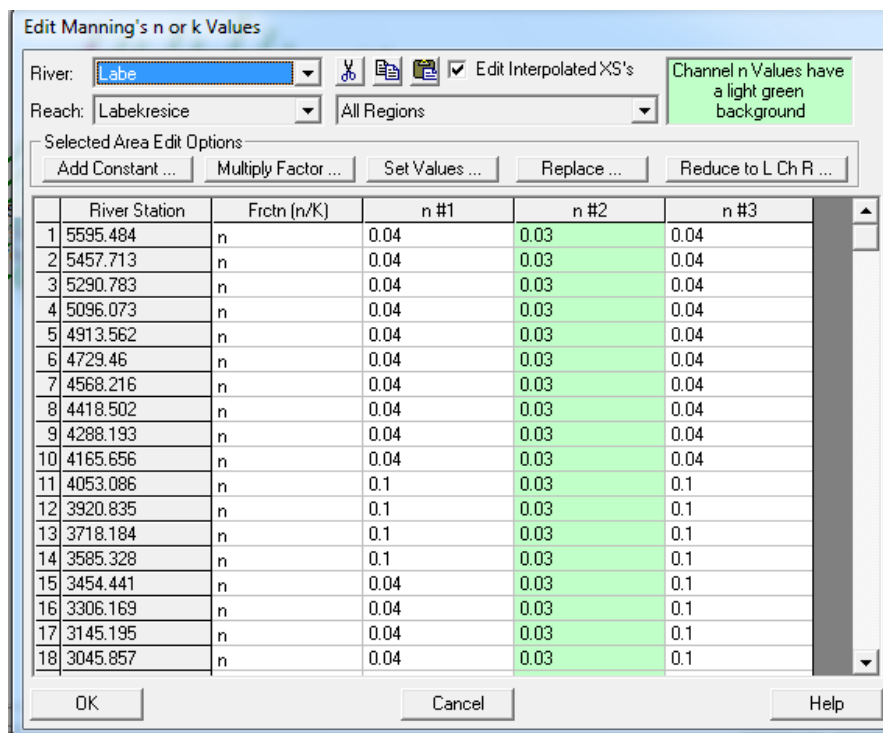
koryta toku. Pro místa mimo koryto toku, která procházejí zastavěným územím nebo lesním porostem jsem nastavila hodnotu 0.1, zemědělskou půdou 0.04 a pro samotné koryto hodnotu 0.03. Nastavení drsností je patrné z obrázku č. 17. Geometrii toku jsem si uložila přes *File -> Save Geometry Data*. Velmi výhodné je zkontrolovat profily pomocí funkce v grafickém editoru *Tools -> Graphical Cross-section Edit*. Hodnoty drsností pro koryto toku a různé povrchy záplavového území jsou uvedeny v tabulce č. 3 a 4.

Hlavní koryto toku	
Nezanesené, přímé, bez prohlubní	0.03
Nezanesené, přímé, bez prohlubní, drobné kameny	0.035
Nezanesené, vinuté, drobné nánosy	0.04
Mírně zanesené, větší kameny	0.045

Tabulka č. 3, Hodnoty drsností pro koryto toku (Brunner, 2010b)

Záplavová území	
a, Pastviny	
Nízký porost	0.03
Vyšší porost	0.035-0.04
b, Kultivované plochy	
Po sklizni	0.03
Vzrostlá vegetace	0.035-0.04
c, Porosty s keři, stromy	
Roztroušené keře, vysoká tráva	0.04-0.05
Vyšší keře a stromy ve vegetačním období	0.04-0.06
Vysoké stromy a keře ve vegetačním období	0.1
d, Urbanizované plochy	
Všeobecně	0.1

Tabulka č. 4, Hodnoty drsností pro záplavová území (Brunner, 2010b)



Obrázek č. 17, Hodnoty drsnostního součinitele podle Manninga

Nastavení podmínek proudění a okrajových podmínek

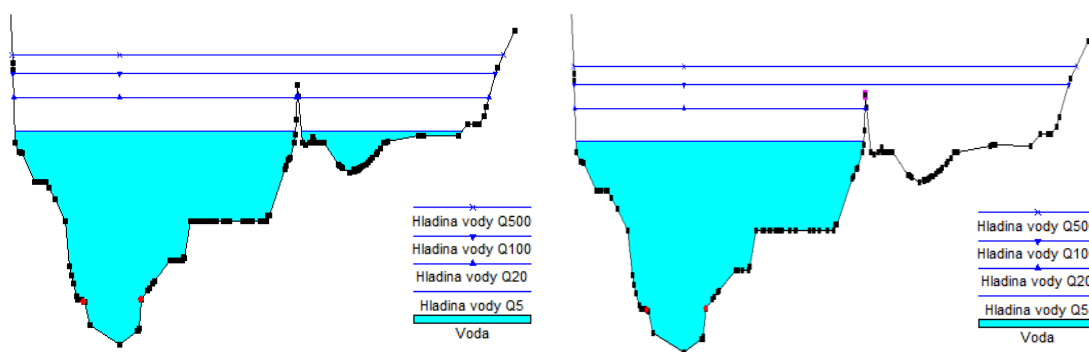
Aby mohl být proveden výpočet pro jednotlivé N-leté průtoky, které potenciálně způsobí zaplavení území, bylo nutno kulminační průtoky N-letých průtoků zadat do programu HEC-RAS. Pomocí *Edit -> Steady Flow Data* pod záložkou *Enter/Edit Number of Profiles* jsem specifikovala počet scénářů – v mém případě to byly 4 (Q_{20} , Q_{50} , Q_{100} a Q_{500}). V tom samém okně jsem pod *Options -> Edit Profile Names* změnila názvy pro jednotlivé uvažované průtoky. Po nahrání daných nastavení jsem zadala hodnoty N-letých průtoků pro jednotlivé scénáře dle tabulky č. 2.

Rovněž zadání okrajových podmínek pro analýzu dat je velmi důležité. Na místě bylo zadat okrajové podmínky pro počátek i konec úpravy řešeného části Labe. Pro úsek byly nastaveny okrajové podmínky pomocí *Edit -> Steady Flow Data -> Reach Boundary Conditions*. Okrajová podmínka pro spodní část řešené části toku byla nastavena jako *Normal Depth*. Při použití této podmínky se předpokládá, že zde není přítomen žádný vodní skok. Hodnota, která se uvádí při aplikaci této podmínky, je hodnota sklonu pod řešenou částí toku. Pro získání této hodnoty jsem vycházela z hodnoty sklonu řešeného úseku a tento údaj jsem následně optimalizovala tak, aby byl průběh hladiny v koncových profilech plynulý.

Protipovodňová stěna, levees

V případě, že se v blízkosti vodního toku, respektive na jeho břehu, nachází protipovodňová stěna či jiná vertikální bariéra, je užitečné tuto skutečnost v profilech, ve kterých se tato bariéra nachází, zaznamenat. V mém případě jsem

výšku protipovodňových stěn specifikovala již v prostředí HEC-GeoRAS. Stejný postup se ale provádí i v případech, že koryto má v příčném profilu různé terénní prohlubeniny oddělené vertikální stěnou nebo valem. Program HEC-RAS neumí vyhodnotit, zdali má nejprve plnit vodou hlavní koryto a poté až tyto prohlubeniny za bariérou a plní tedy koryto i terénní prohlubeniny konstantně odspoda a proto se pro určení plnění využívá funkce *Edit -> Geometric Data -> Cross Sections -> Options -> Levees*, kde se nastaví výška, při které se zajistí, že se místo za bariérou začne plnit až po dosažení nejvyššího bodu bariéry proudící vodou v korytě. Rozdíl po nastavení této charakteristiky je patrný z obrázku č. 18.



Modré linie znázorňující výšku hladiny při Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} bez použití funkce levees

Modré linie znázorňující výšku hladiny při Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} s použitím funkce levees

Obrázek č. 18, Využití funkce levees

Redukce počtu bodů příčných profilů

Každý profil v prostředí HEC-RAS může být sestaven až z 500 bodů. Pokud by model obsahoval profil s více než 500 body, nedojde k závěrečnému výpočtu. Proto jsem přes *Edit -> Geometric Data -> Tools -> Cross Section*

Points Filter provedla redukci počtu bodů. V otevřeném okně jsem si zvolila záložku *Multiple Locations* a vybrala jsem pro redukci pomocí tlačítka se symbolem šipky všechny profily. Poté na záložce *Minimize Area Change* jsem nastavila snížení počtu bodů v profilech na 400.

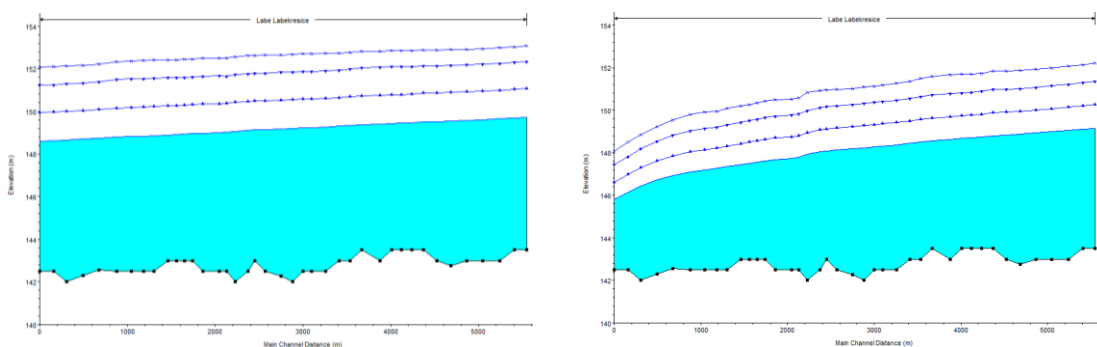
Výpočet modelu v HEC-RAS

Ve chvíli, kdy byly vypracované vstupní parametry hydraulického modelu, bylo možné spustit výpočet zamýšleného modelu. Jelikož v uvažovaném případě předpokládám říční ustálené nerovnoměrné proudění, využila jsem analýzu *Steady Flow*. Ještě před samotným spuštěním výpočtu jsem si nastavila počet úseků vertikálního členění jednotlivých profilů pro odvození rychlostí. Protože program HEC-GeoRAS, ve kterém dochází k pozdějšímu vytvoření rastru rychlostí, pouze

interpoluje hodnoty rychlostí z bodů jednotlivých profilů, je užitečné vytvořit vysoké množství bodů, ze kterých je brána hodnota pro interpolaci. Pro tento účel jsem v hlavním okně HEC-RAS postupovala takto: *Run -> Options -> Flow Distribution Locations -> Set Specific Location Subsection Distribution -> Number of SubSections* nastavila pro levou, pravou i centrální část každého z příčných profilů nastavila hodnotu 15. Následně jsem toto potvrdila tlačítkem *Set Selected Range*. Naposledy jsem tedy spustila model přes hlavní okno aplikace HEC-RAS -> *Run -> Steady Flow Analysis*.

Výsledky hydraulického modelování

Po dokončení výpočtu v prostředí HEC-RAS je účelné se podívat na grafické výsledky modelu. Jako první jsem zkontrolovala průběh hladiny toku při daných průtocích. Průběh hladiny se zdá z podélného profilu být v pořádku, jelikož zde nedochází na konci řešené části ke vniku kritického proudění vlivem prudkého snížení výšky nebo vzduť hladiny vody – tedy ke změně režimu proudění z říčního na bystřinné, a to díky správně zvolené hodnotě sklonu při nastavování okrajových podmínek. Rozdíl je patrný z obrázku č. 19. Pro snížení vlivu chyby dolní okrajové podmínky je zvolen počáteční profil úseku 250 m pod zájmovým územím.

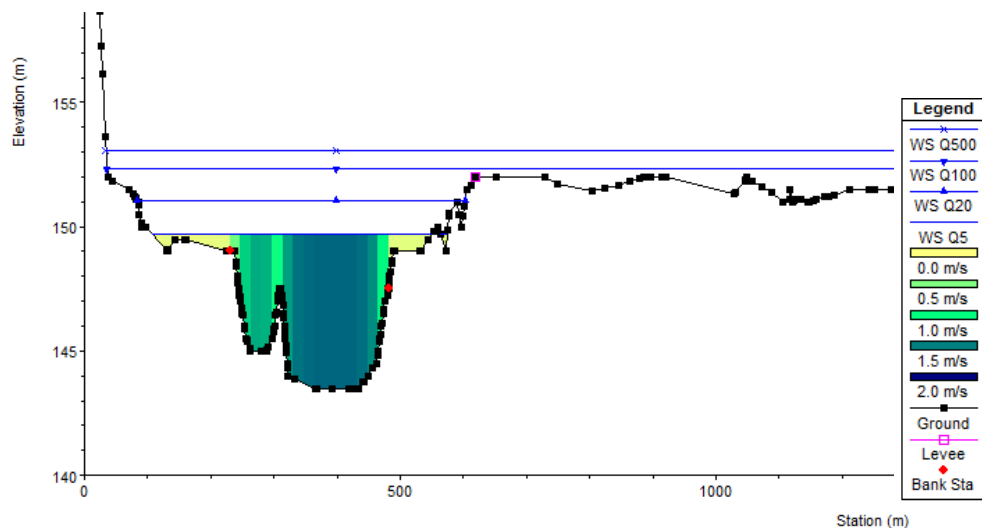


Podélný profil korytem s naznačenými průběhy hladin pro N-leté průtoky

Podélný sklon s velmi nevhodně zvoleným sklonem – vznik vodního skoku

Obrázek č. 19, Volba podélného sklonu

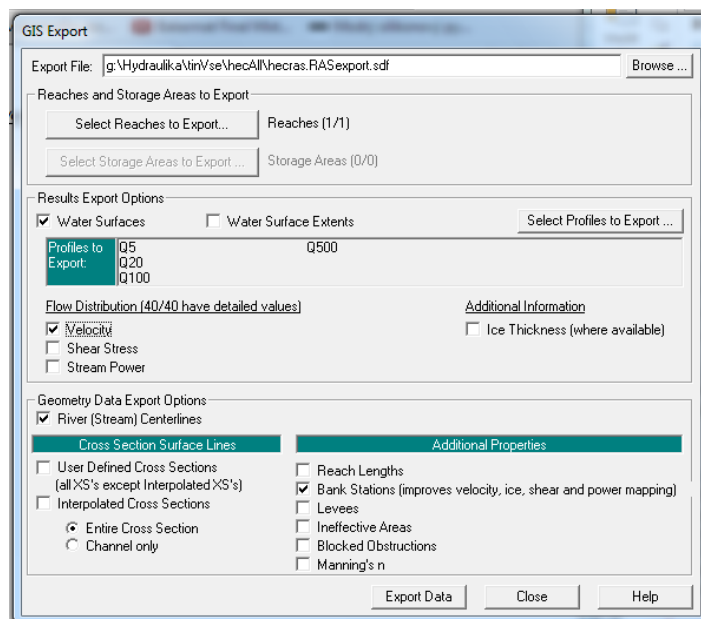
Účelné je rovněž vizuálně zkontrolovat příčné profily, zdali je jejich šířka dostatečná pro rozliv vody i při velmi vysokých objemech. V příčném profilu je dále možné si zobrazit vertikální rozdělení rychlostí proudící vody, což je výhodou 1,5D modelování, které je využíváno pomocí software HEC-RAS. Obrázek č. 20 vyobrazuje vertikální členění rychlosti vody v profilu.



Obrázek č. 20, Příčný profil toku se znázorněnými rychlostmi vody pro Q_5

Export hydrodynamického modelu

Pokud nenastal během vytváření a výpočtu modelu žádný problém a nezobrazilo se varovné okno, je možné přistoupit k exportu dat z modelu a k jejich vizualizaci v programu ArcMap. Pro export modelu je zapotřebí v hlavním okně programu HEC-RAS jít na *File -> Export GIS Data* (viz obrázek č. 21). Modely pro scénáře řešených N-letých průtoků je potřebné vybrat pomocí tlačítka *Select Profiles to Export*. Současně jsem si vygenerovala i mapu rychlostí po zatržení položky *Velocity*. V této fázi je rovněž možné zvolit, zdali mají být výsledky vygenerovány pro každý povodňový scénář nebo pro jednotlivé zvolené scénáře. V mém případě jsem nechala model vyexportovat data pro všechny čtyři povodňové scénáře. Po nastavení požadovaných podmínek jsem export dat potvrdila tlačítkem *Export Data*. Tento krok vytvoří výstupní dokument prostředí HEC-RAS s koncovkou *.sdf*.



Obrázek č. 21, Nastavení pro export dat z prostředí HEC-RAS

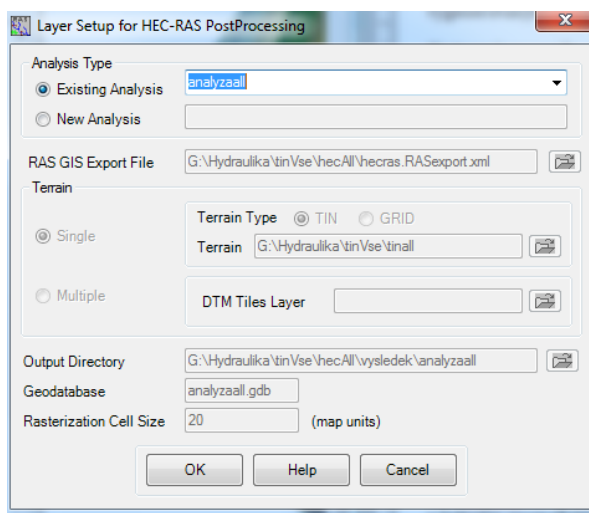
4.3.3 Post - processing

Prezentace výsledků hydrodynamického modelu v prostředí ArcGIS

Prezentaci výsledků předchází import dat do platformy ArcGIS. V dokumentu ArcMap je toto možné pomocí tlačítka *Import RAS SDF* pod ovládacím panelem extenze HEC-GeoRAS. Operace spuštěné tímto tlačítkem převádí vyexportovaný soubor SDF do struktury XML. V konvertovacím okně, které toto tlačítko vyvolá, jsem zadala vstupní data pro transformaci ve formátu SDF a umístění budoucího transformovaného dokumentu.

Nastavení pracovního prostředí

Pro práci s výsledky datového souboru XML bylo nutné nastavit vstupní parametry pro vizualizaci vrstev. Přes *RAS Mapping -> Layer Setup* (obrázek č. 22) byla na kartě *Analysis Type -> New Analysis* pojmenována nová analýza. Poté jsem nastavila cestu k vyexportovaným datům z programu HEC-RAS (*RAS GIS Export File*). V neposlední řadě jsem vybrala digitální model terénu (DTM) ve formě již vytvořeného TIN. Posledním postupem bylo nastavení adresáře pro uložení analýzy. Při definování každé nové analýzy je vyvoláno vložení nového data frame do prostředí ArcMap a zároveň je vytvořena nová geodatabáze pro ukládání vygenerovaných vrstev, která je defaultně pojmenována jako *RASResults*. Veškeré další procesy při grafickém zpracování výsledků vycházejí z digitálního modelu území – tedy TIN vrstvy a z výstupního souboru vypracovaného v prostředí HEC-RAS –SDF nebo XML dokumentu (US Army Corps of Engineers, 2009).



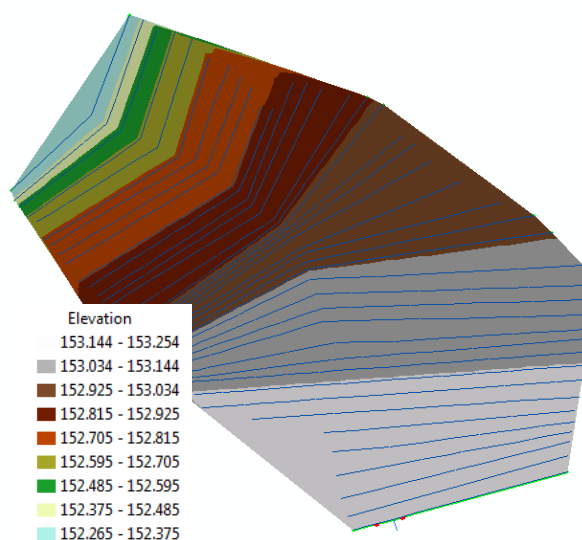
Obrázek č. 22, Nastavení pracovního prostředí pro vizualizaci výsledků modelu

Import podkladových vrstev

Po předchozím nastavení pracovního prostředí jsem importovala RAS data (konvertovaný SDF dokument) a to přes extenzi HEC-GeoRAS: *Mapping -> Import RAS data*. Takto byl vložen polygon určující rozsah rozlivu – *Bounding Polygon*

a spolu s ním byly také znovu vygenerovány samotné příčné řezy tokem. Tyto dvě vrstvy jsou vkládány do analýzy v prostředí ArcMap defaultně, protože z nich vychází pozdější analýza v území.

Posléze jsem využila funkce *RAS Mapping -> Inundation Mapping*. Nejprve jsem vygenerovala pomocí *Water Surface Generation* vrstvu, která představuje nadmořskou výšku terénu v každém uvažovaném příčném profilu toku v rozmezí příčných profilů toku (obrázek č. 23). V tomto kroku je možné zvolit, zdali má program vytvořit tuto TIN vrstvu pro každý specifikovaný scénář průtoků nebo pouze například pro jediný scénář.

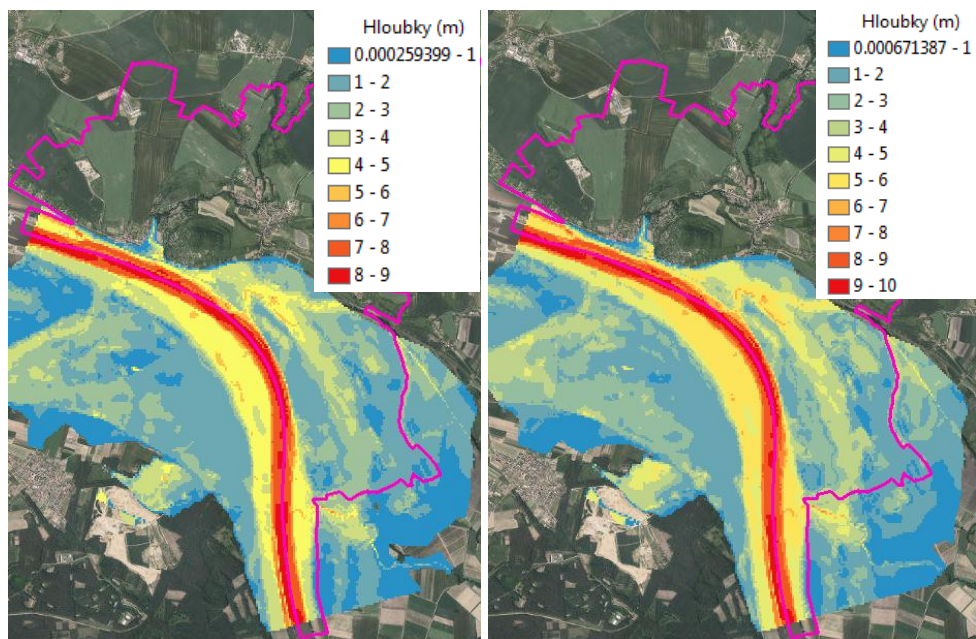


Obrázek č. 23, Výškové poměry jednotlivých profilů

Mapy hloubek, rychlostí a rozsah rozlivů

Hloubky a rychlosti vody v řešeném území popisují rastry hloubek a rychlostí. HEC-RAS počítá rychlosti proudící vody v bodech každého řešeného příčného profilu vodního toku a mezi za sebou jdoucími profily tedy dochází k interpolaci bodových hodnot. V místech, kde je stanovena hloubka vody jako nula, je i rychlost vody nulová. Obecně tato interpolace rychlostí vody mezi profily podává kvalitní výsledky, pokud jsou profily v přiměřené vzdálenosti od sebe dle vlastností toku (Evans & kol., 1999).

Mapy hloubek byly vytvořeny po importu hodnot modelu z HEC-RAS do prostředí HEC-GeoRAS na základě digitálního modelu terénu TIN pomocí *RAS Mapping -> Inundation Mapping -> Floodplain Delineation Using Rasters*, kde bylo opět možné zvolit, pro který ze scénářů průtoků se má vrstva vytvořit. Poté tedy došlo k vytvoření rastru hloubek vody v potenciálně zaplaveném území pro jednotlivé scénáře průtoků. Výsledné hloubky vody v řešeném geografickém území závisí na hloubce vody při jednotlivých N-letých průtocích v průniku s výškovým průběhem povrchu oblastí stanovené z digitálního modelu terénu TIN. Obrázek č. 24 zobrazuje hloubky vody pro Q_{100} a Q_{500} .

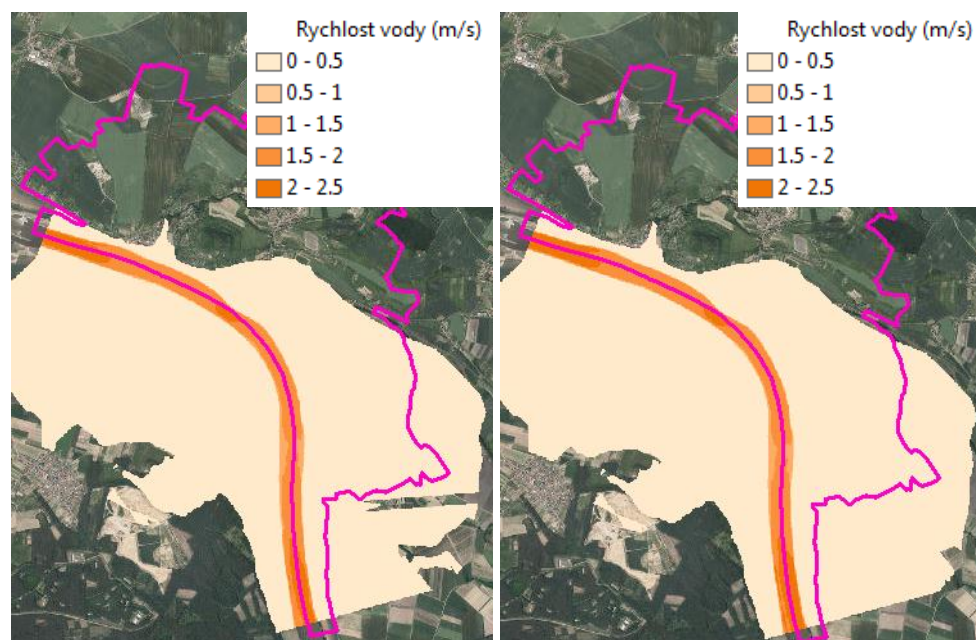


Rastr hloubek vody pro Q_{100}

Rastr hloubek vody pro Q_{500}

Obrázek č. 24, Rastry hloubek vody pro Q_{100} a Q_{500}

Mapy rychlostí byly získány pomocí *RAS Mapping -> Velocity Mapping*. Tento postup opět vyvolá dialogové okno, ve kterém je možné zvolit, pro který povodňový scénář mají být mapy rychlostí vytvořeny. Výsledný rastr rychlostí byl přidán do *Data Frame*. Tento rastr popisuje rychlosti proudění vody v m/s. Rozložení rychlostí pro Q_{100} a Q_{500} je vidět na obrázku č. 25.



Rastr rychlostí vody pro Q_{100}

Rastr rychlostí vody pro Q_{500}

Obrázek č. 25, Rastry rychlostí vody pro Q_{100} a Q_{500}

4.4 Vyjádření povodňového rizika – semikvantitativní přístup

4.4.1 Stanovení zranitelnosti území, plán funkčních ploch obce

Jedním z podkladů pro tvorbu map povodňových nebezpečí a rizik je vyjádření zranitelnosti území, které vychází z územního plánu. Vzhledem k tomu, že obec Křešice nemá vyhotovený digitální územní plán, bylo tedy nejprve nutné vytvořit mapu funkčního využití ploch v území pomocí softwaru ArcMap. Od ČUZK jsem zdarma získala potřebné podklady, podle kterých bylo možné určit různé druhy funkčních ploch sledovaného území. Mezi tyto podklady patří základní mapa 1:5 000 (ZABAGED), letecké snímky (ortofota) sloužící jako zdroje informací o aktuálním stavu řešeného území, tedy pro určení různých druhů povrchů a rozložení vegetace. Dále byly přínosné i katastrální mapy. Pro informaci o využívání území jsem také využila internetové stránky obce a provedla terénní průzkum.

V programu ArcMap jsem v editačním režimu z uvedených podkladů provedla vektorizaci objektů a funkčních ploch potřebných pro výsledky této diplomové práce. Pro účely stanovení zranitelnosti území a s ohledem na postup uvedený v Metodice tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik vydanou VÚV T.G. Masaryka v Praze roku 2009 (dále jen v Metodice VÚV), byly funkční plochy v území klasifikovány do těchto kategorií – plochy bydlení, občanské vybavenosti, technické vybavenosti, dopravy, výrobních ploch a skladů, rekreace a sportu a zahrad. Pro potřeby rizikové analýzy bylo nutné dále vyobrazit citlivé objekty, ve kterých je běžná vyšší koncentrace lidí (školy, nemocnice, ústavy sociální péče) a velmi důležité objekty, které zajišťují fungování obce (objekty energetiky, tlakové stanice plynu, úpravný pitných vod a podobně).

Do kategorie bydlení všeobecně spadají domy, bytové domy, budovy pro přechodné bydlení.

Do kategorie občanské vybavenosti patří na území Křešic místní mateřská a základní škola, ordinace praktického lékaře, kostel Nejsvětější Trojice, Panny Marie a sv. Matouše, hřbitov, knihovna, památný strom, obecní úřad, policie, pošta, restaurace, sbor dobrovolných hasičů (v katastru disponují dva sbory).

Technickou vybavenost v Křešicích představují objekt solární elektrárny, čistírna odpadních vod, skládka, odkaliště, veřejný vodovod, plynovod a vedení elektrického napětí.

Mezi objekty dopravní infrastruktury v Křešicích patří železniční stanice, železnice a pozemní komunikace.

Prostor pro sport a rekreaci slouží v Křešicích hřiště a zahrádkářské kolonie.

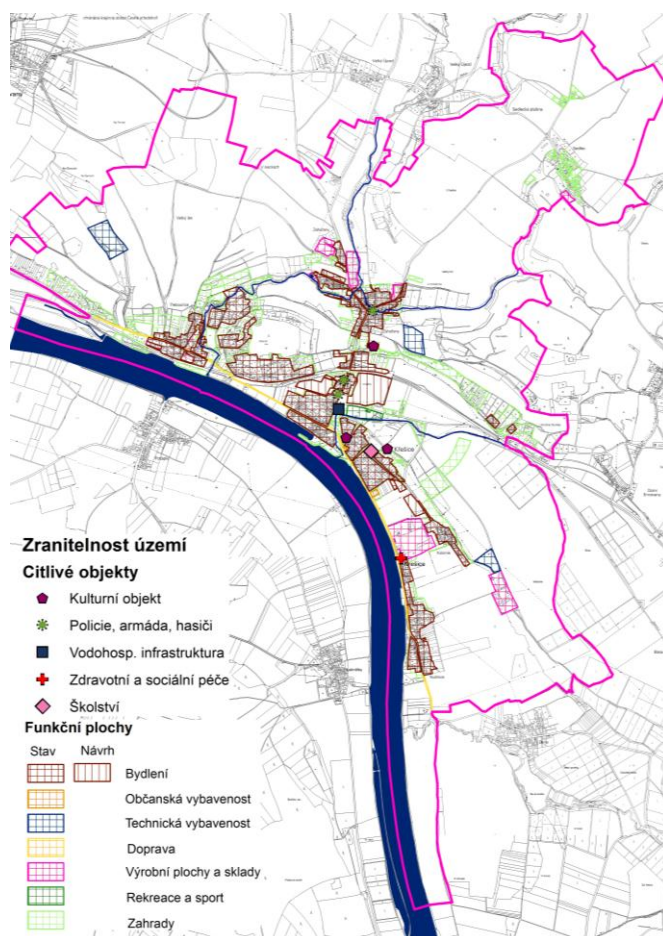
Převážná část katastrálního území Křešic je tvořena výrobními plochami a sklady. Do těchto ploch spadá orná půda, chmelnice, fabrika, skladovací plochy, skleníky a ostatní výrobní plochy.

Zbytek území vyplňují plochy zeleně a zahrad – lesní půda se stromy nebo křovinatým porostem, okrasné zahrady, parky, ovocné sady a trvalé travní porosty.

Do kategorie citlivých objektů jsem zahrнула kulturní památky obce, budovu školy, hasičskou zbrojnici, policejní stanici, ordinaci lékaře a ČOV.

Dle Metodiky VÚV se do mapy rizik zahrnují i plochy návrhové a výhledové. Na základě poskytnutých podkladů od obce jsem zjistila, že prozatím jsou jako návrhové plochy určeny pouze plochy pro bydlení.

Kategorie charakterizující zranitelnost území jsou patrné z obrázku č. 26.



Obrázek č. 26, Kategorie charakterizující zranitelnost území obce Křešice

4.4.2 Kvantifikace povodňového nebezpečí

Povodňové nebezpečí je určováno pomocí několika charakteristik. Mezi ně patří rozsah rozlivu, hloubka a rychlost vody v záplavové oblasti. O exportu a vizualizaci rastrů, které nesou informace o rozsahu rozlivu, hloubkách a rychlostech vody pro zkoumané území, bylo zmíněno v předchozí kapitole (Mapy hloubek, rychlostí a rozsahu rozlivů). Dané charakteristiky se poté zpracovávají do hodnot intenzity povodně (Jelínková, 2013).

Intenzita povodně IP je chápána jako měřítko ničivosti povodně a je definována jako funkce hloubky vody h [m] a rychlosti vody v [m/s] (Beffa, 2000, Drbal & kol., 2005, Říha & kol., 2005). Pro stanovení intenzity povodně je možné v nástrojích software GIS aplikovat pro výpočet vztah, takzvanou matici rizika, kterou uvádí ve své Metodice VÚV Drbal & kol. 2009:

$$IP = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & h = 0 \text{ m} \\ 0,3 + 1,35 \cdot h & h > 0 \text{ m}, v < 1 \text{ m/s} \\ 0,3 + 1,35 \cdot h \cdot v & v > 1 \text{ m/s} \end{array} \right\}$$

kde vstupními údaji pro výpočet intenzity povodně IP jsou rastrové vrstvy hloubek a rychlostí vody, které byly získány při post-processingu v HEC-GeoRAS. Proměnná h je tedy představována hodnotami hloubek z rastrové vrstvy hloubek a proměnná v je představována hodnotami rychlostí rastrové vrstvy rychlostí. Implementace této matice do prostředí GIS byla provedena díky nástroji *Raster Calculator* a jeho funkci *Con*. Tento nástroj je velice užitečný pro výpočet nových hodnot buněk rastru na základě vložení daného vztahu. Díky funkci *Con* je možné využít zadávání vztahů ve formě podmínek při současné numerické analýze více vrstev za získání nové vrstvy s přepočítanými hodnotami dle vstupního vztahu.

Aplikace této matice pro výpočet intenzity povodně IP byla nutná pro každý povodňový scénář. Pro každý povodňový scénář by mělo mít použití této matice tři výstupní vrstvy, každá pro vyjádření jednotlivých řádků matice.

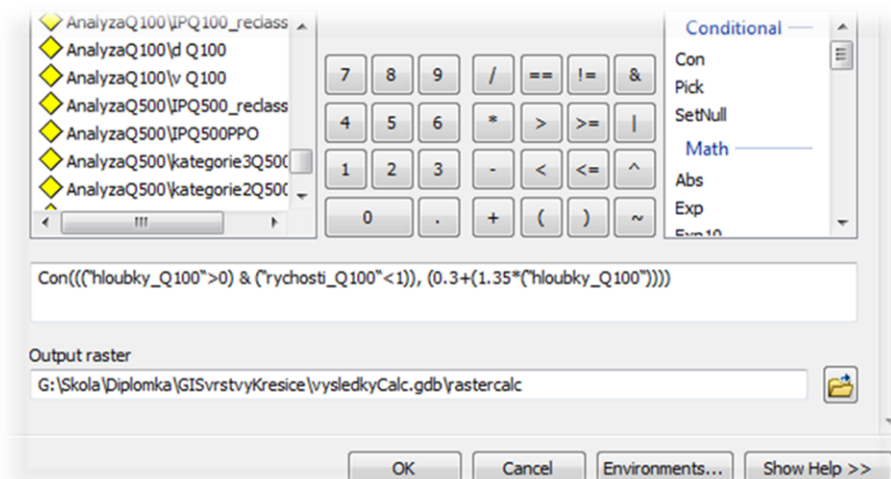
Pro první řádek matice, v mém případě hodnoty hloubek h , v žádné z vyexportovaných rastrových vrstev nedosahovaly hodnoty nula, ale hodnota h byla vždy větší než nula, tudíž jsem tuto část matice mohla vynechat z přepočítávání. Intenzita povodně $IP = 0$ je tedy všude tam, kde se voda nerozlévá, tedy tam, kde je výška hladiny rovna nule.

Druhý řádek matice formuluje vzorec, který se využívá v případě, že hodnoty buněk rastru hloubek mají hodnotu větší než nula a současně hodnoty buněk rastru rychlostí dosahují hodnoty menší než jedna. Pokud nastane takováto situace, hodnoty buněk obou zmiňovaných rastrů je nutné přepočítat tak, že hodnota hloubky h se násobí koeficientem 1.35 a k výsledku se přičte konstanta 0.3. Na místo buněk rastrů, v nichž je dosaženo podmínky dané $h > 0$ a současně $v < 1$, je vytvořena nová rastrová vrstva s hodnotami danými zmíněným výpočtem. Tento výpočet se provede příkazem *ArcToolbox -> Spatial Analyst Tools -> Map Algebra -> Raster Calculator*

Formulace vzorce do *Raster Calculator* pro tento případ:

`Con(("hloubky_QN">0) & ("rychlosti_QN"<1)), (0.3+(1.35*("hloubky_QN")))`

Dialogové okno se zadaným vztahem pro výpočet pomocí *Raster Calculatoru* je na obrázku č. 27.



Obrázek č. 27, Příklad použití Raster Calculatoru

Obdobný postup platí i pro třetí řádek matice. Tento řádek matice formuluje vzorec, který se využívá v případě, že hodnoty buněk rastru rychlostí dosahují hodnoty větší než jedna. Pokud nastane tato situace, hodnoty buněk rastrů popisujících hloubky a rychlosti proudění vody je nutné přepočítat tak, že se hodnota buňky rastrové vrstvy hloubek h násobí hodnotou buňky rastrové vrstvy rychlostí v . Tato hodnota se dále násobí koeficientem 1.35 a k výsledku se přičte konstanta 0.3. Na místo buněk rastrů, v nichž je dosaženo podmínky $v > 1$, je vytvořena nová vrstva s hodnotami danými zmíněným výpočtem.

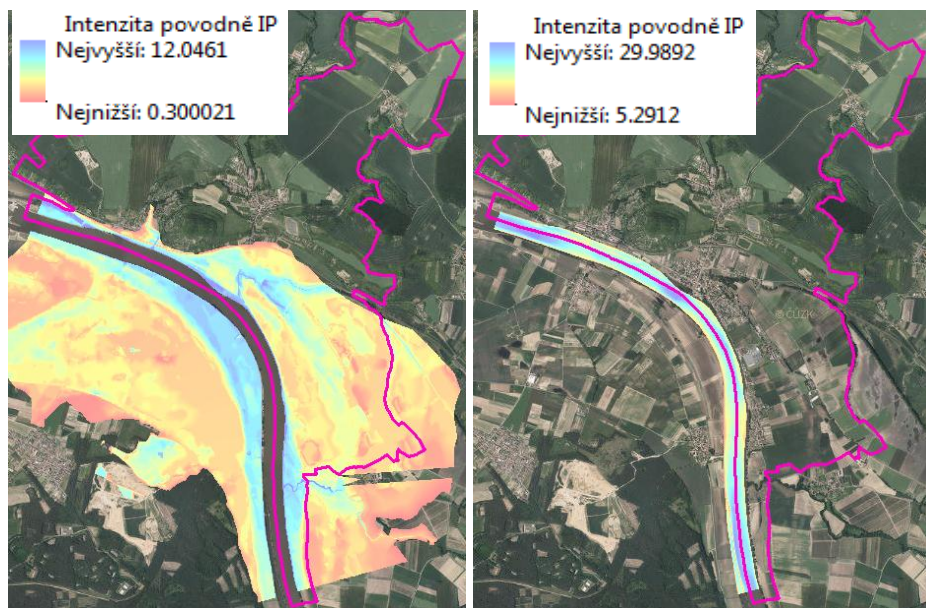
Formulace vzorce do *Raster Calculator* pro tento případ:

$\text{Con}(((\text{rychlosti_Q}_N > 1), (0.3 + (1.35 * (\text{hloubky_Q}_N * (\text{rychlosti_Q}_N))))))$

Tímto postupem byly vytvořeny dvě nové rastrové vrstvy pro každý povodňový scénář, které hodnotami svých buněk popisují hodnoty intenzity povodně IP . Obě vrstvy na sebe kontinuálně navazují. Tyto vrstvy jsou vidět na obrázku č. 28.

Prostorový rámeček rastrové vrstvy intenzity povodně IP zobrazuje i rozsah rozlivu vody v území.

Vzhledem k tomu, že obec má vystavěnou protipovodňovou stěnu, byly výpočty provedeny pro jednotlivé scénáře Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} pro situaci s protipovodňovou ochranou a bez ní.

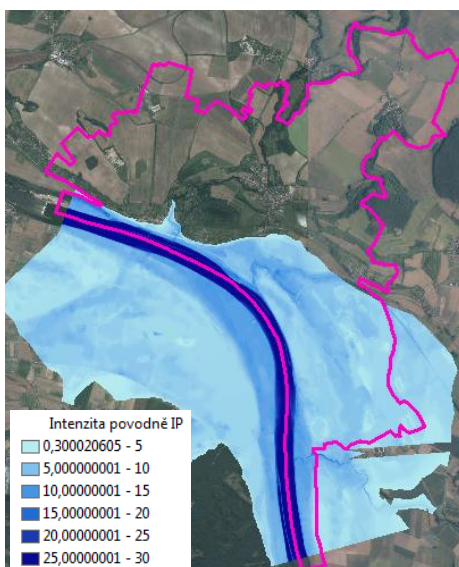


Intenzita povodně IP pro Q_{100} při $h > 0$ m a $v < 1$ m/s

Intenzita povodně IP pro Q_{100} při $h > 0$ m a $v < 1$ m/s

Obrázek č. 28, Intenzita povodně zobrazená pomocí rastrů

Za použití nástroje *Cell Statistic* byly vytvořené vrstvy intenzity povodně pro jednotlivé scénáře sjednoceny do jedné vrstvy (obrázek č. 29), se kterou bylo možné provádět další analýzu.



Obrázek č. 29, Výsledná intenzita povodně IP pro Q_{100}

4.4.3 Stanovení povodňového ohrožení

Ohrožení $H_i(x,y)$ při daném povodňovém scénáři $Q_i(P_i)$ je v určitém místě (se souřadnicemi x, y) řešeného území vyjádřeno jako funkce pravděpodobnosti P_i

výskytu daného povodňového scénáře (při stanovené N-letosti kulminačního průtoku) a intenzity povodně $IP_i(x,y)$ (Beffa, 2000):

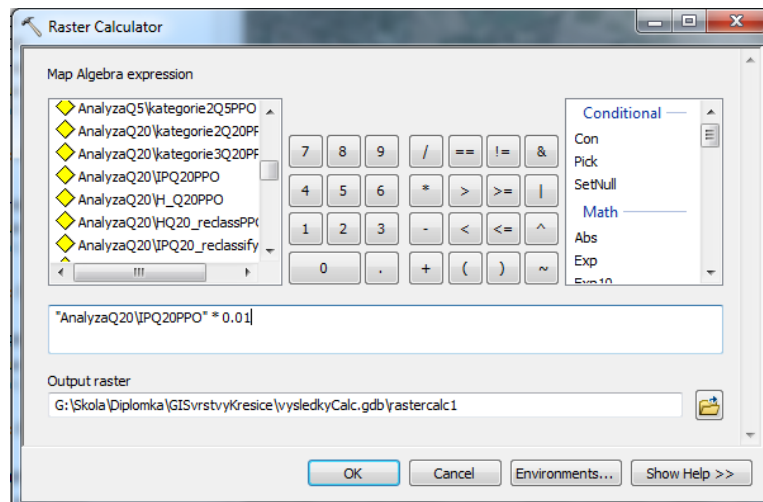
$$H_i(x,y) = IP_i(x,y) \cdot P_i$$

kde

$$P_i = 1 - e^{(-1/N)}, \text{ resp. } P_i = 1/N \text{ pro velká } N \text{ (cca } N > 10)$$

N je doba opakování povodňové události v rocích.

Rovněž tento výpočet byl proveden pomocí *Raster Calculator: ArcToolbox* -> *Spatial Analyst Tools* -> *Map Algebra* -> *Raster Calculator* (obrázek č. 30), kde se jednotlivé rastry popisující intenzitu povodně IP přenásobí koeficientem P_i dle řešeného povodňového scénáře.



Obrázek č. 30, Příklad použití Raster Calculatoru

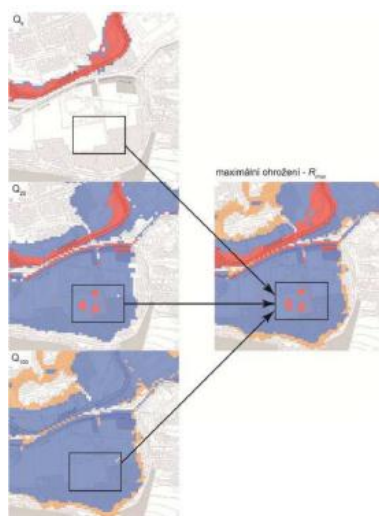
Výsledné hodnoty rastrové vrstvy ohrožení H pro jednotlivé N-leté povodňové scénáře byly následně díky funkci *Reclassify: ArcToolbox* -> *Spatial Analyst Tools* -> *Reclass* -> *Reclassify*; reklasifikovány do intervalů charakterizující míru ohrožení dle tabulky č. 5.

Ohrožení H	Kategorie ohrožení	Doporučení
$H \geq 0,1$ nebo $IP > 3$	(4) Vysoké (červená barva)	Doporučuje se nepovolovat novou ani nerozšiřovat stávající zástavbu, ve které se zdržují lidé nebo umístění zvířata. Pro stávající zástavbu je třeba provést návrh povodňových opatření, která zajistí odpovídající snížení rizika, nebo zpracovat program vymístění této zástavby.
$0,01 \leq H < 0,1$	(3) Střední (modrá barva)	Výstavba je možná s omezeními vycházejícími z podrobného posouzení nezbytnosti funkce objektů v ohroženém území a z potenciálního ohrožení objektů povodňovým nebezpečím. Nevhodná je výstavba citlivých objektů (např. zdravotnická zařízení, hasiči apod.). Nedoporučuje se rozšiřovat stávající plochy určené pro výstavbu.
$0 < H < 0,01$	(2) Nizké (oranžová barva)	Výstavba je možná , přičemž vlastníci dotčených pozemků a objektů musí být upozorněni na potenciální ohrožení povodňovým nebezpečím. Pro citlivé objekty je třeba přijmout speciální opatření, např. traumatologický plán ve smyslu krizového řízení.
$P < 0,0033$ (tj. $N\text{-letost} > 300$)	(1) Reziiduální (žlutá barva)	Otázky spojené s povodňovou ochranou se zpravidla doporučuje řešit prostřednictvím dlouhodobého územního plánování se zaměřením na zvláště citlivé objekty (zdravotnická zařízení, památkové objekty apod.). Snahou je vyhnout se objektům a zařízením se zvýšeným potenciálem škod.

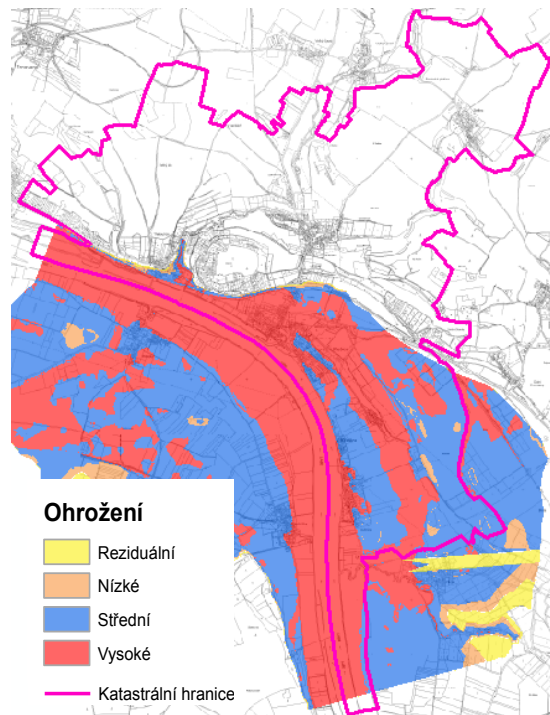
Tabulka č. 5, Hodnoty specifikující intervaly, které popisují míru ohrožení (Drbal & kol., 2009)

Kategorizace celkového ohrožení území vychází z nejvyšší dosažené hodnoty ohrožení v daném místě, viz obrázek č. 31. Tato hodnota se získá průnikem informací o ohrožení každého N -letého průtoku. Nejvyšší hodnoty ohrožení se vyskytují samozřejmě v korytech a v místech, kde dochází k rozlivu vody z koryta toku a při povodních s vysokou pravděpodobností opakování (Q_5).

Protože byl výpočet hodnot povodňového ohrožení proveden pro každý povodňový scénář zvlášť, bylo poté nutné pro vybrání maximální hodnoty v každé buňce rastru reprezentující jednotlivý povodňový scénář využít nástroj *Cell Statistics* a funkci *Maximum: ArcToolbox -> Spatial Analyst Tools -> Local -> Cell Statistics*. Výsledné intervaly hodnot ohrožení se zobrazují pomocí barevné škály odpovídající tabulce č. 5. Výsledkem je mapa zobrazující míru ohroženosti ploch a na jejím základě je možné stanovit budoucí ploch v obci (obrázek č. 32).



Obrázek č. 31, Výběr maximální hodnoty ohrožení, (Jelínková, 2013)

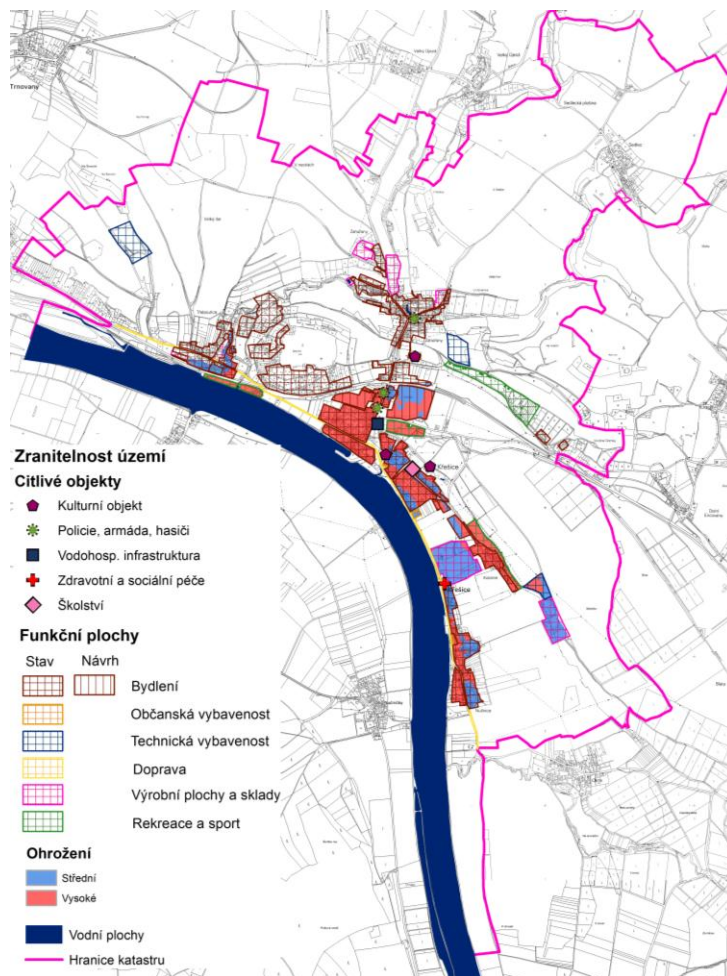


Obrázek č. 32, Povodňové ohrožení obce Křešice

4.4.4 Stanovení povodňového rizika

Povodňové riziko je určeno průnikem informací o povodňovém ohrožení a zranitelnosti řešeného území. Každá kategorie funkčních ploch má stanovenou míru přijatelného rizika dle tabulky č. 1. a v mapách povodňového rizika jsou pak zobrazeny plochy daných kategorií, u kterých došlo k překročení přijatelného rizika (Drbal & kol., 2009). Hodnoty ohrožení pro každou z ploch, ve které došlo k překročení přijatelnosti, jsou uvedeny pomocí barevné škály opět dle tabulky č. 1.

Vyhodnocení povodňového rizika pro funkční plochy, u kterých je stanovena maximální hodnota přijatelného nebezpečí dle tabulky č. 1, jsem provedla pomocí nástroje: *ArcTool Box -> Data Management Tools -> Raster -> Raster Processing -> Clip*, čímž jsem vytvořila průnik informací rasterové vrstvy povodňového ohrožení s polygonovou vrstvou funkčních ploch. Jelikož u vrstvy Lesů a zeleně je přijatelné riziko stanoveno jako vysoké, což je nejvyšší klasifikované ohrožení, bylo možné tyto plochy z budoucího klipu vyloučit. U všech zbylých funkčních ploch, do kterých zasahovaly buňky rasterové vrstvy udávající ohrožení, byla překročena míra přijatelného rizika, a proto nebylo potřebné z výsledného klipu rastru ohrožení extrahovat další buňky. Průnik informací o povodňovém ohrožení a kategorií funkčních ploch, tedy mapa rizika, je patrný z obrázku č. 33.



Obrázek č. 33, Mapa rizika pro obec Křešice

4.5 Vyjádření povodňového rizika – kvantitativní přístup

Povodňové riziko lze vyjádřit i ve výši finančních škod na objektech. Určení těchto ztrát se liší dle typů objektů, které byly záplavou poškozeny. Ceny daných objektů a jejich vybavení vychází z pořizovacích cen jednotlivých posuzovaných kategorií, které jsou odvozeny z cenových ukazatelů ve stavebnictví. Dále výpočet vychází z rozboru výšky zaplavení vybraných staveb v závislosti na ztrátové křivce, která udává minimální a maximální hodnotu výše škody pro vybranou kategorii staveb. Hloubka zaplavení není zohledňována například při výpočtu ztrát na dopravní infrastrukturu (Drbal & kol., 2009). V této diplomové práci byly pro jednotlivé kategorie uvažovány hodnoty minimálních škod, ke kterým může při povodňové události dojít. Do skupin objektů, pro které je dle Metodiky VÚV stanovována výše škod, v obci Křešice patří tyto kategorie: stavební objekty, vybavenost bytů a občanská vybavenost, sportovní plochy, pozemní komunikace, inženýrské sítě a průmysl. Jako podklad pro určení rozlohy a umístění uvedených kategorií jsem využila polygonové vrstvy z dříve vypracovaného digitálního plánu funkčních ploch pro obec Křešice.

Pro účely této diplomové práce jsem brala v úvahu účinnost protipovodňové ochrany obce, a proto jsem zjišťovala průměrnou výši škod pouze pro povodňový scénář, který by nastal při Q_{100} a Q_{500} .

Škody na stavebních objektech

Škody na stavebních objektech se počítají dle vzorce pro výpočet ztrát na stavebních objektech D_{SO} :

$$D_{SO} = A \cdot L_I(h) \cdot C_I, \quad [Kč]$$

kde

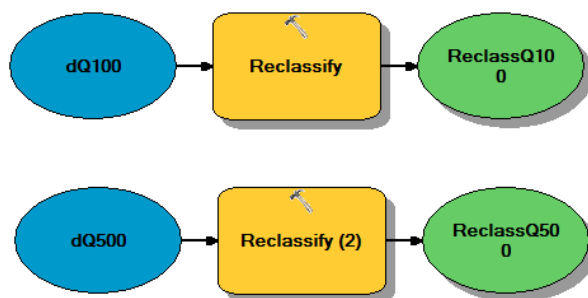
D_{SO} je ztráta na stavebních objektech

A je plocha polygonu budovy [m^2]

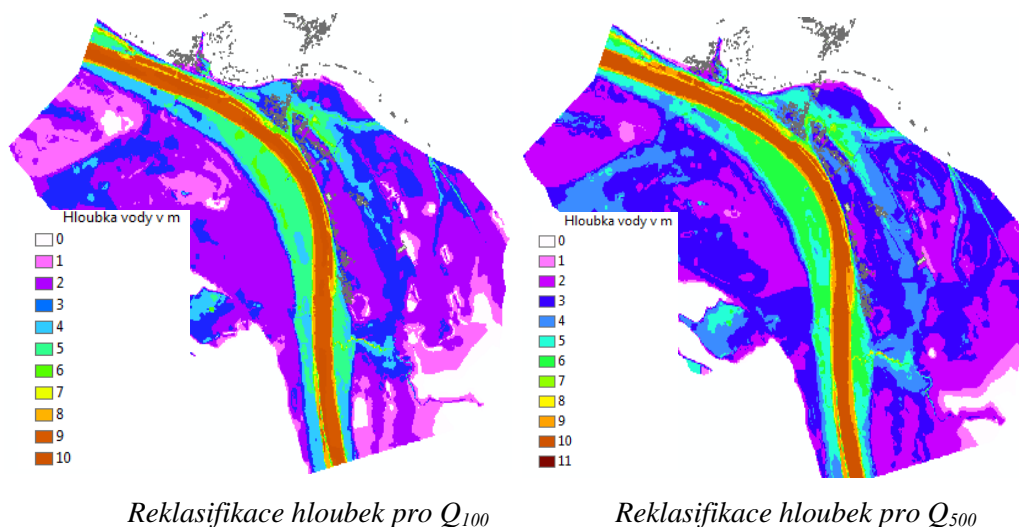
$L_I(h)$ je hodnota ztráty vyjádřená ze ztrátové funkce pro danou hloubku záplavy kolem objektu

C_I je jednotková cena jednoho podlaží budovy [$Kč/m^2$], (Drbal & kol., 2009).

Ke stanovení výše škody na stavebních objektech jsem si nejprve kategorizovala rastr hloubek vody do intervalů po 1 metru, jelikož hodnota ztráty na stavebním objektu dle Metodiky VÚV vychází z intervalů o velikosti 1 m. Z rastru hloubek pro Q_{100} a Q_{500} jsem si intervaly vytvořila v prostředí ArcMap pomocí funkce *ArcTool Box* -> *Spatial Analyst Tools* -> *Reclass* -> *Reclassify*. Abych snížila časovou náročnost těchto kroků, využila jsem *Model Builder* (obrázek č. 34).

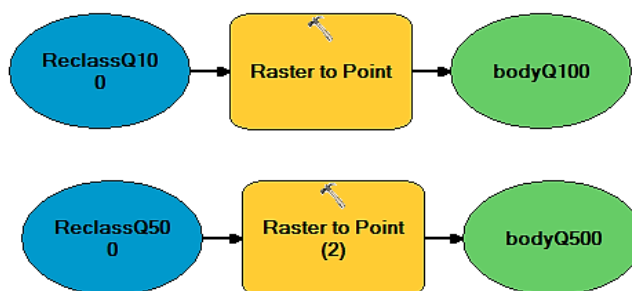


Obrázek č. 34, Vztah pro reklasifikaci rastrů v prostředí Model Builder



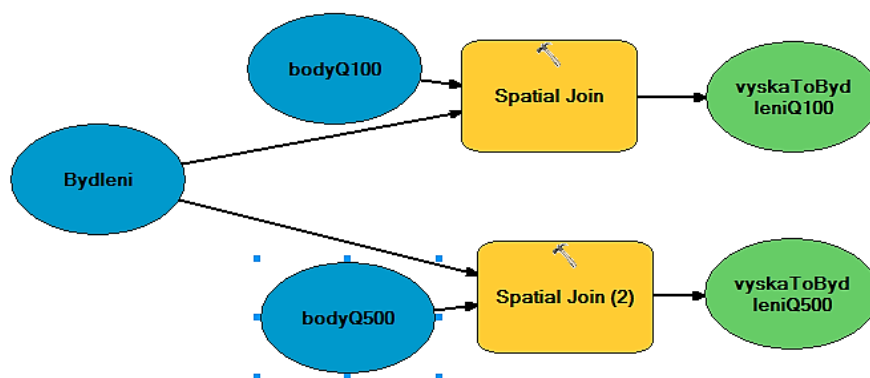
Obrázek č. 35, Reklasifikované hloubky vody do intervalů po 1 m

Pro zjištění výšky záplavy u jednotlivých stavebních objektů jsem vyexportovala hodnoty rasterové vrstvy hloubek body, které představují síť rozložení hloubek v záplavové oblasti. K této operaci jsem opět využila *Model Builder* (obrázek č. 36).



Obrázek č. 36, Vytvoření bodové sítě z rastrů

Následně jsem provedla průnik této bodové vrstvy s vrstvou bydlení, která obsahuje polygony, jež vymezují jednotlivé domy v obci. Tato analýza, která přidá do atributové tabulky polygonové vrstvy Bydlení každému objektu průměrnou hodnotu jeho zaplavení, se jmenuje *Spatial Join*. Analýza proběhla na základě průniku bodů s danými hodnotami hloubek a jednotlivými objekty pomocí matematické operace *Mean* – tedy průměrné hodnoty z bodů spadajících pod daný stavební objekt. Tímto jsem tedy získala informace o tom, který dům je zaplaven do jaké výšky. Hodnota zaplavení jednotlivého polygonu, tedy stavebního objektu, byla propána díky funkci *Spatial Join* (obrázek č. 37) do atributové tabulky vrstvy Bydlení.



Obrázek č. 37, Funkce Spatial Join

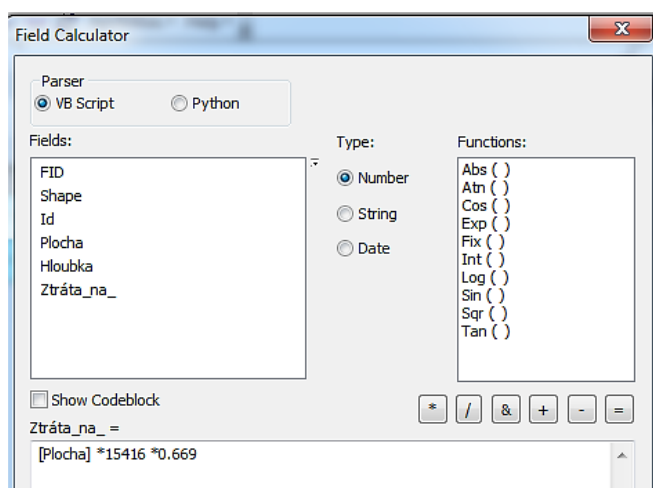
Dále jsem pomocí funkce *Calculate Geometry* -> *Area* v atributové tabulce vrstvy představující jednotlivé domy spočítala plochu domů, jelikož je tato informace potřebná pro stanovení výše škod.

Dalším krokem byla implementace vztahu pro výpočet ztráty na stavebních objektech. V atributové tabulce vrstvy bydlení jsem do nového sloupce pro každý interval výšky záplavy, který jsem si vybrala pomocí SQL dotazů, vypočítala pomocí *Field Calculatoru* hodnotu ztráty na stavebních objektech D_{SO} . Veličina A je tedy určena plochou objektu, za veličinu L_l jsem volila minimální hodnotu ztráty L dle tabulky č. 6 a hodnotu C_l , která představuje cenu budovy na m^2 , jsem dle Metodiky VÚV nastavila na 15 416 Kč.

Ztráta %	Hloubka zaplavení (m)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L_{\min}	2,23	6,69	9,93	12,69	17,15	20,38	23,15	27,61	30,84	33,61	38,07
L_{\max}	3,55	10,64	16,50	21,89	28,98	34,84	40,23	47,32	53,18	58,57	65,66

Tabulka č. 6, Procentuální vyjádření minimální a maximální ztráty (L) na stavebních objektech v závislosti na hloubce zaplavení (Drbal & kol., 2009 ex. Horský, 2008)

Vzorec pro výpočet výše ztrát na stavebních objektech v aplikaci *Field Calculator* například pro hloubku vody 4m byl vytvořen následovně (obrázek č. 38):



Obrázek č. 38, Použití Field Calculatoru pro výpočet ztrát

Po sečtení ztrát na všech zasažených objektech pro Q_{100} činí ztráta 136 210 945 Kč, pro Q_{500} 138 695 387 Kč. Výše škod na stavebních objektech zahrnuje i stavební objekty v zahrádkářských koloniích na území obce.

Škody na vybavenosti bytů a občanské vybavenosti

Škody na vybavenosti bytů a občanské vybavenosti se stanovují až od výšky zaplavení 0.5m. Pro výpočet těchto ztrát se obdobně jako v předchozím kroku pomocí funkce *Field Calculator* aplikoval následující vzorec:

$$D_V = A \cdot ZV, \quad [Kč]$$

kde

A je plocha zasažených bytových objektů a občanské vybavenosti s hloubkou zaplavení $h_{\min} = 0,5$ m a více $[m^2]$,

ZV je ztrátová cena $[Kč/m^2]$, která je jako minimální hodnota dle Metodiky VÚV stanovena na 1143 $Kč/m^2$ (Drbal & kol., 2009).

Celková škoda na vybavenosti domácností pro Q_{100} by dosáhla 69 499 882 Kč a na občanské vybavenosti 4 559 088 Kč, celkem tedy 74 058 970 Kč. Pro Q_{500} 69 854 201 Kč + 4 559 088 Kč, celkem 74 413 289 Kč. Sumy vyšly podobně, jelikož při stanovení výše ztráty na vybavenosti se nebere v úvahu hloubka záplavy, ale pouze její rozsah a Q_{500} má oproti Q_{100} rozsah nepatrně větší.

Škody na sportovních plochách

V obci se nachází hřiště, které je dle Metodiky VÚV zahrnuto do kategorie sportovních ploch. Výše ztráty vychází z průměrné pořizovací ceny jednotlivých objektů při současném určení míry poškození. Při předpokládané minimální míře

poškození trávnickového povrchu ztráta činí 91 Kč/m² (Drbal & kol., 2009). Rozloha hřiště tvoří 1 842 m² a výše škody pro Q₁₀₀ i Q₅₀₀ by dosáhla 167 622 Kč.

Škody na pozemních komunikacích

V případě, že byly záplavami zasaženy i pozemní komunikace nebo železnice, vychází výše ztrát z ceníků JKSO. Dle Metodiky VÚV byla minimální ztrátová cena pro silnice stanovena na 60 Kč/m² a pro železnice na 429 Kč/ m².

Vztah pro výpočet ztráty je následující:

$$D_{PK} = A \cdot ZK, \quad [Kč]$$

kde

A plocha objektu [m²]

ZK₁ ztrátová cena [Kč/m²], (Drbal & kol., 2009).

Při povodňové události by byly zasaženy pozemní komunikace o rozloze 32 079 m² a železnice o rozloze 19 058 m². Celková potenciální škoda by tedy činila 10 100 622 Kč a je shodná pro Q₁₀₀ i Q₅₀₀, jelikož by k zaplavení došlo při obou povodňových scénářích a vztah nezohledňuje výšku zaplavení.

Škody v průmyslu

V obci je klasifikována jako budova pro průmysl místní výroba textilu Schoeller. Celá jeho rozloha, která představuje 26 654 m², by byla při povodňové situaci zaplavena. Výše škody dle Metodiky VÚV vychází z celkového statistického přehledu ČSÚ pro zpracovatelský a energetický průmysl. Hodnota majetku se v tomto případě určí jako součet dlouhodobého majetku, zásob a 1/3 pasiv z vlastního kapitálu firmy za poslední rok. Jednotková cena pro orientační určení škod v průmyslu je stanovena na 1m² průmyslových budov a hodnota minimální škody je vyčíslena na 2 227 Kč/m² (Drbal & kol., 2009).

Vztah pro výpočet ztráty je následující:

$$D_P = A \cdot ZP, \quad [Kč]$$

kde

A plocha objektu [m²]

ZP ztrátová cena [Kč/m²]

Výše škody na objektu Schoeller by tedy byla 59 358 458 Kč a je shodná pro Q_{100} i Q_{500} , jelikož by k zaplavení došlo při obou povodňových scénářích a vztah nezohledňuje výšku zaplavení.

Škody na inženýrských sítích

Při výpočtu škod na inženýrských sítích se vychází z předpokladu, že vedení těchto sítí je prováděno podél komunikací a proto se délka inženýrských sítí odvozuje od délky místních pozemních komunikací.

Výpočet ztrát je opět definován pomocí ztrátové ceny v Kč/m. Dle Metodiky VÚV, byly škody na inženýrských sítích v závislosti na daných ztrátových cenách pro jednotlivé kategorie stanoveny dle tabulky č. 7 takto:

Inženýrské síť	Délka (m)	Ztrátová cena min (Kč/m)	Škoda (Kč)
Elektrína	3700	12	44400
Voda	3700	33	122100
Kanalizace	3700	48	177600
Plyn	3700	20	74000
Telekomunikace	3700	12	44400

Celkem: 462 500 Kč

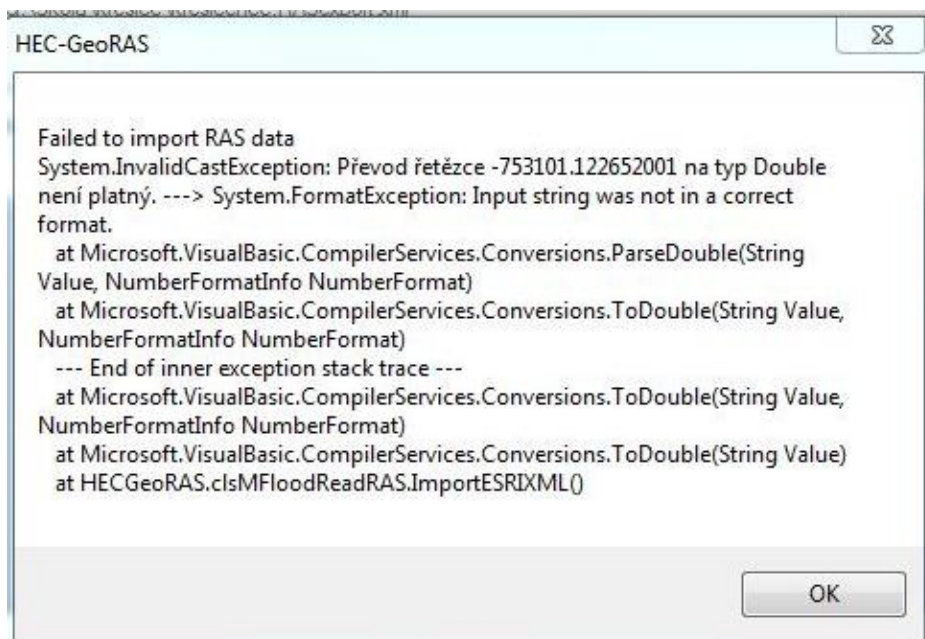
Tabulka č. 7, Škody na inženýrských sítích

Výsledný odhad škody pro Q_{100} a Q_{500} na inženýrských sítích činí 462 500 Kč. Tento výpočet je vztažen pro síť vedené podél hlavní silnice vedoucí obcí, která by byla zasažena povodní při Q_{100} i Q_{500} , tudíž je výpočet totožný.

4.6 Problémy při zpracování dat

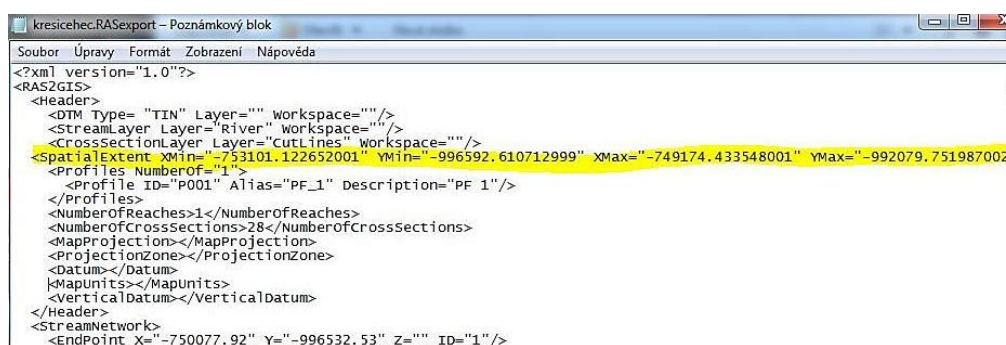
Software HEC-RAS a jeho extenze HEC-GeoRAS pro zpracování modelu z prostředí HEC-RAS je freeware vyvinutý americkou armádou. Při zpracování analýzy v těchto platformách jsem čelila nejednomu problému s kompatibilitou. Domnívám se, že je velmi účelné tyto problémy popsat a zamezit tak dalším uživatelům těchto programů zbytečnému časově náročnému hledání řešení.

První problém nastal při nahrávání datového výstupu z HEC-RAS do prostředí HEC-GeoRAS při takzvaném post-processingu. Při kroku *RAS Mapping -> Import RAS Data* celý proces nedoběhl do konce a objevovala se chybová hláška dle obrázku č. 39.



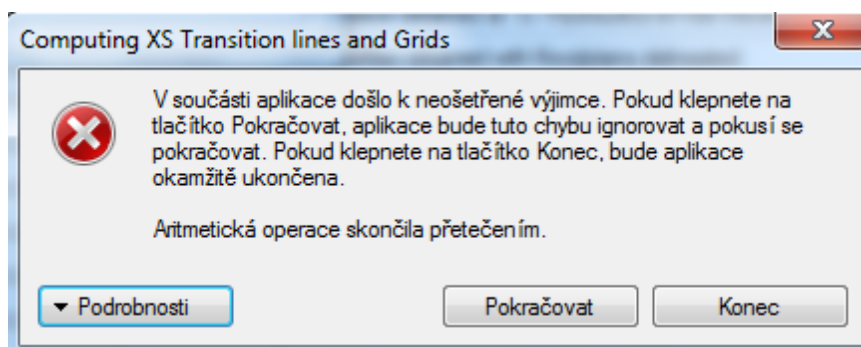
Obrázek č. 39, Chybová hláška při importu dat zXML souboru vypracovaného v prostředí HEC-RAS

Při prozkoumání zdrojových dat a vyhledání číselné hodnoty, na kterou se odkazovala chybová hláška XML dokumentu v poznámkovém bloku, se ukázalo, že z nějakého důvodu si extenze HEC-GeoRAS nedokázala poradit s desetinným oddělovačem a desetinnými hodnotami na řádku popisující *Spatial Extent* (prostorový rozsah dat, tedy souřadnicové určení řešené oblasti) (obrázek č. 40). Řešením tohoto problému bylo prosté vymazání desetinných číslic včetně desetinného oddělovače v XML dokumentu u hodnot pro vyjádření prostorového určení území.



Obrázek č. 40, Desetinný oddělovač a desetinná místa u hodnot *Spatial Extent* v XML dokumentu způsobující chybovou hlášku

Dalším problémem bylo získání rastru rychlostí při post-processingu. Při kroku *RAS Mapping -> Velocity Mapping* tento proces nikdy neproběhl do konce k získání požadovaného rastru rychlostí proudící vody. Výsledkem byla opět chybová hláška dle obrázku č. 41.



Obrázek č. 41, Chybová hláška při generování rastrové vrstvy rychlostí proudící vody

Operace pro získání rastrové vrstvy rychlostí je analogická k vytvoření rastru hloubek vody, která vždy proběhla bez problémů. Po dlouhém hledání chyby nebo důvodu způsobujícího tuto hlášku bylo zjištěno, že rastr rychlostí bude vytvořen jen v případě, že se systémové nastavení desetinného oddělovače v systému Windows změní z tečky na čárku. V XML dokumentu, ze kterého byly zpracovávány extenzí HEC-GeoRAS numerické hodnoty, bylo dále nutné změnit manuálně desetinný oddělovač z tečky na čárku pro hodnoty, které měly zobrazovat numerické hodnoty. Po tomto přenastavení proběhl proces tvorby rastrové vrstvy reprezentující rychlosti proudící vody v pořádku.

Systém Windows, ve kterém byla analýza zpracovávána, byl nastaven tak, aby jako desetinný oddělovač byla považována tečka a nastavení desetinného oddělovače na tečku je dokonce povinným krokem při práci s programem HEC-RAS. Hodnoty ve výstupním XML dokumentu z programu HEC-RAS v případě, že obsahovaly desetinná místa, byly tedy odděleny desetinnou tečkou a jejich načtení proběhlo v pořádku až na načtení hodnot rychlostí. Proto opodstatnění výskytu této chybové hlášky nebylo nikdy zdůvodněno.

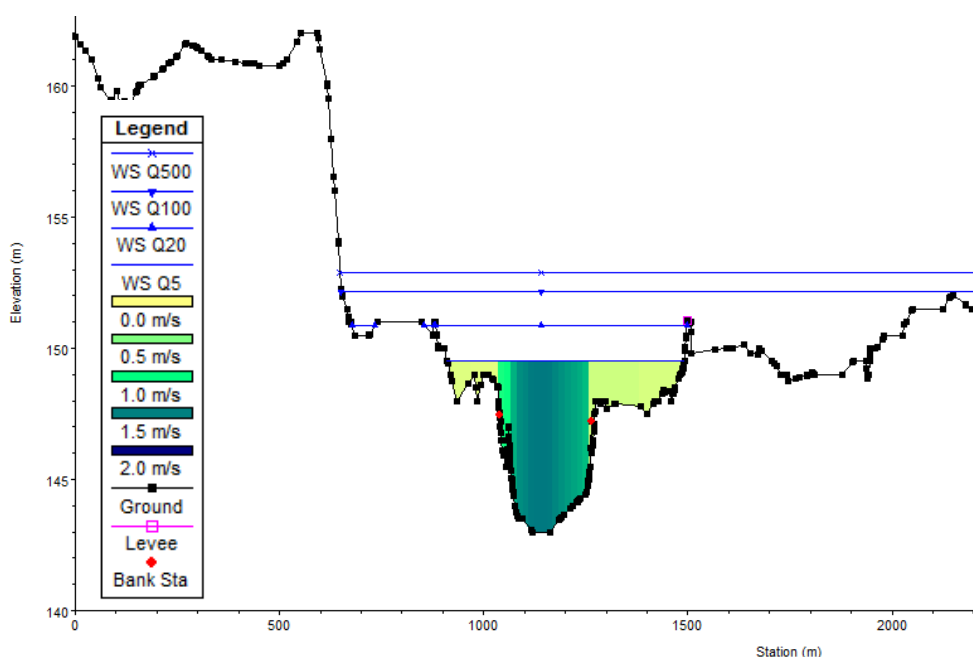
5. Výsledky

Výsledkem této diplomové práce jsou mapy povodňových nebezpečí a rizik pro obec Křešice na Litoměřicku, kterým předcházelo vyhotovení mapy funkčních ploch obce, zranitelnosti a ohrožení. Jelikož byla v obci v roce 2011 dokončena výstavba protipovodňové ochrany na Q_{20} , byla tato skutečnost brána v potaz a v této diplomové práci byly tedy vypracovány výsledné mapy nebezpečí a rizik ve dvou variantách. Jedna pro případ, že by obec neměla vystavěnou protipovodňovou ochranu a druhá, která hodnotí účinnost této ochrany. V obou případech byly zpracovány hydrologické informace pro Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} .

5.1.1 Mapy povodňového nebezpečí

Povodňové nebezpečí bylo vizuálně vyjádřeno charakteristikami jako jsou rozsah rozlivu vody, hloubka a rychlosti vody v území při uvažovaných

povodňových scénářích. Následná vizualizace výsledků při zohlednění protipovodňové ochrany potvrdila její účinnost a opodstatněnost. Při Q_5 a Q_{20} voda z toku nepřesáhla hranici protipovodňové stěny. Tento fakt je vidět na obrázku č. 42, na kterém je jeden z příčných řezů z programu HEC-RAS a kde protipovodňová ochrana zabraňuje při Q_5 a Q_{20} rozlivu vody do okolí. Naopak varianta výpočtů bez zohlednění této bariéry prokázala, že v případě, že by obec nedisponovala ochranou v podobě protipovodňové stěny, došlo by k závažnému zasažení obce vodou již při Q_5 . Podobný scénář by nastal i při Q_{20} a při Q_{100} a Q_{500} by byla zasažena naprostá většina území obce. Při Q_{100} a Q_{500} by došlo k zaplavení obce s podobným průběhem hladin pro obě varianty výpočtů.



Obrázek č. 42, Funkčnost protipovodňové ochrany

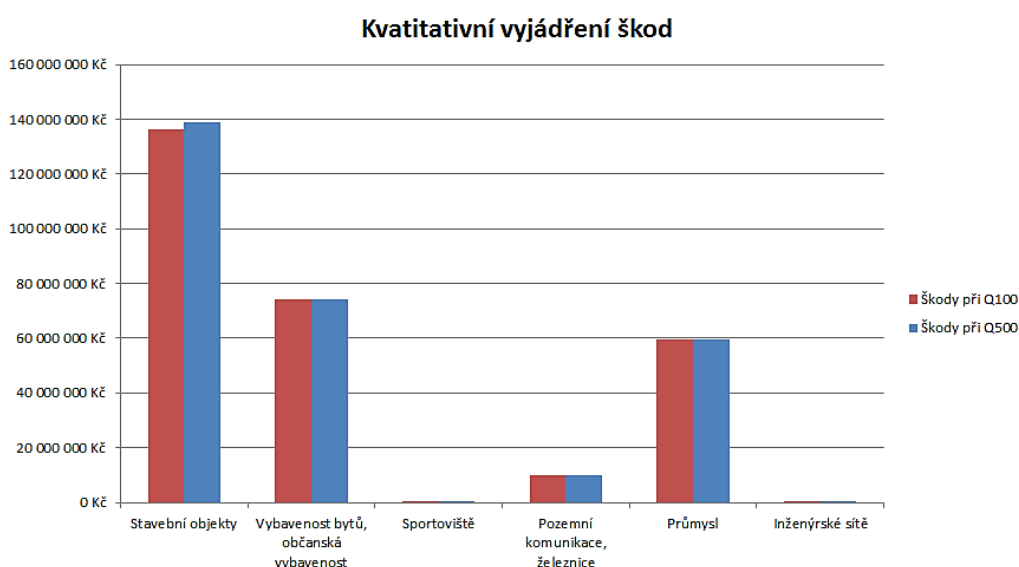
5.1.2 Mapy povodňového ohrožení a rizik

Pozoruhodným výsledkem je rovněž fakt, že konečná mapa ohrožení a posléze i mapa rizik vyšla pro variantu se zohledněním i bez zohlednění protipovodňové ochrany identicky. Důvodem tohoto faktu je skutečnost, že při vyhodnocování povodňového rizika se vybírá maximální hodnota z buněk charakterizující ohrožení v daném místě ze všech uvažovaných scénářů. Takže pokud určité místo nebude zaplaveno při Q_5 nebo Q_{20} , dojde k jeho zaplavení při Q_{100} nebo při Q_{500} . A výsledná hodnota je tedy určena povodňovým scénářem při Q_{100} a zbylé nižší hodnoty nejsou brány v úvahu. Výsledná mapa ohrožení je v uvedena v příloze č. 12 a mapa rizika v příloze č. 13 této diplomové práce.

Díky vytvoření mapy povodňového rizika, která vychází z mapy ohrožení, by bylo přijatelné riziko ohrožení překročeno u 220 domů z celkového počtu 626. Toto riziko by bylo překročeno také u plochy sportoviště, z občanské vybavenosti u školy, mateřské školky, hřbitova, místní knihovny, kostela Navštívení Panny Marie a sv. Matouše v Křešicích, obecního úřadu, policejní stanice, pošty, ordinace

praktického lékaře a sboru dobrovolných hasičů Křešice. Z technické vybavenosti by byla zasažena skládka, čistírna odpadních vod a inženýrské sítě společně s komunikacemi v délce 3700 m a železnice v délce 2500 m. V neposlední řadě by došlo k zasažení orné půdy a výrobních ploch ve výměře 225,7 ha, což odpovídá jedné čtvrtině výměry z katastrálního území obce.

Pro obec Křešice byly také stanoveny výše škod takzvanou kvantitativní analýzou. Při této analýze bylo předpokládáno, že obec je dostatečně chráněna proti zaplavení při Q5 a Q20 a výše potenciálních škod byly stanoveny pro povodňové scénáře způsobené Q100 a Q500. Při tomto kroku bylo zjištěno, že rozdíl mezi povodňovými škodami pro Q₁₀₀ a Q₅₀₀ není markantní. Povodňové škody by při Q₁₀₀ dosáhly na 280 mil. Kč a při Q₅₀₀ na 283 mil. Kč (viz obrázek č. 43).



Obrázek č. 43, Výsledné škody pro Q₁₀₀ a Q₅₀₀

Díky analýze ohroženosti návrhové plochy pro bydlení bylo zjištěno, že by tato plocha čelila střední a vysoké míře ohrožení při průtoku vyšším, než je Q₂₀.

Prostorové vyjádření veličin určující povodňové nebezpečí, výsledky intenzity povodně, ohrožení, zranitelnosti a mapa rizika jsou součástí přílohy této diplomové práce.

6. Diskuze

Výsledná mapa ohrožení obce pro variantu bez protipovodňové ochrany a s protipovodňovou ochranou vyšla identicky. Důvodem této skutečnosti je fakt, že pro vytvoření mapy rizik se pro dané místo vybírá hodnota nejvyššího dosaženého ohrožení při povodňových scénářích Q₅, Q₂₀, Q₁₀₀ a Q₅₀₀. Pokud tedy nezasáhne zvýšená hladina vody místo při Q₅ nebo Q₂₀, dochází zde ale k zaplavení tohoto

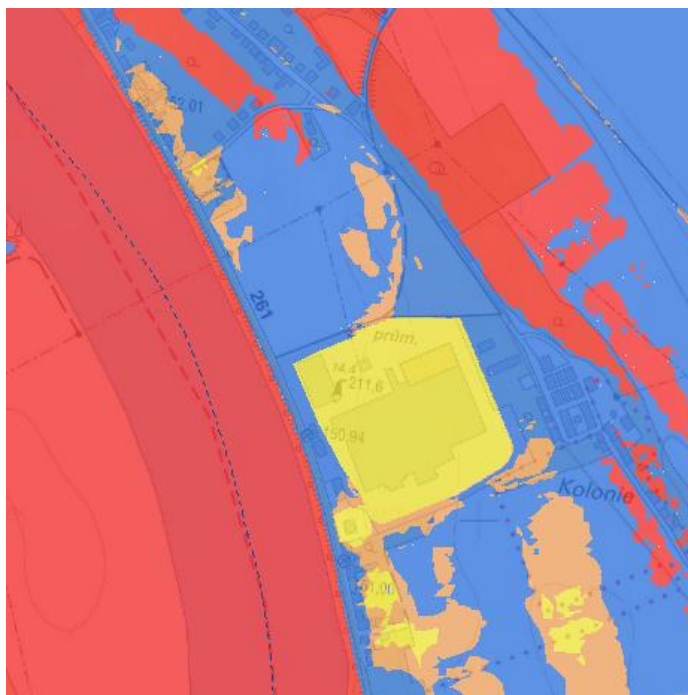
místa při Q_{100} nebo Q_{500} . Tato skutečnost je dle mého názoru slabým místem Metodiky VÚV pro vytváření map povodňových nebezpečí a rizik.

Domnívám se, že dalším vysvětlením pro tuto skutečnost je způsob vyhodnocování výšky hladiny vody v záplavovém území v programu HEC-RAS. Tento software určuje výšku vody pro celý profil rovnoměrně a systémem plnění vodou je takový, že se voda v profilu plní od zdola do výšky pomyslné hladiny. V případě, že je v řešeném území instalována bariéra, která má zabránit rozlivu vody do okolí a hladina specifikovaného průtoku tuto bariéru překoná, je voda v profilu za bariérou vyplněna plošně v celé části profilu stejně a to od povrchu země k hladině. PPO zcela jistě změní výšku hladiny a hodnoty rychlosti vody za touto bariérou. Proto výsledky hloubek a rychlostí vody vyšly pro variantu se zohledněním PPO i bez jejího zohlednění totožně. Na druhou stranu je nutné zdůraznit, že při průtocích jako je například Q_{500} je hladina vody v takové nadmořské výšce, že by pravděpodobně došlo k velmi podobnému průběhu zaplavení, jako je simulován matematickým modelem.

Dalším aspektem k zamyšlení je problematika hodnocení povodňového ohrožení v případě N-letosti > 300 . Veškeré ohrožení vyvolané povodňovými scénáři při Q_{300} a vyššími je klasifikováno v Metodice VÚV jako ohrožení reziduální. Dle mého názoru by mělo být toto ohrožení hodnoceno obdobně jako u průtoků s větší pravděpodobností výskytu, jelikož i při takto velmi ojedinělých průtocích dochází k enormním škodám.

V Metodice VÚV jsou určovány výše škod na určitých kategoriích funkčních ploch. Bohužel zde chybí vyčíslení nebo alespoň odhad škod na památkách či historických objektech. Pravdou zůstává, že toto hodnocení by bylo příliš subjektivní vzhledem k rozdílné kulturní hodnotě každého takového objektu. Rovněž psychická újma z povodňové události na obyvatelstvo není specifikována.

Při porovnání výsledků rizikové analýzy, která byla prováděna v této diplomové práci, s výsledky analýzy DHI a.s. bylo zjištěno, že se výsledné mapy rizik liší jen nepatrně a to hlavně v míře ohrožení pro funkční plochu výroby představovanou firmou Scholler. Dle mapy povodňových rizik od DHI je tato plocha výroby označována jako plocha s přijatelným rizikem, dle mého výsledku vyšla tato plocha jako plocha se středním ohrožením. Je zvláštní, že plocha této výroby je v mapě povodňového ohrožení klasifikována povodňovým ohrožením reziduálním, ačkoliv ostatní plochy obklopující tento objekt mají stanovenou míru ohroženosti jako střední až vysokou (viz obrázek č. 44). Výsledky se mohou lišit z důvodu rozdílných softwarů, ve kterých byla analýza prováděna anebo rozdílným pracovním přístupem při vytváření podkladů.



Obrázek č. 44, Výrobní objekt firmy Schoeller v mapě rizika od DHI,
http://hydro.chmi.cz/cds/?id=124&lang=cs&presenter=CDSMap&wmapp=CDS&wmap=cds_project_124_mpo#center=-728927.5,-994957.5&zoom=3

7. Závěr

Tato diplomová práce na základě zpracování hydrologických podkladů a dalších podkladů vztahujících se k řešené lokalitě – tedy ke katastrálnímu území obce Křešice na Litoměřicku, kompletně zmapovala povodňové nebezpečí a riziko spojené s povodňovými scénáři při průtocích Q_5 , Q_{20} , a rovněž byly vyčísleny výše potenciálních škod pro Q_{100} a Q_{500} .

Díky této diplomové práci byla vytvořena vlastní podrobná metodika, která popisuje postup práce při vyhotovování map povodňových nebezpečí a rizik pro konkrétní obec v programu HEC-RAS a HEC-GeoRAS. Celá práce se opírá o odbornou Metodiku tvorby map povodňových nebezpečí a rizik vydanou Výzkumným ústavem vodohospodářským T.G. Masaryka a díky literární rešerši další dostupné odborné literatury z této oblasti popisuje řešenou problematiku komplexně.

Kromě těchto přínosů práce rovněž přispěla při hledání řešení problémů, které se vyskytují při práci se specializovaným softwarem HEC-RAS a extenzí pro ArcGIS Hec-GeoRAS při použití v systému Windows s nastavením pro Českou republiku. Návod na řešení problému se softwarem bylo umístěno na fórum firmy ESRI, kde již získalo několik pozitivních reakcí od uživatelů, kteří čelili podobným potížím.

Neméně důležitý je také výsledek digitálního zpracování funkčních ploch pro katastrální území obce Křešice. Obec stále nemá vyhotovený digitální územní plán a výsledek této části – tedy digitálního plánu funkčního uspořádání území, je možné využít při budoucí tvorbě digitálního územního plánu.

Jako přínos se jeví i ověření funkčnosti protipovodňové ochrany obce. Díky této práci byla potvrzena funkčnost této ochrany a prokázáno opodstatnění jejího vybudování.

V neposlední řadě je možné mapy povodňového rizika této práce porovnat s výsledkem DHI a odstranit odchylky a tím zpřesnit výsledky práce.

8. Přehled literatury a použitých zdrojů

Beffa C., 2000: *A Statistical Approach for Spatial Analysis of Flood Prone Areas*. International Symposium on Flood Defence: 1-8.

Brázdl K., Bělka L., Dušánek P., Fiala R., Gamrát J., Kafka O., Peichl J., Šíma J., 2012: *Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 5. Generace*. Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, Pardubice, 12s.

Brunner W., 2010a: *HEC-RAS River Analysis System, User's Manual*. California, 790 s.

Brunner W., 2010b: *HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center, California, 417 s.

ČHMÚ, 2014: *N-leté průtoky ve vybraných stanicích*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, online: <http://voda.chmi.cz/opv/doc/qn.pdf>, cit. 22. 3 2014.

ČUZK., 2010: *Základní báze geografických dat České republiky*, Český úřad zeměměřičský a katastrální, Praha, online: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(pdfnfvf3jchd25e32stzsokap\)\)/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24](http://geoportal.cuzk.cz/(S(pdfnfvf3jchd25e32stzsokap))/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24), cit. 29. 11 2013.

Dráb A., 2010: *Riziková analýza záplavových území s podporou GIS*. VUTIUM, Brno, 35 s.

Drbal K., & kol., 2005: *Návrh metodiky stanovování povodňových rizik a škod v záplavovém území a jeho ověření v povodí Labe*. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka., Brno, 164 s.

Drbal K., & kol., 2008: *Metodika stanovování povodňových rizik a škod v záplavovém území*. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Brno, 72 s.

Drbal K., & kol., 2009: *Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik*. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masarika, v.v.i., Praha, 86 s.

Evans T., Ackerman C., 1999: *Extending Hydraulic Engineering Applications of GIS: New Features in HEC-GeoRAS*. Hydrologic Engineering Center, California.

EXCIMAP, 2007: *Handbook on good practices for flood mapping in Europe*. European exchange circle on flood mapping, the Netherlands, online:

- http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/flood_atlas/pdf/handbook_goodpractice.pdf, cit. 29.10.2013.
- Herčík F., Herrmann, Z., Valečka, J., 1999: *Hydrogeologie České křídové pánve*. Český geologický ústav, Praha, 115 s.
- Jelínková I., 2013: *Mapy povodňového nebezpečí a mapy povodňových rizik*. Povodí Moravy, Brno, online: <http://www.pmo.cz/download/prezentace-mapy-rizik-kraje-pm.pdf>, cit. 4. 4. 2014.
- OÚ Křešice, 2014: *O obci Křešice*. Obecní úřad Křešice, Křešice, online: http://www.kresice.cz/vismo/zobraz_dok.asp?id_org=7608&id_ktg=50&p1=52, cit. 28.12.2013.
- Oregon State University, 2013: *Tutorial on using HEC-GeoRAS 10.1 with ArcGIS 10.1 and HEC- RAS 4.1.0 for flood inundation mapping in Steady and Unsteady Flow Conditions*. Oregon State University, Oregon, 60 s.
- Oršulák T., Pacina J., 2010: *3D Modelování a virtuální realita*. Centrum pro virtuální realitu a modelování krajiny, Ústí nad Labem, 65 s.
- Pála M., 2013: *Povodně*. SDH Křešice, Křešice, online: <http://www.sdhkresice.cz/povodne/>, cit. 29.12.2013
- Povodí Labe, 2009: *Ochrana před povodněmi a vodní režim krajiny*. Povodí Labe, Hradec Králové, 39 s.
- Povodí Labe, 2014a: *Podrobnější informace o protipovodňových opatřeních v Křešicích*. Povodí Labe, Hradec Králové, online: [http://www.pla.cz/planet/webportal/internet/\(A\(28Xf-dFPzgEkAAAANjA5MWFjZTUtNTY3Ny00OGRhLWIwYzktMWU4NzExNjdjNmU2m_bPv9287Bqdwo3TuUI-jwXBMQA1\)\)/Soubor.aspx?souborID=865&typ=application/msword&nazev=K%C5%99e%C5%A1ice%20podrobn%C4%9Bj%C5%A1%C3%AD%20odklad.doc.](http://www.pla.cz/planet/webportal/internet/(A(28Xf-dFPzgEkAAAANjA5MWFjZTUtNTY3Ny00OGRhLWIwYzktMWU4NzExNjdjNmU2m_bPv9287Bqdwo3TuUI-jwXBMQA1))/Soubor.aspx?souborID=865&typ=application/msword&nazev=K%C5%99e%C5%A1ice%20podrobn%C4%9Bj%C5%A1%C3%AD%20odklad.doc.), cit. 6.3.2014.
- Povodí Labe, 2014b: *Stavy a průtoky na vodních tocích - Labe- LG Litoměřice*. Získáno 15. 2 2014, z Povodí Labe: <http://www.pla.cz/portal/sap/cz/PC/Mereni.aspx?id=223&oid=5>
- PROXIMA, 2009: *Obec Křešice*. PROXIMA Bohemia, Rožnov pod Radhoštěm, online: http://www.mistopisy.cz/kresice_3230.html, cit. 28.12.2013.
- Říha J., & kol., 2005: *Riziková analýza záplavových území*. CERM, Brno, str. 286.
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES o vodní politice, v platném znění.
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES, o vyhodnocování a zvládnutí povodňových rizik, v platném znění.
- Starý J., 2007: *Labe, Křešice zvýšení ochrany obce hrázemi*, P-EKO s.r.o., Ústí nad Labem, 57 s.
- US Army Corps of Engineers, 2009: *HEC-GeoRAS GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGIS*. Hydrologic Engineering Center, California.
- VÚV T.G.M., 2011: *Mapování povodňových rizik v České republice*. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Brno, 4 s.

9. Seznam obrázků a tabulek

Obrázek č. 1, Grafické vyjádření povodňového ohrožení.....	16
Obrázek č. 2, Barvy a výplně jednotlivých kategorií funkčních ploch pro určení zranitelnosti území	16
Obrázek č. 3, Označení kategorií citlivých objekt	17
Obrázek č. 4, Zájmové území	23
Obrázek č. 5, Povodňové stopy po minulých povodních (zdroj mapových podkladů: ČUZK, fotodokumentace: vlastní archiv)	25
Obrázek č. 6, Protipovodňová stěna v těsné blízkosti řeky (vlastní archiv)	26
Obrázek č. 7, Protipovodňová stěna v obci (vlastní archiv)	26
Obrázek č. 8, Mobilní protipovodňová ochrana v místech přístupů na pozemky.....	27
Obrázek č. 9, Příčný řez protipovodňovou stěnou	27
Obrázek č. 10, TIN katastrálního území Křešic	28
Obrázek č. 11, RAS Geometry -> Stream Centerline Attributes -> All	30
Obrázek č. 12, RAS Geometry -> Create RAS Layers -> Flow Path Centerlines.....	30
Obrázek č. 13, Doposud největší přirozený rozliv řeky Labe v obci Křešice.....	31
Obrázek č. 14, Ukázkový příčný profil	31
Obrázek č. 15, Protipovodňová ochrana na území obce – kombinace mobilních stěn a trvalých betonových zdí	32
Obrázek č. 16, Geometrie toku v prostředí HEC-RAS	33
Obrázek č. 17, Hodnoty drsnostního součinitele podle Manninga	35
Obrázek č. 18, Využití funkce levees.....	36
Obrázek č. 19, Volba podélného sklonu	37
Obrázek č. 20, Příčný profil toku se znázorněnými rychlostmi vody pro Q_5	38
Obrázek č. 21, Nastavení pro export dat z prostředí HEC-RAS	38
Obrázek č. 22, Nastavení pracovního prostředí pro vizualizaci výsledků modelu	39
Obrázek č. 23, Výškové poměry jednotlivých profilů	40
Obrázek č. 24, Rastry hloubek vody pro Q_{100} a Q_{500}	41
Obrázek č. 25, Rastry rychlostí vody pro Q_{100} a Q_{500}	41
Obrázek č. 26, Kategorie charakterizující zranitelnost území obce Křešice.....	43
Obrázek č. 27, Příklad použití Raster Calculatoru	45
Obrázek č. 28, Intenzita povodně zobrazená pomocí rastrů	46

Obrázek č. 29, Výsledná intenzita povodně IP pro Q_{100}	46
Obrázek č. 30, Příklad použití Raster Calculatoru.....	47
Obrázek č. 31, Výběr maximální hodnoty ohrožení.....	48
Obrázek č. 32, Povodňové ohrožení obce Křešice.....	49
Obrázek č. 33, Mapa rizika pro obec Křešice.....	50
Obrázek č. 34, Vztah pro reklasifikaci rastrů v prostředí Model Builder.....	51
Obrázek č. 35, Reklasifikované hloubky vody do intervalů po 1 m.....	52
Obrázek č. 36, Vytvoření bodové sítě z rastrů.....	52
Obrázek č. 37, Funkce Spatial Join.....	53
Obrázek č. 38, Použití Field Calculatoru pro výpočet ztrát.....	54
Obrázek č. 39, Chybová hláška při importu dat zXML souboru vypracovaného v prostředí HEC-RAS.....	57
Obrázek č. 40, Desetinný oddělovač a desetinná místa u hodnot Spatial Extent v XML dokumentu způsobující chybovou hlášku.....	57
Obrázek č. 41, Chybová hláška při generování rastrové vrstvy rychlostí proudící vody.....	58
Obrázek č. 42, Funkčnost protipovodňové ochrany.....	59
Obrázek č. 43, Výsledné škody pro Q_{100} a Q_{500}	60
Obrázek č. 44, Výrobní objekt firmy Schoeller v mapě rizika od DHI.....	62
Tabulka č. 1, Míra přijatelného rizika.....	17
Tabulka č. 2, N-leté průtoky pro měrnou stanici Mělník.....	24
Tabulka č. 3, Hodnoty drsností pro koryto toku.....	34
Tabulka č. 4, Hodnoty drsností pro záplavová území.....	34
Tabulka č. 5, Hodnoty specifikující intervaly, které popisují míru ohrožení.....	48
Tabulka č. 6, Procentuální vyjádření minimální a maximální ztráty (L) na stavebních objektech v závislosti na hloubce zaplavení.....	53
Tabulka č. 7, Škody na inženýrských sítích.....	56

10. Přílohy

Příloha 1: Funkční plochy obce

Příloha 2: Rozlivy při N-letých průtocích při zohlednění PPO

Příloha 3: Rychlosti vody při N-letých průtocích při zohlednění PPO

- Příloha 4: Hloubky vody při N-letých průtocích při zohlednění PPO
- Příloha 5: Rozlivy při N-letých průtocích bez zohlednění PPO
- Příloha 6: Rychlosti vody při N-letých průtocích bez zohlednění PPO
- Příloha 7: Hloubky vody při N-letých průtocích bez zohlednění PPO
- Příloha 8: Intenzita povodně při N-letých průtocích bez zohlednění PPO
- Příloha 9: Intenzita povodně při N-letých průtocích při zohlednění PPO
- Příloha 10: Míra ohrožení obce při Q5 a Q20
- Příloha 11: Míra ohrožení obce při Q100 a Q500
- Příloha 12: Mapa povodňového ohrožení obce
- Příloha 13: Mapa rizika