

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ –  
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**Hornicko–geologická fakulta**

Inštitút geoinformatiky

**STANOVENIE ZÁPLAVOVÝCH ZÓN V POVODÍ  
POPRAHU S VYUŽITÍM HYDRODYNAMICKÝCH  
MODELOV**

diplomová práca

Autor:

Vedúci diplomovej práce:

Bc. Michala Repková

Ing. Michal Podhorányi

**Ostrava 2010**

### *Pod'akovanie*

*Úprimne ďakujem vedúcemu diplomovej práce Ing. Michalovi Podhorányimu za odborné vedenie, cenné pripomienky a pomoc pri spracovávaní tejto diplomovej práce. Taktiež nemalá vďaka patrí aj môjmu konzultantovi RNDr. Janu Unuckovi, PhD.*

## **Prehlásenie**

- Celú diplomovú prácu vrátane príloh, som vypracovala samostatne a uviedla som všetky použité podklady a literatúru.
  
- Bola som oboznámená s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č.121/2000 Zb. - autorský zákon, najmä § 35 – využitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a využitie diela školského a § 60 – školské dielo.
  
- Beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB-TUO) má právo neziskovo, k svojej vnútornej potrebe, diplomovú prácu použiť (§ 35 odst. 3).
  
- Súhlasím s tým, že jeden výtlačok diplomovej práce bude uložený v Ústrední knihovně VŠB-TUO k prezenčnému nahliadnutiu a jeden výtlačok bude uložený u vedúceho diplomovej práce. Súhlasím s tým, že údaje o diplomovej práci, obsiahnuté v Zázname o záverečnej práci, umiestnenom v prílohe mojej diplomovej práce, budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.
  
- Bolo dohodnuté, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzavrie licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
  
- Bolo dohodnuté, že použiť svoje dielo – diplomovú prácu alebo poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takom prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB-TUO na vytvorenie diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky).

V Ostrave dňa 10. 4. 2010

Bc. Michala Repková

## ANOTÁCIA

Z hľadiska ochrany pred povodňami je dôležité spoznať a identifikovať areály, ktoré môžu byť potenciálnou povodňou reálne zasiahnuté, a teda je potrebné stanoviť záplavovú čiaru v modelovom území. Na mapovanie povodňovej hrozby a modelovanie inundácií je najefektívnejšie využívanie hydrodynamických modelov. Predložená diplomová práca sa zaoberá stanovením záplavových zón v povodí Popradu s využitím týchto hydrodynamických modelov. Aby sa mohli hydrologické objekty reality vniesť do modelu, je potrebné najprv vybudovať geodatabázu a z toho dôvodu sa časť práce venuje práve tejto problematike. Na samotné modelovanie boli použité hydrodynamické modely HEC-RAS a MIKE11, v ktorých prebiehal výpočet výšok hladiny vody v koryte, a tak mohli vzniknúť plochy potenciálnych inundácií.

**Kľúčové slová:** GIS, povodňová hrozba, hydrodynamické modely, HEC-RAS, MIKE11, povodie Popradu

## SUMMARY

In terms of flood protection is important to recognize and identify areas that may be potentially affected by a real flood, and therefore it is necessary to provide flood line in the model area. For mapping of flood hazard and modeling of inundation, is the most efficient using hydrodynamic models. This thesis studies providing of flood zones in the Poprad basin, using the hydrodynamic models. In order to bring the reality of hydrological objects in the model, it is first necessary to build geodatabases and therefore part of this work is devoted to just this issue. For modeling itself was used hydrodynamic models HEC-RAS and MIKE11, which ran the calculation of high water levels in the river bed, and so may result areas of potential inundation.

**Keywords:** GIS, flood hazard, hydrodynamics models, HEC-RAS, MIKE11, Poprad basin

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>CIEĽ PRÁCE</b> .....	<b>9</b>
<b>METODIKA PRÁCE</b> .....	<b>9</b>
<b>1. CHARAKTERISTIKA POVODIA POPRADU</b> .....	<b>11</b>
1.1. Vymedzenie územia .....	11
1.2 Fyzicko-geografický charakter povodia Popradu .....	13
1.2.1 Orografické a geomorfologické pomery .....	13
1.2.2 Geologické a hydrogeologické pomery .....	15
1.2.3 Klimatické pomery.....	16
1.2.4 Pedologické pomery.....	17
1.2.5 Lesné pomery .....	18
<b>2 ZÁPLAVY A POVODNE NA RIEKE POPRAD</b> .....	<b>20</b>
2.1 Povodeň ako prírodný jav.....	20
<b>3 HYDRODYNAMIKA</b> .....	<b>23</b>
3.1 Hydrodynamické modelovanie .....	24
3.2 Vstupné dáta .....	26
<b>4 ArcHydro</b> .....	<b>29</b>
4.1 Tematické vrstvy modelu.....	29
4.2 Databázová štruktúra .....	29
4.3 ArcHydro Model.....	30
4.3.1 Tvorba databázy .....	30
4.4 Databáza ArcHydro .....	31
4.5 Aplikácia ArcHydro schémy.....	32
4.6 ArcHydro Tools.....	33
<b>5 HEC - RAS</b> .....	<b>36</b>
5.1 HEC GeoRAS.....	37
5.1.1 Tvorba geometrických dát.....	37
5.1.2 Export geometrických dát.....	40
5.2 Modelovanie v HEC-RAS .....	40
5.2.1 Geometrická zložka.....	41

5.2.2	Dáta o prietoku vody .....	42
5.2.3	Zobrazenie výsledkov modelu .....	43
5.3	Vizualizácia záplavových území .....	45
<b>6</b>	<b>MIKE11.....</b>	<b>48</b>
6.1	Preprocessing .....	48
6.2	Modelovanie v MIKE11 .....	49
6.3	Výstupy hydrodynamického modelu.....	51
6.4	Postprocessing.....	52
<b>7</b>	<b>ŠTATISTICKÉ VYHODNOTENIE .....</b>	<b>55</b>
7.1	Výška hladiny .....	56
7.2	Plošný rozliv .....	58
7.2.1	Porovnanie Q1 a Q100 pomocou programu Statgraphics.....	59
7.2.1.1	Q1 – 1 ročné vody .....	60
7.2.1.2	Q100 – 100 ročné vody .....	61
	<b>ZÁVER.....</b>	<b>63</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATÚRA.....</b>	<b>64</b>
	<b>ZOZNAM OBRÁZKOV .....</b>	<b>66</b>
	<b>ZOZNAM MÁP .....</b>	<b>68</b>
	<b>ZOZNAM TABULIEK.....</b>	<b>69</b>
	<b>ZOZNAM GRAFOV .....</b>	<b>70</b>

# ZOZNAM SKRATIEK

## Slovenské a České skratky

DMT	digitálny model terénu
GIS	geografické informačné systémy
SHMÚ	Slovenský hydrometeorologický ústav
S-JTSK	Súradnicový systém jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej
TANAP	Tatranský národný park
TOPÚ	Topografický ústav

## Cudzojazyčné skratky

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CRWR	Center of Research in Water Resources
DEM	Digital Elevation Model
DHI	Danish Hydraulic Institute
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Centers River Analysis System
HEC-GeoRAS	Hydrologic Engineering Center-Geospatial River Analysis System
SDF	Spatial Data File
TIN	Triangulated Irregular Network
UML	Unified Modeling Language
XML	Extensible Markup Language

## ÚVOD

Prírodné katastrofy sú súčasťou života, vždy existovali a budú existovať, a jednou z nich sú aj povodne.

Povodne sú spôsobené extrémnym počasím. Dopad povodní, najmä pokiaľ ide o ľudské zdravie a hospodárske straty, sa stále zvyšuje. Spoločnosť sa stala voči týmto prirodzeným katastrofám zraniteľnejšou.

Ľudská činnosť a zásahy do rovnováhy prírody značne zmenili situáciu v celých povodiach riek. Plánovanie ochrany proti povodniam nemôže byť obmedzené na ochranu niekoľkých izolovaných položiek majetku v jednotlivých oblastiach proti určitému druhu nebezpečenstva. Pri zvážení evolúcie a nových trendov, vyžaduje prístup k prirodzeným katastrofám vzorové zmeny. Zásahy proti povodniam treba zmeniť od ochrany pred katastrofami k manažmentu prípustného rizika.

Všeobecne platí, že aj keď sa skonštruuje protipovodňový plán, úplná kontrola povodňových vôd alebo prevencia všetkých škôd je zvyčajne nemožná. Vždy existuje zostatkové riziko povodňových škôd, ktoré zostáva, a ktoré by mohlo byť riešené neštruktúrnymi opatreniami, ako napríklad zónovanie, protipovodňové poistenie alebo sťahovanie.

Vývoj mapy povodňového nebezpečenstva pre zónovanie a poisťné programy sú súčasťou týchto neštruktúrných prvkov. Prvý výrobok, ktorý je potrebné získať pre tieto opatrenia je mapa rozsahu povodňových záplav zaplavenej oblastí. Hodnotenie plánov manažmentu pre zníženie povodňových škôd a definovanie netechnických opatrení vyžadujú posúdenie hydrologických, hydraulických a ekonomických aspektov.



## **CIEĽ PRÁCE**

Cieľom práce je vytvorenie hydrologicky korektného modelu, posúdiť možné zaplavenie terénu s prípadnou vizualizáciou záplavových polygónov na rieke Poprad v severovýchodnej časti Slovenska.

## **METODIKA PRÁCE**

Práca je rozdelená do dvoch celkov, a to teoretická časť a praktická časť. V teoretickej časti som sa oboznamovala s územím, na ktorom bol vytvorený model inundácie. Išlo hlavne o zoznámenie sa s fyzicko-geografickou charakteristikou územia, získanie teoretických poznatkov o hydrodynamike a hydrodynamickom modelovaní a tiež bolo dôležité mať vedomosti o povodniach, ich rozdelení a histórii povodní, ktoré boli zaznamenané na študovanom území.

Najdôležitejšou úlohou praktickej časti bolo získanie dát. Tie mi boli poskytnuté zo SHMÚ a TOPÚ. Na základe nich som mohla vytvoriť najprv databázu v module ArcHydro Tools 1.3. ArcHydro je v spojení s ArcGISom veľmi silným nástrojom pre správu hydrologických dát. Poskytuje ucelené zázemie pre hydrologické objekty reality a snaží sa ich vniesť do celku modelu. Je tiež možné s touto databázou pracovať a pomocou nástrojov toolboxu a predovšetkým skriptov, programovania a ďalších externých softwarov vytvoriť napríklad záplavové územie rieky či podobné štúdie.

Ďalším krokom bola predpríprava dát pre programy HEC-RAS a MIKE11. Samotný preprocessing som robila v ArcGISe 9.3 s nadstavbou HEC-GeoRAS 4.2.93. Dôležité v tomto kroku bola presnosť vektorizácie, pretože práve tu sa robia najčastejšie chyby, ktoré sa neskôr odrazia na konečnom modeli. Dobré výsledky preprocessingu sa potom mohli použiť na vytvorenie modelu a naplnenie príslušnými údajmi. Ten bol vytvorený v programoch HEC-RAS 4.0 a MIKE11 2007. Medzičasom vyšla nová verzia HEC-RASu 4.1, kde pribudol GIS Tools - RAS Mapper, ktorý namodeluje záplavové zóny priamo v HEC-RASe, a teda nie je nutné výsledky znova prevádzať do ArcGIS-u. Taktiež pribudol modul, ktorý

zobrazuje kvalitu vôd. Keďže táto verzia vyšla v čase, keď som už mala záplavové zóny namodelované, ostala som pri staršej verzii.

Ďalším krokom bol postprocessing, ktorý slúži hlavne na vizualizáciu výsledkov, či už v podobe grafickej, alebo textovej. Tu bolo možné porovnať výsledky vzniknuté vo voľne dostupnom programe HEC-RAS a komerčnom MIKE11.

V záverečnej časti sa venujem vyhodnoteniu dosiahnutých numerických výsledkov pre vyjadrenie miery povodňových rizík s využitím kvantitatívnych metód.

## 1. CHARAKTERISTIKA POVODIA POPRADU

Prevažnú časť územia Slovenska zaberajú Západné Karpaty, ktoré sú tiež nazývané strechou strednej Európy. Svojim geologickým vývojom a v ďalšom vývoji aj povrchovou modeláciou podmienili vznik odstredivej riečnej siete. Spod ich klenby vyteká väčšina významnejších slovenských riek.

Územie Slovenska patrí do rozvodnice Čierneho a Baltického mora. Len zo 4 % plochy Slovenska odvádzajú povrchové vody rieky Dunajec a Poprad do Baltického mora. Toto čiastkové povodie má na území našej republiky rozlohu 1950 km<sup>2</sup>, z toho plocha povodia Dunajca je 356 km<sup>2</sup>. Rieka Poprad sa vlieva na území Poľska do Dunajca a je hydrologicky nižšieho rádu, no vzhľadom na malú rozlohu je povodie Dunajca na území Slovenska pričlenené k povodiu Poprad. Z jej celkovej dĺžky 169 km preteká územím Slovenska 107 km; 30,7 km územím Poľska a 31,1 km tvoria dva hraničné úseky s Poľskom [26].

### 1.1. Vymedzenie územia

Rieka Poprad pramení vo Vysokých Tatrách v nadmorskej výške 1965 m, kde vzniká sútokom Hincovho potoka a potoka Krupá. Hincov potok vyteká z Veľkého Hincovho plesa a potok Krupá z Popradského plesa. V Mengusovskej doline vo Vysokých Tatrách sa zlievajú, a to vo výške 1302,3 m n. m. Od ich sútoku tečie pod názvom Poprad [5].

Odvodňuje väčšiu časť južných a juhovýchodných svahov Vysokých Tatier, časť Belianskych Tatier, Ľubovnianskej vrchoviny a Spišskej Magury a na ľavej strane, veľkú časť Levočských vrchov, severozápadné svahy Čergovských vrchov na pravej strane, a Popradskú kotlinu.

Významnejšie pravostranné prítoky sú [26]:

- Mlynica
- Vrbovský potok
- Ľubica
- Jakubianka

- Ľubotínka

Významnejšie ľavostranné prítoky sú:

- Velický potok
- Slavkovský potok
- Studený potok
- Kežmarská Biela voda
- Biela

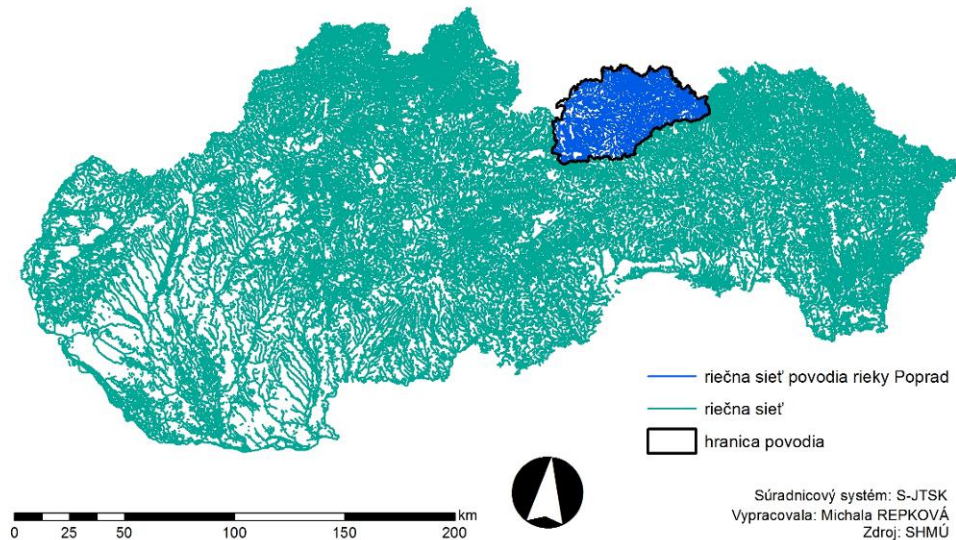
V Popradskej kotline sa tok Popradu obracia smerom na východ až severovýchod. V tejto kotline ústi do rieky Vrbovský potok a iné menšie prítoky, ktoré stekajú zo severného úbočia Kozích chrbtov a západného okraja Levočských vrchov. Ľavostranné prítoky – Velický potok, Studený potok, Slavkovský potok, Biela voda a Biela stekajú z južného až juhovýchodného úbočia Vysokých a Belianskych Tatier. Tieto početné ľavostranné prítoky zabezpečujú vodnosť Popradu. Najväčší z nich Velický potok tečie rovnobežne s Popradom, do ktorého vyúsťuje až v Spišskej Sobote, ktorá je súčasťou mesta Poprad. Pod Kežmarkom priberá pravostranný prítok Ľubicu, ktorá odvodňuje západnú časť Levočských vrchov, pod Spišskou Belou Bielu vodu, pri Starej Ľubovni pravostrannú Jakubianku. Niva sa rozširuje a tok meandruje.

Po obec Čirč preteká len územím Slovenska. Medzi Ruskou Voľou nad Popradom a Muszynou (dĺžka 5,1 km ) a medzi Legnavou a Mníškom nad Popradom (dĺžka 26 km ) tvorí hraničnú rieku s Poľskom. Celková dĺžka hranice, tvorenej riekou Poprad je 31,1 km. Od Mníška (379 m n. m.) odteká do Poľska, kde ústi do Dunajca pri meste Nowy Sacz. Dunajec sa vlieva do Visly a tá do Baltského mora, je teda tokom III.rádu. Rieka Poprad je tok s najväčším spádom na Slovensku – až 1567 výškových metrov.[26]

Povodie	
Medzinárodné	Visla
Čiastkové	Dunajec a Poprad
Základné	Dunajec po štátnu hranicu
	Poprad nad Ľubicou
	Poprad od Ľubice po štátnu hranicu

Tabuľka 1: Hydrologické členenie povodia rieky Poprad

## OHRANIČENIE POVODIA RIEKY POPRAD



Mapa 1: Ohraničenie povodia rieky Poprad

## 1.2 Fyzicko-geografický charakter povodia Popradu

### 1.2.1 Orografické a geomorfologické pomery

Územie povodia Popradu patrí do provincie Západné Karpaty. Západná časť povodia patrí do subprovincie vnútorných Západných Karpát.

V povodí Popradu vystupujú nasledovné geomorfologické celky [11]:

Gemorfologická jednotka	Hierarchická úroveň
<b>KARPATY</b>	posústava
<b>ZÁPADNÉ KARPATY</b>	provincia
<b>VNÚTORNÉ ZÁPADNÉ KARPATY</b>	subprovincia
<b>Fatransko-tatranská oblasť</b>	oblasť
Tatry	Celok
Podtatranská kotlina	Celok

Kozie chrbty	Celok
<b>Východné Beskydy</b>	oblasť
Pieniny	Celok
Ľubovnianska vrchovina	Celok
Čergov	Celok
<b>Podhôľno-magurská oblasť</b>	oblasť
Spišská Magura	Celok
Spišsko-Šarišské Medzihorie	Celok
Podtatranská Brázda	Celok
Levočské vrchy	Celok

Tabuľka 2: Geomorfologické celky

Západná časť povodia je podľa charakteru reliéfu kontrastne odlišená. Nachádza sa tu vysokohorská časť – Tatry a kotlinová časť – Podtatranská kotlina. Tieto časti oddeľuje hlbinný zlom v smere západ – východ. Vo východnej časti povodia prevláda stredohorský charakter [11].

Vzhľadom na morfológiu je povodie Popradu členitým územím s veľkými výškovými rozdielmi. Sú v nej typy reliéfu od pahorkatín až po veľhornatiny.

V nadmorskej výške 600 až 750 m n. m. leží najväčšia časť povodia. Druhým najrozľahlejším výškovým stupňom je 750 až 900 m n. m. Najmenšiu rozlohu zaberajú výškové stupne pod 450 m n. m. a nad 1401 m n. m. [11].

Rieka Poprad rozrezávala svoje územie stupňovite a vytvorila tak vo svojich dolinách terasy. V Popradskej kotline má šesť terás po ľavej strane doliny vo výškach 4 – 5 m, 12 – 16 m, 22 – 28 m, 61 m, 75 m, 108 – 112 m. Tatranskými potokmi bol Poprad zatlačený pod úpätie Levočských vrchov. Za Podolíncom sú terasy vyvinuté po oboch stranách rieky. Výrazné sú najmä v okolí Hniezdneho a Starej Ľubovne. Mestá Stará Ľubovňa, Podolíneec, Kežmarok a Poprad ležia na terasách [11].

Základným tvarom riečneho reliéfu je dolina. Na pohraničnom úseku Popradu sú meandrovité doliny, ktoré majú svahy v smere pozdĺžneho profilu kulisovité zoradenie.

V čase zdvihu pohorí prerezala rieka Poprad horské chrbty, čím vznikli antecedentné prielomy. Rieka Poprad takto spája antecedentným prielomom

Ružbašskej brány Popradskú a Ľubovnianskú kotlinu a antecedentným prielomom cez pohraničný hrebeň Ľubovnianskej vrchoviny ich spája s Novosaczkou.

Pozdĺž ľavostranných prítokov Popradu, a to Velického, Slavkovského a Studeného potoka sú rozsiahle glacifluviálne štrkové kužele, ktoré vznikli v súvislosti s opakujúcim sa zaľadnením Tatier v pleistocenných ľadových dobách.

### **1.2.2 Geologické a hydrogeologické pomery**

Základným činiteľom, ktorý určuje charakter hydrogeologických pomerov územia je geologická stavba.

Krištalinikum je najstarší hydrogeologický celok. Tvorí južnú a centrálnu časť Tatier a je podložíom pre mladšie, najmä mezozoické útvary. Predstavuje ho rozpukaný granitoidný masív, ktorý tvoria prevažne granity, granodiority, migmatity, menej kryštalické bridlice. Hovoríme o stredne až nízko rozvodnených horninách s puklinovou priepustnosťou. Pramene z kryštalických bridlíc majú výdatnosť prevažne do 0,3 l. s<sup>-1</sup>, z granitoidných hornín do 1,0 l. s<sup>-1</sup> a v oblasti tektonických pásiem aj viac ( max. 15 l. s<sup>-1</sup>). Väčšia časť podzemných vôd kryštalinika Vysokých Tatier vyviera na podtatranskom zlome, čiže na tektonickom styku s paleogénom v kotlinách, kde sú rozsiahle prameniská [26].

Mezozoikum je zastúpené hlavne v severnej a severovýchodnej oblasti Tatier. Tvorí väčšiu časť Belianskych Tatier. Jeho súčasťou sú nízko zvodnené ílovité a slienité bridlice a kremence. Nachádzajú sa v nich puklinové a vrstevné pramene nízkych výdatností 1,0 – 10,0 l. s<sup>-1</sup>. Polohy sinemurských kremencov a kremítých pieskovcov sú stredne zvodnené, pričom výdatnosti puklinových a vrstevných prameňov dosahujú až 15,0 l.s<sup>-1</sup>. Najvýznamnejšie po hydrogeologickej stránke sú vápence a dolomity stredného triasu a kriedy. Vyvierajú z nich puklinové, erózne a vrstevné pramene a krasové vyvieracky [26].

Horniny mezozoika vystupujú aj v celku Kozie chrby, v ružbašskom ostrove a v komplexe Pienin.

Usadené horniny vonkajšieho flyšového pásma a centrálnu – karpatského paleogénu sú veľmi slabo priepustné alebo nepriepustné. Striedanie pieskovcov a ílovcov, či prevaha ílovcových súvrství nedovoľuje väčšiemu presiaknutiu

zrážkových vôd. Priepustnosť je prevažne puklinová. Osobitné postavenie má vnútropaleogénne súvrstvie v Popradskej kotline.

Na zhromažďovanie podzemných vôd v povodí Popradu sú vhodným prostredím kvarténne usadeniny. Zastupujú ich fluvialne sedimenty poriečnej nivy Popradu a jeho väčších prítokov a glaciálne a glacifluviálne usadeniny Vysokých Tatier a Popradskej kotliny. V Belianskych a Vysokých Tatrách sú glaciálne sedimenty významnými zberačmi podzemných vôd. Medzi morénovými nánosmi sa nachádza piesčitá alebo kamenito - piesčitá výplň. Výdatnosť prameňov, z ktorých prevládajú erózne, bariérové, alebo líniové je 5,0 až 15,0 l.s<sup>-1</sup>, niekedy aj nad 20,0 l.s<sup>-1</sup>. Vo vyšších častiach dolín sú pramene výdatností do 100 l.s<sup>-1</sup>. Ovplyvňujú ich vody z povrchových tokov [26].

Glacifluviálne usadeniny obsahujú väčšie množstvo prachovo – ílovitej frakcie a sú piesčisto – kamenité až kamenité. Majú rôznu priepustnosť a sú južne od glacienných sedimentov. Pramene sú vrstevné a erózne, ich výdatnosť býva menšia ako 5,0 l.s<sup>-1</sup> [26].

Kvartérne usadeniny nižších polôh zaberajú veľkú časť povodia. Ide o fluvialne náplavy Popradu a jeho prítokov, ktoré majú od 2 do 12 m [26].

### **1.2.3 Klimatické pomery**

Väčšiu časť povodia Popradu zaraďujeme do chladnej oblasti a to do okrsku mierne chladného, v oblasti Tatier chladného horského až studeného horského. Všetky tri okrsky sú veľmi vlhké. Základným znakom chladnej oblasti je priemerná júlová teplota pod 16 ° C. Zaberá územie povodia vo vyšších horských polohách nad 800 m n. m., kde je nadbytok vlahy, takže má vlhký ráz.

Iba severné výbežky povodia a Ľubovnianska kotlina patria do oblasti mierne teplej. Mierne teplá oblasť má počet letných dní v roku pod päťdesiat a hornú hranicu tvorí júlová izoterma 16 ° C. Siahá do výšky 800 m n. m.

Priemerná ročná teplota vzduchu dosahuje v najnižšie položených oblastiach 6 – 7 ° C, v Levočských vrchoch klesá na 4 – 5 ° C a v hrebeňových polohách Vysokých Tatier až pod 0 ° C. V januári je priemerná teplota od – 3,5°C do – 6 ° C, júlová teplota má hodnoty 16 – 17 ° C Na území je veľká inverzia teplôt [5].



Dlhodobé priemery ročných zrážok vo vysokých polohách Vysokých Tatier dosahujú vyše 1 600 mm, a v hrebeňových polohách ostatných pohorí viac ako 900 mm. V najnižších polohách sú priemerné ročné zrážky menej ako 600 mm. Oblačnosť v zime dosahuje 67%, hoci je zvýšená už v novembri pod vplyvom častej hmly. Koncom leta (55%) a začiatkom jesene (51%) je najmenej oblačnosti.

Prevažujú tu západné a juhozápadné vetry. Najmenej je severných a severozápadných vetrov. Najpočetnejšie veterné dni sú v období december – marec [5].

#### **1.2.4 Pedologické pomery**

V povodí Popradu sa nachádzajú tieto pôdne zoskupenia:

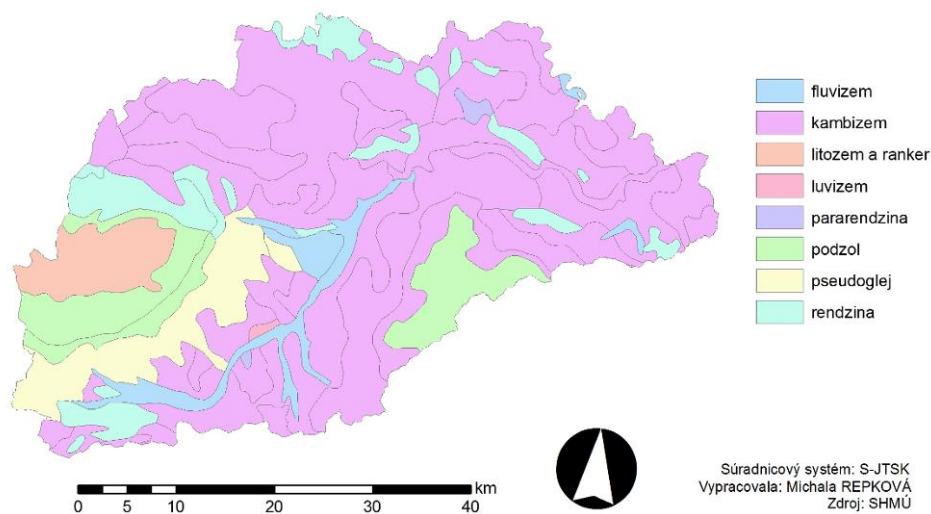
- najčastejšie sú kyslé variety kambizemných pôd. Vyskytujú sa v lesoch povodia: Spišská Magura, Levočské vrchy, Čergov, Ľubovnianska vrchovina
- rozšírené sú aj sorpčne nasýtené kambizeme. Nájdeme ich v nižších nadmorských výškach a sú využívané v poľnohospodárstve - orné pôdy, pasienky
- v povodí sa ďalej nachádzajú kambizeme pseudoglejové nasýtené. Tie sú viazané na horniny flyšoidné, piesčitejšie. V poľnohospodárstve sú tieto pôdy intenzívne využívané. Na niektorých miestach s vyšším sklonom svahu sú zalesnené monokultúrami (smreky, borovice).

5 až 10 % plochy povodia pokrývajú nasledovné pôdne asociácie [26]:

- districké kambizeme – najmä na vrcholových častiach Levočských vrchov, zriedkavo v Spišskej Magure a Čergove vo výške okolo 900 m n. m. a viac
- kyslé pseudogleje – na glaciofluviálnych usadeninách
- pseudoglejové kyslé kambizeme – na severe Spišskej Magury
- rankre – v blízkosti glaciálnych a fluvioglaciálnych usadenín v predpolí Tatier
- litické rendziny – v Pieninách, Kozích Chrbtoch a na bradlových zdvihoch
- litozeme a nevyvinuté pôdy – vo vysokohorskej oblasti Tatier v pásme kosodreviny

- vyluhované rendziny – v Belianskych Tatrách, a to v ich vysokohorských častiach
- fluvizeme typické - v blízkosti nekarbonátových aluviálnych sedimentov. Sú to mladé pôdy s rôznym stupňom glejovatenia. Nachádzajú sa v depresných častiach štvrtohorných naplavenín Popradu.

## PÔDNE TYPY POVODIA POPRADU



Mapa 2: Pôdne typy povodia Popradu

### 1.2.5 Lesné pomery

Územie povodia Popradu pokrývajú lesy na ploche 598 km<sup>2</sup>, čo predstavuje 37,4 percentnú lesnatosť. Súvislejšie lesné komplexy sa nachádzajú najmä v Tatrách, Spišskej Magure, Pieninách, Ľubovnianskej vrchovine a Levočských vrchoch [5].

88,4% plochy zaberajú ihličnaté lesy, listnatých lesov je 11,1% a na 0,39% sú holiny - lesné pozemky, z ktorých bol porast dočasne odstránený so zámerom obnoviť ich. Z ihličnatých stromov prevláda smrek, najväčšie zastúpenie z listnáčov má buk [5].

Hospodárske lesy sú na 44,5%, ochranné lesy zaberajú 30,0 % a lesy s osobitným určením tvoria plochu 25,5 % z celkovej výmery lesov povodia.

Najrozšírenejšie sú smrekovo – jedľovo – bukové lesy, a to 900 – 1 300 m.n.m. a jedľovo – bukové lesy v nadmorskej výške 500 – 1 000 m.n.m. V nadmorskej výške 1 250 – 1 550 m.n.m. sa v menšom množstve nachádzajú smrekové a nad 1 500 m.n m. kosodrevinové lesy [5].

## 2 ZÁPLAVY A POVODNE NA RIEKE POPRAD

Pri nadmernom množstve vody nastanú podmienky na záplavy a povodne. Povodeň je následkom veľkého množstva vody v prostredí, ktorá nestačí vsiaknúť, vypariť sa alebo z územia odtecť povrchovým tokom.

Zvyšovanie rozdielov teplôt zemského povrchu medzi jednotlivými oblasťami z akýchkoľvek dôvodov vyvoláva zmenu rozdelenia zrážkovej činnosti s vyššou kumuláciou intenzívnejších a výdatnejších zrážok v horských a podhorských oblastiach.

V povodí Popradu pri zrážkach dochádza k stavom, keď pri zvýšenej hladine povodia spôsobia už krátkodobé maloplošné, ale intenzívne zrážky alebo niekoľkodenné zrážky na veľkom území veľký prebytok vody.

Na Slovensku sa stále častejšie prejavujú zmeny v priestorovom rozdelení zrážok. V chladnejších oblastiach (hory) prší viac a intenzívnejšie ako v minulosti a v nížinách prší menej. Tento fenomén spôsobuje výskyt extrémov v celej severnej oblasti východného Slovenska, kde sa rozprestiera povodie Popradu. Vplyvom zmien rozdelenia zrážok dochádza k výskytu pravidelných lokálnych povodní aj na prítokoch rieky Poprad.

### 2.1 Povodeň ako prírodný jav

Povodeň je zaplavenie spôsobené stúpnutím vodnej hladiny nad brehy. Je to prírodná katastrofa, ku ktorej dochádza vplyvom náhlych alebo neočakávaných zmien v meteorologickej situácii.[8]

Ide o spravidla krátkodobé stúpnutie hladín v koryte toku a ich následný pokles. Je to mimoriadna udalosť, kedy sa následkom dažďov, topením snehu a ľadovcov alebo náhlym uvoľnením prekážky vo vodnom toku (pretrhnutím hrádze priehrady, zosunutím svahu počas dažďov...) zväčší prietok vody a zdvihne hladinu tak, že sa voda z koryt vylieva a zaplavuje okolité územie.

## Klasifikácia povodní

Každá povodeň má svoje špecifické rysy, parametre, podmienky vzniku a priebeh. Napriek tomu rozoznávame tri základné typy povodní, a to podľa príčin vzniku.[4]

Sú to:

1. regionálne povodne
2. prívalové povodne
3. bariérové povodne

**1. Regionálne povodne** sú vyvolané dlhotrvajúcimi zrážkami na rozsiahlom území alebo topiacim sa snehom v povodiach. Zasahujú veľké územia, majú dostatočnú intenzitu a ich trvanie je viac hodín alebo dní. Ide o klasické povodne, ktoré postihujú riečne systémy a celé povodia. Zapríčiňuje ich prudké jarné oteplenie, ktoré vzniká pri rýchlom topení snehu. Nebezpečenstvo vzniká, keď s oteplením začne výdatne pršať. Silné dažde spolu s topiacim sa snehom môžu byť príčinou náhlejšej povodne. Teplota takejto vody je 0°C, a preto kontakt človeka s ňou je veľmi rizikový [4].

**2. Prívalové povodne** spôsobujú lokálne krátkotrvajúce intenzívne lejaky, ktorých účinnosť pôsobí na pomerne malom území. Začína sa to "klasickým" búrkovým mrakom. Tento mrak prechádza väčšiu vzdialenosť, počas ktorej pri vhodných podmienkach do seba akumuluje vodné pary, vznikajúce odparovaním vlhkých údolí, resp. plôch. Vodné zrážky z takéhoto mraku môžu mať katastrofálne následky, lebo za pomerne krátky čas napadne veľké množstvo vody [4].

**3. Bariérové povodne** – vznikajú dôsledkom dočasného prehradenia toku, a to umelého alebo prirodzeného. Ich príčinou môže byť napr. ľadová pokrývka alebo prekážky vzniknuté narušenými hydrotechnickými, alebo líniovými stavbami, zanesením toku splaveninami, rôznym iným materiálom a podobne [4].

Z meteorologického, hydrologického, vodohospodárskeho a ekologického hľadiska sú povodne fenomén, ktorý sprevádza ľudstvo odjakživa.

Vznik povodní je podmienený viacerými okolnosťami. Okrem orografických, geologických a geografických pomerov je to takmer vždy zvláštny vývoj počasia, zrážok a teplôt nad veľkým územím povodia. K tomu patria ešte ďalšie faktory – nasýtenosť podložia vodou, prietoky vody, rôzne prekážky, spôsobené stavebnou alebo inou činnosťou človeka. [14]

Povodeň ako katastrofický prírodný jav sa vyskytuje náhodne, čo sťažuje možnosť jej dlhodobej predpovede. Človek nevie ovplyvniť veľkosť a časový priebeh povodne. S vedomím, že povodne boli, sú a budú sa musíme usilovať o zmiernenie prírodných rizík na najnižšiu možnú mieru.

Stále sa zvyšuje dopad povodní na ľudské zdravie a hospodárske straty. Tieto prirodzené katastrofy pôsobia na spoločnosť stále zraniteľnejšie.

Činnosť ľudí a zásahy do rovnováhy prírody značne zmenili situáciu v celých povodiach riek. Premenlivosť prietokov v toku je prirodzenou vlastnosťou. Extrémne vysoké vodné stavy sa vyskytujú, keď intenzívne zrážky zasahujú veľký priestor, dopadajú na pôdu, ktorá buď kvôli predchádzajúcim zrážkam, alebo v dôsledku mrazu ďalšie zrážky nemôže zadržať. Extrémne veľké vody sú ovplyvniteľné len vo veľmi obmedzenom rozsahu.

### 3 HYDRODYNAMIKA

Hydrodynamika je časť hydromechaniky zaoberajúca sa pohybom nestlačiteľných kvapalín a ich pôsobením na tuhé telesá. Prúdenie sa udáva v priestore, rovine, alebo po krivke buď sledovaním pohybu určitej častice kvapaliny ako hmotného bodu, alebo sa sleduje celý prúd v určitom časovom okamihu. Prúdnice, alebo prúdové čiary sledujú vlastný tok tekutiny; v každom bode prúdnice je smer rýchlosti tekutiny k nej dotyčný. Prietoková plocha je plošný obsah rovinného rezu, ktorý je kolmý na strednú prúdnicu prúdovej trubice. Prúdová trubica je sústava prúdnic, ktoré prechádzajú uzavretou krivkou. [6]

Pri spojitom (kontinuálnom) prúdení tekutiny v závislosti na čase, rozlišujeme [10]:

- a) ustálené (stacionárne) prúdenie, kde rýchlosť a tlak tekutiny v danom mieste prietokovej plochy je stále rovnaký a nezávislý na čase. Rozdeľuje sa na rovnomerné a nerovnomerné.
- b) neustálené (nestacionárne) prúdenie – prúdenie, ktorého rýchlosť a tlak v danom mieste prietokovej plochy sa mení v závislosti na čase, tzn. mení smer alebo veľkosť, alebo aj smer a veľkosť prúdenia.

Prúdenie tiež rozdeľujeme na [6]:

- a) nadkritické – je charakterizované malými hĺbkami a veľkými rýchlosťami
- b) podkritické – je prúdenie, pri ktorom sú hĺbky väčšie a rýchlosti malé
- c) kritické – je prechod medzi nadkritickým a podkritickým prúdením

Charakter prúdenia skúmaný z hľadiska rýchlostných pomerov [10]:

- a) laminárne prúdenie vzniká pri ustálenom prúdení reálnej kvapaliny, ktorá tečie malou rýchlosťou. Jej prúdnice sú stále, vrstvy kvapaliny sa po sebe pravidelne posúvajú.
- b) turbulentné prúdenie vzniká po prekročení určitej rýchlosti, kde môžeme zreteľne pozorovať vírenie toku a nestálosť vytvorených prúdnic. To, do akej miery sú prúdočiary prúdiacej tekutiny rovnobežné alebo turbulentné vyjadruje Reynoldsovo číslo.[10]

Podľa usporiadania prúdenia v priestore sa prúdenie rozdeľuje na [6]:

- a) trojrozmerné (priestorové),
- b) dvojrozmerné (rovinné)
- c) jednorozmerné (po krivke)

### 3.1 Hydrodynamické modelovanie

Hydrodynamický model je zjednodušenou funkčnou reprezentáciou reálneho pohybu vody, ktorý slúži k analýze správania systému ako celku. Slúži k numerickému riešeniu hydraulických procesov v umelých a prirodzených korytách. Základ pre výpočet hydrodynamických modelov je súbor rovníc, ktoré popisujú pohyb tekutín. Tieto rovnice sú odvodené z Newtonových zákonov pohybu, ktoré opisujú pôsobenie sily na tekutinu, konkrétne je to druhý Newtonov zákon: zrýchlenie je priamo úmerné pôsobiacej sile a nepriamo úmerné hmotnosti telesa [2].

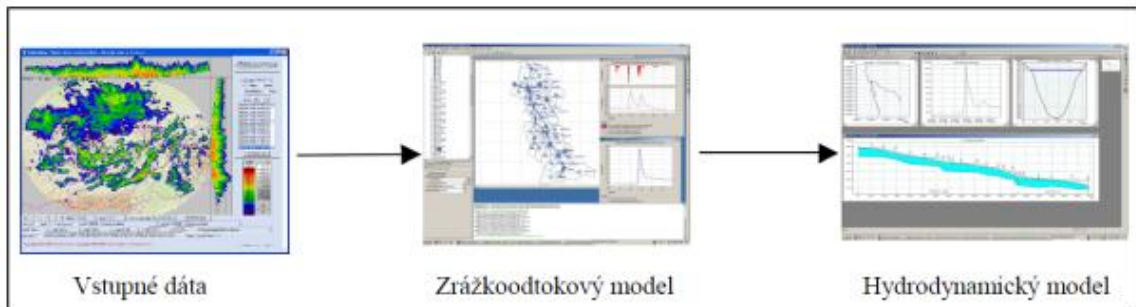
Zásadným faktorom pre výstavbu hydrodynamického modelu sú vstupné dáta. Čím sú vstupné dáta presnejšie, tým viac výsledný model zodpovedá realite. V prípade nedostatku časti dát má hydrodynamické modelovanie prínos v tom, že ak napríklad chýbajú údaje o prietokoch, model si ich dokáže jednoducho dopočítať, na základe známych prietokov z profilov, alebo staníc.

Všeobecná schéma hydrodynamických modelov má tri položky[3]:

1. Vstupné dáta
2. Zrážko-odtokový model
3. Hydrodynamický model

Pri tvorbe hydrodynamických modelov vychádzame z dát, ktoré vstupujú do zrážko-odtokového modelu, kde po spracovaní dát je výstupom hydrogram, ktorý potom vstupuje do hydrodynamického modelu.





Obr. 1: Schéma výpočtu hydrodynamického modelu[12]

Pre výpočet záplavových zón boli v mojej práci použité dva programy, a to HEC-RAS a MIKE11. Hydrodynamický model HEC-RAS je jednodimenzionálny (1D) model pre výpočet hladín ustáleného a neustáleného prúdenia. Model je schopný simulovať podkritické i nadkritické prúdenie v prírodných i umelých korytách, a tiež podporuje výpočet inundačných území. Základný výpočtový mechanizmus vychádza z Bernoulliho rovnice a Manningovho vzťahu. Podobne aj hydrodynamický model MIKE11 je jednodimenzionálny, slúži k simulácii ustáleného a neustáleného prúdenia v prírodných aj umelých korytách a je schopný simulovať subkritické a nadkritické prúdenie. Pre prúdenie v korytách tokov MIKE11 využíva 4 výpočtové metódy [16]:

1. dynamická vlnová aproximácia (používa úplnú hybnostnú rovnicu a je vhodná pre riešenie neustáleného prúdenia vrátane síl zrýchlenia, efektov vzdúvania a podobne všeobecne pre extrémne odtokové situácie so strmými nábehovými vetvami hydrogramu)
2. difúzna vlnová aproximácia (uvažuje v pohybovej rovnici iba faktor drsnosti koryta, gravitácie a hydraulického gradientu)
3. kinematická vlnová aproximácia (uvažuje iba gravitáciu a drsnosť koryta pomocou Manningovho vzťahu)
4. metódy Muskingum a Muskingum-Cunge (svojou podstatou sa blížia kinematickej vlnovej aproximácii)

### 3.2 Vstupné dáta

Pre úspešné namodelovanie záplavových zón v študovanom území sú veľmi dôležité kvalitné vstupné údaje. Dáta, ktoré boli použité v tejto práci boli získané z rôznych zdrojov: Topografický ústav (TOPU), Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ) a Tatranský národný park (TANAP).

#### DEM

je digitálny model reliéfu, v ktorom sú za výškové údaje použité nadmorské výšky, čiže v každej bunke tohto rastra je uložená hodnota výšky terénu [25]. Tento digitálny výškový model mi poskytli v Topografickom ústave v Banskej Bystrici vo formáte ESRI GRID pre územie Prešovského kraja.

#### TIN

patrí k vektorovým topologickým štruktúram. Vychádza z nepravidelnej trojuholníkovej siete, kde elementárnu geometrickú plochu zemského povrchu reprezentuje trojuholník. Vrcholom trojuholníkov sú priradené výškové hodnoty [25]. TIN použitý v tejto práci bol vytvorený z digitálneho výškového modelu pomocou funkcie *RasterToTIN*.

#### Údaje o N-ročných prietokoch

Tieto údaje mi poskytli v Slovenskom Hydrometeorologickom Ústave v Bratislave vo formáte .xls programu Excel. Obsahuje údaje o 1-ročných, 2-ročných, 5-ročných, 10-ročných, 20-ročných, 50-ročných a 100-ročných vodách pre rieku Poprad s prítokom Ľubica z monitorovacej stanice Poprad - Matejovce.

Tok – profil	Plocha povodia km <sup>2</sup>	1	2	5	10	20	50	100
Poprad - Štrbské Pleso	17,8	6,5	8,5	14	19	26	38	51
Poprad – Svit	45,7	12	20	34	45	59	81	100
Mlynica – Svit	80,1	6	10	18	25	34	47	60
Poprad - Svit pod	144,0	18	27,5	45	61	78	107	132
Velický potok - Poprad Veľká	57,5	12	20	35	50	66	93	120
Poprad - pod Velickým potokom	235,4	33	49	79	107	136	187	230
Slávkovský potok – Matejovce	44,6	4	6	10	14	21	34	50
Poprad – Matejovce	311,1	40	60	96	130	165	228	280
Poprad - Veľká Lomnica	411,5	48	74	117	157	200	275	340
Poprad – Kežmarok	495,6	56	85	135	180	230	320	390
Ľubica – Kežmarok	120,2	20	32	54	72	91	120	150
Poprad – Kežmarok	649,4	68	104	165	216	281	377	465
Poprad - Krížová Ves	713,6	76	114	176	238	305	419	505

Tabuľka 3: Údaje o N-ročných prietokoch v m<sup>3</sup>/s<sup>-1</sup>

### Vrstevnice – ESRI Shapefile

líniová vrstva vrstevníc Slovenskej republiky vo formáte ESRI Shapefile s príslušnými atribútovými údajmi a v súradnicovom systéme S-JTSK. Dáta boli poskytnuté SHMÚ.

### Riečna sieť – ESRI Shapefile

líniová vrstva zobrazujúca riečnu sieť Slovenskej republiky taktiež vo formáte ESRI Shapefile a súradnicovom systéme S-JTSK. Bola získaná z SHMÚ.

### Rozvodnice – ESRI Shapefile

líniová vrstva zobrazujúca geografickú hranicu medzi povodiami v súradnicovom systéme S-JTSK a formáte ESRI Shapefile. Bola získaná z SHMÚ.

### Monitorovacie stanice – ESRI Shapefile

bodová vrstva, ktorá zobrazuje polohu hydrometeorologických monitorovacích staníc. Táto vrstva bola taktiež získaná z SHMÚ a je v súradnicovom systéme S-JTSK.

### Pôdne typy – ESRI Shapefile

jedná sa o polygónovú vrstvu pôdnych typov Slovenskej republiky v súradnicovom systéme S-JTSK a získana bola z SHMÚ.

### Ortofotomapa

je geokódový (nečitateľný) súbor diferenciálne priestorovo transformovaných obrazových elementov (pixelov) digitálnej snímky do referenčnej roviny mapy (súradnicový systém ortofotomapy) v počítačovom prostredí [23]. Bola získaná v Tatranskom národnom parku a má priestorové rozlíšenie 1m na pixel.

## 4 ArcHydro

Bol vyvinutý v Centre pre výskum vodných zdrojov (Center of Research in Water Resources – CRWR) na Texaskej univerzite v Austine. Podporuje radu aplikácií, či už hydrografických, hydrologických, alebo hydraulických [9]. Nielenže obsahuje modelovú databázovú štruktúru, ale aj sadu nástrojov ArcHydro Tools, ktoré podporujú priestorové a sieťové analýzy a tiež vodný manažment.

Tento hydrologický model je veľmi obsiahly a k vytvoreniu databázy povodia rieky Poprad stačilo niekoľko sad, takže tu bude venovaná pozornosť len tým vrstvám, ktoré boli v práci použité.

### 4.1 Tematické vrstvy modelu

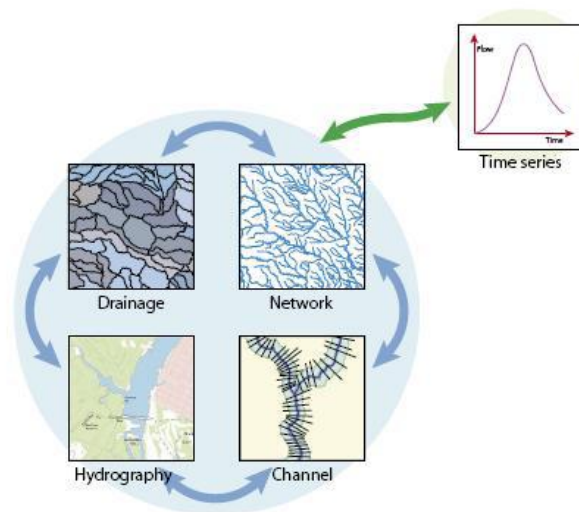
Tematické vrstvy ArcHydro modelu sa rozdeľujú na [9]:

- Terénny model
- Hydrografia
- Vodné toky (Streams)
- Hydrografické body (Hydrographic points)
- Riečne korytá (Channels)
- Drenážne oblasti (Drainage area)

### 4.2 Databázová štruktúra

ArcHydro model pozostáva z piatich komponentov [9]:

- Network
- Drainage
- Channels
- Hydrography
- Time Series



Obr. 2: Základná geodatabázová štruktúra modelu ArcHydro

### 4.3 ArcHydro Model

Základným predpokladom pre tvorbu ArcHydro modelu je vytvorenie hydrosiete, čiže HydroNetwork s hydrolíniami (HydroEdge) a hydrobodmi (HydroJunction). Na to bolo potrebné získať tri vrstvy ESRI Shapefile, konkrétne vodných tokov, rozvodníc a monitorovacích staníc povodia rieky Poprad. Všetky tri boli poskytnuté Slovenským hydrometeorologickým ústavom.

#### 4.3.1 Tvorba databázy

Prvotná geodatabáza poprad.mdb bola vytvorená v ArcCatalogu s projekciou S-JTSK\_Krovak\_East\_North, ktorá sa na študované územie hodí najlepšie. V tejto databáze bol vytvorený Feature Dataset, taktiež s názvom „poprad“. Potom do nej boli importované vrstvy ESRI Shapefile, a to povodie.shp, ktoré reprezentujú rozvodnice, plochy.shp, ktoré reprezentujú vodné plochy ako jazerá a nádrže a ďalej mon\_stanice.shp, ktoré reprezentujú monitorovacie stanice.

Následne bolo nutné vytvoriť body, ktoré prepájajú celú databázu – Network Junctions. Tie sa vytvorili v ArcCatalogu kliknutím pravým tlačidlom na *new Geometric Network* a tým sa otvoril *Build Geometric Network Wizard*. Ako dátovú

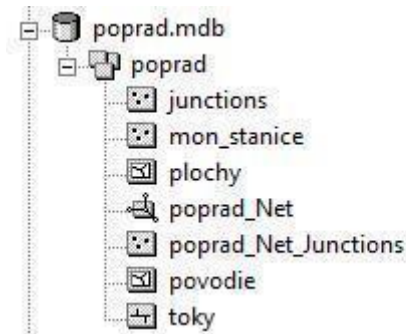
sadu pre tvorbu Network Junction som použila líniové vyjadrenie vodných tokov–toky.shp. Názov tejto novej siete bol poprad\_Net. Spolu s vytvorením bodovej siete sa automaticky vygenerovala sieť poprad\_Net\_Junctions. Túto som následne exportovala do databázy pod názvom Junctions. Takto bola vytvorená základná databáza, ktorú bolo potrebné transformovať do databázy ArcHydro.

#### 4.4 Databáza ArcHydro

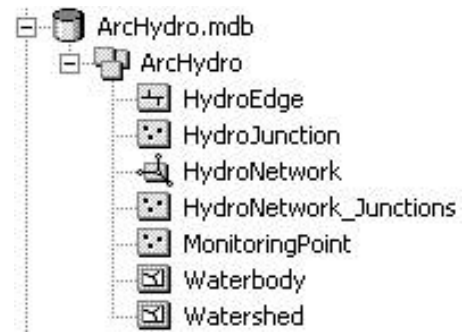
Najlepším spôsobom ako skonštruovať databázu ArcHydro je pomenovať jednotlivé ESRI Shapefile tak, aby zodpovedali originálnemu modelu. Preto bola vytvorená nová geodatabáza s názvom ArcHydro.mdb, opäť s projekciou S-JTSK\_Krovak\_East\_North, a Feature Dataset s názvom ArcHydro. Následne boli do nej importované vrstvy z databázy poprad.mdb, avšak so zmeneným názvom tak, aby to zodpovedalo originálnym názvom ArcHydro schémy.

junctions	→	HydroJunction
mon_stanice	→	MonitoringPoint
plochy	→	Waterbody
povodie	→	Watershed
toky	→	HydroEdge

Aj tu bola vytvorená geometrická sieť, do ktorej už nevstupovala len vrstva tokov, ale aj bodová vrstva HydroJunction.shp, ktorá bola vytvorená v poprad.mdb. Nová hydrologická sieť bola nazvaná HydroNetwork.



Obr. 3: Databáza poprad.mdb



Obr. 4: Databáza archydro.mdb

## 4.5 Aplikácia ArcHydro schémy

Túto novovytvorenú databázu ArcHydro.mdb bolo nutné prepojiť s ArcHydro schematickým modelom. Je to model vytvorený v UML jazyku, v ktorom sú preddefinované atribúty jednotlivých zložiek s ich väzbami.

V ArcCatalogu bolo potrebné najprv aktivovať ikonu *CaseSchemaCreationTool*, pomocou ktorej je možné obidve databázy prepojiť. To je možné v *Customize/Command Tab/Case Tools/Schema Wizard*.

Po otvorení *Schema Wizard* musíme nájsť cestu k danej databáze, ktorou je v našom prípade *ArcHydroFrameworkSchema.mdb*. Ak táto nie je k dispozícii v inštalačnom adresári *ArcHydro Tools*, je možné ju stiahnuť zo stránok <http://www.cwr.utexas.edu>.

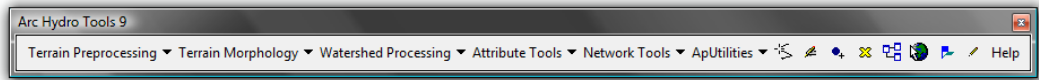
Zobrazí sa stromový pohľad na schému aj s väzbami. Triedy, ktoré sa zvýraznili červenou, boli vďaka rovnakým názvom ako je v schéme automaticky prepojené s modelovými.

Postupným kliknutím na vlastnosti u všetkých zložiek modelu sa otvorí tabuľka, kde v záložke *Exist* môžeme vidieť jednotlivé stĺpce atribútovej tabuľky každého ESRI Shapefile. K pôvodným atribútom sa vytvorili nové, a to prepojením s UML modelom. K týmto novým bolo nutné priradiť hodnotu „*Add Field*“ preto, aby sa mohli zapisovať nové hodnoty pri práci s nadstavbou *ArcHydroTools*.



## 4.6 ArcHydro Tools

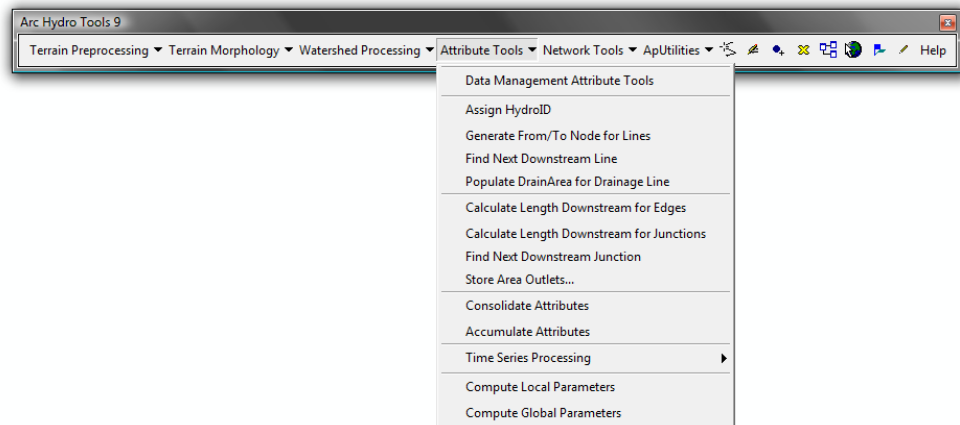
ArcHydro Tools je sada nástrojov, ktoré uľahčujú vytváranie, manipuláciu a zobrazovanie ArcHydro features a objektov v prostredí ArcMap. Nástroj poskytuje rastrové, vektorové funkcionality a tiež funkcionality časových radov. Je možné si vybrať zo šiestich rôznych položiek.



Obr. 5: Nástrojová lišta ArcHydro Tools

- 1) *Terrain Preprocessing* – slúži k spracovaniu DEM a odvodeniu dát, ktoré sú potrebné pre ArcHydro databázu
- 2) *Terrain Morphology* – slúži k spracovaniu základných analýz preštudovanej oblasti
- 3) *Watershed Processing* – funkcia, ktorá slúži k odvodeniu odtokových oblastí. Využíva sa k výsledkom z Terrain Preprocessingu
- 4) *Attribute Tools* – využíva sa k odvodeniu dát do atribútových tabuliek v databáze
- 5) *Network Tools* – generovanie hydrologickej siete, ukazuje smer toku
- 6) *ApUtilities* – slúži k nastaveniu vlastností projektu

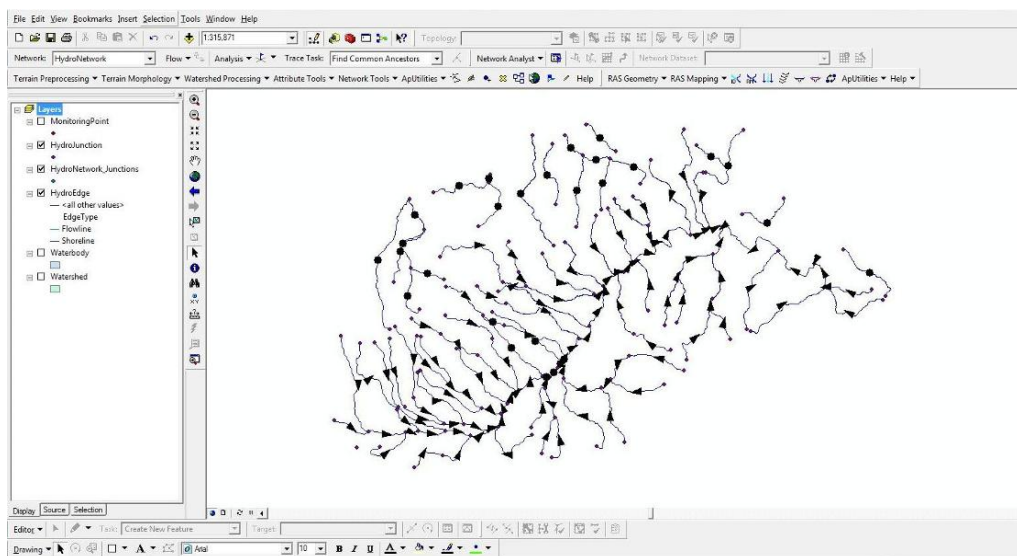
Keďže som k svojej práci všetky potrebné dáta mala, použila som iba niektoré funkcie ArcHydro Tools, a to predovšetkým *Attribute Tools*. Pomocou tejto položky boli spočítané a odvodené takmer všetky atribúty v tabuľkách.



Obr. 6: Položka *Attribute Tools* s jej funkciami

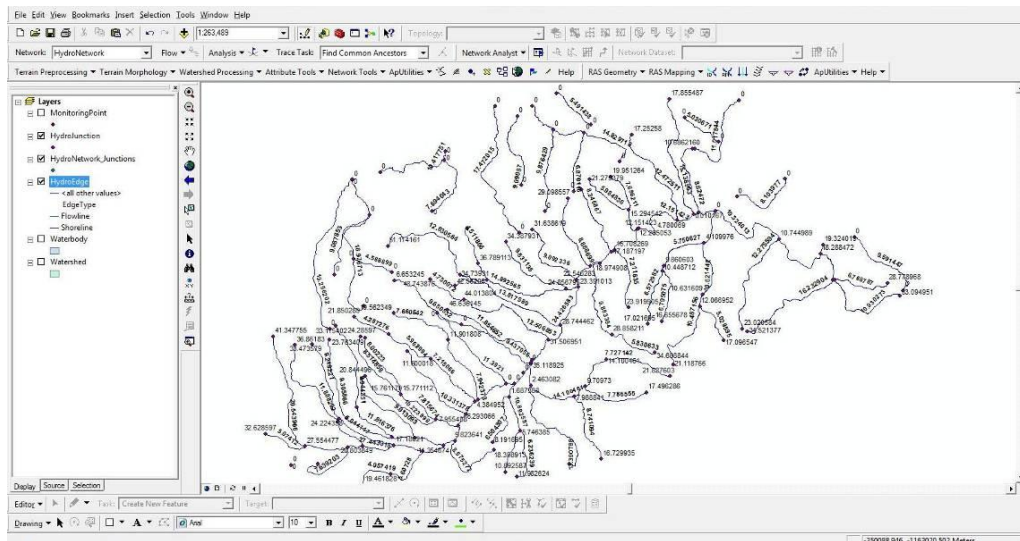
Ako prvé bolo potrebné priradiť každému prvku v databáze ID, a to pomocou *Assign HydroID*. Potom bol určený posledný bod, do ktorého steká všetka voda z povodia, tzv. Sink.

Na zobrazenie, či toky stekajú správnym smerom, slúži nástroj *Utility Network Analyst* a položka *Flow/DisplayArrows*.



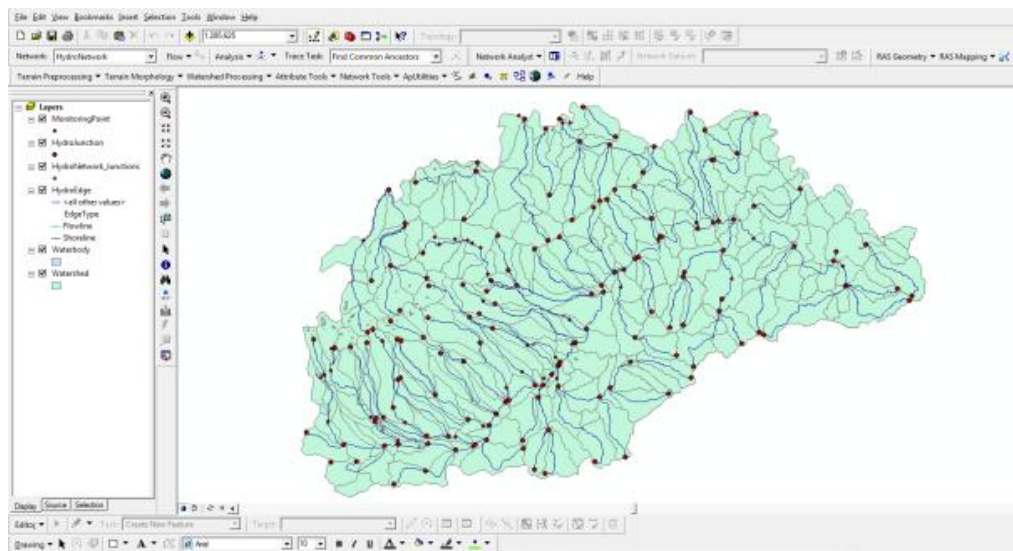
Obr. 7: Zobrazenie smeru toku pomocou *Utility Network Analyst*

Pomocou položky *Calculate Length Downstream for Edges/Junctions* bola vypočítaná vzdialenosť k ústiu povodia pre každú hydrolíniu a hydrobod.



Obr. 8: Zobrazenie vzdialenosti k ústiú povodia pre každú hydrolíniu

Pomocou *Store Area Outlets* sa stanovujú všetky ústia z jednotlivých povodí. Ďalej pomocou položky *Consolidate Attributes* sa vo všetkých ústiach z jednotlivých povodí vypočíta plocha povodia, ktorá je späť s týmto ústím. Týmto boli do tabuliek databázy ArcHydro zapísané takmer všetky atribúty a databáza bola vytvorená.



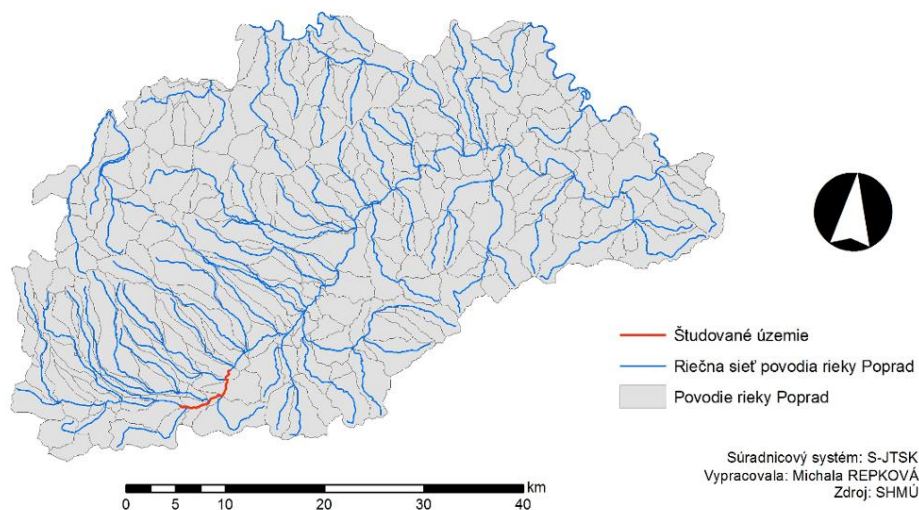
Obr. 9: Hotová databáza v programe ArcMap

## 5 HEC - RAS

Software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) bol vyvinutý Ministerstvom obrany Spojených štátov amerických a slúži k hydraulickým výpočtom ustáleného a neustáleného prúdenia v prírodných i technicky upravených otvorených korytách. [19]

Modelovanie záplavových území je hydrologická disciplína, ktorá vyžaduje veľkú presnosť z hľadiska dát, softwaru a aj užívateľa. Základom pre presnú modeláciu bolo získanie dostatočného množstva terénnych dát, ktoré slúžili na tvorbu digitálneho výškového modelu. Keďže som disponovala dátami, ako sú vrstevnice výškové kóty, ktoré mi boli poskytnuté Slovenským topografickým ústavom, mohla som skonštruovať TIN model ako hlavný vstup na modelovanie záplavových území v nadstavbe HEC GeoRAS.

### ŠTUDOVANÉ ÚZEMIE NA RIEKE POPRAD

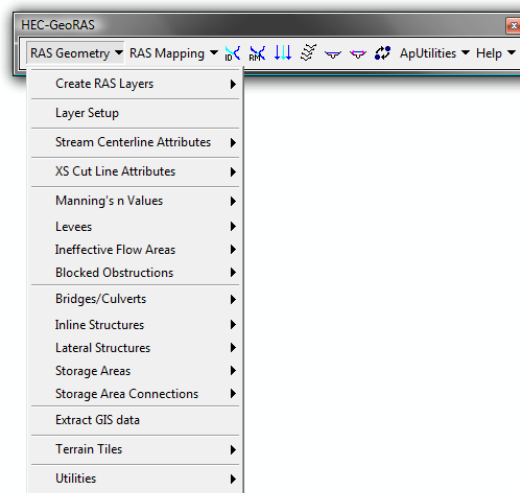


Mapa 3: Študované územie

## 5.1 HEC GeoRAS

HEC GeoRAS je nadstavba nástrojov v ArcGIS, ktorá slúži k vyhotoveniu geopriestorových dát. Tie sú základným vstupom do programu HEC-RAS. Slúži tiež k spracovaniu a vizualizácii priestorových dát z HEC-RAS.

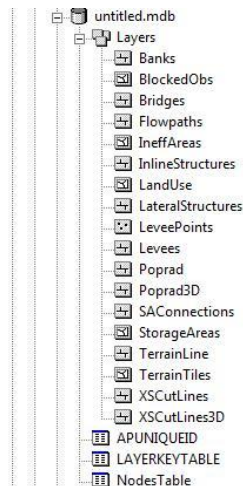
Táto nadstavba obsahuje niekoľko nástrojov. V tzv. preprocessingu, čo je predpríprava dát sa pracuje s položkou *RAS Geometry*. Preprocessing sa delí na schematizáciu základných objektov (línie tokov, brehov a priečných profilov) a doplnkových objektov a informácií (drsnostné koeficienty, hrádze a pod.) [19].



Obr. 10: Nástrojová lišta Hec GeoRAS

### 5.1.1 Tvorba geometrických dát

Ako prvé bolo nutné vytvoriť databázu prvkov, ktoré budú editované a následne exportované do programu HEC-RAS. Databáza sa vytvorila automaticky kliknutím na *Create RAS Layers – All*.

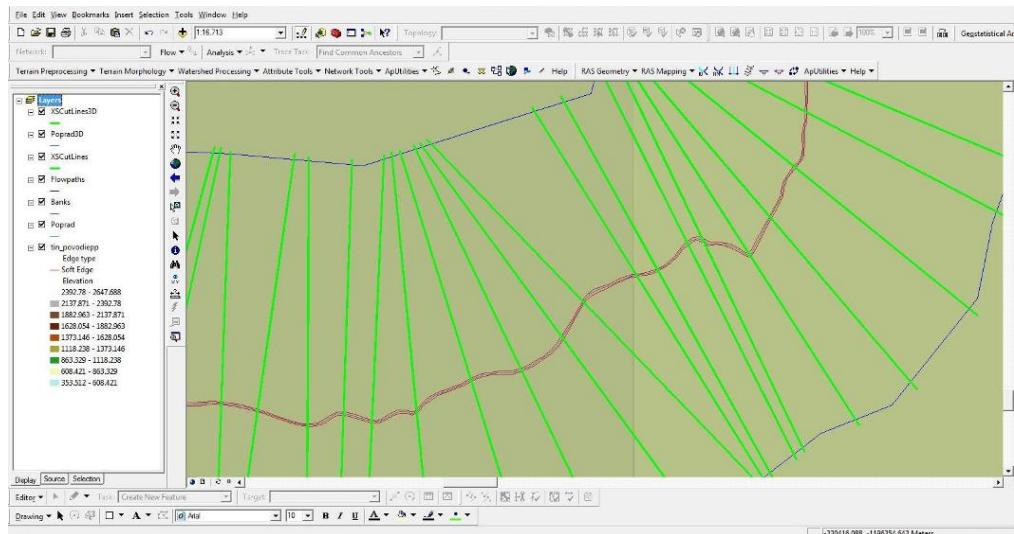


Obr. 11: Databáza jednotlivých prvkov v ArcCatalogu

Prvým krokom bola editácia vodného toku (Stream Centerline). Tú je potrebné vektorizovať v smere od prameňa po ústie rieky, aby sa pri importe do HEC-RAS zobrazil správny smer toku. Po vytvorení línie toku jej boli priradené atribúty ako ID a názov toku, v mojom prípade Poprad, ktoré boli zapísané do atribútovej tabuľky.

Ďalším krokom bola editácia brehových línií riečneho koryta (Bank Lines). Najprv som vektorizovala ľavý, potom pravý breh koryta. V tomto prípade nie je povinne určený smer vektorizovania.

Tretím dôležitým krokom bola tvorba línií záplavových území – Flowpaths. Rozdeľujú sa na ľavú a pravú a tzv. Center Flowpath, ktorá je zhodná s líniou toku rieky (Stream Centerline). Pomocou položky *Assign LineType* sa zapíšu do atribútovej tabuľky typy línií, čiže určíme ktorá je ľavá, pravá a stred.



Obr. 12: Zvektorizované časti rieky Poprad

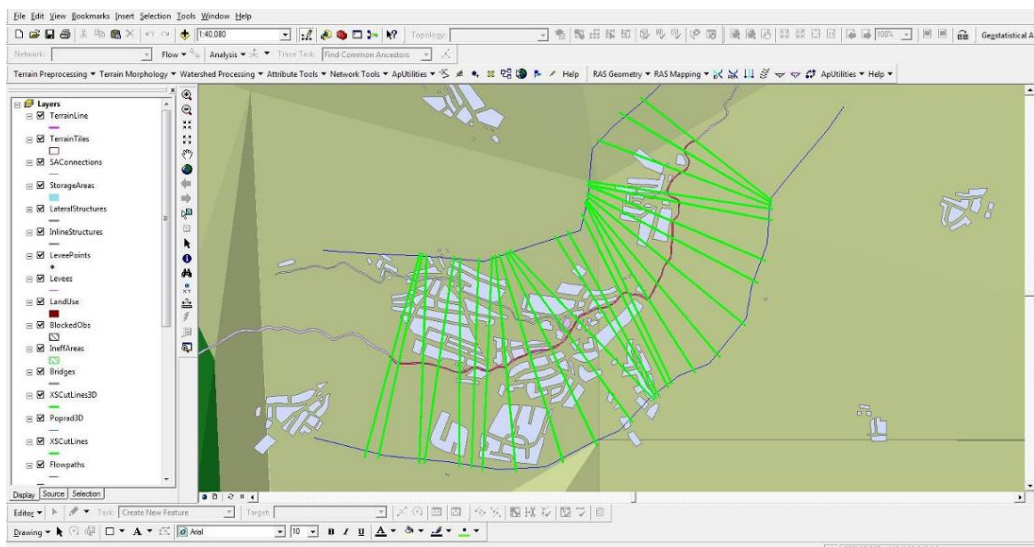
Posledným krokom je tvorba priečných profilov (XS Cut Lines). Tie sú najdôležitejšou časťou databázy. Je nutné zachovať smer editácie od ľavého k pravému brehu, a aby pretínali línie záplavových území (*Flowpath*) spolu s líniou toku rieky. Potom je možné odvodiť atribúty *Bank Stations*, čiže vzdialenosti od línie toku k hranici záplavového územia, ďalej *Downstream Reach Length*, čiže vzdialenosť medzi jednotlivými profilmi, a tiež *Manning's value*, čiže veličina, ktorá charakterizuje drsnosť povrchu pri prúdení rieky. Dôležité je aj to, aby bol každý profil digitalizovaný v pravom uhle s líniou toku rieky. Po digitalizácii a uložení všetkých priečných profilov boli vypočítané tabuľkové atribúty pomocou položky *RAS Geometry/XS Cut Line Attributes. River/Reach Names* – priradí priečnemu profilu názov a úsek rieky, *Stationig* – priradí každému profilu vzdialenosť od miesta priečného profilu ku koncu študovaného úseku rieky po prúde, *Stations* – priradí každému priečnemu profilu vzdialenosť od hlavného toku k okraju záplavového územia vľavo i vpravo po smere toku, *Downstream Reach Lengths* – priradí každému profilu vzdialenosť k ďalšiemu priečnemu profilu po smere toku.

Pomocou nastavbových nástrojov a TINu sa vytvorí pre priečne profily informácia o výške (*XSCutLines3D*), pretože profily o nich informácie nemajú.

Ďalšími nepovinnými údajmi sú poloha mostov, prekážok na vodnom toku alebo oblasti s veľmi malou rýchlosťou toku.

### 5.1.2 Export geometrických dát

Posledným, záverečným krokom bol samotný export údajov. Najprv bolo ale potrebné všetky mapové vrstvy skontrolovať. To sa dosiahlo v *RAS Geometry/Layer Setup*, kde boli nastavené všetky potrebné vrstvy, vrátane TINu, ktorý tiež vstupuje do exportu. Následne položkou *Extract GIS Data* sa vytvoril exportný balík, ktorý obsahoval dva súbory .sdf a .xml a bol uložený na disku.

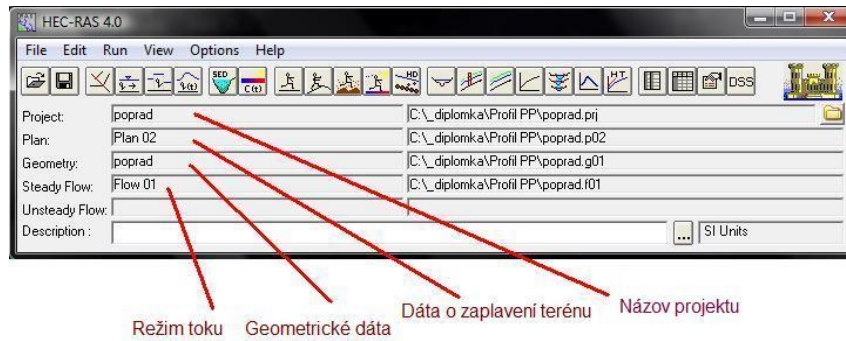


Obr. 13: Vizualizácia celkovej databázy jednotlivých prvkov v ArcMape

## 5.2 Modelovanie v HEC-RAS

Projekt v HEC-RAS sa skladá z niekoľkých zložiek. Prvá zložka je geometrická, sú to vlastne dáta vytvorené v HEC-GeoRAS. Ďalšia zložka obsahuje dáta o prietoku vody v koryte. Na základe toho software vymodeluje TIN vodnej plochy a pretne ho s terénom. Poslednou zložkou je tzv. plán, ktorý obsahuje všetky dáta o zaplavení územia [7].

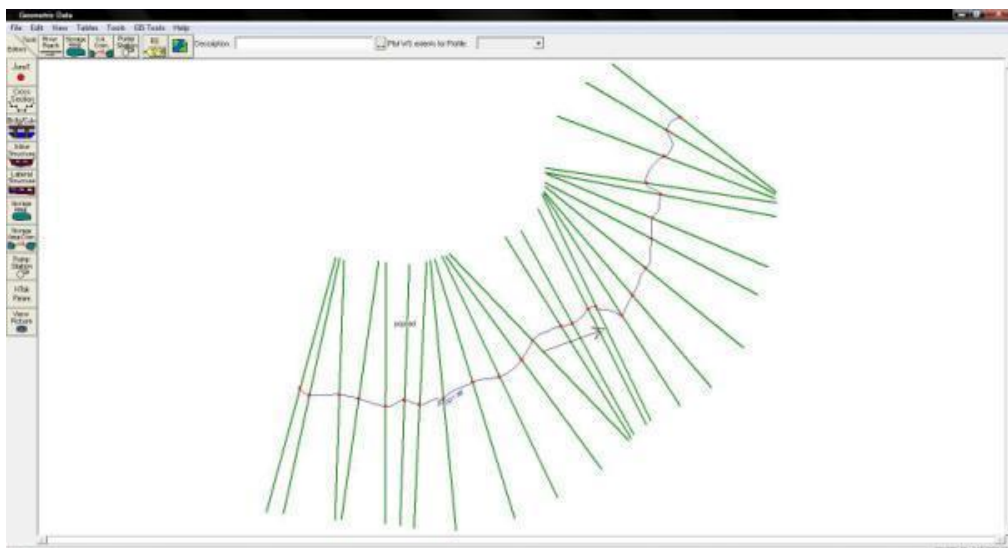




Obr. 14: HEC-RAS a jeho komponenty

### 5.2.1 Geometrická zložka

Ako prvé bolo potrebné naimportovať geometrické dáta, ktoré boli vypracované v HEC-GeoRAS pomocou položky *Edit/Geometric Data/File/Import geometry Data/GIS Format*. Následne boli načítané dáta prevedené na jednotky SI metrickej sústavy. Po správnom naimportovaní sa zobrazí riečna sieť aj s jej priečnymi profilmi.



Obr. 15: Naimportovaná študovaná časť rieky Poprad do HEC-RAS

Presnosť hydrodynamického modelovania v značnej miere závisí od presnosti vstupných dát. Keďže podkladový TIN nepriradil priečnym profilom dostatok nadmorských výšok, a tiež širok v koryte, niektorým priečnym profilom

bolo priradené len päť údajov o výške a šírke. Takýto profil bolo nutné editovať, na základe iného podkladu, napríklad ortofoto snímky. Úpravu priečného profilu bolo možné spraviť v menu *Tools/Graphical Cross Section Edit*.

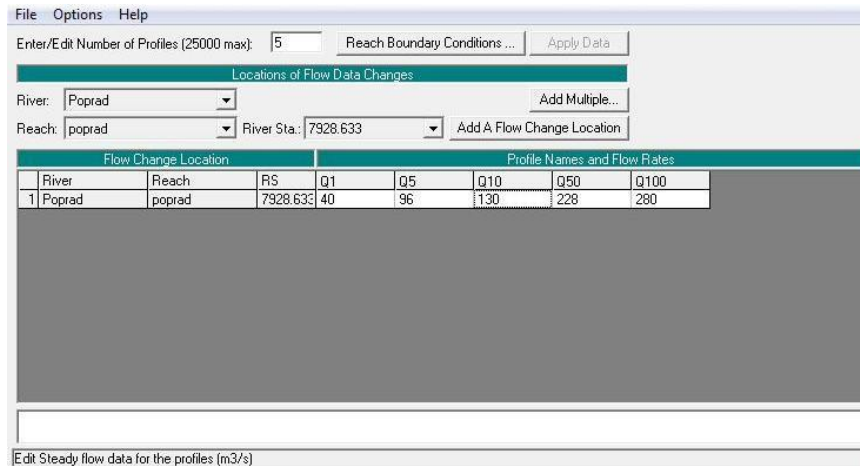
Ďalším krokom bolo nastavenie Manningových hodnôt drsnosti povrchu. Každý povrch sa pri zaplavení chová inak, preto je potrebné dať každému povrchu také hodnoty, aby zodpovedali reálnej situácii. Napríklad povrchy, ktoré vykazujú značnú drsnosť sa nachádzajú v miestach kde je les, mestské zástavby, alebo industriálne zóny. V takýchto prípadoch je priechod vodnej masy spomalený. Opačne to je napríklad pri umelých kanáloch, alebo v blízkosti brehov, kde je prúdenie vody relatívne vyššie. Každý povrch je charakterizovaný bezrozmernou hodnotou, ktorá určuje toto prúdenie. Čím vyššia hodnota, tým vyššia je členitosť a drsnosť povrchu. Tým je ale rýchlosť prúdenia vody nižšia. V mojom prípade to bola hodnota 0.04, čo platí pre kanály v zlom stave, keďže koryto má nánosy, výmole a je zanesené hrubými kameňmi.

### **5.2.2 Dáta o prietoku vody**

Po úprave geometrických dát bolo ešte potrebné zadať údaje o prietoku rieky. Pracovala som s ustáleným prúdením, ktoré ponúka vhodné riešenie pre analýzu záplavových oblastí, pretože vyžaduje iba zadanie hodnôt kulminačného prietoku, čiže N-ročných vôd. Program podľa hybnostných rovníc a hydraulických parametrov koryta, ako je plocha prierezu a sklon medzi priečnymi profilmi analyzuje prúdenie. Potom interpoluje rýchlosť prúdenia a generuje úrovne hladín pre zvolené Q.

Celkovo som pracovala s piatimi vlnami, a to s 1-ročnou, 5-ročnou, 10-ročnou, 50-ročnou a 100-ročnou vodou. Tieto údaje sa zadávajú v položke *Edit/Steady Flow Data*. Prietokové údaje o N-ročných vodách boli získané zo SHMÚ, konkrétne pre stanicu Poprad-Matejovce. Následne museli byť nastavené aj okrajové podmienky, ktoré detailnejšie opisujú charakter toku a sú dôležité pre celkovú funkčnosť modelu. Sú to *know water surface elevation* (známe výšky hladiny pre každý riešený prietok), *critical depth* (neznáme výšky hladín prietokov), *normal depth* (normálna hĺbka, kde na základe sklonu hladiny bude vypočítaná

merná krivka profilu) a *rating curve* (merná krivka – závislosť prietoku na čase). V mojom prípade bola okrajová podmienka Critical Depth.

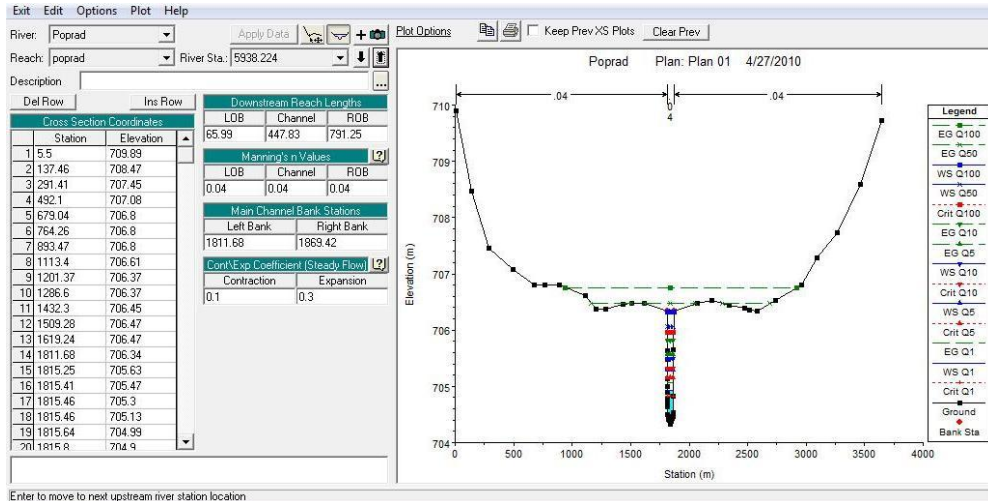


Obr. 16: Hydrologické dáta prietoku v  $m^3/s$

Takýto model s dostatočne zadanými údajmi je možné spustiť v ponuke *Run/Steady Flow Analysis*. Potom ako model spočítal všetko potrebné, boli dáta exportované pomocou *File/Export GIS/Data*.

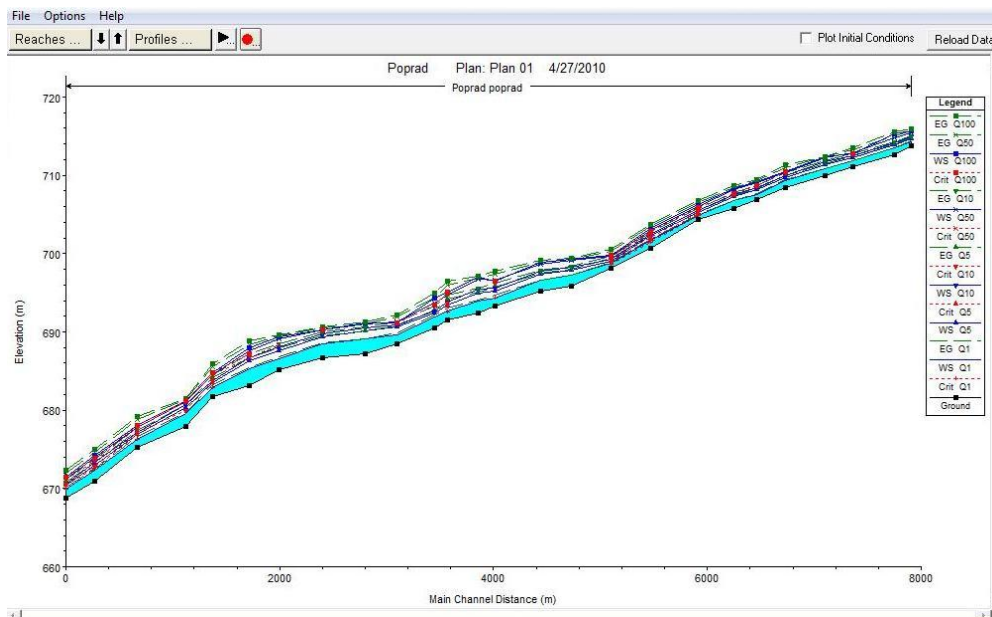
### 5.2.3 Zobrazenie výsledkov modelu

Výsledky v HEC-RAS sa dajú zobrazíť či už v podobe grafov, alebo tabuliek. Zobrazenie priečných profilov umožňuje ponuka *View/Cross Section*. V každom profile sa zobrazí informácia o zadefinovaných N-ročných vodách a priradí sa maximálna a minimálna hladina danej N-ročnej vody.



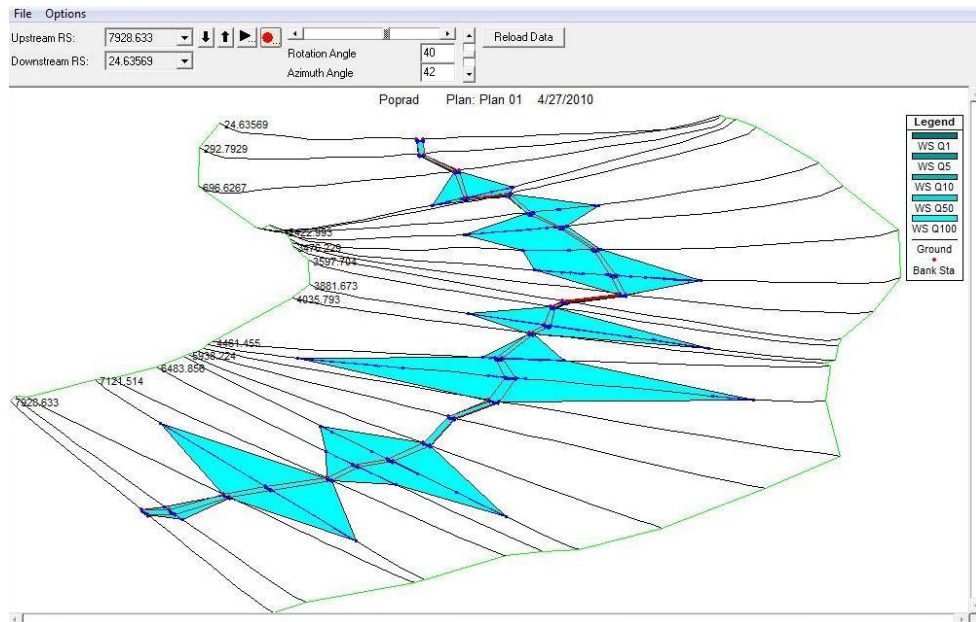
Obr. 17: Priečný profil s N-ročnými vodami

Podobne ako priečný profil koryta rieky sa dá zobrazit' pozdĺžny profil, ktorý sa dá otvoriť v menu *View/Water Surface Profiles*. Tento profil sa zobrazuje ako graf, kde os X je dĺžka rieky a os Y je jej nadmorská výška.



Obr. 18: Pozdĺžny profil s N-ročnými vodami

Taktiež môžeme vidieť trojrozmerné zobrazenie riečnej siete s N-ročnými vodami. To spustíme v ponuke *View/X-Y-Z Perspective Plots*.

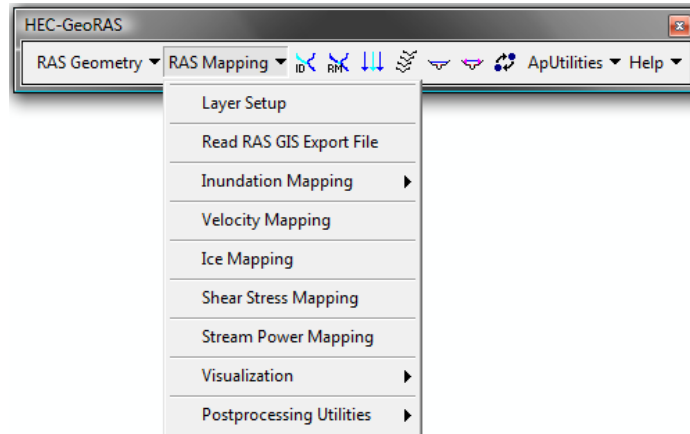


Obr. 19: 3D zobrazenie riečnej siete s N-ročnými vodami

Ďalej je možné zobrazit' graf rýchlosti pre všetky N-ročné vody, ktorý zobrazuje rýchlosť prúdenia toku po brehoch a stredovej línii. HEC-RAS umožňuje zobrazit' tiež mernú krivku v podobe grafu. Tá ukazuje, či ide o prúdenie ustálené alebo neustálené. Tabuľková forma zobrazenia výsledkov ukazuje prietoky, výšky hladín, a tiež správanie sa N-ročných vôd v jednotlivých korytách.

### 5.3 Vizualizácia záplavových území

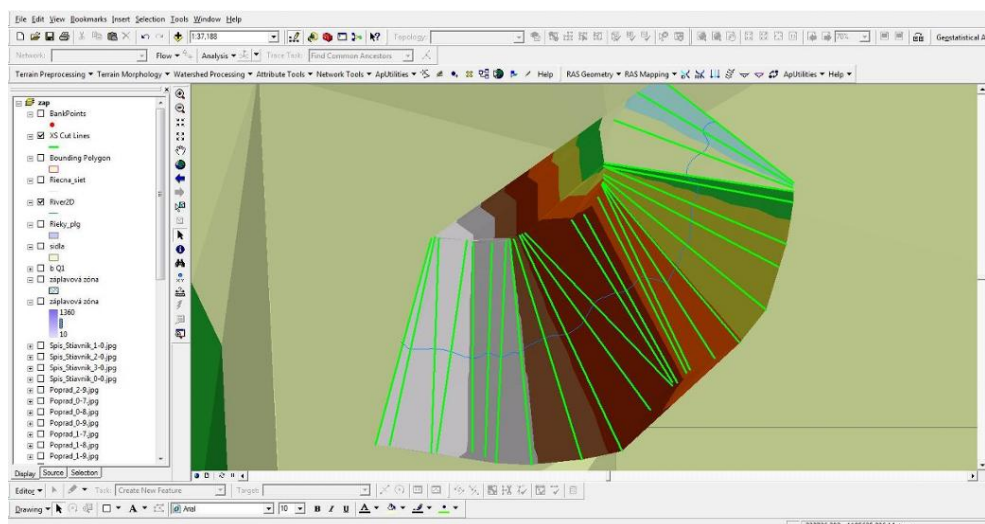
Posledná časť modelovania záplavových území sa deje opäť v prostredí HEC-GeoRAS. Tentoraz sa pracuje s položkou *RAS Mapping*, ktorá slúži k postprocessingu.



Obr. 20: Ponuka postprocessingu

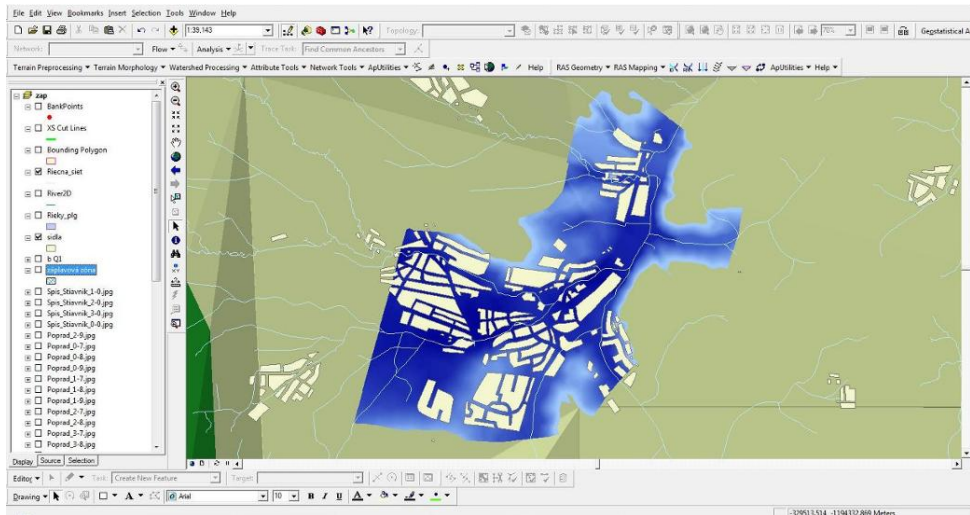
Ako prvé bolo potrebné vytvorené dáta v HEC-RASe znova importovať do HEC-GeoRAS. To umožňuje *Import RAS SDF File*, ktorý formát .sdf prevedie do výmenného formátu .xml. Tak dôjde k načítaniu dát do softwaru. Parametre sa nastavujú v *Layer Setup*, kde sa nastaví TIN model, dáta z HEC-RAS vo formáte .xml, názov zložky, kam sa výsledok uloží a rozlíšenie rastra. Pomocou položky *Read RAS GIS Export File* sa načíta potenciálne záplavové územie.

TINY, ktoré predstavujú výšku vodnej hladiny pri prietoku N-ročných vôd sa načítajú pomocou ponuky *RAS Mapping/Inundation Mapping/Water Surface Generation*.



Obr. 21: Načítanie TIN vodného povrchu

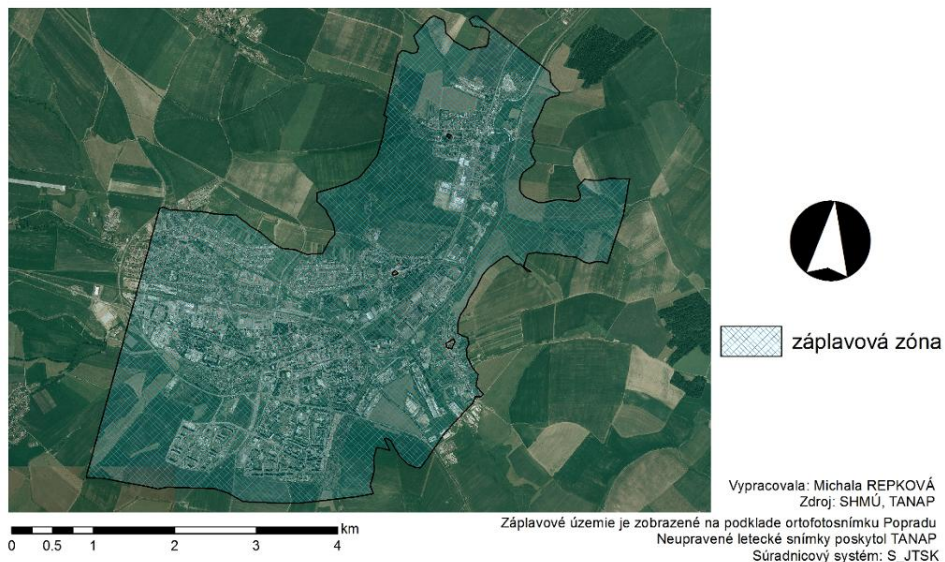
Posledná fáza na vymodelovanie záplavového územia sa deje pomocou ponuky *RAS Mapping/Inundation Mapping/Floodplain Delineation Using Raster*. Ide o prenutie dvoch TINov, a to TIN vodného povrchu, ktorý sa načítal v predošlom kroku a podkladového TIN terénu. Tam, kde je výška vodného povrchu väčšia než terén, dochádza k zaplaveniu.



Obr. 22: Vizualizácia zaplaveného územia pre Q100

## ZAPLAVOVÁ ZÓNA NA RIEKE POPRAD

Výsledky modelu HEC-RAS pre Q100



Mapa 4: Vizualizácia zaplaveného územia s podkladovou ortofotosnímkom

## 6 MIKE11

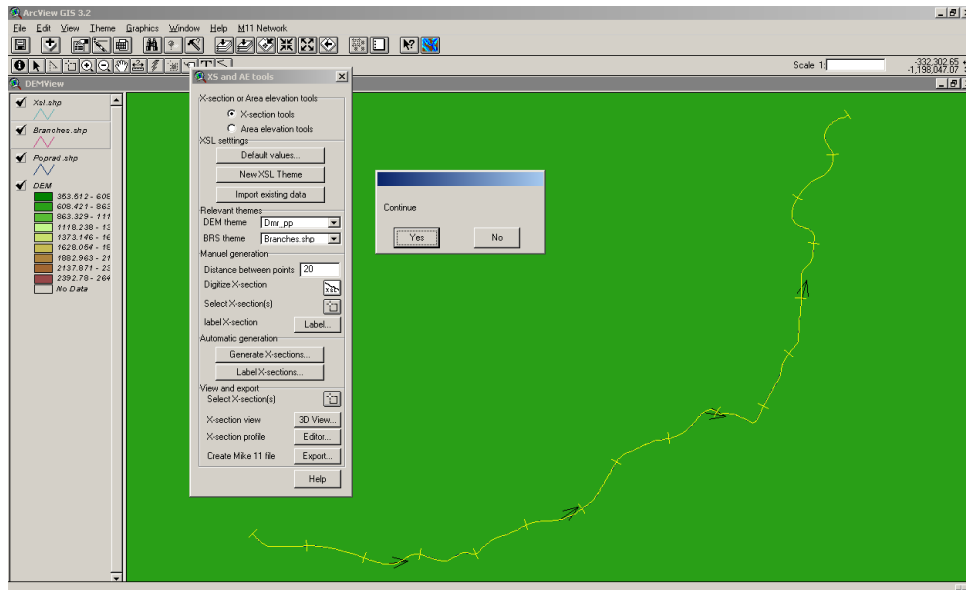
MIKE11 je komplexný jednorozmerný matematický model pre simulácie prúdenia, kvality vody a transportu sedimentov v otvorených korytách a inundačných územiach, ktorý bol vyvinutý Dánskym hydraulickým inštitútom (DHI software). Tento model obsahuje rad výpočtových metód pre ustálené a neustálené prúdenie a dokáže vystihnúť podmienky riečného aj bystrinného prúdenia pomocou výpočtovej schémy, ktorá sa adaptuje podľa miestnych podmienok prúdenia v čase a priestore [22]. Základ modelu tvorí hydrodynamický modul, ktorý zaisťuje výpočet základných hydrodynamických parametrov a závisle premenných funkcií: prietok  $Q$ , vodný stav  $H$  a prierezová rýchlosť úplne dynamického prúdenia. Môže byť použitý, k popisu vetvovej a kruhovej siete a dá sa aplikovať i na problémy pseudo – dvojrozmerného prúdenia (tzv. 1D+) [17].

Matematický model je založený na aproximácii riadiacich rovníc (Saint Venantových), teda rovnice pohybovej a rovnice kontinuity pre dve funkcie závisle premennej a dve funkcie nezávisle premennej  $(x,t)$ . Aproximácia riadiacich rovníc je robená metódou konečných diferencií pomocou numerického operátora typu Abbott-Ionescu [3].

### 6.1 Preprocessing

Na predprípravu dát sa v MIKE11 využíva extenzia MIKE11 GIS, ktorá je od verzie 2005 pre ArcView 3.2/Spatial Analyst. Po načítaní vstupného DMT sa zobrazí dokument ArcView, v ktorom sa vytvára pozdĺžny a priečne profily pre hydrodynamické modelovanie (obr.23).





Obr. 23: Schematizácia pozdĺžneho a priečných profilov v MIKE11 GIS

Tie sa neskôr môžu upravovať v ponuke *Cross Section Editor*, kde je možné, podobne ako v HEC-RAS, upraviť šírku a dĺžku profilu. Po vytvorení a upravení profilov bolo možné výsledok vyexportovať do formátu MIKE11 vo formáte ASCII ako raw priečne profily a následne ho previesť do binárneho formátu, ktorý sa už používa v hydrodynamických simuláciách.

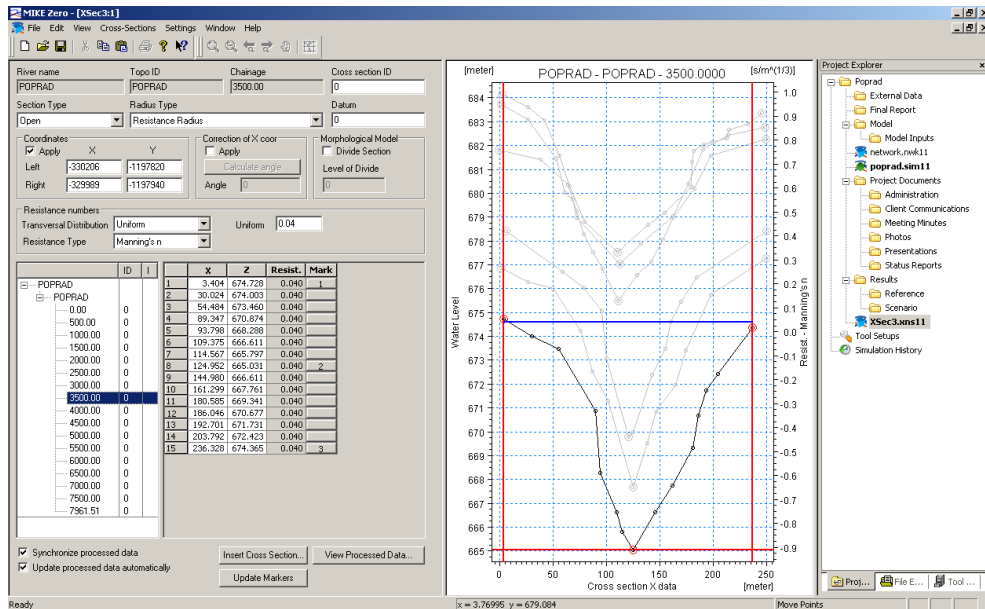
## 6.2 Modelovanie v MIKE11

Prvým krokom pre namodelovanie záplavových zón v MIKE11 je zadanie vstupných údajov v okne module simulácii, kde sa špecifikujú parametre o type modelu a prúdenia, vstupných súboroch, simuláciách a výstupných súboroch.

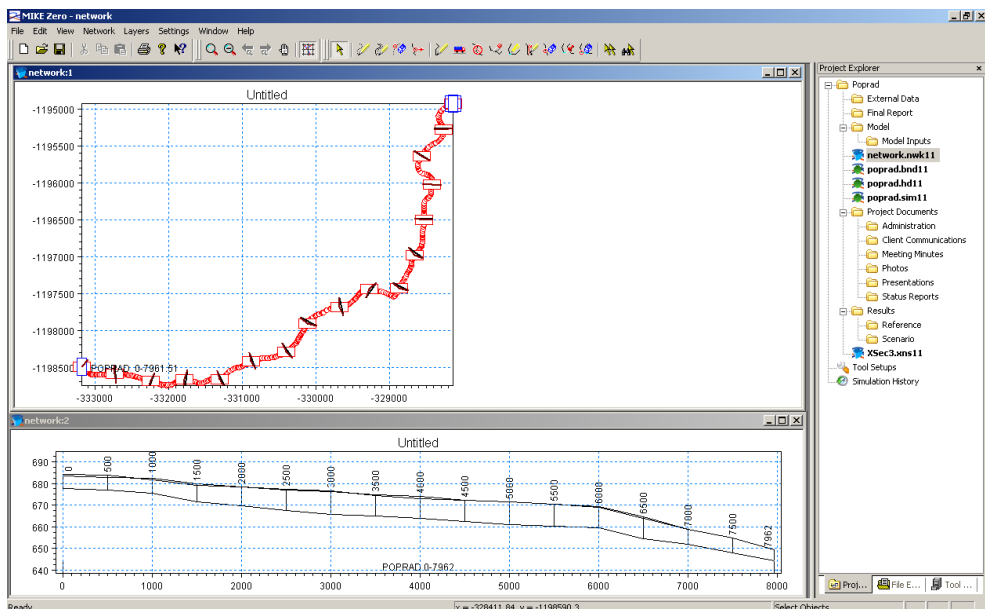
V ponuke *Models*, kde sa určuje o aký typ modelu a aký typ prúdenia ide, som zadala, že ide o hydrodynamický model a typ simulovaného prúdenia je ustálený.

V ponuke *Input* sa načítavajú všetky súbory, ktoré do modelu vstupujú, a to súbory riečnej siete, priečných profilov, okrajových podmienok a hydrodynamických parametrov. V súbore riečnej siete je zapísaná geometria, čiže súradnice každého priečného profilu a tiež to, na ktorom kilometri sa ten ktorý profil skutočne nachádza. Súbor priečných profilov obsahuje informácie o tvare

priečných profilov, kde je možné v menu *Edit* upravovať výšky a šírky priečných profilov, a taktiež Manningové drsnostné koeficienty.



Obr. 24: Úprava priečných profilov v MIKE11



Obr. 25: Zobrazenie a editácia pozdĺžneho profilu v MIKE11

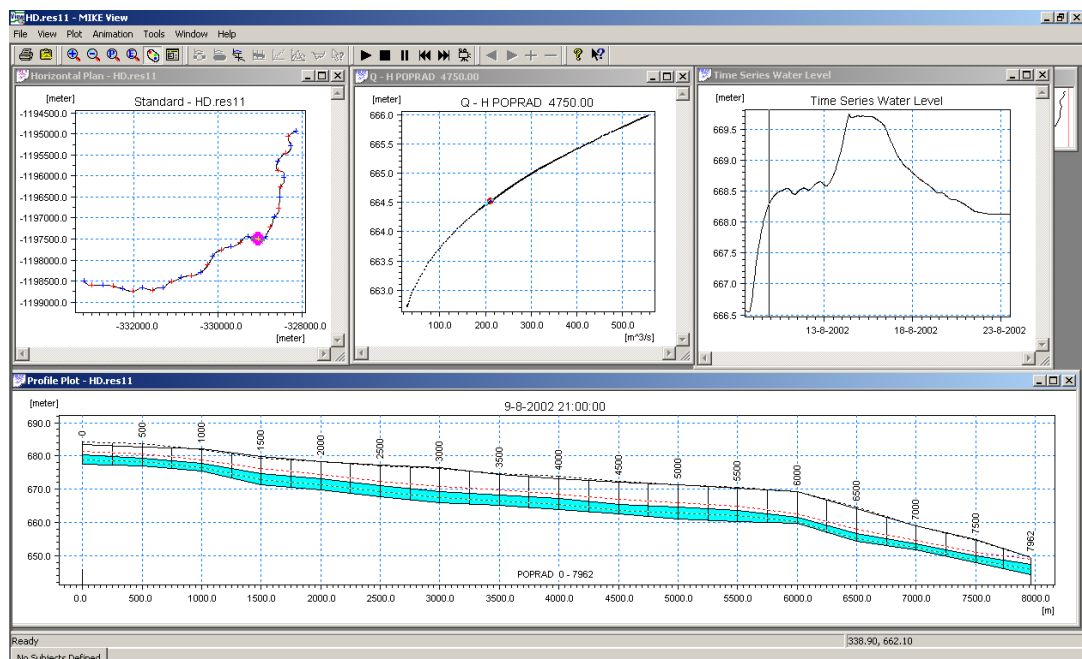
Pri zadávaní vstupných údajov je dôležitý súbor s okrajovými podmienkami. MIKE11 ponúka hneď niekoľko typov okrajových podmienok ako *Inflow* (prítok), *Q-H* (závislosť prietoku na hĺbke), *Sediment supply and transport* (prenos sedimentov)

a *Water level* (výška hladiny). V mojom prípade som zadala *Inflow*. Množstvo podmienok je ponúknuté aj pre súbor hydrodynamických parametrov, ktoré môžu ovplyvňovať celý hydrodynamický model, avšak tie už boli preddefinované.

Po nastavení cesty v ponuke *Result* pre výstupný súbor bolo možné spustiť samotnú simuláciu v ponuke *Start/Start*.

### 6.3 Výstupy hydrodynamického modelu

Výstup hydrodynamického modelu je možné pozrieť si v MIKE View, ktorý je súčasťou MIKE11. Ten dokáže zobrazovať riečnu sieť v podobe priečnych profilov, pozdĺžnych profilov, Q-H kriviek, časových radov, farebných plánov alebo animácií. Základným zobrazením je schematizácia, ktorá ukazuje priebeh študovanej riečnej siete s jednotlivými profilmi. Kliknutím na konkrétny priečny profil sa dá zobrazíť jeho tvar a Q-H krivka, ktorá vyjadruje závislosť vodného stavu v m na prietoku  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Taktiež je možné zobraziť limnigram, ukazujúci časový priebeh zmeny hladín. Pomocou ikony *Select profile* sa dá zobraziť pozdĺžny profil hladín, kde na osi x je dĺžka daného úseku v metroch a osi y nadmorská výška tiež v metroch.



Obr. 26: Vizualizácia výsledkov v MIKE View (zhora zľava schematizácia, merná krivka, limnigram, dole vizualizácia hladín v pozdĺžnom profile)

## 6.4 Postprocessing

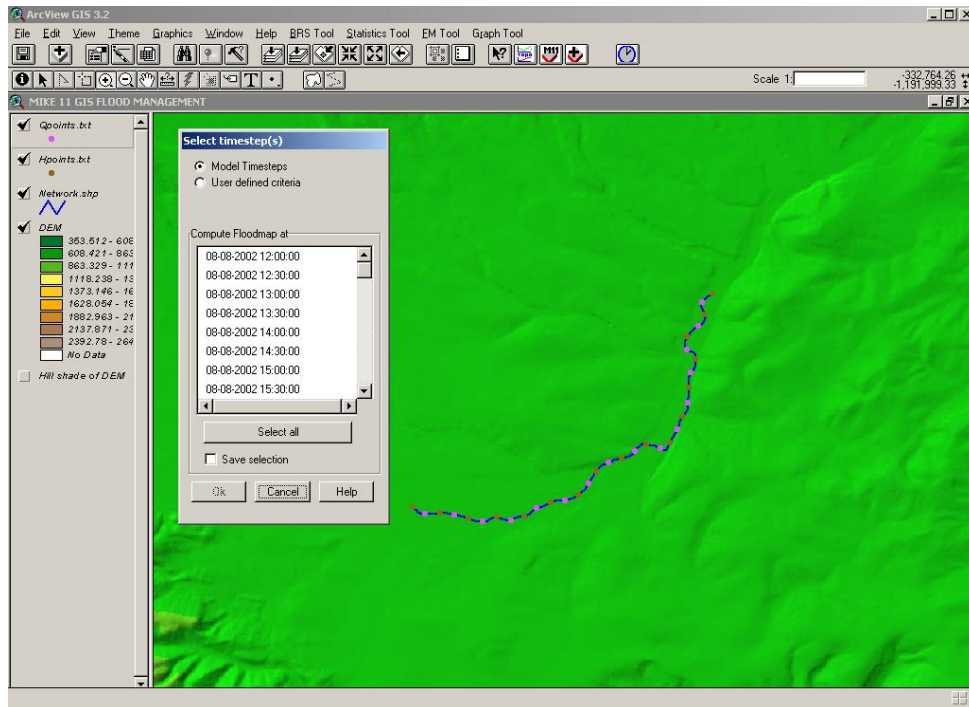
Vizualizácia výstupov, alebo tzv. postprocessing sa vykonáva v programe MIKE11 GIS. Ten je do verzie 2005 navrhnutý ako extenzia ArcView GIS, ktorý vyžaduje Spatial Analyst a tiež i 3D Analyst, a od verzie 2007 potom ako extenzia ArcGIS 9.x. Postprocessingovú časť tvorí *FM Tool* (Flood Management Module – modul pre správu povodní a rozlivov). Ten pre vizualizáciu vyžaduje 3 typy dát [18]:

- 1) DMT (Digitálny Model Terénu)
- 2) Branch Root System (vrstva pozdĺžnych profilov)
- 3) Hydrodynamické výsledky modelu MIKE11

Prvým krokom pri vizualizácii bolo naimportovať existujúci DEM v ponuke *Open the DEM View for creating the DEM GRID*. MIKE11 ešte vyžaduje vytvorenie vlastného DEM, ktorý je využiteľný v jeho vlastnom programovom prostredí. To umožňuje položka *Make DEM*, kde program vytvorí dem ako grid.

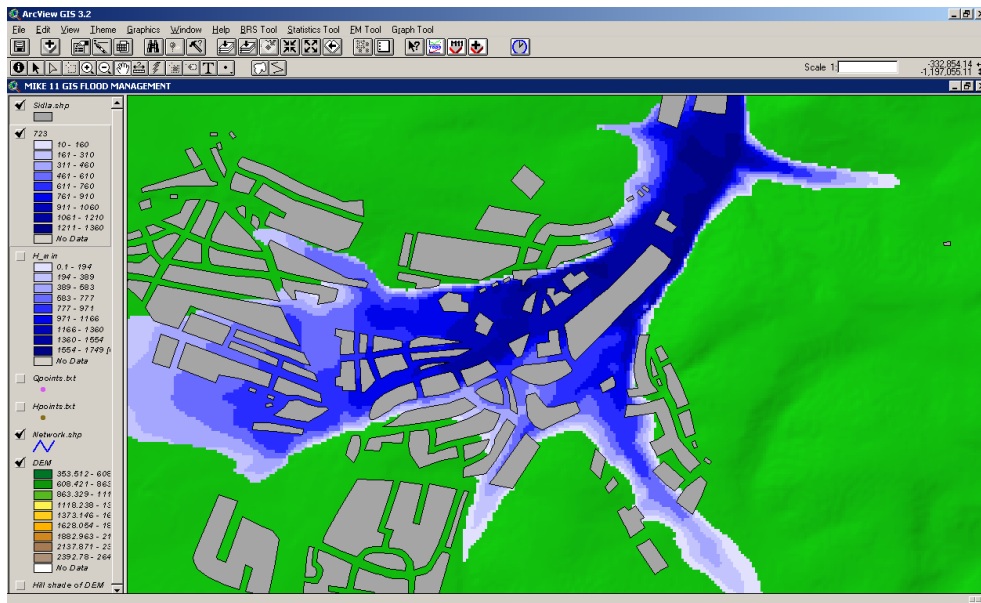
Ďalším krokom bolo vygenerovať Q-H Points, čiže body prietoku a výšky hladiny, z ktorých MIKE11 GIS vytvorí mapu rozlivov. V menu *Open the Flood management view* sa nastaví vstupný DEM, novovytvorený DEM a konkrétna verzia MIKE11. Ďalej bolo potrebné zadať súbory riečnej siete a výsledkov simulácie. Po zadaní týchto všetkých parametrov program vytvoril Q-H Points [16].

Výpočet postprocessingu sa deje vo voľbe *Inundation Map* v menu *FM Tool*. Ak dôjde k vyliatiu vody z koryta, program prepočíta aj samotné rozlivy. Je ešte potrebné vybrať časové úseky, pre ktoré sa má postprocessing spočítať. Taktiež sa ponúka možnosť zvoliť maximálnu a minimálnu hodnotu. Bezprostredne po voľbe týchto hodnôt dochádza k výpočtu.



Obr. 27: Tvorba záplavových zón v MIKE11 GIS pre jednotlivé časové kroky simulácie

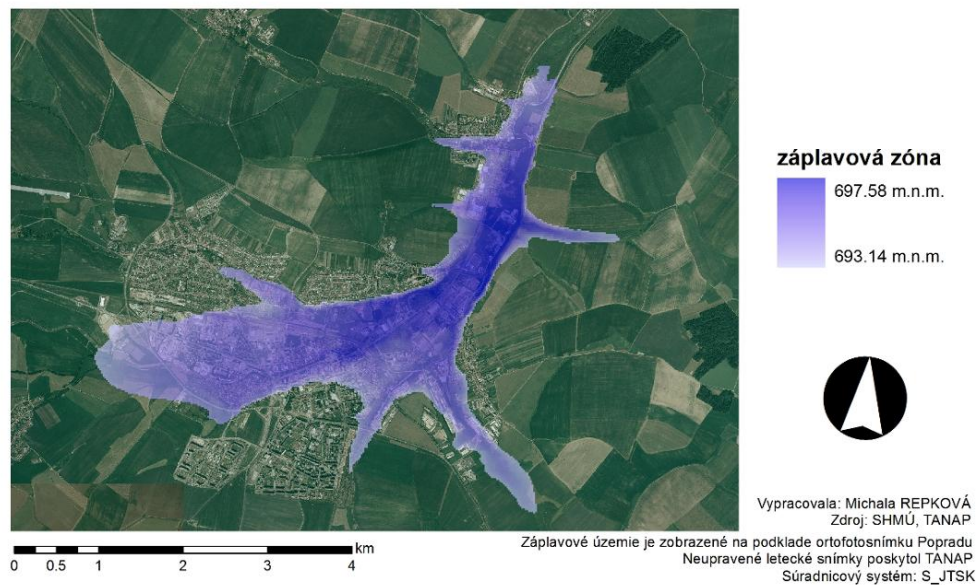
Posledným krokom bolo zobrazenie jednotlivých rastrov rozlivov pomocou tlačítka *Display floodmap results*.



Obr. 28: Vizualizácia záplavovej zóny pre Q100

## ZAPLAVOVÁ ZÓNA NA RIEKE POPRAD

Výsledky modelu MIKE11 pre Q100



Mapa 5: Vizualizácia záplavovej zóny s podkladovou ortofotosnímkou

## 7 ŠTATISTICKÉ VYHODNOTENIE

Kvantitatívne spôsoby spracovania informácií podporujú objektivnosť riadenia a vymedzujú rámec rozhodnutí. V tejto kapitole sa budem venovať vyhodnoteniu dosiahnutých numerických výsledkov pre vyjadrenie miery povodňových rizík. Na to sa najlepšie hodí štatistika v podobe kvantitatívnych metód. Dáta vznikli v programe HEC-RAS po namodelovaní záplavového územia. Jedná sa o údaje o prietoku, minimálnej výške koryta, výške hladiny, priemernej rýchlosti prietoku toku v koryte, území rozlivu, najväčšej šírky rozlivu v priečnom profile a iné. Spracovala som údaje o výške hladiny a území rozlivu.

HEC-RAS: Plan: Plan 01 River: Poprad Reach: poprad													Reload Data
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl	
poprad	24.63569	Q1	40.00	668.75	669.89	669.89	670.19	0.018904	2.41	16.58	28.00	1.00	
poprad	24.63569	Q5	96.00	668.75	670.37	670.37	670.85	0.016715	3.08	31.12	32.84	1.01	
poprad	24.63569	Q10	130.00	668.75	670.60	670.60	671.17	0.015455	3.36	38.71	33.72	1.00	
poprad	24.63569	Q50	228.00	668.75	671.13	671.13	671.94	0.014074	3.97	57.39	35.80	1.00	
poprad	24.63569	Q100	280.00	668.75	671.38	671.38	672.29	0.013592	4.21	66.43	36.76	1.00	
poprad	292.7929	Q1	40.00	670.93	672.35		672.50	0.004855	1.71	23.33	23.20	0.55	
poprad	292.7929	Q5	96.00	670.93	673.00	672.55	673.31	0.005704	2.47	38.87	24.77	0.63	
poprad	292.7929	Q10	130.00	670.93	673.29	672.83	673.69	0.006245	2.82	46.14	25.65	0.67	
poprad	292.7929	Q50	228.00	670.93	673.92	673.50	674.59	0.007287	3.63	63.16	30.46	0.75	
poprad	292.7929	Q100	280.00	670.93	674.18	673.80	674.99	0.007720	4.00	71.76	36.34	0.79	
poprad	696.6267	Q1	40.00	675.31	676.33	676.33	676.66	0.018232	2.56	15.65	23.57	1.00	
poprad	696.6267	Q5	96.00	675.31	676.85	676.85	677.44	0.015658	3.38	28.40	24.46	1.00	
poprad	696.6267	Q10	130.00	675.31	677.12	677.12	677.83	0.014959	3.73	34.86	24.68	1.00	
poprad	696.6267	Q50	228.00	675.31	677.77	677.77	678.77	0.013801	4.43	51.52	25.93	1.00	
poprad	696.6267	Q100	280.00	675.31	678.07	678.07	679.21	0.013496	4.73	59.18	26.07	1.00	
poprad	1149.763	Q1	40.00	677.95	679.54		679.68	0.003393	1.66	24.04	18.55	0.47	
poprad	1149.763	Q5	96.00	677.95	680.39		680.68	0.004026	2.39	40.18	19.64	0.53	
poprad	1149.763	Q10	130.00	677.95	680.76	679.96	681.12	0.004259	2.67	56.84	180.22	0.56	
poprad	1149.763	Q50	228.00	677.95	681.16	681.16	681.37	0.003044	2.51	184.21	415.07	0.49	
poprad	1149.763	Q100	280.00	677.95	681.26	681.24	681.46	0.003095	2.59	224.57	442.97	0.49	
poprad	1398.130	Q1	40.00	681.80	682.94	682.94	683.31	0.017892	2.72	14.71	19.70	1.00	
poprad	1398.130	Q5	96.00	681.80	683.54	683.54	684.16	0.015470	3.48	27.60	22.73	1.01	
poprad	1398.130	Q10	130.00	681.80	683.83	683.83	684.56	0.014710	3.80	34.22	23.60	1.01	
poprad	1398.130	Q50	228.00	681.80	684.51	684.51	685.54	0.013402	4.51	50.60	24.47	1.00	
poprad	1398.130	Q100	280.00	681.80	684.82	684.82	685.99	0.013060	4.79	58.41	24.99	1.00	
poprad	1742.029	Q1	40.00	683.18	685.30		685.46	0.003103	1.78	22.42	14.06	0.45	
poprad	1742.029	Q5	96.00	683.18	686.31		686.64	0.004098	2.56	37.49	16.25	0.54	
poprad	1742.029	Q10	130.00	683.18	686.74		687.17	0.004536	2.91	44.67	16.97	0.57	
poprad	1742.029	Q50	228.00	683.18	687.63	686.75	688.34	0.005364	3.75	63.81	31.61	0.64	
poprad	1742.029	Q100	280.00	683.18	687.99	687.16	688.79	0.005472	4.04	77.91	74.75	0.66	
poprad	2015.496	Q1	40.00	685.22	686.57		686.85	0.009046	2.33	17.18	17.16	0.74	
poprad	2015.496	Q5	96.00	685.22	687.59		687.95	0.005604	2.66	36.04	19.75	0.63	
poprad	2015.496	Q10	130.00	685.22	688.05		688.47	0.004926	2.86	46.32	27.33	0.61	
poprad	2015.496	Q50	228.00	685.22	688.88	688.00	689.47	0.003321	3.00	114.77	311.00	0.57	
poprad	2015.496	Q100	280.00	685.22	689.00	688.00	689.80	0.003321	3.00	114.77	311.00	0.57	

Total flow in cross section.

Obr. 29: Vzniknuté dáta po namodelovaní záplavového územia

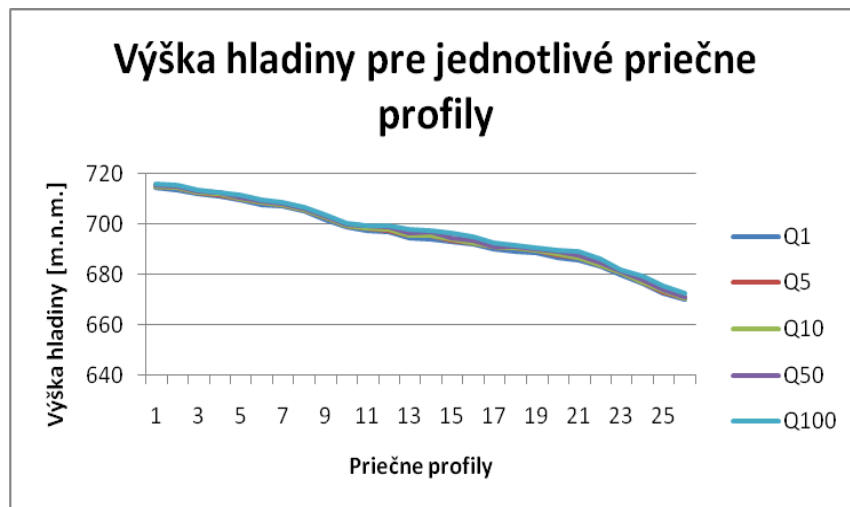
## 7.1 Výška hladiny

V tabuľke 3 sú zobrazené číselné dáta výšok hladín tohto zaplavenia v rámci N-ročných vôd. Na grafe 1 je možné vidieť priebeh študovaného územia a taktiež to, že pre jednotlivé priečne profily je najvyššia výška hladiny pri 100-ročných vodách. Rozdiel medzi najväčšími výškami hladín pre 1-ročnú a 100-ročnú vodu je 1,71 m.

	Q1	Q5	Q10	Q50	Q100
1	714.25	714.65	714.85	715.4	715.96
2	713.48	713.96	714.18	714.84	715.52
3	711.81	712.29	712.55	712.88	713.49
4	710.8	711.41	711.71	712.27	712.43
5	709.27	709.73	709.95	710.36	711.31
6	707.6	708.14	708.42	709.08	709.44
7	706.74	707.28	707.54	708.16	708.67
8	704.92	705.29	705.5	706.06	706.76
9	701.67	702.27	702.51	703.01	703.75
10	698.75	699.05	699.23	699.67	700.49
11	697.2	697.94	698.3	699.14	699.4
12	696.57	697.35	697.74	698.65	699.1
13	694.33	695.15	695.62	696.57	697.77
14	693.99	694.99	695.51	696.68	697.12
15	692.68	693.45	693.77	694.67	696.5
16	691.96	692.45	692.72	693.69	694.91
17	689.67	690.57	690.95	691.23	692.17
18	689.1	690.09	690.52	690.99	691.22
19	688.46	689.31	689.7	690.27	690.63
20	686.57	687.59	688.05	689.08	689.6
21	685.3	686.31	686.74	687.63	688.79
22	682.94	683.54	683.83	684.51	685.99
23	679.54	680.39	680.76	681.16	681.46
24	676.33	676.85	677.12	677.77	679.21
25	672.35	673	673.29	673.92	674.99
26	669.89	670.37	670.6	671.13	672.29

Tabuľka 4: Výšky hladín v jednotlivých profiloch v m.n.m.



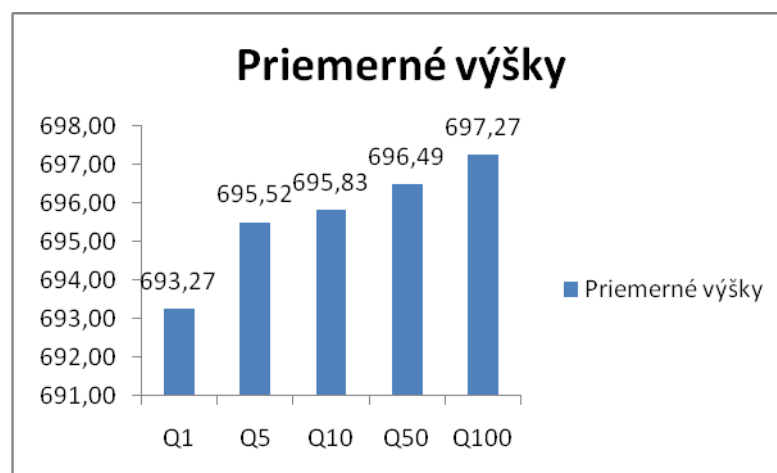


Graf 1: Výška hladiny pre jednotlivé priečne profily v m.n.m.

Taktiež pri tabuľke a grafe priemerných výšok hladín pre N-ročné vody je možné vidieť priebeh zvyšovania sa vodnej hladiny. Rozdiel medzi 5-ročnou a 10-ročnou priemernou výškou hladiny je malý, avšak celkovo sa výška hladiny rieky na študovanom území zdvihne priemerne o 4 m.

	Q1	Q5	Q10	Q50	Q100
Priemerné výšky	693.27	695.52	695.83	696.49	697.27

Tabuľka 5: Priemerné výšky hladín pre N-ročné vody v m.n.m



Graf 2: Priemerné výšky hladín pre N-ročné vody v m.n.m.

## 7.2 Plošný rozliv

Plošný rozliv zobrazuje veľkosť plochy zaplaveného územia na študovanom území. V tabuľke 5 je zobrazená veľkosť zaplaveného územia pre jednotlivé priečne profily pri N-ročných vodách. (obr. 19). Toto územie sa počíta od stredov priečných profilov. Môžeme tu vidieť významný rozdiel pri zaplavení územia pri 1-ročných vodách a 100-ročných vodách.

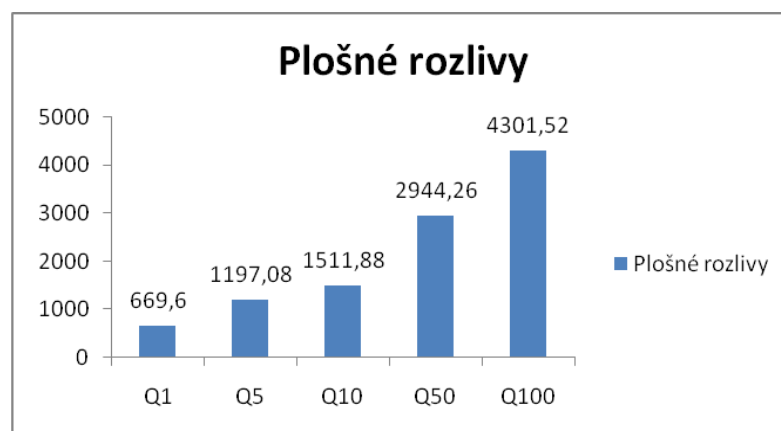
	Q1	Q5	Q10	Q50	Q100
1	27.36	54.17	68.85	109.35	135.82
2	36.16	61.23	73.16	108.09	150.87
3	29.01	51.47	63.69	80.26	73.19
4	35.75	65.09	81.3	305.54	507.02
5	25.54	41.2	48.93	64.33	69.84
6	26.57	48.96	60.79	135.98	214.58
7	32.63	53.3	63.3	90.68	172.05
8	24.08	41.99	52.13	80.75	94.66
9	26.53	48.6	58.37	79.15	89.53
10	21.86	35.52	44.56	68.3	77.32
11	40.4	81.12	102.76	225.69	378.95
12	33.64	58.54	71.98	143.35	257.35
13	14.53	29.19	37.88	57.56	55.53
14	34.91	64.05	80.98	183.66	454.48
15	14.85	26.22	30.92	45.26	53.64
16	23.1	34.02	40.55	64.82	80.61
17	19.96	45.49	56.69	65.04	62.36
18	40.57	69.45	113.98	291.36	389.49
19	28.24	47.77	59.3	159.63	172.55
20	17.18	36.04	46.32	114.77	253.42
21	22.42	37.49	44.67	63.81	77.91
22	14.71	27.6	34.22	50.6	58.41
23	24.04	40.18	56.84	184.21	224.57
24	15.65	28.4	34.86	51.52	59.18
25	23.33	38.87	46.14	63.16	71.76
26	16.58	31.12	38.71	57.39	66.43

Tabuľka 6: Tabuľka rozlivov pre jednotlivé profily N-ročných vôd v m<sup>2</sup>

Taktiež tabuľka a graf plošných rozlivov názorne zobrazuje zväčšenie záplavového polygónu. Záplavové územie sa pri 100-ročných vodách zväčšilo viac ako 6-násobne.

	Q1	Q5	Q10	Q50	Q100
Plošné rozlivy	669.6	1197.08	1511.88	2944.26	4301.52

Tabuľka 7: Tabuľka rozlivov N-ročných vôd v m<sup>2</sup>

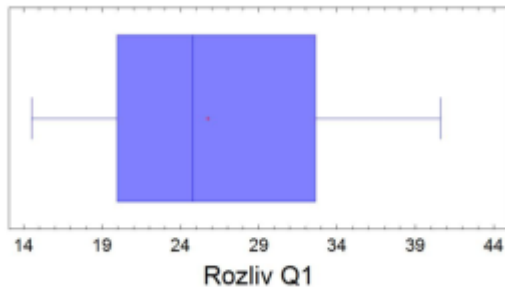


Graf 3: Plošné rozlivy pre N-ročné vody m<sup>2</sup>

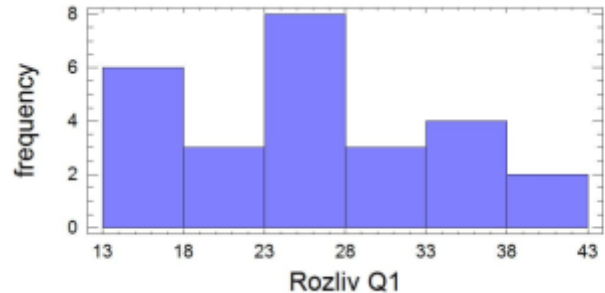
### 7.2.1 Porovnanie Q1 a Q100 pomocou programu Statgraphics

Pre porovnanie hodnôt rozlivov pre 1-ročné a 100-ročné vody som použila krabicový graf a histogram. Krabicový graf umožňuje posúdiť odhad mediánu, ďalej posúdiť symetriu a variabilitu súboru a odľahlých, či extrémnych hodnôt. Histogram je vhodný na vizualizáciu frekvencie výskytu sledovaného javu v procese a je najjednoduchším odhadom hustoty rozloženia.

### 7.2.1.1 Q1 – 1 ročné vody



Graf 4: Q-Q Plot rozlivu pre 1-ročné vody



Graf 5: Histogram rozlivu pre 1-ročné vody

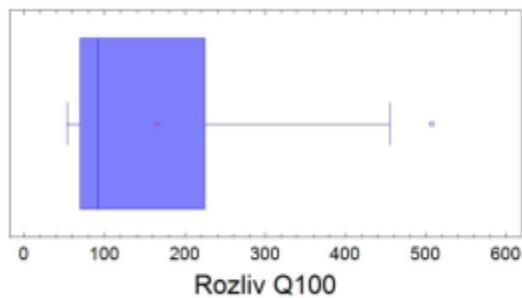
Count	26
Average	25.7538
Median	24.81
Mode	
Standard deviation	7.90271
Coeff. of variation	0.306855
Minimum	14.53
Maximum	40.57
Range	26.04
Lower quartile	19.96
Upper quartile	32.63
Std. skewness	0.609305
Std. kurtosis	-0.839824

Tabuľka 8: Sumária štatistika pre rozliv 1-ročnej vody

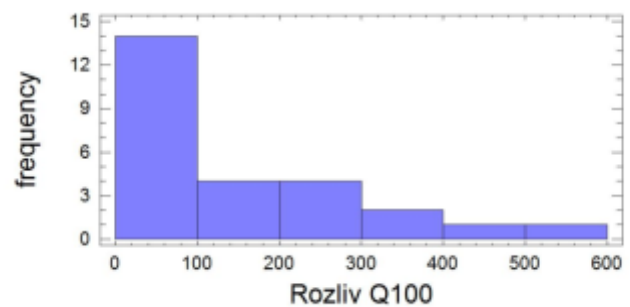
V krabicovom grafe pre pričné profily 1-ročných vôd nepozorujeme žiadne odľahlé hodnoty. Minimálny rozliv je 14,53 m<sup>2</sup>, naopak maximálny 40,57m<sup>2</sup>. Z tabuľky vyplýva, že 19 z 26 (75%) pričných profilov má plošný rozliv menší než 32,63 m<sup>2</sup>. 75% pričných profilov má rozliv väčší než 19,96 m<sup>2</sup>. Polovica profilov má plošný rozliv menší než 24,81 m<sup>2</sup> a priemerný plošný rozliv je asi 25,7 m<sup>2</sup>. Nízke hodnoty šikmosti a špicatosti poukazujú na to, že dáta sa približujú

normálnemu rozdeleniu. Z histogramu je tiež zrejmé, že pri 1-ročných vodách najčastejšie zaplaví územie o veľkosti od 23m<sup>2</sup> do 28 m<sup>2</sup>.

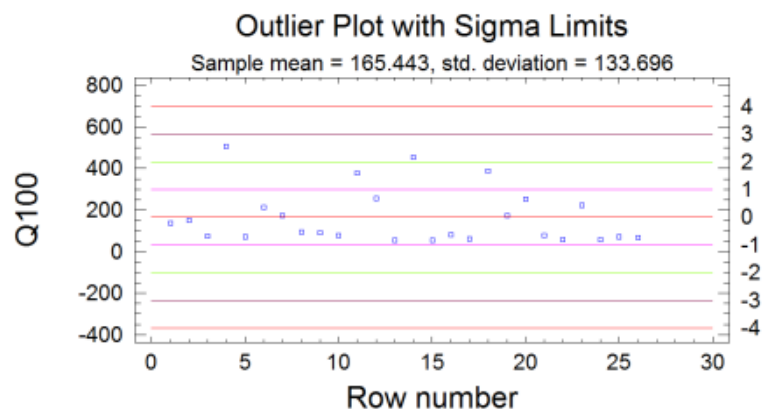
### 7.2.1.2 Q100 – 100 ročné vody



Graf 6: Q-Q Plot rozlivu pre 100-ročné vody



Graf 7: Histogram rozlivu pre 100-ročné vody



Graf 8: Graf odľahlých pozorovaní

V krabicovom grafe pre pričné profily 100-ročných vôd pozorujeme jednu odľahlú hodnotu rozlivu, a to 507,02 m<sup>2</sup>. Statgraphics umožňuje nájsť odľahlé pozorovania pomocou absolútnej hodnoty z-súradnice. Ak je hodnota z-súradnice väčšia než 3, ide o hodnotu, ktorá je vzdialená od priemeru viac než 3-násobok výberovej smerodatnej odchýlky, a teda ide o odľahlé pozorovanie. Keďže v tabuľke a grafe odľahlých hodnôt nepozorujeme žiadne odľahlé hodnoty, rozhodla som sa pracovať so súborom bez vyňatia tejto hodnoty rozlivu.

Count	26
Average	165.443
Median	92.095
Mode	
Standard deviation	133.696
Coeff. of variation	0.808107
Minimum	53.64
Maximum	507.02
Range	453.38
Lower quartile	69.84
Upper quartile	224.57
Std. skewness	2.80374
Std. kurtosis	0.868063

Tabuľka 9: Sumárna štatistika pre rozliv 100-ročnej vody

Maximálny rozliv priečných profilov pre 100-ročné vody je 507,02 m<sup>2</sup>, minimálny 53,64 m<sup>2</sup>. Taktiež na histograme je zrejmé, že väčšina hodnôt sa pohybuje pod touto hranicou. Z tabuľky vyplýva, že 19 z 26 priečných profilov má plošný rozliv menší než 224,57 m<sup>2</sup>. U 75% profilov je táto hodnota väčšia ako 69,84 m<sup>2</sup>, polovica priečných profilov má plošný rozliv menší než 92,095 m<sup>2</sup> a priemerný plošný rozliv je asi 165,443 m<sup>2</sup>. Podľa šikmosti, ktorá dosahuje hodnotu 2,80374 je vidieť, že dáta sú kladne zošikmené, a nespĺňajú podmienku normality. V histograme je tiež vidieť, že pri 100-ročných vodách sa najčastejšie zaplaví územie do 100 m<sup>2</sup>.

## ZÁVER

Prednosťou geografických informačných systémov je, že pracujú s priestorovými dátami a sú schopné realizovať rôzne priestorové analýzy. GIS a hydrologické modely sú v súčasnosti najvýkonnejším nástrojom pre hydrologické analýzy. V kombinácii ich možno využiť na mapovanie riek a povodí, hydrauliky koryta toku, stanovenie záplavových zón, alebo erózneho ohrozenia územia.

V práci som sa snažila vytvoriť hydrologický model, pomocou ktorého sa dá posúdiť možné zaplavenie terénu a stanoviť tak záplavové zóny. Pri modelovaní záplavových polygónov som zvolila HEC-RAS a MIKE11, ktoré boli pre zadanú úlohu najlepšie. Pomocou ľahko dostupných funkcií uvedeného softvérového prostredia sa vytvorí obsahovo bohatý výstup, schopný uplatniť sa v širokej škále riadenia a plánovania. Výsledky modelovania ukázali oblasť, ktorá by mohla byť ohrozená potenciálnou povodňou. Hrozba inundácie vzniká dokonca už pri 1-ročnej vode. Porovnaním výsledkov z HEC-RAS a MIKE11 je zrejmé, že aj napriek odlišnosti týchto hydrodynamických modelov, nenastali vo vizualizácii výsledkov výraznejšie rozdiely. Použité metódy, vyznačujúce sa časovou úspornosťou a jednoznačnosťou prístupu majú ale negatívum, pretože presnosť rozsahu záplavového územia je vo veľkej miere ovplyvnená presnosťou a úplnosťou geodetických podkladov použitých pre výpočty a hlavne presnosťou hydrologických dát, vďaka čomu sú jej výsledky len relatívne.

Bohaté možnosti vizualizácie a následnej prezentácie sú ale dostatočnou podmienkou na to, aby sa výsledný model mohol použiť ako súčasť materiálov v rámci návrhu systémov protipovodňovej ochrany.

## POUŽITÁ LITERATÚRA

Knižné zdroje:

- [1] ABAFFY, D., ČOMAJ, M., KUČERA, M., LUKÁČ, M., MIŠÍK, M.(2007): *Záplavová štúdia – podklad pre krízový manažment priemyselného podniku*. DHI SLOVAKIA, VÚVH, Bratislava, 9 s.
- [2] ABAFFY, D., ČOMAJ, M., LUKÁČ, M.(2007): *Hydrodynamické numerické modelovanie a nová povodňová smernica EÚ*. VÚVH, Bratislava, 7 s.
- [3] ADAMEC, M., HANZLOVÁ, M., HORÁK, J., UNUCKA, J., ŽIDEK, D. (2007): *Modelování hydrologických extrémů s podporou DPZ a GIS*. In Sborník semináře *Změny v krajině a povodňové riziko*. Praha 5.6.2007, 12 s., ISBN 978-80-86561-87-5
- [4] Adamčíková, D.,(2002): *SHMÚ sa pripravuje na budovanie protipovodňového systému*, in. *Enviromagazín* 6/2002, str.10
- [5] BAKO, J., a kol.(1972): *Slovensko 2 – Príroda*. Obzor, Bratislava
- [6] DRÁBKOVÁ, S., KOZUBKOVÁ, M.(2002): *Cvičení z mechaniky tekutín*. Skriptá, VŠB – TUO, Ostrava, 141 s.
- [7] HAZLINGER, M.(2008): *Použitie modelu HEC – RAS při modelování povodňovej hrozby v povodí Stupávky*. SHMÚ, Bratislava, 12 s.
- [8] KONVIČKA, M.(2002): *Město a povodeň*. Brno: ERA Group spol s. r. o., str. 10
- [9] MAIDMENT, D. R..(2002): *Arc Hydro, GIS for water resources*. ESRI Press, Redlands, California, 203 s.
- [10] MAKEĽ, M., TUIREK, J.(2002): *Hydrologia. Terminologický výkladový slovník*. Vydanie I., Bratislava. Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky
- [11] MAZÚR E., LUKNIŠ M.,(1986): *Geomorfologické členenie SSR a ČSSR*
- [12] PODHORÁNYI, M., (2008): *Porovnání hydrodynamických modelů HEC–RAS a MIKE 11v povodí Olše*, Diplomová práce, VŠB-TUO
- [13] ŘÍHA, J., a kol.(2005): *Riziková analýza záplavových území*. Akademické nakladatelství Cern, Brno
- [14] ŠEBLOVÁ, V.(2004): *GIS řešení předpovědi rozsahu povodně vhodné pro menší a malé obce*. Západočeská Univerzita v Plzni 2004, Plzeň , 99 s.
- [15] ŠKODA, P.,(2002): *O povodniach v skratke*, in *Enviromagazín* 5/2002, str.10
- [16] UNUCKA, J. (2007): *Modelování hydrologických procesů s podporou DPZ a GIS*. In sborník workshopu *Informační technologie pro modelování krizových situací – IT4DM*. VŠB-TU Ostrava, 13.9.2007, 15 s., ISBN 978-80-248-1537-4
- [17] UNUCKA J., HORÁK J., RAPANTOVÁ N. (2005): *Možnosti propojení GIS s hydrologickými a hydrogeologickými modely*. In Sborník konference *Hydrologické dni 2005*. Bratislava, Slovensko, 21-23.9.2005. s. 198- 210, 13 stran, ISBN 80-88907-53-5
- [18] UNUCKA, J., MARTINOVIC, J., VONDRAK, I., RAPANT P. (2009): *Overview of The Complex and Modular System FLOREON+ for Hydrologic and Environmental Modelling*. In BREBBIA C.A. ed. (2009): *River Basin Management V (Transactions on Ecology and the Environment)*. Wessex,



WIT Press. 432 s. ISBN: 978-1845641986

Elektronické zdroje:

- [19] *HEC – RAS users manuals* [online], dostupné na [www](http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/): <<http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/>>
- [20] *HEC GeoRAS tutoriál*. [online], Dostupný na WWW: <<http://web.ics.purdue.edu/~vmerwade/education/georastutorial.pdf>>
- [21] Cameron, T., Ackerman, P. E.: *HEC-GeoRAS, An extension for support of HEC-RAS using ArcGIS*, Hydrologic engineering center, California, 2005, 204 s.
- [22] *DHI software users manuals* [online], dostupné na [www](http://www.dhi.cz): <<http://www.dhi.cz>>
- [23] Dudoň, J.: *Návrh učebného textu v predmete Fotogrametria a DPZ*, [online], dostupné na <[www.gkk.tym.sk/files/fotogrametria\\_2.doc](http://www.gkk.tym.sk/files/fotogrametria_2.doc)>
- [24] *Centrum pre výskum vodných zdrojov pri univerzite v Austine* [online], Dostupný na WWW: <<http://www.crwr.utexas.edu/>>
- [25] Ofúkaný, M., Klobušiak, M.: *Prvý digitálny model reliéfu Slovenska DMR50 v rezorte ÚGKK SR*, [online], Dostupné na <[www.gku.sk/docs/referaty/2004/DMR50.pdf](http://www.gku.sk/docs/referaty/2004/DMR50.pdf)>
- [26] *Všeobecné charakteristiky čiastkového povodia Dunajec a Poprad*, [online], dostupné na <[www.vuvh.sk/rsv/docs/PMP/prilohy/priloha\\_2/priloha\\_2\\_1/Poprad\\_Dunajec.pdf](http://www.vuvh.sk/rsv/docs/PMP/prilohy/priloha_2/priloha_2_1/Poprad_Dunajec.pdf)>

## ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1: Schéma výpočtu hydrodynamického modelu[12].....	25
Obr. 2: Základná geodatabázová štruktúra modelu ArcHydro.....	30
Obr. 3: Databáza poprad.mdb.....	32
Obr. 4: Databáza archydro.mdb .....	32
Obr. 5: Nástrojová lišta ArcHydro Tools .....	33
Obr. 6: Položka Attribute Tools s jej funkciami .....	34
Obr. 7: Zobrazenie smeru toku pomocou Utility Network Analyst .....	34
Obr. 8: Zobrazenie vzdialenosti k ústiu povodia pre každú hydrolíniu.....	35
Obr. 9: Hotová databáza v programe ArcMap.....	35
Obr. 10: Nástrojová lišta Hec GeoRAS .....	37
Obr. 11: Databáza jednotlivých prvkov v ArcCatalogu .....	38
Obr. 12: Zvektorizované časti rieky Poprad .....	39
Obr. 13: Vizualizácia celkovej databázy jednotlivých prvkov v ArcMape.....	40
Obr. 14: HEC-RAS a jeho komponenty.....	41
Obr. 15: Naimportovaná študovaná časť rieky Poprad do HEC-RAS.....	41
Obr. 16: Hydrologické dáta prietoku v m <sup>3</sup> /s .....	43
Obr. 17: Priečny profil s N-ročnými vodami .....	44
Obr. 18: Pozdĺžny profil s N-ročnými vodami .....	44
Obr. 19: 3D zobrazenie riečnej siete s N-ročnými vodami .....	45
Obr. 20: Ponuka postprocessingu .....	46
Obr. 21: Načítanie TIN vodného povrchu .....	46
Obr. 22: Vizualizácia zaplaveného územia pre Q100.....	47
Obr. 23: Schematizácia pozdĺžneho a priečných profilov v MIKE11 GIS .....	49
Obr. 24: Úprava priečných profilov v MIKE11 .....	50
Obr. 25: Zobrazenie a editácia pozdĺžneho profilu v MIKE11 .....	50
Obr. 26: Vizualizácia výsledkov v MIKE View (zhora zľava schematizácia, merná krivka, limnigram, dole vizualizácia hladín v pozdĺžnom profile).....	51
Obr. 27: Tvorba záplavových zón v MIKE11 GIS pre jednotlivé časové kroky simulácie .....	53
Obr. 28: Vizualizácia záplavovej zóny pre Q100 .....	53

*Obr. 29: Vzniknuté dáta po namodelovaní záplavového územia.....55*

## **ZOZNAM MÁP**

<i>Mapa 1: Ohraničenie povodia rieky Poprad .....</i>	<i>13</i>
<i>Mapa 2: Pôdne typy povodia Popradu .....</i>	<i>18</i>
<i>Mapa 3: Študované územie .....</i>	<i>36</i>
<i>Mapa 4: Vizualizácia zaplaveného územia s podkladovou ortofotosnímkou .....</i>	<i>47</i>
<i>Mapa 5: Vizualizácia záplavovej zóny s podkladovou ortofotosnímkou .....</i>	<i>54</i>

## ZOZNAM TABULIEK

<i>Tabuľka 1: Hydrologické členenie povodia rieky Poprad.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabuľka 2: Geomorfologické celky .....</i>	<i>14</i>
<i>Tabuľka 3: Údaje o N-ročných prietokoch v m<sup>3</sup>/s<sup>-1</sup> .....</i>	<i>27</i>
<i>Tabuľka 4: Výšky hladín v jednotlivých profiloch v m.n.m. ....</i>	<i>56</i>
<i>Tabuľka 5: Priemerné výšky hladín pre N-ročné vody v m.n.m.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabuľka 6: Tabuľka rozlivov pre jednotlivé profily N-ročných vôd v m<sup>2</sup> .....</i>	<i>58</i>
<i>Tabuľka 7: Tabuľka rozlivov N-ročných vôd v m<sup>2</sup> .....</i>	<i>59</i>
<i>Tabuľka 8: Sumárna štatistika pre rozliv 1-ročnej vody.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabuľka 9: Sumárna štatistika pre rozliv 100-ročnej vody.....</i>	<i>62</i>

## ZOZNAM GRAFOV

<i>Graf 1: Výška hladiny pre jednotlivé priečne profily v m.n.m.....</i>	<i>57</i>
<i>Graf 2: Priemerné výšky hladín pre N-ročné vody v m.n.m.....</i>	<i>57</i>
<i>Graf 3: Plošné rozlivy pre N-ročné vody m<sup>2</sup>.....</i>	<i>59</i>
<i>Graf 4: Q-Q Plot rozlivu pre 1-ročné vody .....</i>	<i>60</i>
<i>Graf 5: Histogram rozlivu pre 1-ročné vody.....</i>	<i>60</i>
<i>Graf 6: Q-Q Plot rozlivu pre 100-ročné vody.....</i>	<i>61</i>
<i>Graf 7: Histogram rozlivu pre 100-ročné vody.....</i>	<i>61</i>
<i>Graf 8: Graf odľahlých pozorovaní.....</i>	<i>61</i>