

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
Katedra biotechnických úprav krajiny

Hydrologické nástroje systému ArcGIS
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Jan Vopravil, Ph.D.
Bakalant: Štěpán Ilavský

2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Štěpán Ilavský

Územní technická a správní služba

Název práce

Hydrologické nástroje softwaru ArcGIS

Název anglicky

Hydrological tools in ArcGIS

Cíle práce

Hlavním cílem práce je vytvoření hydrologicky korektních DTM vybraného povodí a demonstrovat a porovnat základní hydrologické nástroje v prostředí ArcGIS.

Metodika

1. Obecné seznámení s hydrologií, geoinformačními systémy a hydrologickými nadstavbami ArcGIS formou literární rešerše.
2. Popis použitých vstupních dat a databází.
3. Zpracování hydrologicky korektního DTM pro modelové povodí.
4. Aplikace základních hydrologických nástrojů v prostředí ArcGIS.
5. Zpracování dat, porovnání výsledků.

Doporučený rozsah práce

50 stran

Klíčová slova

Hydrologické nástroje, DTM, ArcGIS.

Doporučené zdroje informací

Esri Support: Arc Hydro Tools – Tutorial [online]. 2011 [cit. 2015-20-03]. Dostupné z: downloads.esri.com/archydro/archydro/Tutorial/Doc/Arc%20Hydro%20Tools%202.0%20-%20Tutorial.pdf

Hrabalíková M., Janeček M. (2017): Comparison of different approaches to LS factor calculations based on a measured soil loss under simulated rainfall. *Soil & Water Res.*, 12: 69–77.

JEDLIČKA J., ŠTYCH P., 2007: Hydrologické modelování v programu ArcGIS. CITT Praha Akademie kosmických technologií oblast Galileo, GMES, p. 62.

JEDLIČKA K., MENTLÍK, P., 2002: Hydrologická analýza a výpočet základních morfometrických charakteristik povodí s využitím GIS. In *Geoinformatika : sborník z XX. sjezdu ČGS, Ústí nad Labem : UJEP, 2002, p.46-58.*

Klimánek, M. Digitální modely terénu. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2006. 85 s.

Moore, I.D., Wilson, J.P. (1992): Length-slope factors for the revised universal soilloss equation: simplified method of estimation. *Journal of Soil & Water Conservation* 47, 423–428.

Sherman G.E., Sutto T., Blažek R., Luthman L., L'uboš Balážovic L.: *Používateľská príručka Quantum GIS™ Verzia 0.7' – [online]. Dostupné z: http://gis.fns.uniba.sk/vyuka/Gis/user_guide.pdf*

Tarboton, D. G., (1997), "A New Method for the Determination of Flow Directions and Contributing Areas in Grid Digital Elevation Models," *Water Resources Research*, 33(2): 309-319

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jan Vopravil, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra biotechnických úprav krajiny

Elektronicky schváleno dne 11. 3. 2019

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 12. 3. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Vopravila, Ph.D. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal. Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Mostě, dne 21. dubna 2019

.....

Štěpán Ilavský

Poděkování

Úvodem bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Janu Vopravilovi, Ph.D. za odborné vedení a čas, který mi věnoval při zpracování bakalářské práce. Závěrem bych rád poděkoval mé rodině za jejich trpělivost a podporu.

Abstrakt v českém jazyce

Předkládaná bakalářská práce se zabývá využitím hydrologických nástrojů nadstavby ArcHydro Tools 2.0 pro geografický informační systém 10.6.1 (ArcGIS). Je zde vytvořen korektní hydrologický model terénu vybraného zájmového území, který byl zpracován za pomoci těchto nástrojů zejména v říční síti, vodních ploch, povodí a neposlední řadě akumulace vody a znázornění vodního toku. Veškerá data byla prezentována a popsána u použitých hydrologických nástrojů nadstavby ArcHydro Tools.

Klíčová slova

ArcGIS, ArcHydro, povodí, vodní tok, akumulace vody, digitální model terénu

Abstrakt v anglickém jazyce

This bachelor thesis with a focus on hydrological tools the ArcHydro Tools. 2.0 for geographic information system 10.6.1 (ArcGIS). There is created the correct hydrological model of the field's area of interest, which has been processed with the help of these tools, especially in the field of waterstream, water areas, catchment area and water accumulation. All data was presented and described using the used ArcHydro Tools hydrological tools.

Key Words

ArcGIS, ArcHydro, catchment, waterstream, water accumulation, digital terrain model

Obsah

1	Úvod	1
	TEORETICKÁ VÝCHODISKA.....	2
2	Voda a hydrologie	2
3	Historie Geografického Informačního Systému (GIS).....	4
4	Geografický Informační Systém ArcGIS	6
4.1	Strukturální komponenty ArcGIS.....	6
4.2	Vektorová data	7
4.2.1	Formát vektorového souboru	8
4.2.2	Atributová data	8
4.3	Rastrová data	8
4.4	Získávání geodat	9
4.4.1	Geodata z primárních zdrojů.....	9
4.4.2	Geodata ze sekundárních zdrojů	10
5	Souřadnicové systémy	12
5.1	Souřadnicový systém stabilního katastru	12
5.2	Souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK)	13
5.3	Souřadnicový systém S-42	14
5.4	Souřadnicový systém WGS 84	14
6	Digitální model terénu	16
6.1	Využití digitálního modelu terénu (DMT)	16
6.2	Formát a rozmístění dat.....	16
6.3	Interpolace.....	18
6.4	Tvary terénu	18
6.5	Metody vizualizace vrstevnic	19
6.6	Metody vizualizace stínování	20
7	Data a metodika	21
7.1	Vstupní data	21
7.2	Hardware.....	21
7.3	Požitý software	22
7.4	Popis zájmového území.....	22
7.5	Metodika.....	22
7.6	Vytvoření DMT	23

VLASTNÍ ŘEŠENÍ	24
8 Hydrologické nástroje (Arc Hydro Tools).....	24
8.1 Předběžné zpracování terénu (Terrain Preprocessing).....	24
8.2 Zpracování povodí (Watershed Processing)	36
8.3 Nástroje atributů (Attribut tools)	41
8.4 Síťové nástroje (Network Tools)	43
9 Diskuse	44
10 Závěr.....	45
11 Přehled Literatury a použitých zdrojů	46
12 Seznam obrázků	49
13 Seznam tabulek	51
14 Seznam zkratk	52

1 Úvod

Problematika s vodními zdroji a tvorbou povodí je v posledních letech velmi často probíraným tématem v oblasti hydrologie a hydrologického modelování. V posledních desetiletích jde vývoj v environmentálním výzkumu strmě nahoru. Je to dáno především trvajícím rozvoje výpočetní techniky a informačních technologií, které nám dávají možnost zkoumat jednotlivé přírodní situace. Dříve tyto situace nebylo možné sledovat, či bylo velmi obtížné tyto přírodní situace podrobně popsat či nějakým způsobem modelovat. Tato možnost nám umožňuje úspěšně bojovat proti rozmarům přírody.

V úvodu rešeršní části práce je obecné seznámení s hydrologií a dále vznik a historie Geografických informačních systému (GIS), zejména pak ArcGIS, které jsou nezbytným nástrojem pro mnoho vědních oborů. Tyto systémy jsou pro své široké využití nazývány multifunkčními. Za hlavní přednost těchto systémů je považována práce s prostorovými daty a schopnost provádět prostorové analýzy. Tato práce se věnuje zejména představením nadstavby hydrologických nástrojů v nejnovější verzi 2.0, která je nadstavbou právě zmiňovaného systému ArcGIS. Zabývá se zejména popisem reliéfu terénu, který by byl velice náročný a složitý na rozbor, jelikož jsou ve vybraném území větší výškové rozdíly. Hydrologické nástroje lze využít zejména při modelování hydrologických situací povrchového odtoku, ale i vymezení jeho povodí.

V praktické části bakalářské práce je v krátkosti představeno zpracovávané území, zejména vodní tok Bílina, na kterém jsou představeny jednotlivé hydrologické nástroje nadstavby ArcHydro Tools pro ArcGIS. V této oblasti je nadále provedeno zpracování korektního digitálního modelu terénu a jeho následné zpracování pomocí základních hydrologických nástrojů. Výstupy těchto analýz byli popsány a zobrazeny u jednotlivých nástrojů.

TEORETICKÁ VÝCHODISKA

2 Voda a hydrologie

Jedná se o látku, která je svými vlastnostmi velice zajímavá a nejdůležitější složkou pro život na Zemi. Voda se na zemi vyskytuje jak v plynném, kapalném tak i pevném skupenství. Toto rozdělení vody vidíme všude kolem nás ve formě mlhy, deště nebo sněhu či ledu. Všechna voda obsažená v atmosféře a na Zemi bez rozlišení výše uvedených skupenství se souhrnně nazývá hydrosféra. Na Zemi je voda obsažena téměř z 80 % v oceánech, 19 % v litosféře, 1 % v ledovcích, 0,002 % v kontinentálních vodách a pouze 0,0008 % v ovzduší (Hlavínek, 2006).

Jednou z vědních disciplín, která se zabývá vodou na zemi je Hydrologie. Jedná se o vědní obor, který pochází z latinského „logos“ tedy věda a dále pak z řeckého slova „hydór“ tedy voda. Je spousta definic, které nám vyjadřují obsah hydrologie a objekty jejího studia. Jednou z mnoha je *„Hydrologie je vědní obor zabývající se zákonitostmi časového i prostorového rozdělení a oběhu vody na Zemi, jakož i jejími fyzikálními, chemickými a biologickými vlastnostmi“* (Slavík, Neruda, 2007). Z uvedené definice je patrné, že hydrologie má poměrně široký rozsah, ve kterém se setkáváme s dalšími vědami obory, zkoumajícími krajinou sféru. Začleňuje v sobě poznatky základních vědních oborů, jakými jsou matematika a statistika, fyzika, chemie, biologie, ale také geovědní obory např. geologie, pedologie, geochemie, klimatologie, meteorologie nebo hydrotechnika, vodní hospodářství, zdravotní inženýrství, ekonomie. Nicméně sem patří i historie, protože můžeme zkoumat historická povodí. Hydrologie je stejně důležitá jako je voda samotná pro procesy uvnitř všech částí krajinné sféry – atmosféry, litosféry, pedosféry, biosféry, hydrosféry a noosféry.

Hydrologii můžeme rozdělovat podle pracovních metod nebo podle prostředí. Pracovní metody jsou hydrometrie a hydrografie. Hydrometrie se zabývá měřením mechanických, fyzikálních, chemických a biologických jevů ve vodních systémech. Hydrografie je zaměřená na popis hydrologických jevů, hydrologického prostředí, vlastností vodních systémů, pozorování, třídění a klasifikace získaných informací.

Podle prostředí rozeznáváme hydrologie pevnin a oceánů. Do hydrologie pevnin můžeme zařadit např. hydrologii atmosféry, řek, jezer, bažin, podzemních vod, ledovců, kdež to do hydrologie oceánů můžeme zařadit oceánologii fyzickou, chemickou, biologickou, mořskou geologii a geofyziku, dále pak geomorfologii oceánů a moří.

Hydrologické informace můžeme přenést do softwarového prostředí systému ArcGIS a to formou dat získaných při výzkumech z daných oblastí. Získanými daty lze vytvořit vrstvy vyjadřující např. říční síť, zdroje znečištění, chráněné oblasti přirozené akumulace vod, hydrologické rajóny, vymezení povodňových zón. (Ruda, 2014)

3 Historie Geografického Informačního Systému (GIS)

Historie ukazuje již na pradávno mapování tahu zvěře, které byly vyobrazeny malbami, kresbami či jejich vytesáním do skal. Také můžeme nahlédnout do popisků kapitánů lodí, kteří si trasu zaznamenávali do map a poté je prodávali jako informaci o plavební cestě. Nicméně jeden z nejdůležitějších pokroků se datuje k roku 1854, kdy v Anglickém městě Londýn vypukla epidemie cholery. V té době britský lékař John Snow začal mapovat výskyt ohnisek cholery, ale také silnic, hranice pozemků a vodních toků. Toto vše zaznamenal do mapy a když se na tuto mapu podíval, zjistil, že případy cholery se vyskytují podél vodních toků. Mapa výskytu ohnisek cholery pana Snowa se stala významnou událostí spojující geografii a bezpečnost veřejného zdraví. Tato událost byla počátkem prostorové analýzy. Jeho práce ukázala, že GIS je nástrojem pro řešení problémů. Jeho objev spočíval v tom, že uvedl geografické vrstvy na papír a tím učinil život zachraňující objev. (Anonym, 2018)

Obrázek 1: Historická mapa Johna Snowa



Zdroj: Anonym, 2018

Historie GIS prošla několika vývojovými etapami. Každá etapa zaznamenávala pokrok v rozšiřování pohledu na mapování a jejich digitalizaci. V padesátých letech minulého století byly mapy velice jednoduché. V té době nebyly mapy zaneseny v počítačích, neboť jejich vývoj teprve začínal. K identifikaci nebo k mapování oblastí docházelo takzvaným sítovým překrytím, kdy na světelných tabulkách byly vyobrazeny informace o oblastech, které byly kladeny na sebe.

Ovšem takto přenesená data byla velice hrubá, často nepřesná a vzdálenost měření byla těžkopádná. Se všemi těmito problémy, které přicházely z papírovými mapami chtěli kartografové prozkoumat možnosti výpočtů geografických dat. Tento podnět vedl k přesunu z papíru na počítačové mapování.

Počátek šedesátých let až do osmdesátých let se dalo nazvat průkopnickým obdobím GIS. Jejich části se totiž začali pojit s výpočetní technikou, a to byl krok, který GIS poháněl krokem vpřed. Významnou postavou těchto let byl geograf Roger Tomlinson, který pronesl *„Velké objevy a vylepšení vždy zahrnují spolupráci mnoha myslí. Může mi být uděleno za to, že jsem zapálil stezku GIS. Ale když se podívám na další vývoj, cítím, že úvěr je spíše dlužen jiným, než jsem já.“* Roger Tomlinson byl uznán za „otce GIS“, když inicioval, plánoval a řídil vývoj kanadského geografického systému CGIS (Kanadský geografický informační systém). Tento systém přijal přibližování vrstev ke zpracování map a byl prvním počítačovým GISem na světě. Tento systém pracoval jako kanadský inventář půdy, který využíval informace o půdní, drenážní a klimatické charakteristice ke stanovení způsobilosti půdy pro různé druhy plodin a zalesněné oblasti. Toto přispělo i v jiných zemích, které využili zásady GIS, např. Úřad amerického sčítání lidu. Kdy tento úřad vedl ke digitálnímu vstupu sčítání lidu v roce 1970 pomocí datového formátu GBF-DIME. Pomocí tohoto formátu začal americký úřad pro sčítání lidu digitalizovat hranice sčítání lidu, silnice a městské oblasti. Jednalo se historicky o velký krok vpřed v historii GIS. (Anonym, 2018)

4 Geografický Informační Systém ArcGIS

Jedná se o systém, který byl vyvinut soukromou skupinou nazvanou ESRI (Environmental Systems Research Institute, Redlands, USA, dále jen ESRI), kterou založily Jack a Laura Dangermondovi v Kalifornii v roce 1969. ESRI se zaměřovala na vývoj základních principů geografických systémů a jejího využití v reálných projektech. První úplný geografický informační systém byl uveden na trh až v roce 1981 s názvem ArcInfo. S postupem času se od této základní verze odpíchl vývoj a vznikl software zvaný ArcGIS (Geografický informační systém). Jedná se o počítačový software, který propojuje získané geografické informace s popisnými informacemi např. kde věci jsou a jaké věci to jsou. Jejich charakteristiku si můžeme popsat třeba na příkladu klasické mapy. Jedná se v podstatě o papír, který pouze rozvineme a vidíme zde zakresleny určité plochy vyjadřující např. moře, rybníky či pole.

Dále pak linie, která nám znázorňuje řeky, silnice či cesty. Taktéž nesmíme opomenout města či obce nebo vesnice, ty jsou pak zaneseny do mapy jako tečky. Mapa v GIS samozřejmě obsahuje stejné parametry s tím rozdílem, že je vedena v digitální podobě a je rozdělena do vrstev reprezentující každou tuto informaci zvlášť. Jednou z vrstev můžeme znázornit silnici v oblasti a další vrstvou všechna jezera ve stejné oblasti. Tyto vrstvy mohou být položeny na sebe navzájem a tím nám poskytovat mnoho informací o stejné zeměpisné oblasti. Body, linie a plochy jsou základními stavebními prvky vektorové prezentace. V případě rastrových prvků se jedná o buňky, které nesou informaci např. o výšce, hloubce či teplotě. (Konečný, 1985).

4.1 Strukturální komponenty ArcGIS

Strukturální komponenty ArcGIS jsou zejména hardware, software, data, lidé a metody. Hardwarem se rozumí počítače, počítačové sítě nebo vstupní a výstupní zařízení jako jsou např. geodetické přístroje, GPS, scannery. Softwarem se rozumí systém pro práci s geografickými daty (geodaty). Základem systému je jádro, které obsahuje funkce pro práci s geodaty a dále pak programové nadstavby neboli moduly, které jsou určeny pro zpracovávání fotogrammetrických snímků a obrazových záznamů dálkového průzkumu Země. Taktéž moduly, které pracují na prostorové a statistické analýze nebo moduly, které zvládají 3D zobrazování a tvorbu kartografických výstupů. Nejdůležitější součástí systému jsou data. Ty jsou také jedny z nejnákladnějších z hlediska jejich pořízení, neboť až 90 % finančních nákladů na provoz tvoří prostředky právě pro získávání a obnovu těchto dat.

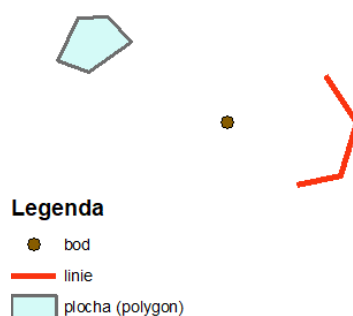
Lidé jsou samozřejmě nedílnou součástí systému, protože ho využívají pro své potřeby. Ať už jako běžní uživatelé, programátoři, správci sítí nebo analytici a manažeři. GIS můžeme také členit dle jeho způsobu využití, a to zejména v těchto koncepcích (kartografické koncepce, databázové koncepce, analytické koncepce). V realitě nikdy nenajdete aplikaci GIS, ve které je čistě jen jedna z výše uvedených koncepcí. Kartografická koncepce může být digitálně zpracovaná mapa ČR. Primárním účelem je tedy tvorba map.

Databázová koncepce je primárně zaměřena za účelem vytvoření evidence nějakého stavu. Typickým příkladem je katastr nemovitostí, kde najdete vlastníky různých parcel daného čísla. Ovšem zde je zapotřebí kartografické základní mapový podklad a je tedy zastoupen i mapovým podkladem. Analytická koncepce je primárně zaměřena na odpovídání prostorově stažené otázky. Může to být například analýza nově navržených silnic v daném městě. (Konečný, 1985)

4.2 Vektorová data

Vektorová data jsou především prvky, které jsou reprezentovány bodem, linií nebo polygonem tedy plochou. V anglickém jazyce je vektorový prvek nazýván (*feature*). Vektorová data jsou vhodná tam, kde je zapotřebí zobrazit přesný model daného reálného světa. Tyto vektorová data jsou poté uložena ve formě souřadnic x a y tedy geometricky uspořádané. Co se týče linie a plochy, tak tyto jsou uložena pomocí množiny těchto dvojic definující jejich lomové body. (Čepický, 2014)

Obrázek 2: Ukázka vektorových prvků pomocí softwaru ArcGIS



Zdroj: vlastní zpracování

4.2.1 Formát vektorového souboru

Data ve formátu shapefile jsou uložena minimálně ve třech souborech, které jsou rozlišeny koncovkou. Pokud tedy v GIS vytvoříme shapefile, tak v uložené souborové složce budou minimálně tyto soubory (*.shp, *.dbf, *.shx). Soubor s koncovkou *.shp označuje geometrie (shape), soubor s koncovkou *.shx (index) označuje propojení geometrie a atributu, soubor s koncovkou *.dbf jsou atributy (databáze). Nic méně souborů tvořící datovou vrstvu může být více např. soubor s koncovkou *.prj, který obsahuje informace o souřadnicovém systému ve formě ESRI WKT.

Důvodem proč se tento formát považuje za zastaralý je, že data nejsou uložena v jednom souboru, ale minimálně ve trojici (shp+shx+dbf). Dále pak velikost souboru může být maximálně 2 GB, navíc neumožňuje ukládat topologické informace o vzájemných vztazích mezi prvky geodat. Každý takový soubor SHP umožňuje ukládat informaci jen zdali je to linie, bod či polygon. Jediným důvodem, proč se stále esri shapefile používá je ten, že je prakticky podporován všemi softwary (Čepický, 2014).

4.2.2 Atributová data

Vektorová data mají kromě geometrické informace prvku také popisnou informaci, kterou nazýváme atributem. Atributy jsou většinou zaznamenány do atributové tabulky neboli databázové tabulky. Popisné tedy atributové a geometrické složky obvykle bývají uloženy zvlášť a jsou propojeny takzvaným jednoznačným identifikátorem (tzv. feature id). Tyto vektorové prvky se ukládají do souborových formátů (Esri Shapefile, KML, GML, GeoJSON). Nejpoužívanějším formátem je formát *Esri shapefile*. Byť je tento formát zastaralý, tak je stále pro některé typy dat stále dostačující. Je podporován všemi nástroji GIS a ve své podobě se stal oborovým standardem (Čepický, 2014).

4.3 Rastrová data

Tyto data jsou nejčastěji strukturovaná do matic uspořádaných hodnot. Struktura matice je většinou mřížka, která se skládá z buněk neboli cell. Jednotlivé buňky rastrové mapy pak nazýváme PIXEL. Tvary buněk můžou být čtvercové, trojúhelníkové nebo hexagonální. Nejčastěji se využívá čtvercová mřížka, neboť je kompatibilní s datovými strukturami programovacích jazyků používaných pro tvorbu s GIS softwarem. Dále je kompatibilní s mnoha zařízeními pro vstupní a výstupní dat (scannery, monitory). (Čepický, 2014).

Obrázek 3: Ukázka rastrových dat čtvercového tvaru s informací každé buňky

143.7	73.3	54.5	46.1	36.1	25.6	29.9	40.2	126.5	170.4	173.2
185.5	211.0	22.2	25.3	25.7	31.0	35.0	46.3	98.5	149.6	157.7
239.8	255.7	286.4	309.2	322.0	35.8	33.8	51.2	92.0	135.0	149.0
248.3	254.9	263.2	250.8	240.0	15.4	34.3	63.4	90.9	127.7	149.0
246.3	252.0	252.1	250.0	294.4	41.6	32.0	88.6	89.0	119.5	148.7
216.3	229.6	236.7	228.3	254.4	34.7	143.1	135.0	94.2	109.4	139.9
124.7	117.2	111.8	151.7	168.7	74.7	129.8	141.9	110.4	105.9	125.0
114.9	106.6	94.6	104.3	102.7	109.7	127.4	137.1	138.8	138.8	147.5

Zdroj: Čepický 2014

Hodnoty každé buňky jsou ve většině případů číselné ať už v celých číslech (integer) nebo s desetinou čárkou (float). Rastrová data jsou vhodná zejména pro reprezentování např. teploty vzduchu, výšky nad mořem, geologická data nebo letecké a družicové snímkování. Atributy rastrové buňky mohou sloužit jako celočíselný klíč, který nám spojuje informace s atributovou tabulkou např. hodnota buňky 1 má význam lehké půdy, hodnota buňky 2 má význam středně zrnité půdy atd. Mezi nejčastěji používané rastrové formáty patří GeoTIFF a JPEG. Dále se můžeme setkat s formáty PNG a GIF, které jsou ve většině případu ve webových prohlížečích. Ty však nejsou příliš vhodná pro geodata (Čepický, 2014).

4.4 Získávání geodat

Abychom byli schopni geodata zpracovávat musíme je nějakým způsobem získat, a to lze např. z primárních a sekundárních zdrojů.

4.4.1 Geodata z primárních zdrojů

Pokud získáváme geodata z primárních zdrojů, vytváříme si data sami. Data pro lokalizační (polohové) informace získáváme z geodetických měření pomocí globálního polohového systému (GPS – Global Positioning Systems), fotogrammetrických údajů a leteckých či satelitních snímků získávané dálkovým průzkumem země (Klimánek 2006). Pro tematické informace jsou zdrojem primárních dat terénní šetření např. pozorování, interview nebo dotazníkové šetření. Data získané pomocí geodetického měření jsou nejpřesnějším zdrojem prostorových údajů a jsou využívány především v GIS. Data se dnes ukládají již v digitální podobě a většina systémů má přídatné moduly právě pro vstup geodetických údajů.

Pokud systém tento vstup nemá, zpracovává se měření speciálním softwarem do vektorové prezentace, která se pak načítá přímo do GIS. Vzhledem k tomu, že se jedná o postupy s velkou přesností, využívají se pro vytváření a doplnění obsahu map velkých měřítek (katastrální mapy, technické mapy či plány).

Poněkud stále častější metodou pro zjišťování polohy objektů na Zemi se uplatňuje globální polohový systém GPS. Jedná se o družicový radiový systém sloužící k určení polohy, rychlosti a času v reálném čase kdekoliv na Zemi. Uživatel určuje polohu využitím pasivní dálkoměrné metody, kdy je vzdálenost jednotlivých družic určována pomocí doby potřebné k absolvování dráhy pomocí radiového signálu, který vysílá jednotlivým družicím. V současné době je využíván americký systém GPS vyvinutý Ministerstvem obrany USA a ruský systém GLONASS (GLObalnaja Navigacionnaja Sputnikova Sistema). Evropská unie využívá autonomní globální družicový polohový systém Galileo (GNSS) (Klimánek, 2006).

Dalším možným způsobem, jak získat geodata je dálkový průzkum Země (DPZ). Informace získáváme způsobem zkoumání objektů z dálky bez přímého kontaktu prostřednictvím leteckého nebo satelitního snímkování. Informace získané o objektech jsou přenášeny pomocí elektromagnetického záření. Podle zdroje záření rozdělujeme systém pro DPZ na pasivní a aktivní. Pasivní záření dopadá přímo na zem a odráží se zpět. Pochází většinou z přirozených zdrojů, jako je Slunce, nebo se jedná o záření vyzařované Zemí. Aktivní elektromagnetické záření má vlastní zdroj záření a je vyzařováno přímo k Zemi. Po odrazu je snímáno např. radary.

V dnešní době je možné získat letecké či satelitní snímky různých objektů na zemi, které poskytuje Český úřad zeměměřický a katastrální ve formě ortofotomapy. Ortofot je fotografický obraz zemského povrchu, kde jsou odstraněny posuny obrazu vznikající při pořízení leteckého snímku (Klimánek, 2006).

4.4.2 Geodata ze sekundárních zdrojů

Geodata ze sekundárních zdrojů jsou data, která byla již dříve vytvořena. Jedná se např. o mapy v digitální a analogové formě, texty, obrázky vytvořené jiným autorem pro jiný účel, informace ze sčítání, z registrů a z různých tematických databází. Informace, které se zpracovávají z analogových zdrojů, jsou velmi věcně i časově náročné. Polohové informace se do systému převádějí digitalizací nebo skenováním a poté pomocí vektorizace. Tematické informace jsou doplňovány do atributové tabulky.

Geodata se dále získávají od jiných zpracovatelů a tvorbou prostorových digitálních dat se zabývají státní organizace, které mapová díla udržují. Pokud

získáváme geodata ze sekundárních zdrojů je potřeba znát důležité údaje k těmto datům a to např. v jakém systému byla polohová data vytvořena, s jakou přesností, v jakém formátu jsou dodána, k jakému časovému intervalu se vztahují a zda obsahují kódování atributů.

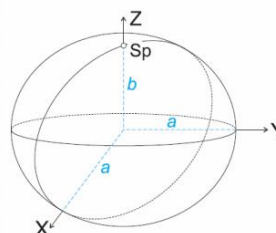
Tematické prostorové databáze z oblasti geologie, hydrogeologie, pedologie a ochrany životního prostředí zpracovávají různé organizace a můžeme je získat přímo od zpracovatele. Jedná se např. o mapy bonitovaných půd, data ze silniční sítě, data o geologických ložiskách či meteorologická data. Od Českého statistického úřadu získáváme data ze sčítání či demografická data, která jsou poskytována ve větách, které obsahují určité kódy, které se připojují k prostorově vymezeným jednotkám. Dalším možným způsobem, jak získat data ze sekundárních zdrojů je získávání informací přes databáze pomocí internetu.

Jednoduchým dotazováním si pomocí určitých atributů stanovím parametry a vybraná geodata si stáhnou a dále s nimi pracuji. Data z registrů vytváří a pravidelně udržuje stát. Jednotlivé instituce jako je např. Český statistický úřad vede registr ekonomických subjektů, registr sčítání obvodů či zemědělský registr. Většina těchto tematických registrů jsou dnes aktualizována a udržována v rámci geografické databáze a je možné získat přímo i prostorovou složku informace. (Konečný, 1985)

5 Souřadnicové systémy

Souřadnicové systémy slouží k mapování území dle souřadnic, které jsou definovány dle elipsoidu (Čada, 2005). Elipsoid je jedna z nejpřesnějších aproximací zemského povrchu. Nejčastěji se používá tzv. rotační elipsoid, který je definován dvěma parametry libovolné kombinace velikostí poloos **a**, **b** a dále pak excentricity **e** a zpolštění **i** (Pecina, 2005)

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}, \quad i = \frac{a - b}{a}$$



Pro mapování našeho území se používají tyto souřadnicové systémy:

- Souřadnicový systém stabilního katastru (Gusterberg a Svatý Štěpán)
- Souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální (Křovák)
- Souřadnicový systém S-42
- Souřadnicový systém WGS 84

Tabulka 1: Parametry různých elipsoidů

Elipsoid	Parametry elipsoidu			
	a [m]	b [m]	i	e
Zachův el.	6 376 045,000	6 355 477,11300	1:310,000	0,080 257 131
Besselův el. (r. 1841)	6 377 397,155	6 356 078,96290	1: 299,153	0,081 696 831
Hayfordův el. (r. 1909)	6 378 388,000	6 356 911,94613	1: 297,000	0,081 991 889
Krasovského el. (r. 1940)	6 378 245,000	6 356 863,01877	1: 298,300	0,081 813 333
IAG 1967	6 378 160,000	6 356 774,51610	1:298,247	0,081 820 565
WGS-84 (r. 1984)	6 378 137,000	6 356 752,31425	1: 298,257	0,081 191 910

Zdroj: Pecina 2005

5.1 Souřadnicový systém stabilního katastru

Zhruba v první polovině 19. století bylo na našem území mapováno v měřítku 1:2880 na základě vybudované trigonometrické sítě. Bylo zde použito Zachova elipsoidu a transverzálního válcového zobrazení Cassiniovo-Soldnerovo (osa válce leží v rovníku a válec se dotýká základního poledníku). Naše území se týká dvou souřadnic.

První má počátek v trigonometrickém bodě Gustenberg v Horních Rakousích a byl použit na území Čech. Druhý byl použit na území Moravy a Slezska a byl zvolen za trigonometrický bod věž sv. Štěpána ve Vídni (Čada, 2005).

Obrázek 4: Souřadnicový systém stabilního katastru Gustenber, sv. Štěpán

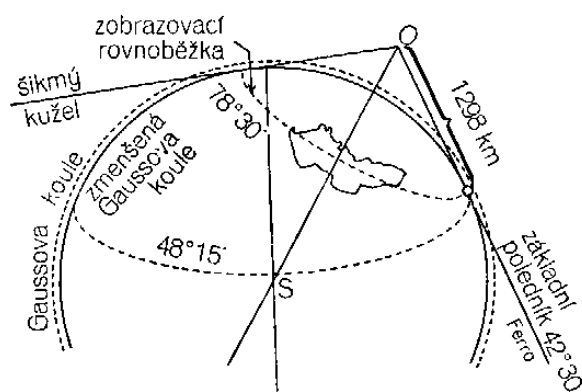


Zdroj: Čada 2005

5.2 Souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK)

Je definován Besselovým elipsodem s referenčním bodem Hermannskogel, Křovákovým zobrazením tzn. Dvojitě kuželové konformní zobrazení v obecné poloze, převzatými prvky vojenské triangulace a jednotnou trigonometrickou sítí katastrální. Navrhl jej Ing. Josef Křovák v roce 1922 proto se mu také říká Křovákovo zobrazení (Čada, 2005).

Obrázek 5: Schéma Křovákovo zobrazení

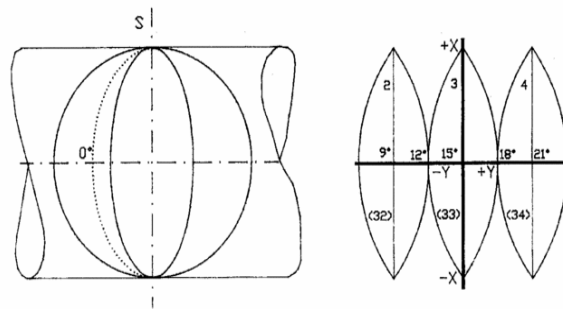


Zdroj: Čada, 2005

5.3 Souřadnicový systém S-42

Tento souřadnicový systém používá elipsoid Krachovského s referenčním bodem v Pulkavu. Souřadnice jsou zobrazeny v pásech Gaussova zobrazení vyjádřeny v 6° a 3°. Jeho základem je AGS síť (astronomicko - geodetická síť), vyrovnána v mezinárodním spojení do které byla transformována jednotná trigonometrická síť katastrální (Čada, 2005).

Obrázek 6: Schéma Gaussova zobrazení

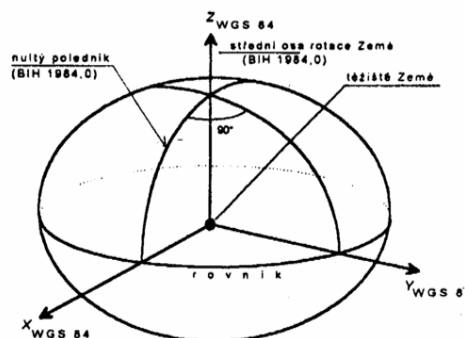


Zdroj: Čada, 2005

5.4 Souřadnicový systém WGS 84

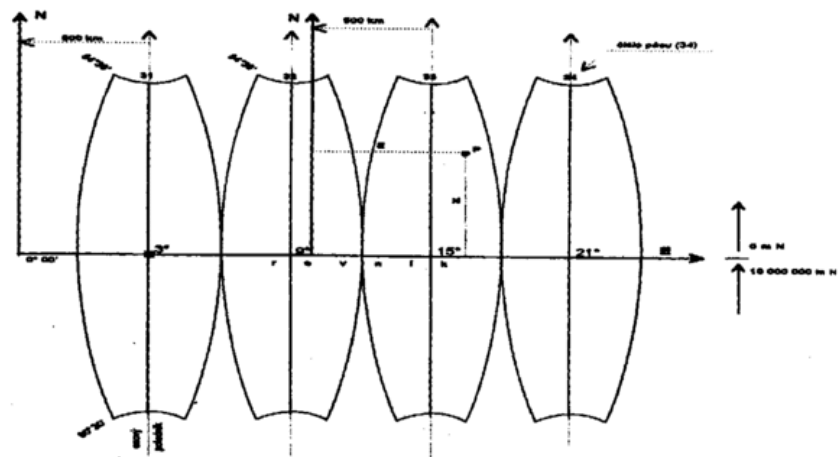
Tento systém vychází s referenční plochou elipsoidu WGS-84 (World Geodetic system). Jeho kartografické zobrazení se UTM (Univerzální transverzální Mercatorovo). Počátek os X, Y, Z jsou realizovány pomocí 12 pozemských stanic, které nepřetržitě monitorují dráhy družic NAVSTAR na oběžné dráze. Jedná se o vojenský souřadnicový systém používaný státy NATO (Čada, 2005).

Obrázek 7: Schéma geocentrického souřadnicového systému



Zdroj: Čada, 2005

Obrázek 8: Schéma zobrazení UTM



Zdroj: Čada, 2005

6 Digitální model terénu

6.1 Využití digitálního modelu terénu (DMT)

Využití DMT je dle (Klimánka, 2006) velice rozsáhlé, protože nástroje pro tvorbu a analýzy jsou součástí softwaru pro GIS. Z hlavních oblastí využití aplikace DMT lze vybrat například tyto:

- **Geoinformační technologie** – v oborech geodézie, geoinformačních systémů a dálkového průzkumu země je požadavkem přesnost DMT, protože jsou na něm závislé další operace s obrazovými daty.
- **Stavební inženýrství** – zde se DMT využívá zejména v plánování např. vedení výškových tras nebo šíření radiového signálu, ale také v oblasti vizualizace těchto prvků v krajině.
- **Přírodní vědy** – zde je DMT důležitým zejména v oblastech modelování přírodních procesů a jejich interpretaci např. půdní charakteristiky, modelování odtoků v souvislosti se záplavami, různé geomorfologické simulace atd.
- **Vojenské účely** – zde je nejdůležitějším charakterem terén, proto je DMT jedním z hlavních prostředků pro vizualizaci různých povrchů. Jsou na něm závislé veškeré analýzy např. logistická podpora, zobrazení bojiště, analýzy dostupnosti a dohlednosti v terénu atd.
- **Lesnictví** – na základě DMT je možné modelovat vlhkosti a transport sedimentů, teplotní poměry, erozní ohrožení. Terénní složky totiž výrazně ovlivňují jednotlivé prvky lesního ekosystému

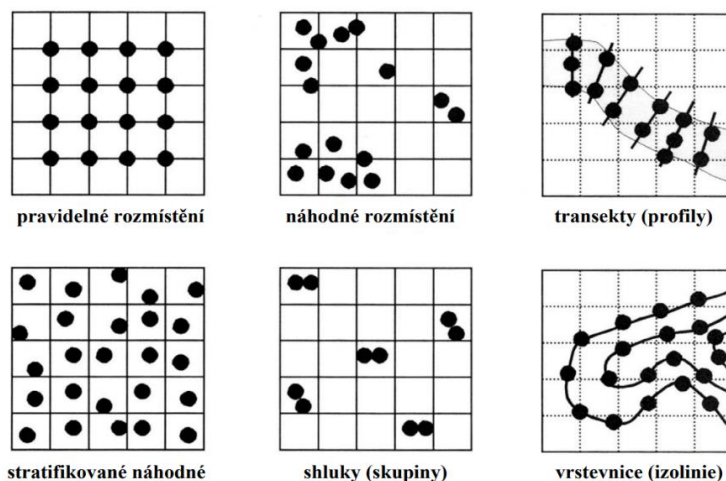
6.2 Formát a rozmístění dat

Formát dat popisuje datovou strukturu ve formě vektorové nebo rastrové prezentace. Pro konstrukci DMT se využívá nejčastěji matice hodnot liniového nebo bodového vektorového formátu. Matice hodnot je v podstatě datový zápis bodového vektorového souboru, kde ke každému bodu neboli atributu (např. nadmořská výška), je přiřazena hodnota polohových souřadnic. Důležité je také použití souřadnicového systému obzvláště při použití kombinace dat z více zdrojů, protože při použití nezkušeným uživatelem může dojít ke snížení polohové přesnosti dat (Klimánek, 2006).

Rozmístění prostorových vstupních dat je velice důležité při výběru vhodné interpolační metody, neboť některé nevhodně zvolené interpolační metody při

nevhodném rozmístění vstupních dat poskytují špatné, chybové výsledky nebo je nelze vůbec použít. Uživatel se nejčastěji setká v praxi s pravidelným, náhodným, stratifikované náhodné, shluky (skupiny), vrstevnicemi (izolinie) nebo profily (transekty) rozmístěním vstupních dat (Klimánek, 2006)

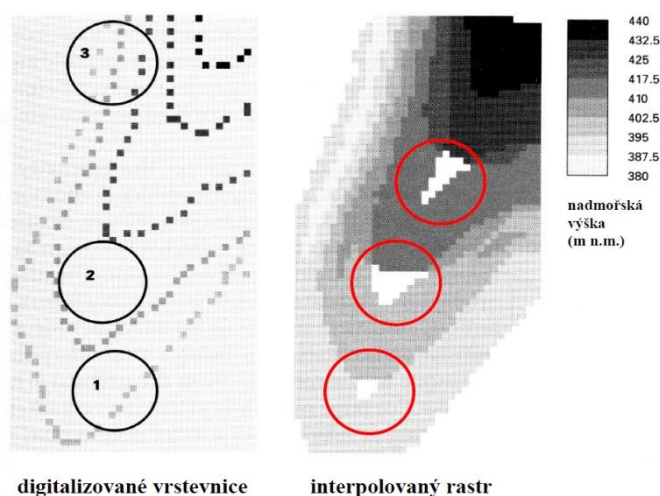
Obrázek 9: Rozmístění vstupních dat



Zdroj: Klimánek, 2006

V případě pravidelných a náhodných rozmístění můžeme jako kompromis použít stratifikované náhodné rozmístění, čím zajistíme pokrytí celého zájmového prostředí. Skupiny neboli shluky se nejčastěji používají při prostorové analýze variability. Nejčastěji bývají problémy s nedostatečným množstvím dat, které se projeví při interpolaci na profilech nebo izoliniích obzvláště pokud se využije extrapolace (Klimánek, 2006).

Obrázek 10: Výskyt možných chyb při nedostatečném množství dat



Zdroj: Klimánek, 2006

6.3 Interpolace

Jedná se o proces, kdy se vypočítávají neznámé hodnoty určitého jevu na základě hodnot známých bodových dat. Velmi často používaný pojem pro místo označení interpolace je odhad nebo predikce neznámých hodnot. Abychom mohli bodová data interpolovat, je potřeba splnit podmínku, že sledovaný jev je buďto spojitý nebo prostorově závislý. V rámci interpolace odhadujeme neznámé hodnoty v rámci tzv. prostorové domény. Pokud odhadujeme hodnoty mimo její rozsah jedná se o extrapolaci. Jedná se bohužel o méně přesný postup, ve kterém je možné získat záporný odhad jednoznačně pozitivních proměnných (Sarkózy, 2009).

Interpolací se vypočítá hodnota v místech, kde nebyly naměřeny. Nejčastěji se jedná o dopočítávání výšky (Z) pro bod nebo pixel, výpočet dané polohy (souřadnice x, y) při interpolaci vrstevnic nebo změny resamplingu tedy rozlišení (Klimánek, 2006).

Použití datové reprezentace je důležité při zohledňování její možnosti (např. při rastrové reprezentaci nemohu popsat strukturu terénu, kterými jsou třeba jeskyně nebo skalní převisy) v souvislosti se softwarovými nástroji a volbou daných formátů dat pro osobní počítač. (Klimánek, 2006).

6.4 Tvary terénu

Tyto prvky lze rozdělit na:

- Bodové
- Liniové
- Plošné

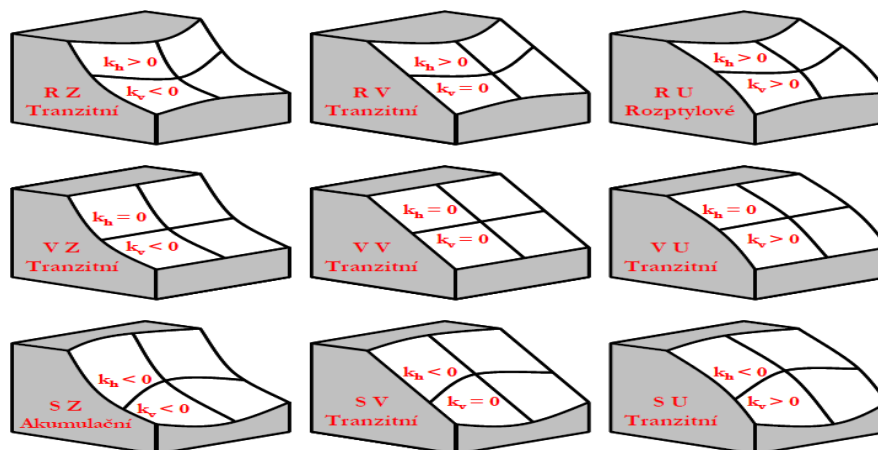
Bodovými prvky rozumíme vrcholy, prohlubně nebo sedla. Do liniových prvků řadíme hřebeny nebo údolí a do posledních zmíněných plošných prvků řadíme zejména svahy nebo plošiny (Klimánek, 2006).

Úprava DMT se provádí nejčastěji filtrováním neboli snižováním textur (lowpass filtering) o velikosti 3x3 pixely. Většina softwarů k tomuto využívá tzv. rychlou Fourierovu transformaci (FFT), jež vyžaduje, aby vstupní rozměry rastru byly násobkem dvou (2,4,8,16,32,64). Výsledkem jsou původní složka rastru s reálných číselných hodnot, dále imaginární složka a tzv. Fourierovo spektrum. Právě poslední výstup je ideální pro vizuální analýzu a sestavení filtru (Klimánek, 2006).

Pro terénní klasifikaci můžeme použít různé texturální analýzy ve smyslu Eukleidovské geometrie, kdy určitých prvků přiřadíme hodnoty (prostor = 3, plocha = 2, linie = 1). Dále podle orientace hran terénu ke světovým stranám (Klimánek, 2006).

Těmito analýzy lze rozlišit zejména v ternu pouze akumulační, tranzitní a rozptylové zóny, ovlivňující i rychlost a rozložení (zpomalení Z, urychlení U, rozptýlení R, soustředění S nebo vyrovnaní V) odtoku na základě horizontálního a vertikálního zakřivení (k_h a k_v) (Klimánek, 2006).

Obrázek 11: Ovlivnění odtoku a tranzitní, akumulační zóny v závislosti na zakřivení terénu

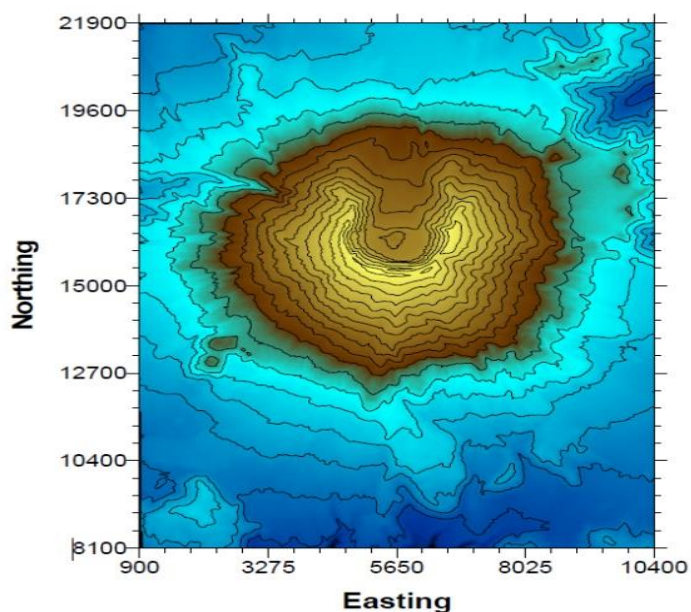


Zdroj: Klimánek, 2006

6.5 Metody vizualizace vrstevnic

Vrstevnice (contours) jsou nejčastější metodou znázornění reliéfu terénu nesmím opomenout, že jsou doplněny o výškové kóty. Rozhodující charakteristikou je vrstevnicový interval, který vychází z teoretického předpokladu sklonitosti svahu 45° , a níž by se vrstevnice slily. Současné techniky nám totiž dovolují tisknout čáry o síle 0,1 mm s minimální mezerou 0,1 mm. Znamená to tedy, že minimální výška vrstvy je součinem vzdálenosti dvou sousedních vrstevnic 0,2 mm a měřítkem mapy (1:10 000 je to 2 m, 1: 25 000 5 m.). Pro ukázkou vrstevnic lze využít různých barevných škál neboli ploch mezi jednotlivými vrstevnicemi tzv. (hypsometrie) (Klimánek, 2006).

Obrázek 12: Hypsometrie

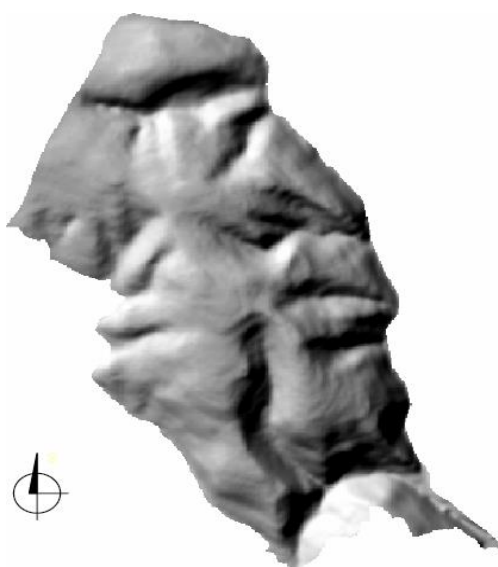


Zdroj: Klimánek, 2006

6.6 Metody vizualizace stínování

Stínování neboli *hill shading* je metoda vizualizace, které využívá při zpracování zejména zvýraznění reliéfu terénu zobrazením ploch, které jsou osvětleny a zastíněny zdrojem světla slunce. V případě této metody je úhel (azimut) odkud je terén nasvícen definován v rozmezí 0-360° a výška (elevace) nad obzorem v rozmezí 0-90°. Hlavní komponentou stínování jsou výpočty odrazivosti povrchu (Klimánek, 2006).

Obrázek 13: Stínování Lambertův model



Zdroj: Klimánek, 2006

7 Data a metodika

7.1 Vstupní data

Pro zpracování práce bylo zapotřebí získat vstupní prostorová data. Tyto data byla získána z databáze ZABAGED a DIBAVOD. První zmíněná databáze je digitální geografický model území ČR obsahující polohopisná, tak i výškopisná data, která svojí přesností a obsahem odpovídá Základní mapě 1 : 10 000. Z této databáze byl pro potřeby této práce zakoupen výškopis 3 D vrstevnice zájmového území povodí řeky Bílina v sektoru jejího prameniště tvořený 3 typy objektů vrstevnic se základním intervalem 5, 2 nebo 1 m v závislosti na charakteru terénu. Objekty jsou reprezentovány trojrozměrnou vektorovou prostorovou složkou. Přesnost výšky vrstevnic je závislá na sklonu a členitosti terénu a dosahuje 0,7-1,5m v odkrytém terénu, 1-2 m v sídlech a 2-5 m v zalesněném terénu.

DIBAVOD (Digitální báze vodohospodářských dat) je geografická databáze vodohospodářských dat. Je to referenční geografická databáze vytvořená primárně z odpovídajících vrstev ZABAGED® a cílově určená pro tvorbu tematických kartografických výstupů s vodohospodářskou tematikou a tematikou ochrany vod nad Základní mapou ČR 1:10 000, resp. 1: 50 000, včetně Mapy záplavových území ČR 1:10 000, a dále pro prostorové analýzy v prostředí geografických informačních systémů a zpracování reportingových dat podle Rámcové směrnice 2000/60/ES v oblasti vodní politiky. DIBAVOD je průběžně aktualizovaný a doplňovaný "živý produkt" spravovaný a vyvíjený na Oddělení geografických informačních systémů a kartografie VÚV T.G.M., v.v.i. Vybrané datové vrstvy objektů DIBAVOD jsou poskytovány zdarma ke stažení ve formátu ESRI shapefile komprimovaném do archivu (.zip).

Tyto zdroje byly využity v procesu modelace rastrového digitálního modelu a dále pak pro prezentaci nadstavby ArcHydro Tools softwaru ArcGIS.

7.2 Hardware

V případě této práce byl využit vlastní osobní stolní počítač v konfiguraci CPU i7 8700, operační paměť RAM 16Gb, diskové úložiště SSD 256 GB, grafická karta EVGA GTX 1070 Ti a operační systém Windows 10. Tato sestava mi v této práci zaručovala plynulý chod softwaru ArcGIS a jeho nadstavby ArcHydro tools.

7.3 Požitý software

K práci byly použity zejména produkty společnosti Esri a to software ArcGIS ve verzi 10.6.1 a jeho doplněk pro hydrologické aplikace Arc Hydro ve verzi 2.0. Arc Hydro je rozšiřující program, který slouží k hydrologickým analýzám. Skládá se ze dvou částí, a to z části ArcHydro Data Model a části ArcHydro Tools. Pro tuto práci byla použita druhá část doplňku, a to ArcHydro Tools, který se zabývá hydrologickými nástroji.

7.4 Popis zájmového území

Vybrané zájmové území je část povodí řeky Bílina u jejího pramene, které se nachází v Krušných horách v nadmořské výšce 785 m n. m. na jihovýchodních svazích Slepíčí stepy. Název řeky pochází ze staročeského „Bielina“, v překladu znamenající bílou, čistou vodu. Délka celého toku činí 81,4 km přičemž šestina její délky má přírodní ráz. Povodí má rozlohu 1071 km².

Obrázek 13: Vybrané území povodí řeky Bílina (viz červený rámeček)



Zdroj: Vlastní zpracování

7.5 Metodika

Prvním krokem po získání dat potřebných pro zpracování je implementace do softwaru ArcGIS. Dalším krokem bylo z těchto dat nahraných do ArcGIS vytvořit hydrologicky korektní digitální model terénu. Po vygenerování DTM bylo přistoupeno

k použití hydrologických nástrojů nadstavby Arc Hydro Tools a jejich výstupy byly prezentovány v této práci. Výstupy a jejich popis jsou vždy zobrazeny společně.

7.6 Vytvoření DMT

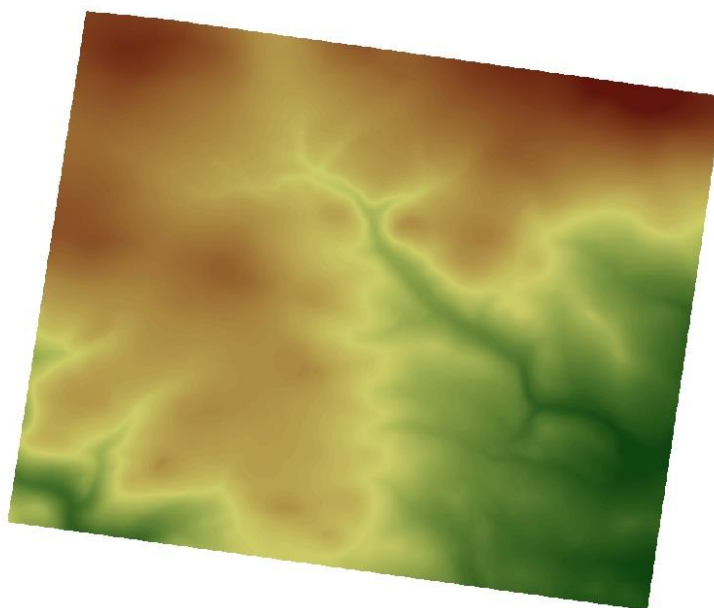
Aby bylo možné provádět další analýzy, bylo prvním krokem vytvoření DMT. V hydrologických nástrojích ArcGIS je možno toto provést dvěma způsoby, a to buď pomocí výškového modelu (GRID). Digitální model terénu vzniká pomocí interpolace vstupních výškových dat, nejčastěji bodů (kót) nebo vrstevnic s udanou výškou. Vzhledem k tomu, že vstupní data (vrstevnice) se skládali ze tří vrstev bylo nutné tyto vrstvy sjednotit do jedné pomocí funkce *merge*. Pro přesnější interpolaci mohou být mezi vstupními daty zahrnuty i vodní toky. V mém případě byla použita data ze ZABAGED a to ve formě výškových vrstevnic proto jsem při interpolaci použil funkci *topo to raster*. Tato funkce na rozdíl od jiných interpolačních funkcí vytváří hydrologicky korektní model terénu.

Nesmím opomenout, že veškerá data jsou zpracovány v souřadnicovém systému S-JTSK. V případě použití Arc Hydro Tools je velice zásadní přiřadit souřadnicový systém, neboť bez tohoto tyto nástroje nelze použít.

Obrázek 14: Výstup hydrologicky korektního DMT pomocí funkce *topo to raster*

Digitální model terénu

Výškový rozsah
High : 916,651
Low : 585,84



Zdroj: Vlastní zpracování

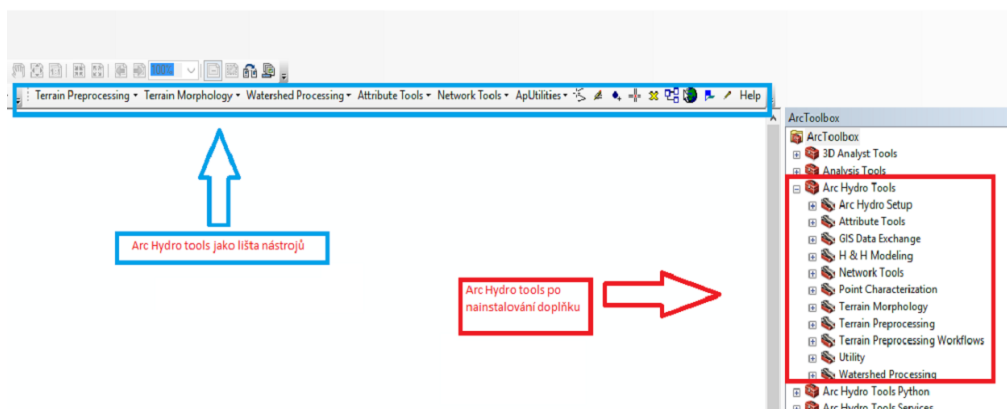
VLASTNÍ ŘEŠENÍ

8 Hydrologické nástroje (Arc Hydro Tools)

Arc Hydro Tools jsou doplňkovými nástroji, kterými lze provádět analýzy rastru DMT za účelem generování dat jako např. směru proudění, akumulace proudění, definice toku, segmentace toku a vymezení povodí. Užitečnost těchto analýz pomocí Arc Hydro tools je demonstrována jejich aplikací vytvořit atributy, které mohou být užitečné v hydrologickém modelování. V případě použití tohoto doplňku je důležité mít nainstalován Microsoft .NET Framework 3.5, ArcGIS 10, the Spatial Analyst extension, Water Utilities Application a Framework (ApFramework).

Po správném nainstalování doplňku se panel nástrojů zobrazí v Arc Toolboxu nebo si jej lze přidat jako lištu nástrojů. Vzhledem k tomu, že tyto nástroje obsahují rozsáhlé analýzy, tak v mé práci budu demonstrovat pouze ty základní.

Obrázek 15: Nástroje Arc Hydro Tools

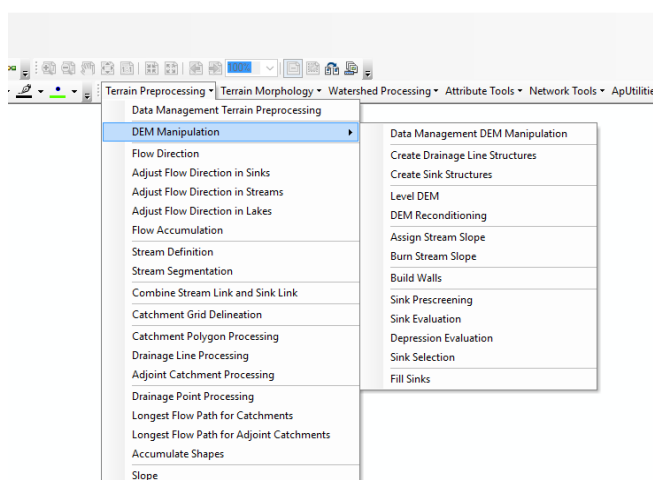


Zdroj: Vlastní zpracování

8.1 Předběžné zpracování terénu (Terrain Preprocessing)

V tomto menu se nacházejí nástroje pro úpravu hydrologicky korektního DMT (*DEM manipulation*) a dále pak k určení odtokových poměrů ve vybrané oblasti a vymezení hranic povodí. Tyto nástroje také vyžadují, aby veškeré analýzy byly použity, tak jak jsou posloupně seřazeny (od shora dolů), neboť druhá analýza počítá vždy s hodnotou předchozí.

Obrázek 16: Nástroje Terrain Preprocessing



Zdroj: Vlastní zpracování

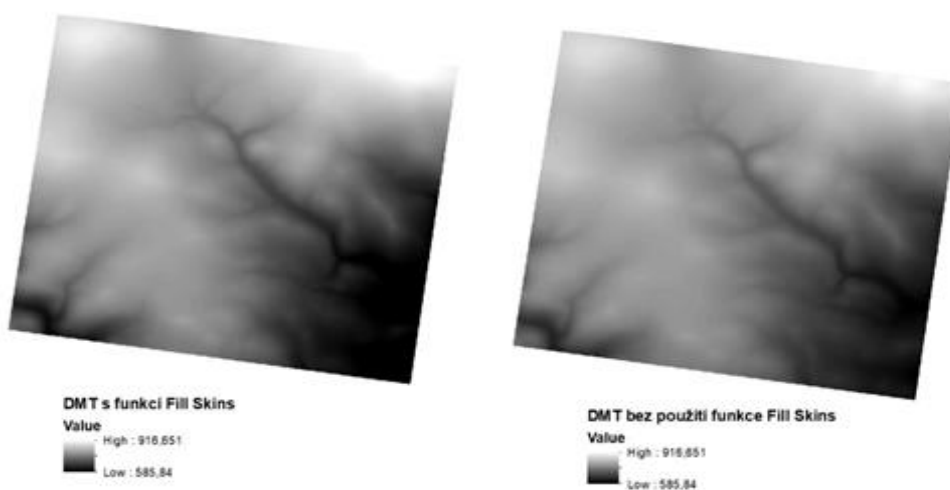
Manipulace s DMT (DEM Manipulation)

Tato nabídka obsahuje funkce, které umožňují upravit DMT od pravděpodobných chyb při interpolaci. Z této nabídky je důležitý nástroj *DEM Reconditioning* a *Fill Sinks*.

DEM Reconditioning je funkce, která provádí prohloubení vodních toků tzn. že buňkám pod vodním tokem sníží nadmořskou výšku. Tím se zabezpečí, že voda v modelu bude odtékat těmito buňkami nikoliv sousedními, které se v realitě liší nadmořskou výškou jen minimálně.

Fill Sinks je funkce při které dochází k odstranění bezodtokových depresí, které mohli vzniknout při tvorbě DMT.

Obrázek 17: Rozdíly mezi pracováním DMT bez/s funkcí Fill Sinks

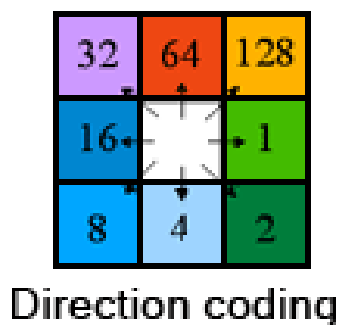


Zdroj: Vlastní zpracování

Směr odtoku (Flow direction)

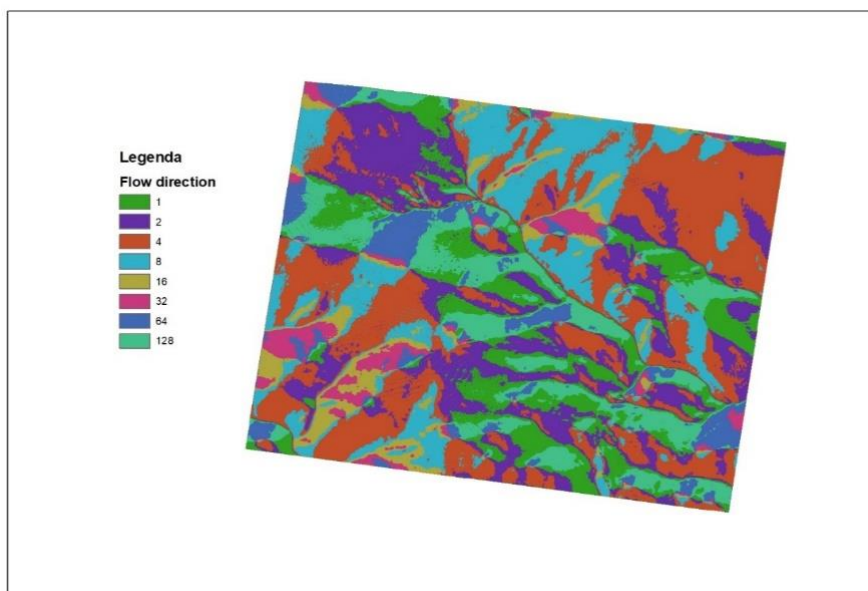
Násroj *Flow direction* (směr odtoku). Výsledkem této funkce je rastr, kde je buňce přiřazena hodnota, která označuje, jakým směrem z ní voda odtéká. Funkce vybere z osmi okolních buněk tu s nejnižší hodnotou a směr k ní zaznamená. Směr proudění je celočíselný rastr, jehož hodnoty se pohybují od 1 do 255.

Obrázek 18: Kódování směru odtoku



Zdroj: (<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-flow-direction-works.htm>)

Obrázek 19: Ukázka směru odtoku Flow direction (směr proudění) na DMT vybraného povodí.

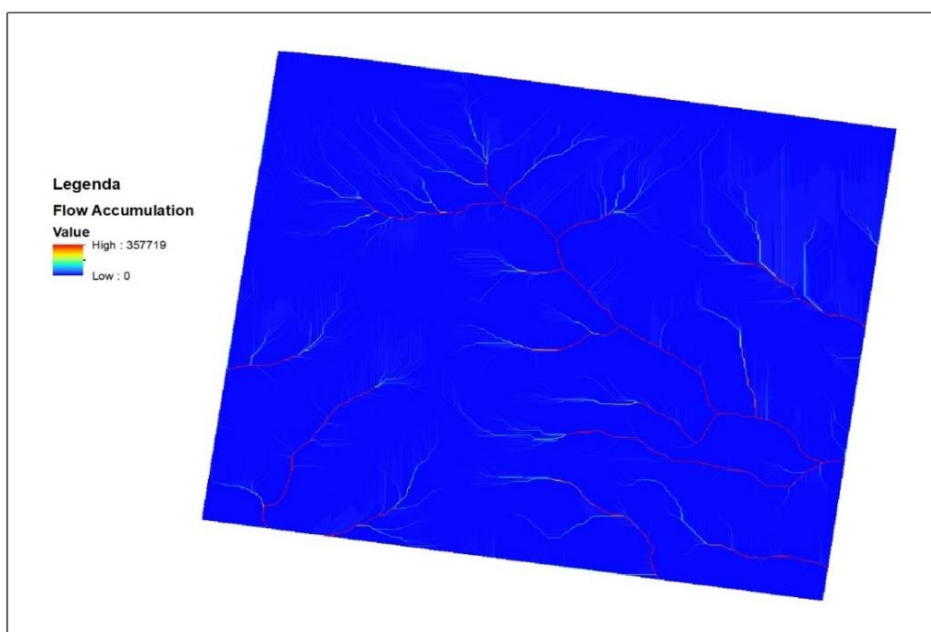


Zdroj: Vlastní zpracování

Akumulace vody (Flow Accumulation)

Je rastr akumulace vody v území, který je vytvořen na základě předchozí funkce směru proudění (*Flow direction*). Hodnota buňky vytvořeného rastru představuje počet buněk, ze kterých voda přitéká do této buňky. Nejvyšší hodnoty mají buňky na dolních tocích řeky, a naopak nejmenší hodnoty mají buňky v blízkosti hřebenu, protože přes ně neprochází voda z žádné jiné buňky. Jinak lze říci, že pokud má buňka s akumulací toku hodnotu 0 jedná se o lokální topografickou výšku a může být použita pro identifikaci hřebenu. V případě buňky s nejvyšší hodnotou akumulace toku lze tedy říci, že mohou být použity pro identifikaci kanálu toku viz obrázek níže kde jsou buňky s nejvyšší hodnotou znázorněny červeně.

Obrázek 20: Rastr akumulace vody (funkce Flow Accumulation)



Zdroj: Vlastní zpracování

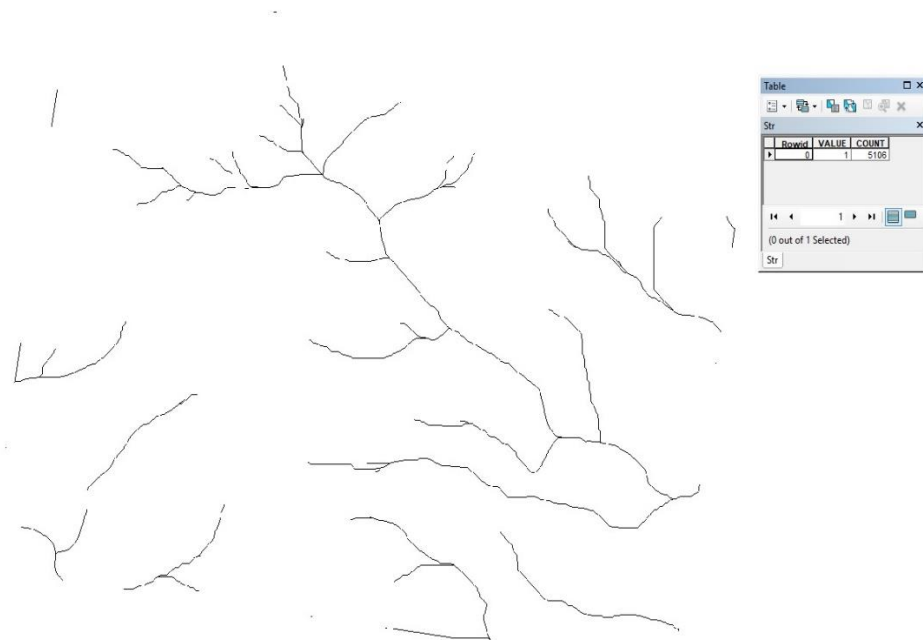
Vykreslení toku (Stream Definition)

Pomocí této funkce lze vykreslit vodní tok, je velmi důležité při použití této funkce nastavit prahovou hodnotu, která určuje počet buněk z rastru akumulace vody (*Flow Accumulation*). V případě, že bude hodnota příliš malá, tak výsledný rastr bude příliš zahuštěn a nebude se podobat vodnímu toku. V takovém případě zvolíme optimální hodnotu, která nám ve výsledném rastru zobrazí vodní tok správně. Při použití této funkce se hodnota nastavila automaticky, a to na počet buněk 3576.

V mém případě jsem nastavil počet buněk na 6000, abych zvýraznil uvedený rozdíl použil jsem jako podklad vrstvu DMT viz obrázek č. 26. Rozdíl buněk je patrný v délce

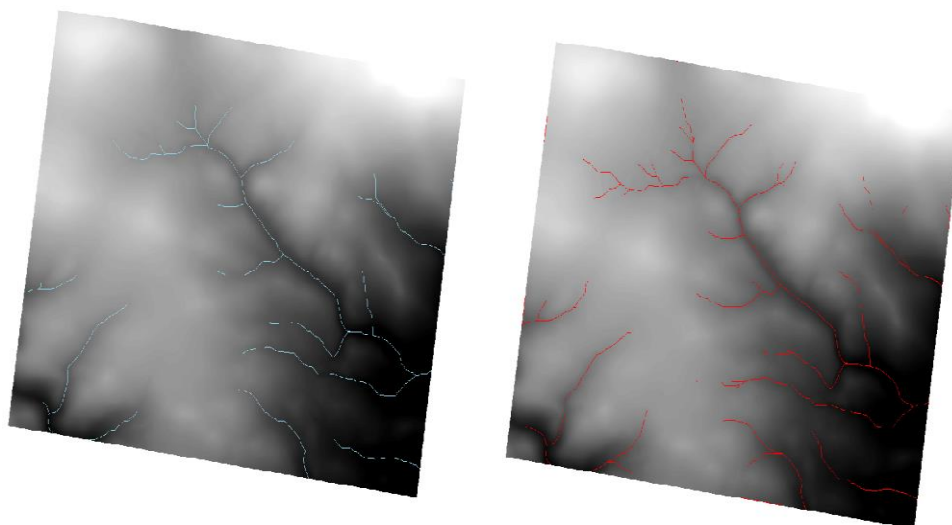
ramen toku. Co je velmi důležité je také to, že tato funkce přiřadí všem buňkám vodního toku hodnotu 1, což je patrné v atributové tabulce výstupního rastru *stream* viz Obr. 21.

Obrázek 21: Výstupní rastr funkce *Stream Definition* s atributovou tabulkou.



Zdroj: *Vlastní zpracování*

Obrázek 22: Vykreslení toku vlevo s počtem buněk 6000 a vpravo s automaticky definovanou hodnotou na 3576 buněk

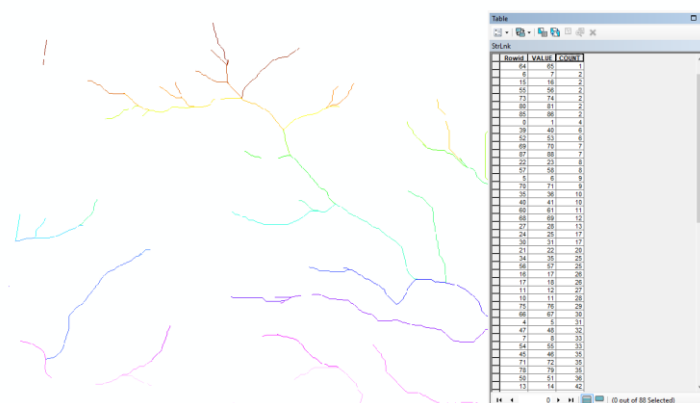


Zdroj: *Vlastní zpracování*

Rozdělení toku (Stream segmentation)

Pomocí této funkce se rastr vodního toku rozdělí na části neboli segmenty. Vstupními daty pro použití funkce je rastr *Flow direction* (směr proudění) a *stream* (rastr vodního toku), ve kterém mají všechny buňky přidělenou hodnotu 1. Výstupní rastr této funkce přiděluje buňkám rozdílné hodnoty, ale stejné pro danou část (segment) vodního toku. Zdáli tomu tak opravdu je lze zjistit v atributové tabulce dle výsledných hodnot výstupního rastru s vymezením těchto segmentů. Výstupní rastr jsem upravil barvami, abych zvýraznil dané části vodního toku.

Obrázek 23: Výstupní rastr funkce Stream Segmentation a atributová tabulka.

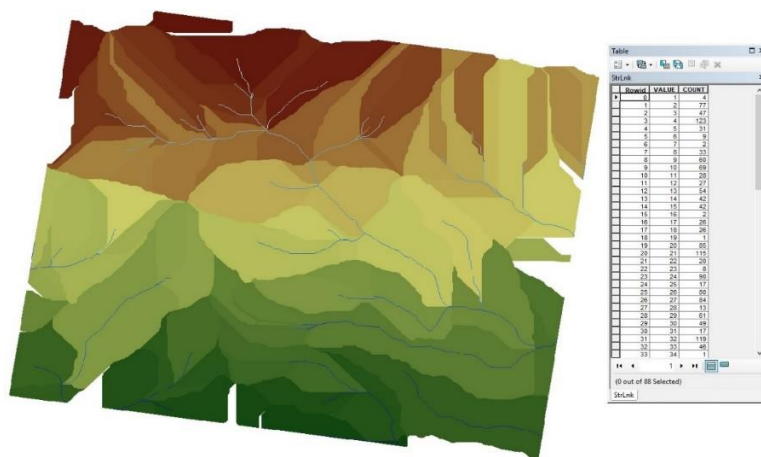


Zdroj: Vlastní zpracování

Vymezení povodí (Catchment Grid Delineation)

Funkce je podobná jako u *Stream Segmentation*, neboť vytvoří rastr, který má oddělené oblasti, které jsou odvodňovány jednotlivými částmi toku. Pro každou takovou oblast opět vytvoří v atributové tabulce specifické číslo, které odpovídá dané části toku.

Obrázek 24: Výstup funkce Catchment Grid Delineation včetně atributové tabulky

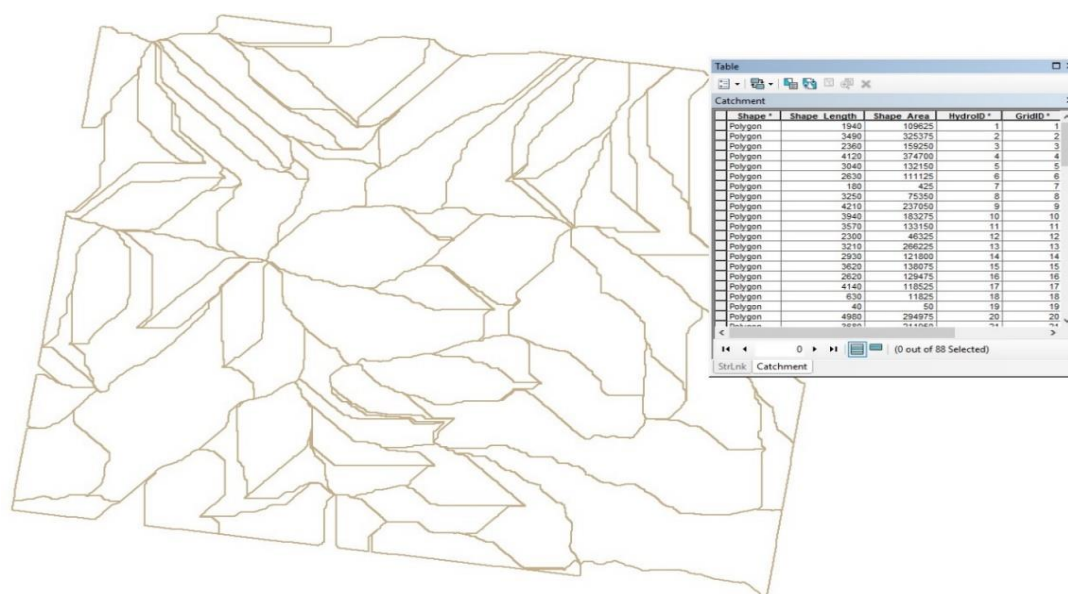


Zdroj: Vlastní zpracování

Zpracování polygonu povodí (Catchment Polygon Processing)

Touto funkcí se provede konverze rastru vytvořeného funkcí *Stream Segmentation* na vektor, respektive na polygonovou vrstvu. V atributové tabulce ke každé vrstvě vypočítá plochy a délky jednotlivých polygonů. Dále vytvoří položky GridID, která se shoduje s příslušnou oblastí HydroID, což je specifické číslo v rámci databáze, o kterém se zmíním v průběhu této práce.

Obrázek 25: Výstup funkce Catchment Polygon Processing

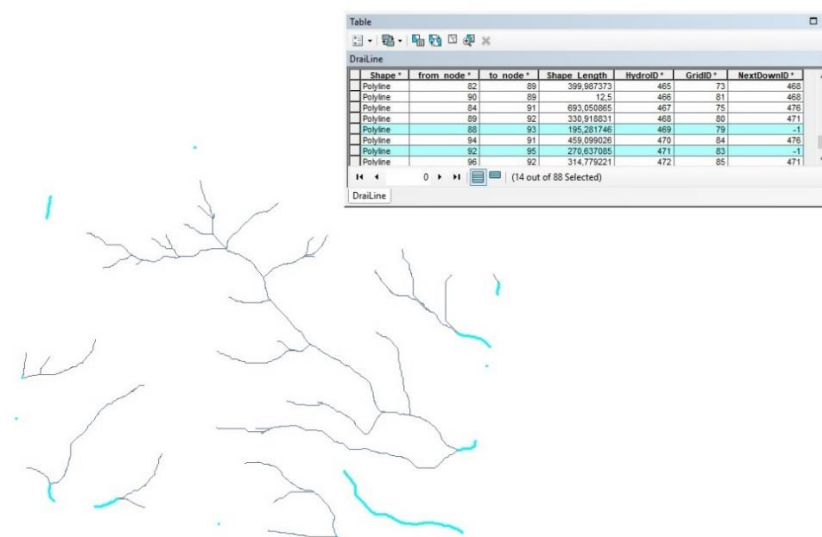


Zdroj: Vlastní zpracování

Zpracování odvodňovací linie (Drainage Line Processing)

Tato funkce je podobná funkci *Catchment Polygon Processing*, neboť z rastru *Stream Segmentation* vytváří opět vektor, ovšem nikoliv polygonovou vrstvu, ale liniovou vrstvu vodního toku. V atributové tabulce opět vytvoří položky HydroID, GridID a navíc další dvě položky s názvem FROM_NODE, TO_NODE a NextDownID. Položka FROM_NODE označuje, z jaké části tok navazuje na další část toku a položka TO_NODE vyznačuje, z jaké části tok daná částí ústí. Poslední položka NextDownID je unikátní identifikátor ramen toku po směru proudění, v případě, že má hodnotu -1 znamená, že již nenásleduje další část toku.

Obrázek 26: Výstup funkce Drainage Line Processing včetně atributové tabulky s hodnotou -1

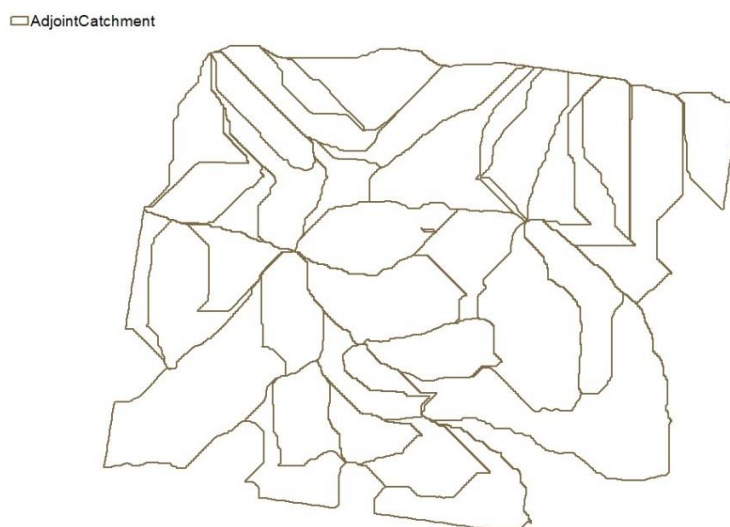


Zdroj: Vlastní zpracování

Zpracování dílčího povodí (Adjoint Catchment Processing)

Jedná se o funkci, která spojí dílčí polygony odvodňované jednotlivými částmi toku do polygonů, které jsou odvodňovány v rámci jedné navazující části toku. Po provedení opět přidá do atributové tabulky položky GridID, HydroID a zároveň v atributové tabulce funkce *Drainage Line Processing* vytvoří položku DrainID. Tato položka představuje hodnotu polygonu, ve kterém se daná část toku nachází. Tato funkce slouží spíše jako mezikrok k použití dalších funkcí jako je například *Watershed processing*.

Obrázek 27: Výstup nástroje Adjoint Catchment Processing

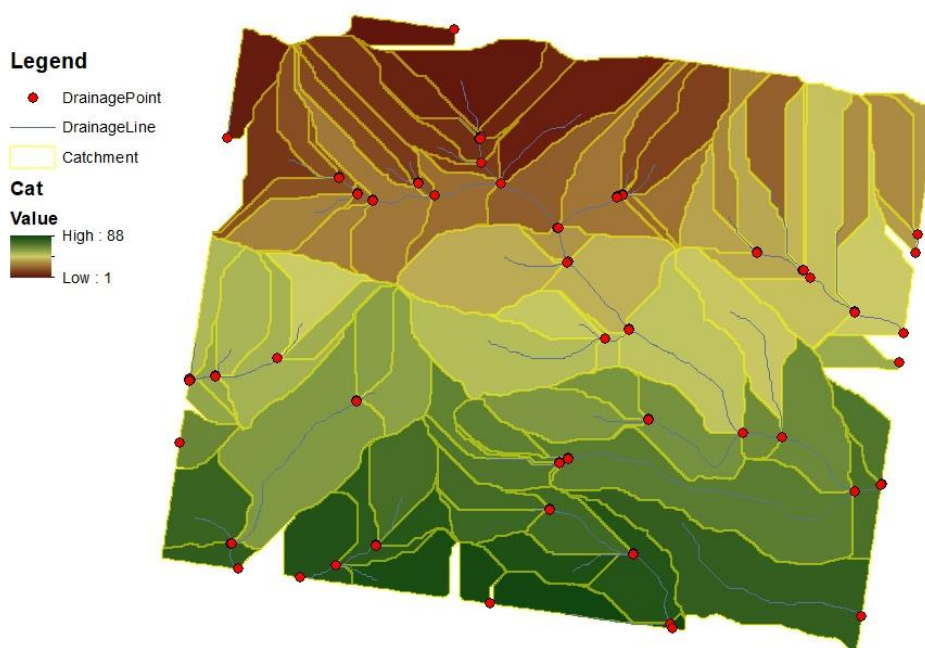


Zdroj: Vlastní zpracování

Zpracování odvodňovacích bodů (Drainage Point Processing)

Tato funkce umožňuje generování drenážních bodů spojené s povodím, respektive uzávěrových profilu jednotlivých polygonových vrstev. Ve výstupu funkce *Drainage Point Processing* jsou zobrazeny pouze body uzávěrových profilu jednotlivých polygonů, proto jsem pro lepší zobrazení drenážních bodů použil více 8vrstev (*Drainage Line*, *Catchment* a *Catchment Grid Delineation*) viz obrázek 28.

Obrázek 28: Výstup funkce Drainage Point Processing

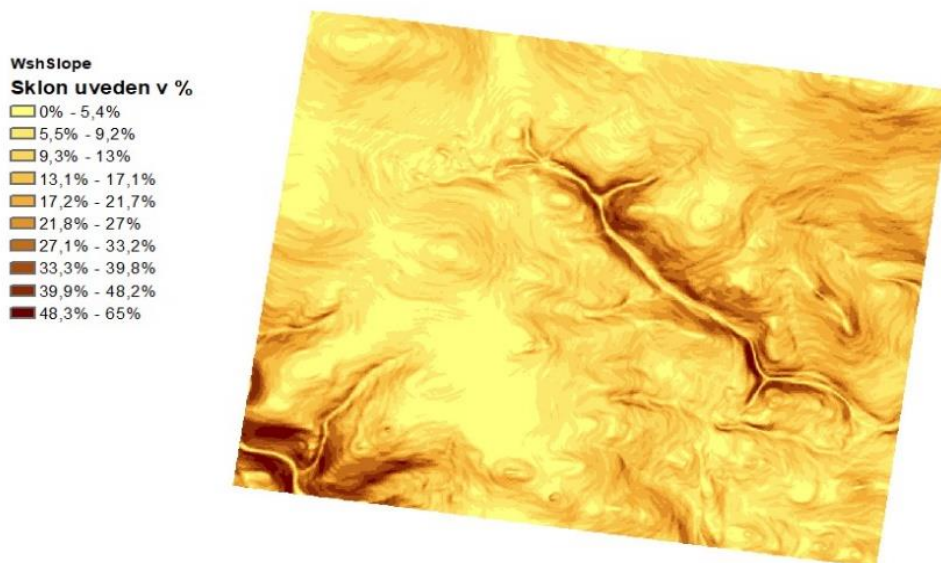


Zdroj: Vlastní zpracování

Sklon (Slope)

Tato funkce generuje sklonitost svahů v procentech nebo stupních. V tomto případě jsem zvolil sklonitost svahu v procentech. Pravidlem je samozřejmě čím kvalitnější vstupní data jsou použita, tím je výstup přesnější. Každopádně má vstupní data pro zobrazení funkce *Slope*, jsou zcela postačující a znázornění výstupního rastru sklonitosti je zobrazen na obrázku č. 29.

Obrázek 29: Výstup funkce Slope

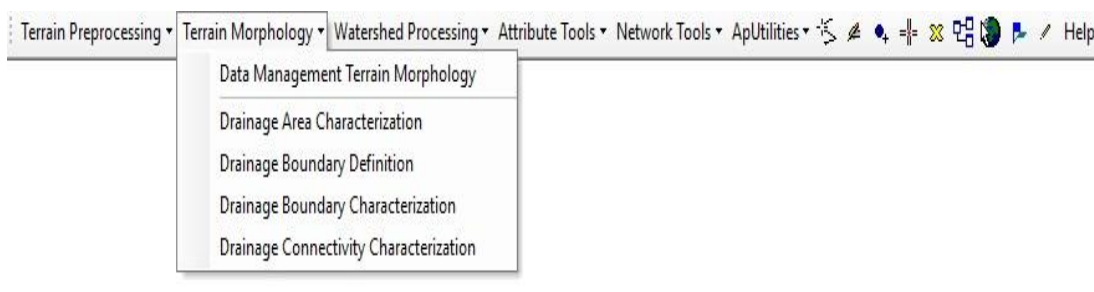


Zdroj: *Vlastní zpracování*

Morfologie terénu (Terrain Morphology)

Z názvu je již patrné, k jakým účelům bude tato sada nástrojů vhodná. Jedná se zejména o provádění analýz povrchu terénu a stejně jako u předešlých funkcí slouží především k přípravě dat pro další nástroje. Opět je zde nezbytný jako vstupní data DMT ve formě rastru či TINu a samozřejmě některé další charakteristiky získané z předešlé sady nástrojů *Terrein Preprocessingu*. Složení těchto nástrojů je znázorněno na obrázku č. 30.

Obrázek 30: Seznam nástrojů Terrain Morphology



Zdroj: *Vlastní zpracování*

Charakteristika odtokové plochy Drainage Area Characterization

Nástroj generuje křivky výšky, plochy a objemu pro sadu vybraných oblastí odtoku. Funkce rozděljuje každou oblast odvodnění na řezy a vypočítává charakteristiky elevace každého řezu, jakož i kumulativní plochu a objem, které jsou pod výškou horní části řezu. Tyto vlastnosti jsou uloženy ve výstupní tabulce Drain EAV zobrazena v tabulce č. 2. Nadmořská výška může být získána buď z DMT nebo z TIN.

Tabulka 2: Atributová tabulka výstupu drainage Area Characterization (DrainEAV)

OBJECTID	FeatureID	BottomElev	TopElev	SicElev	CumArea	CumVolume
1	1	785,984985	785,984985	785,984985	25	0
2	1	785,984985	801,911475	793,94823	23300	0
3	1	801,911475	817,837964	809,874719	40475	0
4	1	817,837964	833,764453	825,801208	63075	0
5	1	833,764453	849,690942	841,727698	92825	0
6	1	849,690942	865,617432	857,654187	109600	0
7	2	766,059509	766,059509	766,059509	25	0
8	2	766,059509	780,996436	773,527972	31950	0
9	2	780,996436	795,933362	788,464899	187700	0
10	2	795,933362	810,870288	803,401825	257825	0
11	2	810,870288	825,807214	818,338751	304625	0
12	2	825,807214	840,744141	833,275677	325350	0

Zdroj: Vlastní zpracování

Definice hranic odtoku (Drainage Boundary Definition)

Tento nástroj definuje 3D linie, které představují hranice odvodněného povodí a vytvoří další vrstvu s těmito liniemi. Opět vytvoří položku HydroID v atributové tabulce včetně minimální a maximální výšky (min.elev a max.elev) jednotlivých hraničních linií. Atributová tabulka výstupu je zobrazena v tabulce č. 3., kde jsou uvedeny přiřazené výšky a výstup funkce je na obrázku č. 31. HydroID je jedinečný identifikátor drenážní hranice v geodatabázi.

Tabulka 3: Výstup v podobě atributové tabulky Drainage Boundary Definition

Shape	OID	Shape_Length	HydroID	IsIncluded	IsDone	MinElev	MaxElev
Polyline ZM	1	1695	4296	1	0	785,985	865,8107
Polyline ZM	2	1180	4297	1	0	789,1466	841,0128
Polyline ZM	3	1590	4298	1	0	822,5333	877,3566
Polyline ZM	4	715	4299	1	0	832,3004	868,8437
Polyline ZM	5	145,0001	4300	1	0	841,0128	850,7694
Polyline ZM	6	355	4301	1	0	830,6995	838,5606

Zdroj: Vlastní zpracování

Obrázek 31: Výstup funkce Drainage Boundary Definition



Zdroj: Vlastní zpracování

Charakterizace odtokové hranice (Drainage Boundary Characterization)

Tato funkce vypočítá šířku, obvod a průřez spojené s plochami hranic povodí a ukládá je do výstupní atributové tabulky (*BoundaryEWA*). Funkce funguje na vybrané sadě drenážních hraničních linií, nebo na všech, pokud nebyla vybrána.

Tabulka 4: Výstupní atributová tabulka funkce Drainage Boundary Characterization

OBJECTID *	FeatureID	BottomElev	TopElev	SicElev	SicWidth	SicArea	CumArea	SicPerimeter
6450	4296	801,95014	809,93271	805,941425	662,996082	4750,592075	10131,992289	665,446575
6451	4296	809,93271	817,91528	813,923995	790,676179	5809,588917	15941,581207	794,230592
6452	4296	817,91528	825,89785	821,906565	930,891176	6879,552176	22821,133383	935,480228
6453	4296	825,89785	833,88042	829,889135	1098,227129	8059,138757	30880,27214	1103,69016
6454	4296	833,88042	841,86299	837,871705	1267,882841	9449,537328	40329,809468	1274,172986
6455	4296	841,86299	849,84556	845,854275	1481,492007	11018,411178	51348,220645	1488,453073
6456	4296	849,84556	857,82813	853,836845	1560,731907	12203,934371	63552,155016	1575,280235
6457	4296	857,82813	865,8107	861,819415	1695	12908,964182	76461,119198	1717,81614
6458	4297	789,1466	789,1466	789,1466	0	0	0	0
6459	4297	789,1466	794,33322	791,73991	270,308876	912,527735	912,527735	270,593002

Zdroj: Vlastní zpracování

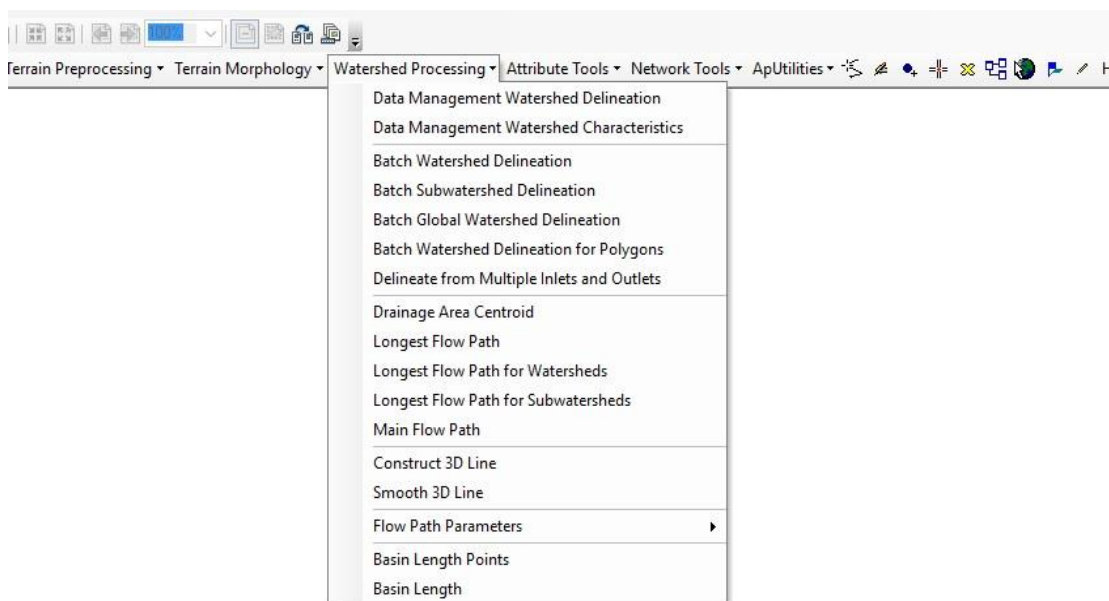
Charakteristika odvodnění (Drainage Connectivity Characterization)

Funkce generuje informace o konektivitě mezi drenážními oblastmi, tj. přes které jsou spojeny dvě odtokové plochy a odpovídající vazby. Funkce doplní vazbu z "centra" jednoho odvodňovacího prostoru do "centra" připojených odvodňovacích ploch. Tento odkaz (jeden prvek) se bude skládat ze dvou geometrických částí – jedné části vedoucí od středu jedné drenážní oblasti k nejnižšímu bodu na hranici mezi oběma oblastmi a druhá část od tohoto bodu na rozhraní k „centru“ v jiném drenážní oblasti.

8.2 Zpracování povodí (Watershed Processing)

V případě nástrojů uvedených pod záložkou *Watershed Processing* neboli zpracování povodí je důležité mít předpřipravená data z předešlých funkcí, zejména Terrain Preprocessing. Tyto data jsou zapotřebí, jelikož nesou informaci o terénu a charakteru odtoku.

Obrázek 32: Záložka Watershed Processing



Zdroj: Vlastní zpracování

Vymezení závěrových bodů (Batch Watershed Delineation)

Funkce vykreslí povodí k závěrnému bodu určeného pomocí nástroje *Batch Point Generation*, který je v stavovém panelu označen jako žlutý křížek viz obrázek č. 33.

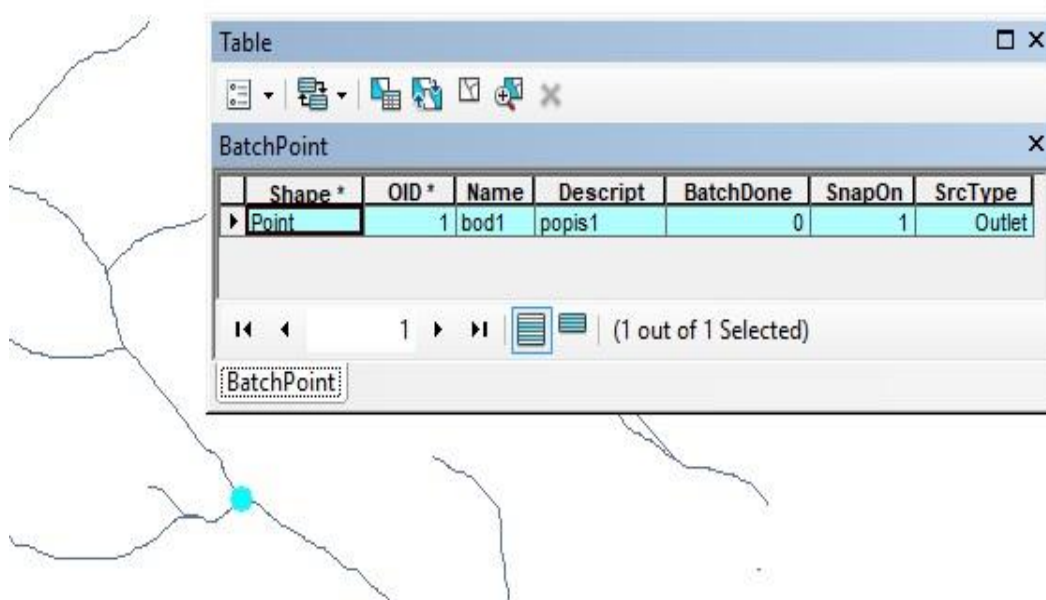
Obrázek 33: Nástroj BatchPointGeneration



Zdroj: Vlastní zpracování

Po aktivování tohoto nástroje se aktivuje dialogové okno s *BatchPoint*, které po potvrzení vytvoří vektorovou vrstvu bodu ovšem bez hodnot atributu, neboť poté mohou definovat bod mnohу zvolený a až po zvolení umístění bodu se zapiše do atributové tabulky. Pro demonstraci jsem zvolil název „bod1“ viz obrázek č. 34 včetně atributové tabulky s hodnotou mého zvoleného bodu a jeho popisu. Atributová tabulka obsahuje název (Name), další popis (Description), dále hodnotu **BatchDone** zdali má být k danému bodu vykresleno povodí (nelogicky 0 značí ANO, 1 značí NE), dále **SnapOn**, který značí zdali má být bod přichycen k nejbližší linii představující tok (hodnota 1 značí ANO, hodnota 0 značí NE) a **srcType** značí typ bodu (outlet - odtok, inlet - přítok).

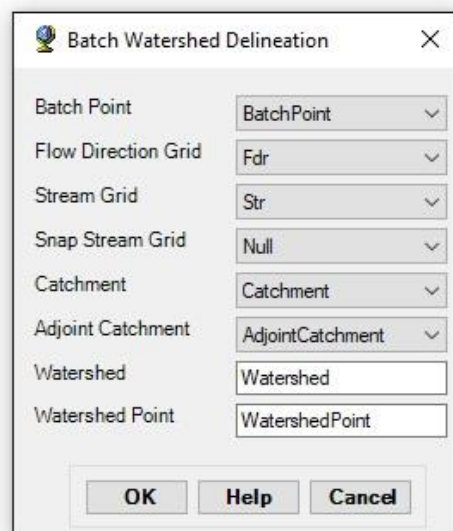
Obrázek 34: Výstup funkce BatchPoint



Zdroj: Vlastní zpracování

Po vytvoření daného bodu lze přistoupit k samotné funkci **Batch Watershed Delineation**. V dialogovém okně této funkce lze vidět důležitost předchozích funkcí nástrojů **Terrain Preprocessing**, neboť k vymezení povodí je využito mnoho informací o terénu, získaných právě touto sadou nástrojů, jak lze vidět na obrázku č. 35.

Obrázek 35: Dialogové okno funkce **Batch Watershed Delineation**



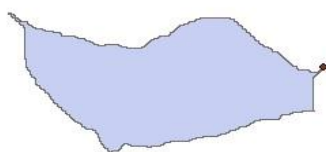
Zdroj: Vlastní zpracování

V případě provedení výpočtu této funkce vznikly dvě vrstvy. Těmito vrstvami je vrstva **WatershedPoint**, která představuje závěrový bod (v atributové tabulce opět přiřazeny hodnoty HydroID a DrainID) a vrstva **Watershed**, která představuje povodí k závěrovému bodu. V atributové tabulce lze navíc vidět, že kromě přiřazení hodnoty HydroID byla přiřazena i hodnota Název ze závěrového bodu, který jsem nazval „bod1“ a dále pak byla vypočtena plocha (*Shape_Area*) a obvod (*Shape_Length*) daného povodí.

Obrázek 36: Výstup nástroje Batch Watershed Delineation.

Shape *	OID *	Shape_Length	Shape_Area	HydroID	Name
Polygon	1	5050	679425	6273	bod1

Shape *	OID *	HydroID	DrainID	Name	Descript
Point	1	6274	6273	bod1	popis1

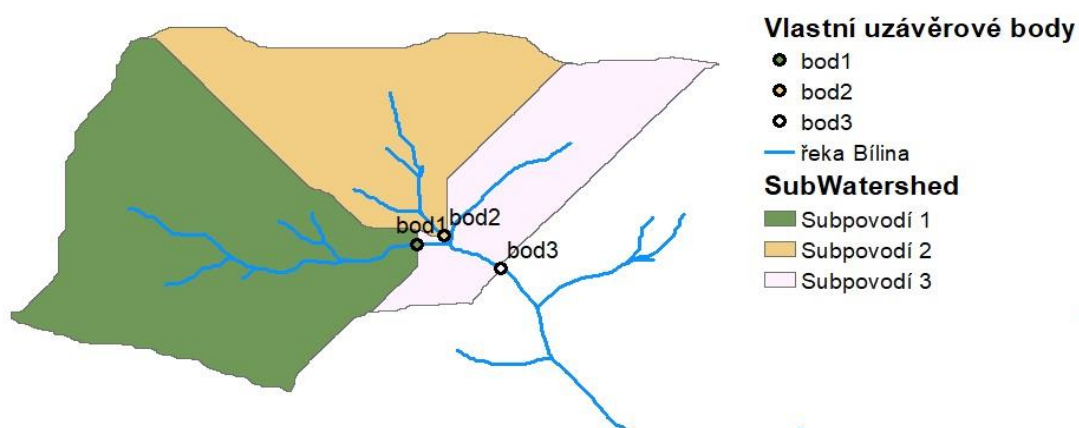


Zdroj: Vlastní zpracování

Vymezení dílčích povodí (Batch Subwatershed Delineation)

Tento nástroj provádí výpočet stejně jako předchozí, jen je při zadávání závěrových bodů velice podstatné zadat při aktivaci BatchPoint generátoru nový název např. SubBatchPoint, aby funkce zapisovala body jako dílčí. Pokud by se neprovedla změna na SubBatchPoint, tak by BatchPointGenerátor zapisoval uvedené body do atributové tabulky předchozí funkce *Batch Watershed Delineation*. Pro vykreslení dílčího povodí (Batch Subwatershed Delineation) jsem použil celkem 3 uzávěrové body, které jsem barevně oddělil pro lepší znázornění výstupu daného nástroje viz obrázek č. 37.

Obrázek 37: Výstup nástroje Batch Subwatershed Delineation

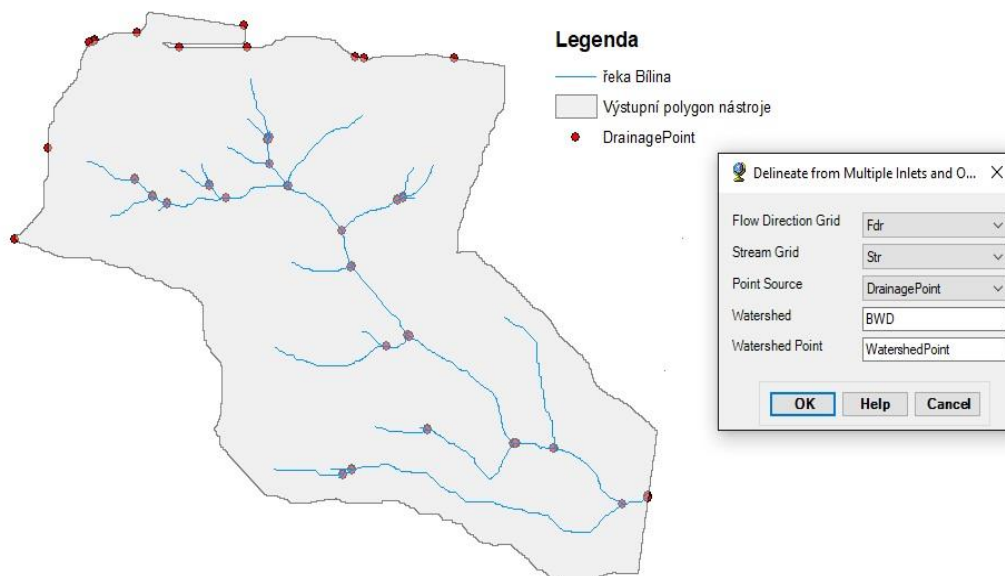


Zdroj: Vlastní zpracování

Vymezení z výstupu a vstupu (Delineate from multiple inlets and Outlets)

Tento nástroj umožňuje vymezení povodí na základě vstupních a výstupních míst (drenážních bodů). Pro vymezení povodí opět využívá výstupní data předešlých nástrojů. Pro doložení jsem přiložil k výstupu dialogové okno se vstupními daty a nechal zobrazeny drenážní body a vrstvu řeky Bílina pro lepší představu viz obrázek č. 38.

Obrázek 38: Výstupní polygon vytyčeného povodí dle funkce Delineate from multiple Inlets on Outlets

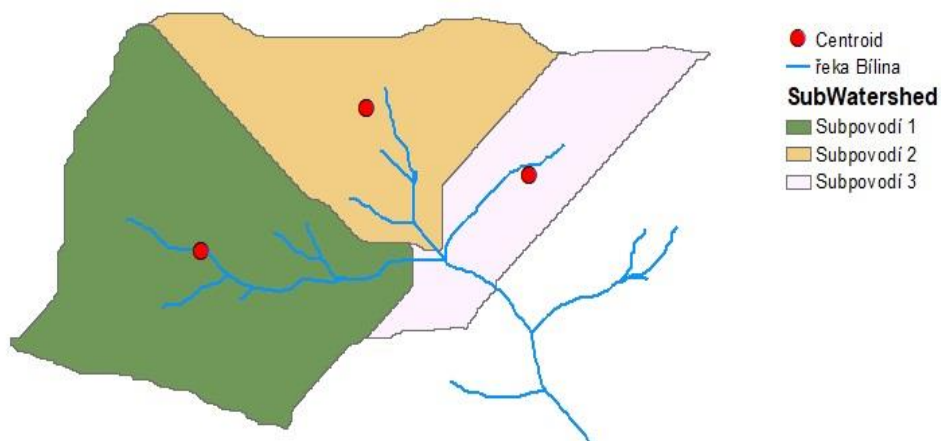


Zdroj: Vlastní zpracování

Těžiště ploch povodí (Drainage Area Centroid)

Tento nástroj vytvoří středové body každého polygonu povodí. Pro představu jsem výstup tohoto nástroje znázornil na obrázku č. 39. Vstupní data byla použita z předešlé funkce, a to *Batch Subwatershed Delineation*. Výstupem této funkce je takzvaný *Centroid* tedy vektorová vrstva bodů ztvárňující středy dílčích povodí (Subpovodí 1, Subpovodí 2 a Subpovodí 3).

Obrázek 39: Výstup funkce Drainage Area Centroid



Zdroj: Vlastní zpracování

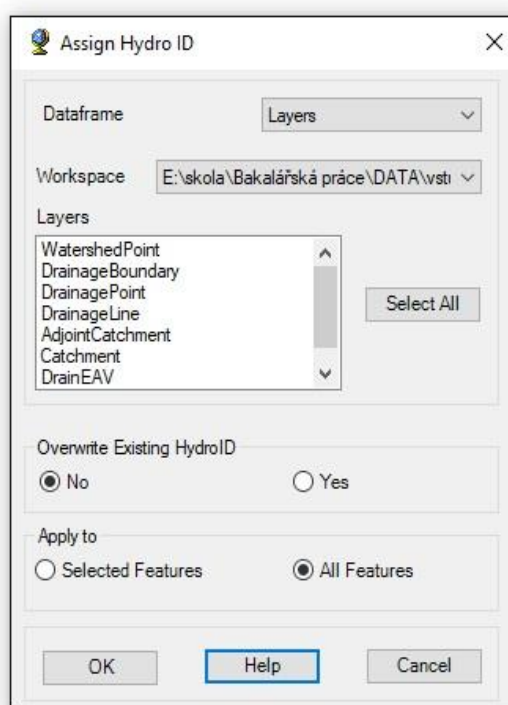
8.3 Nástroje atributů (Attribut tools)

Touto sadou nástrojů lze upravovat nebo vytvářet nové položky v atributových tabulkách. V těchto nástrojích zmíním jen některé z nich. Rozsah těchto funkcí je vysoký a je důležité správné použití, neboť může dojít k poškození původních dat, proto je vhodné veškerá data předem uložit.

Přidělení HydroID (Assign HydroID)

Tento nástroj přidělí takzvané HydroID a to u vrstev u kterých nebylo dosud vytvořeno. Navíc dokáže upravovat tuto hodnotu u již vytvořených vrstev v rámci databáze.

Obrázek 40: Dialogové okno funkce Assign HydroID.



Zdroj: Vlastní zpracování

Z dialogového okna je zřejmé, že úpravu mohu provádět pouze u projektu, který mám rozpracován, což ukazuje položka *Workspace* neboli pracovní plocha. Následná položka (*Layers*) ukazuje jaké vrstvy mohu upravit. Následně zdali chci původní hodnotu položky HydroID přepsat či nikoliv a v poslední řadě, jestli se mají hodnoty přiřadit všem vrstvám nebo jen vybrané.

Generování z/do spoje a linie (Generate From/To Node for Lines)

Tato funkce přidá do atributové tabulky pole FROM_NODE a TO_NODE čímž určí spoje hran v rámci geometrické sítě, ale pouze za předpokladu, že tyto hodnoty nebyly doposud zapsány. Mém případě jsem mohl zvolit pouze položky *DrainageLine* nebo *DrainageBoundary*. V tomto případě jsem zvolil *DrainageLine* a na obrázku č. 41 jsem zobrazil atributovou tabulku před a po použití této funkce.

Obrázek 41: Atributové tabulky DrainageLine před a po.

PŘED

Shape *	Shape Length	HydrolID *	GridID *	NextDownID *	DrainID
Polyline	20	390	1	-1	1
Polyline	249,497475	391	3	-1	3

PO

Shape *	Shape Length	HydrolID *	GridID *	NextDownID *	DrainID	FROM NODE *	TO NODE *
Polyline	20	390	1	-1	1	1	2
Polyline	249,497475	391	3	-1	3	3	4

Zdroj: Vlastní zpracování

Nalezení navazující line (Find Next Downstream Line)

Tento nástroj nalezne linii, která je navazující po směru toku a v atributové tabulce vytvoří položku *HydroID* a položku *NextDownstreamLine*.

Výpočet délky hrany po proudu a spoje po proudu (Calculate Length Downstream for Edges a Calculate Length Downstream for Junction)

Funkce těchto dvou nástrojů vypočítává vzdálenost spojů závěrových bodů povodí a hodnotu vzdálenosti zaznamená do atributové tabulky pod názvem *LenghtDown*.

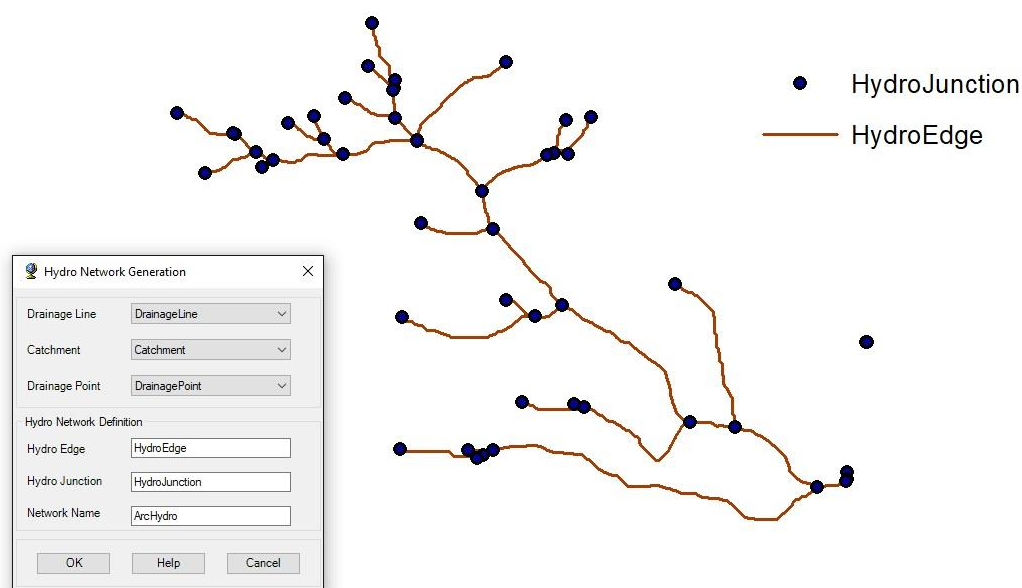
8.4 Síťové nástroje (Network Tools)

Sada nástrojů *Network Tools* slouží převážně ke správě a vytvoření geometrické sítě říčních toků, která slouží k jednotlivým popisům pohybu vody v prostředí. Taková to síť je propojená právě spoji a hranami (*junction a edges*). Každá hrana (edge) musí být připojena alespoň dvěma spoji (junction).

Vytvoření vodní sítě (Hydro Network Generation)

Tento nástroj generuje síť ze vstupních dat předešlých nástrojů sady Terrain Preprocessing. Na základě vstupních dat vygeneruje říční síť, které propojí hydro spoji (Hydro_Junction) a hydro hranami (Hydro_Edge) viz obrázku č. 42.

Obrázek 42: Výstup nástroje Hydro Network Generator



Zdroj: Vlastní zpracování

Vytvoření uzlu a spoje (NODE/LINK Schema Generation)

Tento nástroj vytvoří body geometrické říční sítě, ale samotná říční síť nebyla vytvořena.

Nastavení směru průtoku a zachování směru průtoku (Store Flow Direction a Set Flow Direction)

Tyto uvedené nástroje dále pracuje s vytvořenou geometrickou říční sítí.

9 Diskuse

Vstupní data zájmového území, která byla zakoupena z databáze ZABAGED byla rozdělena do více vrstev výškových vrstevnic, a proto bylo zapotřebí tyto vstupní data upravit do jedné vrstvy. Po upravení vstupních dat do jedné vrstvy bylo možné přistoupit k funkcím hydrologických nástrojů nadstavby Hydro Tools. Zde však bylo velice důležité, zkontrolovat, zdali vstupní data obsahují informace souřadnicového systému, aby nedocházelo při použití těchto dat k rozdílným výsledkům analýz hydrologických nástrojů. Při této kontrole jsem zjistil, že data obsahovala souřadnicový systém, který nebyl shodný s nastavením mého projektu. Proto bylo nutné vstupním datum nastavit správným souřadnicovým systémem, v mém případě S-JTSK.

Při použití hydrologických nástrojů nadstavby ArcHydro Tools ve verzi 2.0 jsem také zjistil, že některé nástroje jsou velice blízké či stejné, jako nástroje samotného softwaru ArcGIS. Dalším zjištěním bylo, že veškeré hydrologické nástroje je nutné provádět v pořadí, tak jak jsou za sebou seřazeny. Dodržením tohoto pořadí nástrojů se mi jeví, jako velice jednoduché a praktické řešení, neboť lze okamžitě vyhodnotit s jakými daty bude pracovat následující nástroj. Dále jsem zjistil, že například výstupní rastr funkce akumulace vody (water accumulation) může poskytnout celkovou představu o dostupnosti povrchové vody, což je velice cenným faktorem do dalších hydrologických studií. Domnívám se, že hydrologické nástroje nadstavby Hydro Tools softwaru ArcGIS budou v jiných programech obdobném a však odlišné od konkrétních funkcí.

10 Závěr

Daná nadstavba ArcHydro Tools je velice kvalitní sada nástrojů, kterými lze z DMT modelu zájmového území vykreslit jak povodí, vodní tok tak i závěrové body a dále pak svažitost terénu apod. Při práci s těmito nástroji jsem se snažil ukázat nejdůležitější funkce nástrojů. Nejdůležitější sadou nástrojů ArcHydro Tools je **Terrain Preprocessing**, neboť právě výstupy z této sady jsou nedílnou součástí pro použití následných nástrojů ArcHydro Tools.

První sada nástrojů **Terrain Preprocessing** nejprve upraví vstupní digitální model terénu, aby odpovídal analýzám, vytvoří vrstvy směru jakými jsou odtoky, akumulace vody, převede rastry na vektory a hodnoty zapíše do atributových tabulek pod dané položky **HydroID** (jedinečné číslo v rámci databáze) a **DrainID** (kód vtažený k HydroID korespondující vrstvy). Dále je zde nástroj, který dokáže vytvořit vrstvu rastru, který znázorňuje sklonitost terénu, a to buď v hodnotách procentuálních nebo v hodnotách stupňů. Při práci s těmito sadami nástrojů je velice důležité postupovat přesně tak, jak jsou chronologicky seřazeny. Pokud by se nedodržel postup dle chronologického seřazení, nebylo by možné pokračovat k dalšímu použití následujícího nástroje. Jak jsem již zmínil po získání výstupních dat první sady nástrojů, bylo možné pokračovat k nástrojům sady Watershed Processingu. V této sadě lze bez větších komplikací vytvořit hydrologické výstupy, jakými jsou povodí rozčleněna na jednotlivá dílčí povodí, dále pak vodní tok rozdělený na části podle odvodněných oblastí a uzávěrové body přiřazené k jednotlivým povodí. V neposlední řadě je to práce a úprava atributových tabulek pomocí nástrojové sady Atribut Tools, která ovšem vyžaduje již znalosti s danými atributy. V případě špatně zvolených úprav může dojít k nesprávnému zobrazení výstupních dat anebo dokonce jejich znehodnocení. V případě použití této sady nástrojů doporučuji veškerá data zálohovat. Pokud jsem se ovšem pokoušel přepsat nějaký důležitý atribut, který měl vyšší prioritu atributové tabulky, tak mne program vyzval k záloze dat automaticky.

Při použití výše uvedených sad nástrojů nadstavby arcHydro Tools softwaru ArcGis je velice podstatné použití kvalitních vstupních dat, neboť výstupy dat různých analýz budou přesnější a kvalitnější. Software ArcGis spolu s nadstavbou ArcHydro Tools představuje jednoduchou a komplexní aplikaci nejen pro správu hydrologických dat, ale i pro prostorovou představu hydrologie povodí. Touto prací jsem se snažil ukázat možnosti rozšíření softwaru ArcGis a její přínosy v hydrologii povodí.

11 Přehled Literatury a použitých zdrojů

Odborné publikace

HLAVÍNEK P., 2006: *Čistota vod*. VUT v Brně, Brno.

HUBAČÍKOVÁ, V., 2002: *Hydrologie*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.

JEDLIČKA, J., ŠTYCH, P., 2007: *Hydrologické modelování v programu ArcGIS*. Praha: CITT Praha Akademie kosmických technologií, oblast Galileo, GMES.

KEMEL, M., 1991: *Hydrologie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze.

KLIMÁNEK M., 2006: *Digitální modely terénu*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno.

KONEČNÝ, M., 1985: *Úvod do geografických informačních systémů*. Brno: Přírodovědecká fakulta UJEP.

RAPANT, P., 202: *Úvod do geografických informačních systémů*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut ekonomiky a systému řízení, oddělení GIS.

URBAN, J., 1991: *Digitální model terénu*. Praha: České vysoké učení technické v Praze.

Internetové zdroje

ARCDATA PRAHA. ESRI (online). [cit. 2019-03-08]. Dostupné z:
<https://www.arcdata.cz/>

BŘEHOVSKÝ, M., a JEDLIČKA K., *Úvod do Geografických informačních systémů: Přednáškové texty* (online). Západočeská univerzita [cit. 2014-09-10]. Dostupné z:
www.gis.zcu.cz/studium/ugi/e-skripta/ugi.pdf

ČADA, V., *Souřadnicové systémy*. Západočeská univerzita (online).
[cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://kgm.zcu.cz/studium/gen1/html/ch02s03.html>

ČEPICKÝ, J., *Vektorová data*: GISMentors: (online). [cit. 2019-03-08]. Dostupné z:
<http://training.gismentors.eu/open-source-gis/formaty/vektor.html>

ČEPICKÝ, J., *Rastrová data*: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem: (online).
[cit. 2019-03-08]. Dostupné z:
http://lesejk.cz/skoleni/grass/uvod/datove_typy/rastry.html

GISGeography: *The Remarkable history od GIS* (online). [cit. 2019-03-08].
Dostupné z: <https://gisgeography.com/history-of-gis/>

CHMELOVÁ PAVELKOVÁ, R., *Základy hydrologie*. Univerzita Palackého v Olomouci: Přednáškové texty (online). [cit. 2019-03-08]. Dostupné z:
<https://geography.upol.cz/soubory/studium/DS-GVS/Opora-DHYDR.pdf>

PACINA, J., *Souřadnicové systémy a transformace mezi nimi* (online).
[cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <http://gis.fzp.ujep.cz/files/6.pdf>

PAVELKOVÁ CHMELOVÁ R., *Základy fyzické geografie 1 - Hydrologie*. Univerzita Palackého v Olomouci: přednáškové texty (online). [cit. 2019-03-08]. Dostupné z:
<http://distgeo.upol.cz/uploads/vyuka/skripta-pavelkova-frajer.pdf>

RUDA, A., *Klimatologie a Hydrologie pro učitele*. Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity: Přednáškové texty (online). [cit. 2019-03-08]. Dostupné z:
https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pdf/ps14/fyz_geogr/web/pages/07-voda.html

SÁRKÖZY, F., *GIS functions-Interpolation*. Technical University Budapest (online). [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: http://www.agt.bme.hu/public_e/funcint/funcint.html

Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem: *Rastrová reprezentace* (online). [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: http://gis.fzp.ujep.cz/files/Prednaska2_1GIS2.pdf

Západočeská univerzita v Plzni: *Úvod do geografických informačních systémů GIS: Přednáškové texty* (online). [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://kgm.zcu.cz/studium/ugi/elearning/msgisu01s03cz/default.htm>

Západočeská univerzita v Plzni: *Úvod do GIS: Přednáškové texty* (online). [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://kgm.zcu.cz/studium/ugi/Prezentace/02-CoJeGIS.pdf>

12 Seznam obrázků

Obrázek 1: Historická mapa Johna Snowa	4
Obrázek 2: Ukázka vektorových prvků pomocí softwaru ArcGIS	7
Obrázek 3: Ukázka rastrových dat čtvercového tvaru s informací každé buňky	9
Obrázek 4: Souřadnicový systém stabilního katastru Gustenber, sv. Štěpán	13
Obrázek 5: Schéma Křovákovo zobrazení	13
Obrázek 6: Schéma Gaussova zobrazení	14
Obrázek 7: Schéma geocentrického souřadnicového systému	14
Obrázek 8: Schéma zobrazení UTM	15
Obrázek 9: Rozmístění vstupních dat	17
Obrázek 10: Výskyt možných chyb při nedostatečném množství dat	17
Obrázek 11: Ovlivnění odtoku a tranzitní, akumulární zóny v závislosti na zakřivení terénu	19
Obrázek 12: Hypsometrie	20
Obrázek 13: Vybrané území povodí řeky Bílina (viz červený rámeček).....	22
Obrázek 14: Výstup hydrologicky korektního DMT pomocí funkce topo to raster ...	23
Obrázek 15: Nástroje Arc Hydro Tools.....	24
Obrázek 16: Nástroje Terrain Preprocessing	25
Obrázek 17: Rozdíly mezi pracováním DMT bez/s funkcí Fill Skins	25
Obrázek 18: Kódování směru odtoku	26
Obrázek 19: Ukázka směru odtoku Flow direction (směr proudění) na DMT vybraného povodí.	26
Obrázek 20: Rastr akumulace vody (funkce Flow Accumulation)	27
Obrázek 21: Výstupní rastr funkce Stream Definition s atributovou tabulkou.	28
Obrázek 22: Vykreslení toku vlevo s počtem buněk 6000 a vpravo s automaticky definovanou hodnotou na 3576 buněk	28
Obrázek 23: Výstupní rastr funkce Stream Segmentation a atributová tabulka.	29
Obrázek 24: Výstup funkce Catchment Grid Delineation včetně atributové tabulky	29
Obrázek 25: Výstup funkce Catchment Polygon Processing.....	30
Obrázek 26: Výstup funkce Drainage Line Processing včetně atributové tabulky s hodnotou -1.....	31
Obrázek 27: Výstup nástroje Adjoint Catchment Processing.....	31
Obrázek 28: Výstup funkce Drainage Point Processing	32
Obrázek 29: Výstup funkce Slope	33
Obrázek 30: Seznam nástrojů Terrain Morphology	33
Obrázek 31: Výstup funkce Drainage Boundary Definition	35

Obrázek 32: Záložka Watershed Processing	36
Obrázek 33:Nástroj BatchPointGeneration	36
Obrázek 34: Výstup funkce BatchPoint.....	37
Obrázek 35: Dialogové okno funkce Batch Watershed Deliniation	38
Obrázek 36: Výstup nástroje Batch Watershed Delineation.	38
Obrázek 37: Výstup nástroje Batch Subwatershed Delineation.....	39
Obrázek 38: Výstupní polygon vytyčeného povodí dle funkce Delineate from multiple Inlets on Outlets.....	40
Obrázek 39: Výstup funkce Drainage Area Centroid	40
Obrázek 40: Dialogové okno funkce Assign HydroID.	41
Obrázek 41: Atributové tabulky DrainageLine před a po.	42
Obrázek 42: Výstup nástroje Hydro Network Generator.....	43

13 Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry různých elipsoidů	12
Tabulka 2: Atributová tabulka výstupu drainage Area Characterizacion.....	34
Tabulka 3: Výstup v podobě atributové tabulky Drainage Boundary Definition	34
Tabulka 4: Výstupní atributová tabulka funkce Drainage Boundary Characterization	35

14 Seznam zkratek

GIS	Geografický Informační systém
CGIS	Kanadský geografický informační systém
ESRI	Výzkumný ústav pro životní prostředí (Environmental Systems (Research Institute
GPS	Global Positioning Systems
GLONASS	Ruský globální družicový navigační systém
GNSS	Globální družicový polohový systém Galileo
DPZ	Dálkový průzkum Země
S-JTSK	Souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
AGS síť	Astronomicko - geodetická síť
WGS-84	World Geodetic systém
UTM	Univerzální transverzální Mercatorovo
NATO	Severoatlantická aliance (North Atlantic Treaty Organization)
DMT	Digitální model terénu
FFT	Rychlá Fourierova transformace