

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
Fakulta životního prostředí

Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování

HYDRAULICKÉ MODELOVÁNÍ V OBLASTI
VODNÍHO TOKU ÚSLAVA
(BLOVICE)

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Radek Roub, Ph.D.

Diplomant: Zuzana Šmrhová

2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Zuzana Šmrhová

Krajinné inženýrství

Název práce

Hydraulické modelování v oblasti vodního toku Úslava (Blovice)

Název anglicky

Hydraulic modelling in the catchment area of the river Úslava (Blovice)

Cíle práce

Hlavním cílem práce je analýza a zhodnocení současných odtokových poměrů řeky Úslavy v oblasti Blovice. Zkoumán je stav toku během povodňových průtoků, s cílem vymezení jejich záplavových území a vyhodnocení nejvíce ohrožených oblastí obce. Práce je dále zaměřena na zhodnocení aktuální protipovodňové ochrany území a případný návrh jejího vylepšení.

Metodika

Praktická část práce je založena na práci s lidarovými daty Digitálního modelu České republiky 5. generace. Data jsou zpracovávána pomocí programu ArcMap. Následné hydraulické modelování je prováděno v programu HEC-RAS.

Doporučený rozsah práce

Cca 60 stran + grafické přílohy

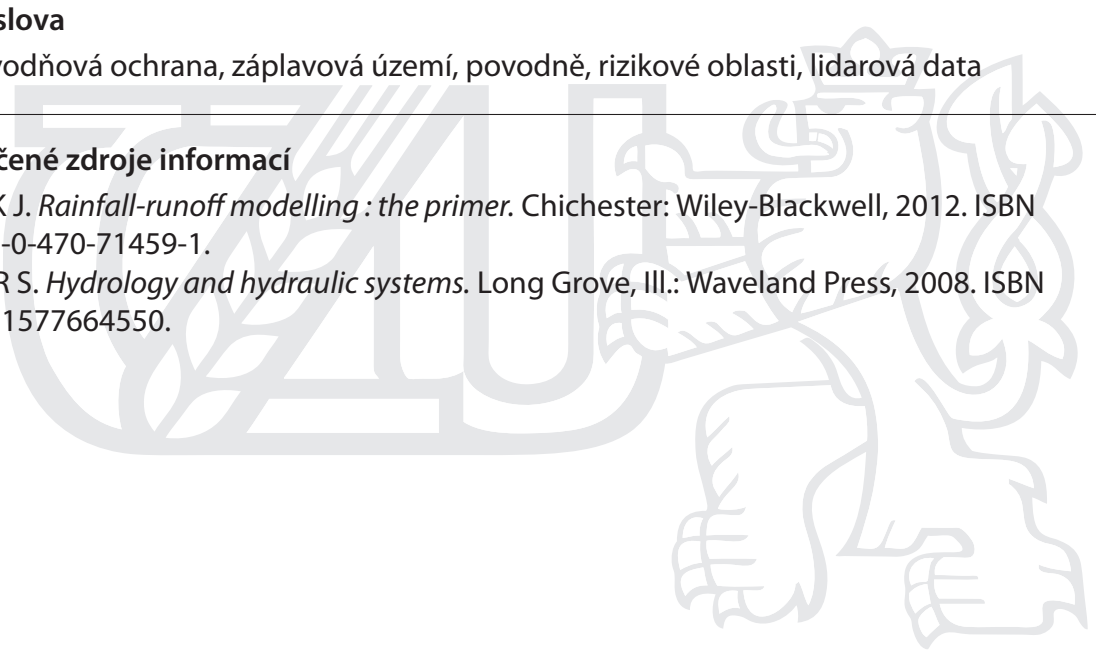
Klíčová slova

protipovodňová ochrana, záplavová území, povodně, rizikové oblasti, lidarová data

Doporučené zdroje informací

BEVEN, K J. *Rainfall-runoff modelling : the primer*. Chichester: Wiley-Blackwell, 2012. ISBN 978-0-470-71459-1.

GUPTA, R S. *Hydrology and hydraulic systems*. Long Grove, Ill.: Waveland Press, 2008. ISBN 9781577664550.



Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

Ing. Radek Roub, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 20. 4. 2015

prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 20. 4. 2015

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 21. 04. 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Radka Rouba, Ph.D. a že jsem všechny použité literární prameny řádně citovala a uvedla v příloženém seznamu literatury.

Ve Svěradicích dne 17. dubna 2015

.....

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé práce Ing. Radku Roubovi, Ph.D. za poskytnutí podkladových dat a vedení práce, RNDr. Radku Čekalovi, Ph.D. za poskytnutý čas na psaní práce a cenné připomínky a své rodině a přátelům za trpělivost, kterou se mnou během mých studií mají.

Abstrakt

Hlavním cílem diplomové práce je analýza odtokových poměrů řeky Úslavy během extrémních hydrologických událostí a vymezení záplavových oblastí pro jednotlivé hodnoty průtoků. Pozornost je věnována i současnému řešení protipovodňové ochrany v zájmovém území a návrhu jeho vylepšení. Rešeršní část práce je zaměřena na problematiku srážko-odtokového procesu a jeho jednotlivých složek, extrémním hydrologickým jevům a hydrologickému modelování. Povodňové události jsou na území České republiky druhem přírodního rizika, které má za následek největší počet lidských obětí a majetkových škod. Vymezení záplavových území je důležité především pro budoucí plánování využití krajiny. Jako zájmové území byla zvolena obec Blovice, která se nachází na břehu řeky Úslavy a povodněmi byla během několika posledních let často postižena. Jelikož v jejím okolí nejsou jednotlivá záplavová území vymezena, bylo tak učiněno v rámci práce. Zároveň byla vyhodnocena nejrizikovější zastavěná území a navrženy postupy pro protipovodňovou ochranu obce. Práce byla provedena na základě lidarových dat Digitálního modelu reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) v programu ArcMap a hydraulickém programu HEC – RAS.

Klíčová slova: protipovodňová ochrana, záplavová území, povodně, rizikové oblasti, lidarová data

Abstract

The main objective of this diploma thesis is an analysis of runoff conditions of the river Úslava during an extreme hydrological situations and demarcation of its floodplains areas for individual flow rates. Attention is paid to the current flood protection solutions in the studied area and to proposal for its improvement. The research part of the thesis is focused on rainfall-runoff processes and its individual parts, extreme hydrological situations and hydrological modelling. Flood events are in the Czech Republic one of the most dangerous type of natural hazards, which has resulted in the largest number of human casualties and property damage. Demarcation of floodplains areas is important for future land-use planning. As the studied area was in this thesis chosen the Blovice city, which is situated near the bank of the river Úslava and it was often affected by flooding during last few years. Because there's no demarcation of floodplains areas in the nearest neighbourhood of the city, they were made within this thesis. There were also evaluated the riskiest built-up areas and were designed procedures for an effective flood protection of the city. The thesis is based on lidar data of digital terrain model of the Czech Republic of the 5th generation in ArcMap program and in a hydraulic program HEC – RAS.

Key words: flood protection, floodplain areas, floods, risk areas, lidar data

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Cíle práce	12
3. Literární rešerše	13
3.1 Srážko-odtokový proces	13
3.1.1 Základní charakteristiky srážko-odtokového procesu.....	13
3.1.2 Hydrologická bilanční rovnice.....	14
3.1.3 Složky srážko-odtokového procesu.....	15
3.1.3.1 Srážky.....	15
3.1.3.2 Evapotranspirace	16
3.1.3.3 Intercepce	18
3.1.3.4 Infiltrace	18
3.1.3.5 Povrchový odtok	19
3.1.3.6 Podpovrchový odtok	21
3.2 Extrémní hydrologické jevy	22
3.2.1 Klimatická změna.....	23
3.2.2 Povodně.....	25
3.2.2.1 Předběžné a příčinné faktory povodní.....	28
3.2.2.2 Protipovodňová ochrana.....	28
3.2.2.3 Povodeň v červnu 2013	34
3.2.3 Sucho.....	38
3.3 Hydrologické modelování	39
3.3.1 Historie hydrologického modelování.....	39
3.3.2 Dělení hydrologických modelů	40
3.3.3 Jednotkový hydrogram.....	45
3.3.4 Model HEC – RAS	48
4. Charakteristiky zájmového území	50
4.1 Geologie, pedologie, geomorfologie	51
4.2 Klimatické podmínky	55
4.3 Biogeografické poměry	57
4.4 Hydrologie.....	59
5. Data a metodika	63
5.1 Tvorba digitálního modelu terénu	64

5.2	HEC – GeoRAS.....	66
5.3	HEC – RAS	69
5.4	Prezentace výsledků	71
6.	Současný stav poznatků	73
7.	Výsledky	78
8.	Diskuze	86
9.	Závěr	89
10.	Přehled literatury a použitých zdrojů	91
11.	Seznam obrázků	98
12.	Seznam tabulek	100
13.	Seznam příloh.....	100

1. Úvod

Během několika posledních desetiletí jsou extrémní hydrologické jevy společně s klimatickou změnou stále častěji diskutovaným tématem. Povodňové události se během posledních přibližně dvaceti let vyskytují nejen ve zvýšené míře, ale také v neobvyklých měřítcích. Stále častěji je tento nárůst spojován s pojmem klimatická změna. Na území České republiky byl během posledních desetiletí zaznamenán postupný nárůst průměrných ročních teplot a především změny v rozložení ročního chodu srážek. S těmito změnami souvisejí i změny v sezonalitě povodňových událostí. Do budoucna lze také očekávat zvyšující se výskyt epizod sucha.

Na území České republiky představují právě povodně nejrozšířenější typ přírodní katastrofy, jehož následkem jsou nejvyšší materiálové škody a ztráty na životech (Kakos, 2006). Asi nejvýraznějším příkladem nečekané extremity povodní jsou události ze srpna 2002, které svým rozsahem předčily všechna očekávání. Staly se také významným podnětem pro zvýšení zájmu o protipovodňovou ochranu, která se od té doby přesouvá z ochrany jednotlivých prvků do podoby komplexní protipovodňové ochrany.

V současnosti dochází především k posunu od aktivní protipovodňové ochrany osídlených oblastí k jejím pasivním formám. Hlavním cílem pasivních protipovodňových opatření je navýšení retenční schopnosti krajiny. Retence vody v krajině do značné míry ovlivňuje průběh povodně již od jejího prvopočátku. Může ovlivnit nejen velikost kulminace povodňového průtoku, ale především doběhovou dobu povodně. S použitím vhodných opatření je tak možné prodloužit čas nezbytný k evakuaci obyvatel ohroženého území. Zvyšování retence krajiny může být docilováno několika způsoby. Mezi základní z nich se řadí změny ve využití území, revitalizace říčních toků či využití suchých poldrů nebo malých vodních nádrží (Janský, 2004).

I přesto, že způsobů jak se bránit před povodněmi a zmírňovat jejich následky je celá řada, vždy je třeba pamatovat si, že absolutní ochrana před povodněmi není možná. Povodně a vždy byly přirozenou součástí krajiny a odjakživa se podílejí na

jejím utváření. Je tedy důležité naučit se s nimi žít a s jejich výskytem počítat i do budoucna.

V zájmové oblasti Blovic protéká řeka Úslava. Během několika posledních let zde bylo zaznamenáno hned několik povodňových událostí. Tou zatím poslední byly povodně v červnu 2013. Velmi často je zaplavován především zámecký areál, který je cennou historickou památkou. Zaplavována bývá též zástavba nacházející se na levém břehu toku a zahrádkářská oblast na břehu pravém. I přesto zde však nejsou navržena spolehlivá opatření přispívající k zadržení vody v krajině a pomáhající minimalizovat rozlivy toku do zastavěné oblasti.

2. Cíle práce

Mezi hlavní cíle práce se řadí stručné seznámení s problematikou srážko-odtokového procesu v krajině, hydrologických extrémů, protipovodňové ochrany a hydrologického modelování. Stěžejním cílem je analýza a zhodnocení současných odtokových poměrů a zhodnocení a případný návrh řešení problematiky protipovodňové ochrany v zájmové oblasti.

Jedním z hlavních podkladových vstupů je digitální model terénu, vytvořený na základě vstupní bodové vrstvy. Proto je zvýšený zájem věnován i výběru vhodného postupu a vytvoření digitálního modelu terénu, co nejvíce odpovídajícímu reálné situaci.

Základní cílem práce je zhodnocení současného stavu toku a jeho rozlivů během různých povodňových událostí v oblasti. Na základě těchto rozlivů budou následně vymezena záplavová území v okolí toku. Sledována jsou především zastavěná území v oblasti obce Blovice. V této oblasti budou vymezena nejzranitelnější území. Dále bude provedena analýza současných protipovodňových opatření, popřípadě návrh umístění opatření nových. Vzniklá opatření by měla přispět k retenci vody v území a k ochraně zastavěných částí obce před rozlivy vody z koryta toku. Aby bylo docíleno co nejvyššího zvýšení retence, bylo by potřeba brát v úvahu změny nejen v zájmovém území, ale v průběhu celého toku, již od jeho pramenné oblasti. Při návrhu a realizaci protipovodňových opatření je také potřeba brát v úvahu i jejich následné projevy níže po toku. Nesmí nastat situace, kdy by protipovodňové opatření v jednom bodě sice pomohlo, níže po toku by však situaci podstatně zhoršilo.

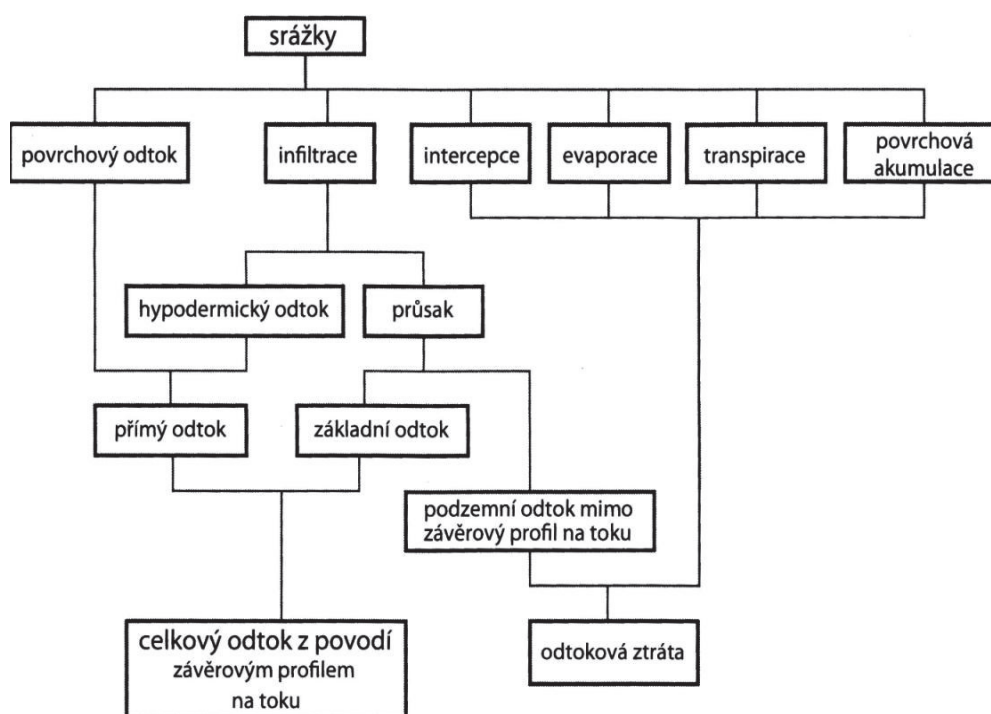
Hlavní částí práce s daty představuje práce v programech ArcMap a HEC – RAS. V Programu ArcMap bude vytvořena podkladová vrstva digitálního modelu terénu. Pomocí jeho extenze HEC – GeoRAS pak budou vytvořeny vstupní vrstvy pro program HEC – RAS, kde následně probíhají analýzy průtoků. Výsledné vrstvy jednotlivých rozlivů budou následně opět prezentovány prostřednictvím extenze HEC – GeoRAS v programu ArcMap

3. Literární řešerše

3.1 Srážko-odtokový proces

3.1.1 Základní charakteristiky srážko-odtokového procesu

Srážko-odtokový proces je velmi složitý děj, během kterého dochází k přeměně srážek na odtok. Jeho součástí jsou veškeré děje, odehrávají se mezi vstupem vody v podobě srážky do povodí a jejím výstupem, ať již v podobě odtoku či výparu (obr. č. 1).



obr. č. 1 – Schéma srážko – odtokového procesu (Královec, 2011)

Hlavní vstup do srážko-odtokového procesu je představován kapalnými či pevnými srážkami. Část srážek je zachycena ještě před dopadem na zem intercepcí na povrchu rostlin, stromů či budov, odkud může docházet k jejímu zpětnému výparu do atmosféry. Část srážek je zpětně do atmosféry odpařována rovnou. Pokud se voda dostane až k zemskému povrchu, dochází k její infiltraci do půdy. Část vsáklé vody je využita rostlinami a následně vypařena do atmosféry. Tento proces je nazýván transpirací. Společně s výparem vody ze zemského povrchu pak vytváří evapotranspiraci. Dále infiltrující voda, která není využívána rostlinami, se dostává

hlouběji do půdy, kde se účastní podzemního odtoku. Voda setrvávající na zemském povrchu nejprve zaplňuje menší terénní deprese, z nichž se může posléze vypařovat či infiltrovat do půdy. V případě, že dojde k překročení kapacity těchto depresí, se srážková voda začíná podílet na povrchovém odtoku (Gupta, 2001). Ačkoliv se jedná o velmi komplikovaný a složitý proces, bývá zjednodušeně popisován pomocí takzvané bilanční rovnice.

3.1.2 Hydrologická bilanční rovnice

Oceán, pevninské vody, ledovce, atmosféra a vzájemné toky mezi nimi jsou hlavními složkami globálního hydrologického systému. Celkový objem vody, kterou tento systém obsahuje, je odhadován přibližně mezi 1,38 až 1,5 miliardami km³. V systému převažují toky ve formě plynné a kapalné, vyskytují se zde však i výměny ve formě pevných látek (Jones, 1997).

Bilanční rovnice je ve své zjednodušené formě využívána pro kvantitativní vyjádření hydrologického cyklu. Je vyjadřována ve tvaru:

$$H_S = H_O + H_V + H_R,$$

kde H_S představuje množství vody spadlé v podobě srážek, H_O množství vody podílející se na povrchovém a podpovrchovém odtoku, H_V klimatický výpar a H_R změny zásob vody v povodí (Dub, Němec a kol., 1969)

Toto vyjádření bilanční rovnice vyjadřuje její velmi zjednodušenou podobu. Bývá proto často nahrazováno různými složitějšími variantami. Asi nejpoužívanější z nich je rovnice ve tvaru:

$$H_S = H_O + H_V \pm H_R \pm H_U,$$

kde H_S vyjadřuje roční výšku srážek spadlých na povodí, H_O roční výšku odtoku, H_V roční výšku výparu, H_R roční změnu zásob vody v povodí a H_U výměnu vody se sousedním povodím (Langhammer, 2007).

Ať je použita jakákoliv z variant hydrologických bilančních rovnic, její proměnné musí být vždy bezpodmínečně vztaženy ke stejnému místu a času. Není možné pro rovnici používat členy z různých oblastí a z různých časových období (Dub, Němec a kol., 1969). Nejčastějším obdobím, pro které bývá bilanční rovnice používána, je hydrologický rok. Jedná se o dobu, kdy veškerá voda, která na území

spadla v podobě srážek, také odteče. Na území České republiky byl počátek hydrologického roku stanoven na 1. listopadu a jeho konec tudíž na 31. října. Ve světě se jeho stanovení liší podle klimatického pásma a srážko-odtokových poměrů daného území (Kemel a Kolář, 1980).

V hydrologické bilanci České republiky představuje téměř jediný zdroj vody pro naše území srážková činnost. Přítok vody z okolních států je téměř zanedbatelný, což představuje výhodu v tom, že na naše území nepřitéká znečištěná voda odjinud. Průměrný roční odtok z našeho území činí přibližně 15,6 miliard m³. Objem odtoku představuje přibližně 28,8 % objemu spadlých srážek, z čehož vyplývá, že hlavním zdrojem výdeje vody z krajiny je v případě naší republiky výpar (Janský a kol., 2006).

3.1.3 Složky srážko-odtokového procesu

3.1.3.1 Srážky

Srážky představují jeden z klíčových parametrů hydrologické bilanční rovnice. Jako atmosférická srážka je označován výsledek kondenzace vodních par v ovzduší, dostávající se k zemskému povrchu v kapalně či pevné formě. Celkové množství vody nacházející se v atmosféře bývá odhadováno na 500000 km³. Přibližně 90 % tohoto objemu je obsaženo v nejnižších 6 kilometrech atmosféry. Množství atmosférické vody by mělo přibližně odpovídat celkovému zemskému výparu, ve všech jeho formách (Jones, 1997).

Srážky lze rozlišovat na horizontální (usazené) a vertikální (padající). V podobě vertikálních srážek spadne na zemský povrch podstatně větší množství vody než ve srážkách horizontálních. Z tohoto důvodu jsou horizontální srážky ve většině případů zanedbávány (Dub, Němec a kol., 1969). Na podobu a charakter odtokového procesu má významný vliv charakter, množství a zeměpisné rozmístění srážek. Mezi nejdůležitější charakteristiky patří množství srážek, doba trvání, intenzita a vydatnost srážky. Intenzita srážky je důležitým faktorem například při hodnocení infiltračních schopností půdy. Například během dlouhotrvajícího deště s nízkou intenzitou je půda schopna infiltrovat větší množství spadlé vody než během deště krátkodobého o vysoké intenzitě. V případě prudkých intenzivních dešťů tak dochází k rychlejší tvorbě povrchového odtoku (Tarboton, 2003).

Měření srážek je prováděno dvěma možnými způsoby, distančně a přímo. Distanční měření je prováděno pomocí radarů a jeho výstupem jsou radarová data vznikající na základě radarové odrazivosti. Měření přímé je měřením pozemním, kdy jsou jednotlivé veličiny měřeny sítí srážkoměrných stanic. Výsledky staničního měření jsou však omezeny pouze místem stanice a pro rozprostření dat na území je nutná jejich interpolace. Pro převod dat staničních na data plošná bylo vyvinuto množství numerických technik a metod. Jedněmi ze základních metod jsou metody staničních a aritmetických průměrů a metody vážených průměrů. Při použití metody aritmetického průměru je počítán pouze aritmetický průměr srážkových úhrnů na všech stanicích, které jsou hodnoceny stejnou vahou, bez ohledu na jejich rozmístění. Nejpoužívanějšími metodami vážených průměrů jsou metoda Thiessenových polygonů či metoda izohyet. Principem Thiessenových polygonů je přiřadit ke každé stanici odpovídající plochu, v závislosti na její důležitosti v porovnání s ostatními. Metoda izohyet využívá jako podklad izohyetickou mapu, na kterou je aplikována klasická kartografická interpolace (Gupta,2011).

3.1.3.2 Evapotranspirace

Evapotranspirace je jednou z několika možných forem výparu vody. Celkově je výpar rozdělován do tří hlavních druhů. Kromě evapotranspirace je vyčleňován i výpar vody z volné vodní hladiny a výpar ze sněhu a ledu. Evapotranspirace se sama o sobě skládá ze dvou procesů, evaporace a transpirace. Evaporace představuje množství vody vypařované z holé půdy a transpirace ztráty vody způsobené čerpáním a odpařováním rostlinami (Dub, Němec a kol., 1969). Evaporace je rozdělována na aktuální a potenciální. Zatímco aktuální evapotranspirace vypovídá o skutečných hodnotách výparu v daném bodě za aktuálních podmínek, potenciální evapotranspirace popisuje možný výpar za předem stanovených prostorových i meteorologických podmínek (Jones, 1997). Hodnoty evapotranspirace jsou závislé na množství dostupné vody a především na ploše, ze které je voda odpařována. S rostoucí teplotou vody a vzduchu a zvyšující se rychlostí větru hodnoty evapotranspirace stoupají. Naopak při zvyšující se vlhkosti vzduchu a růstu množství vodních par ve vzduchu dochází k jejich poklesu. Chod hodnot je z hlediska denních i sezónních cyklů velmi proměnlivý. Dalším faktorem, který ovlivňuje hodnoty je

krajinný pokryv povrchu. V podmínkách České republiky dosahují nejvyššího evaporačního potenciálu husté vrbové porosty (Dostál a kol., 2012).

První pokusy o vyčíslení hodnoty evapotranspirace lze datovat k roku 1802, kdy John Dalton publikoval své teorie o potenciální výparnosti rostlin. Na výsledky jeho práce navázala v průběhu 19. století tvorba prvního evapotranspiračního modelu (Katul a Novick, 2009). I přes mnohé studie snažící se o jejich vyčíslení, jsou vzhledem ke své složitosti a komplexnosti evapotranspirační procesy velmi obtížně měřitelné. Měření vypovídající o evaporačních ztrátách je prováděno pomocí vodních nádrží a výparoměrů, transpirační ztráty lze však změřit jen velmi těžko. Proto je celková evapotranspirační ztráta velmi často odvozována ze stanovené potenciální evapotranspirace či měřena lyzimetrem (obr. č. 2). Lyzimetry měří aktuální evapotranspiraci. Při stálých vlhkostních podmínkách je výsledkem rozdíl mezi spadlými srážkami a množstvím vody zachyceným pod nádobou. Potenciální evapotranspirace je určována na základě měření pomocí evapotranspirometru. Evapotranspirometr je nádoba obsahující vzorek půdy i s vegetačním krytem, který co nejvíce odpovídá podmínkám zkoumané oblasti. Úbytek vody, ke kterému došlo výparem, je zjišťován pomocí zvážení nádoby (Jones, 1997).



obr. č. 2 – Lyzimetr; (www.ekotechnika.cz)

3.1.3.3 Intercepce

Intercepce představuje dočasné zachycení srážek na povrchu rostlin. Srážky, které byly zachyceny, se již dále nepodílejí na srážko-odtokovém procesu a dochází k jejich postupnému výparu zpět do atmosféry (Gupta, 2011). Množství srážek, které jsou zachyceny, závisí na druhu srážky, teplotě a vlhkosti vzduchu, větru a na typu a stáří rostlin. Míra schopnosti zachytit srážkovou vodu je nazývána intercepční kapacita a je závislá na druhu vegetace. Nejvyšší bývá zpočátku srážky, zejména při srážkách o nízké intenzitě. Po jejím překročení již voda propadáva skrze vegetaci až k zemskému povrchu. Pevné srážky jsou na povrchu rostlin zadržovány déle a ve větším množství než srážky kapalné. Doba, po kterou jsou intercepční schopnosti rostlin účinné, je závislá na délce trvání a intenzitě srážky (Klimo, 1994).

V případě lesních porostů se intercepce stává velmi významnou složkou vodní bilance. Na intercepci se zde podílí veškerá vegetace. Zapojeno je nejen stromové, ale i keřové a bylinné patro. U lesních ekosystémů se průměrné hodnoty intercepce pohybují okolo 30 %, zatímco u lučních společenstev tato hodnota tvoří přibližně 25 % a u polních pouze kolem 15 % (Klimo, 1994).

3.1.3.4 Infiltrace

Po dosažení zemského povrchu se srážková voda začíná vsakovat do půdy. Může docházet k celkovému či k pouze částečnému vsaku. Část vsáklé vody se prostřednictvím evapotranspirace odpaří zpět do atmosféry a část je ve formě půdní vlhkosti udržována v pórech. Voda v pórech se procesem filtrace dostává stále více do hloubky, až narazí na hladinu podzemní vody, kde se připojuje k podzemní vodě nebo odtéká skrze hypodermický či podzemní odtok z povodí (Chang, 2003). Schopnost půdy transportovat vodu je závislá na velikosti půdních částic a jejich uspořádání, tedy na půdní propustnosti. Jako intenzita infiltrace je označováno množství vody, které je půda schopna vsáknout za jednotku času. Intenzita je uváděna v mm/min či v l/s. Od počátku vsaku se její velikost postupně zmenšuje, až půda dosáhne stavu úplného nasycení vodou. Velikost infiltrace, udávaná v mm, značí celkové množství vody, které se vsáкло do půdy od počátku infiltrace do doby t . Někdy je velikost infiltrace nahrazována mírou infiltrace, která je udávána v m^3/ha . Míra infiltrace je závislá na intenzitě srážek, druhu vegetačního pokryvu a na fyzikálních vlastnostech půdy. Její hodnota je vysoká u půd suchých a snižuje se

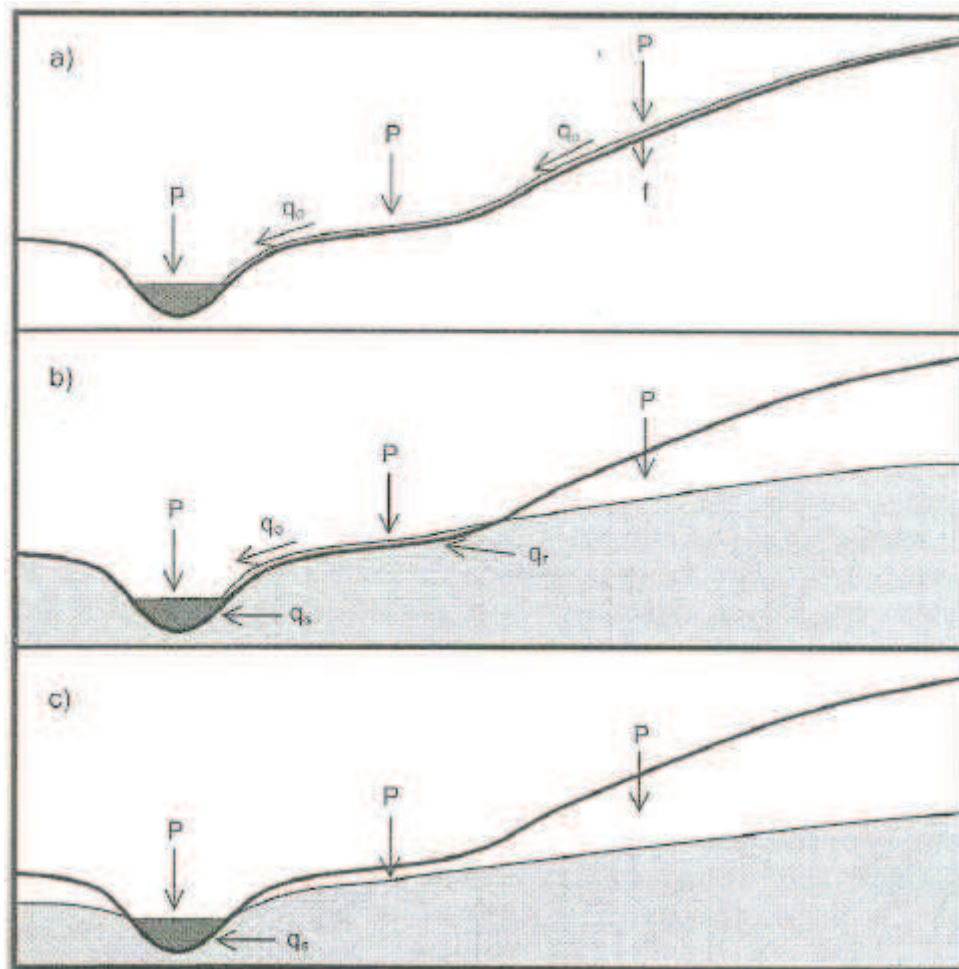
s rostoucí vlhkostí (Dub, Němec a kol., 1969). V závislosti na povrchovém tlaku je rozlišována infiltrace tlaková a beztlaková. Tlaková infiltrace probíhá pod vlivem vodního sloupce na povrchu půdy, zatímco při beztlakové je na povrchu pouze tolik srážek, kolik se jich stačí infiltrovat (Císlerová, 1989).

Proces infiltrace byl poprvé podrobně popsán v Hortonově teorii odtoku, kde byla brána jako podstatná součást srážko-odtokového procesu. Míra infiltrace určuje velikost hydrologicky efektivní srážky, což je veškerá voda, která zbyla na zemském povrchu po proběhnutí procesů infiltrace, evapotranspirace, intercepce a povrchové retence. Díky tomu je infiltrace brána jako jedna z hlavních složek srážko-odtokových modelů (Jones, 1997).

Půdní vlhkost představuje množství vody, které zůstává zadržené v půdním profilu. Toto množství určuje reakci povodí na další srážkové události. S narůstající půdní vlhkostí klesá množství vody, která se infiltruje a roste tak procento efektivních srážek následující srážkové události. Půdní vlhkost je tedy ekvivalentem pro pojem podpovrchová voda. Podpovrchová voda lze podle své polohy v půdním profilu dělit na vodu v zóně aerace a vodu v zóně saturace. V zóně aerace je obsažena větší část podpovrchové vody. Jedná se o částice vody v pórech, které za normálních okolností obsahují více vzduchu než vody. Voda se zde udržuje prostřednictvím absorpčních, adsorpčních, osmotických a kapilárních sil. Ze zóny aerace dochází ke ztrátám skrze evapotranspiraci či perkolaci do zóny saturace (Jones, 1997).

3.1.3.5 Povrchový odtok

Povrchový odtok je také nazýván odtokem přímým. Jedná se o nejrychlejší část odtoku vody z povodí. Podle způsobu vzniku jsou rozlišovány tři hlavní druhy povrchového odtoku (obr. č. 3), Hortonovský, Dunneho a opětovná exfiltrace vody (Beven, 2001).



obr. č. 3 – Typy povrchového odtoku: a) Hortonovský, b) Dunneho, c) opětovná exfiltrace vody (Beven, 2001)

Hortonovský odtok je nejběžnějším z nich. Vzniká při překročení infiltračních schopností půdy. Teorii Hortonovského odtoku jako první popsal americký hydrolog Robert E. Horton, podle kterého též nese svůj název. Srážky jsou rozdělovány na ty, které jsou po dopadu na zemský povrch infiltrovány a následně u nich dochází ke ztrátám evapotranspirací a perkolací a ty, které neinfiltují a účastní se přímo povrchového odtoku. Infiltrované srážky pomalu prosakují do podzemní vody a v období nízkých vodních stavů přispívají k dotacím vodních toků. Do půdy voda přestává infiltrovat při vysoké intenzitě deště, kdy dojde k překročení infiltrační rychlosti, či při překročení infiltrační kapacity. Hortonova teorie povrchového odtoku je základem mnoha srážko-odtokových modelů, včetně jednoho z nejpoužívanějších black box modelů, Shermanova jednotkového hydrogramu (Jones, 1997).

Dunneho odtok vzniká překročením retenční kapacity povrchu. Od Hortonovského odtoku se liší především způsobem nasycení půdního profilu vodou.

Zatímco u Hortonovského odtoku se nasycuje půda shora, pomocí srážek, u Dunneho odtoku dochází k nasycení půdy skrze podzemní vody zdola (Beven, 2001). Základem Dunneho odtoku byla teorie vzniku povrchového odtoku prosakováním podzemní vody na povrch. Jelikož je voda zcela nasycena vzlínající podzemní vodou, není již schopna infiltrovat srážky a ty se vzápětí po dopadu na zemský povrch účastní povrchového odtoku (Jones, 1997).

Posledním vyčleňovaným typem odtoku je opětovná exfiltrace vody v nižších částech svahu. Voda, které je výše na svahu infiltrována do půdy se po nějaké době vrací níže ve svahu zpět na povrch, odkud již odtéká ve formě povrchového odtoku (Beven, 2001).

Z geografického hlediska lze Hortonovský typ povrchového odtoku předpokládat v oblastech, kde převažují vyšší intenzivní srážky, na povrchu se vyskytuje řídký vegetační kryt, v oblastech s půdou s nízkými infiltračními schopnostmi či v aridních oblastech. V humidních oblastech s hustým vegetačním pokryvem se vyskytuje jen zřídka. V oblastech, kde během deště dochází k rychlému nasycení půdy, lze očekávat Dunneho odtok, který je též častý u konkávních tvarů reliéfu (Leopold, 1997).

3.1.3.6 Podpovrchový odtok

Existuje mnoho variant klasifikace podpovrchové vody. Jednou ze současně nejvíce používaných je klasifikace dle Meinzera, která dělí podpovrchovou vodu do dvou hlavních skupin, na vodu intersticiální a vnitřní. Voda intersticiální se nachází v dutinách hornin, zatímco jako voda vnitřní je označována voda hluboce uložená. Intersticiální voda se dále dělí na vodu vadózní, vyskytující se v zóně aerace a podzemní, v zóně saturace. Oblast aerace je dále členěna na oblast půdní vlhkosti, přechodnou oblast a kapilární zónu. Dalším známým rozdělením podpovrchových vod je klasifikace podle Schoellera, ve které je voda pod povrchem dělena do evapotranspirační, infiltrační a kapilární zóny a zóny akumulace podzemní vody (Gupta, 2001). Dle Bevena (2001) lze podpovrchový odtok rozdělit na odtok hypodermický, probíhající v nenasycené zóně půdního profilu a odtok podzemní, probíhající v zóně nasycené. U hypodermického odtoku lze podle rychlosti nasycení půdního profilu srážkami rozdělovat odtok rychlý a zpožděný. Rychlý odtok se

společně s povrchovým odtokem podílí na odtoku přímém, zatímco zpožděný odtok společně s podzemním tvoří odtok základní.

O objasnění základních pravidel pohybu podzemní vody se zasloužil roku 1856 Henri Darcy v Darcyho zákoně. Pohyb podzemní vody je závislý především na koeficientu propustnosti, popřípadě na z něj odvozené hydraulické vodivosti půdy. Retenční schopnosti půdy určují množství vody, které je půda schopna zadržovat a jsou závislé na pórovitosti půdy a dalších faktorech, jako je například teplota, viskozita a minerální složení vody (Gupta, 2001). Pohyb podpovrchové vody je jen těžko pozorovatelný, proto je její stav vyhodnocován na základě měření hladin podzemní vody ve studních či piezometry (obr. č. 4). Výsledné hodnoty bodových měření jsou následně interpolovány a je vytvořena vrstva, která by měla přibližně odpovídat stavu podzemní vody (Jones, 1997).



obr. č. 4 – Piezometry (www.huddy.cz)

3.2 Extrémní hydrologické jevy

Extrémní hydrologické jevy, především v podobě povodní a hydrologického sucha, se vyskytují během posledních několika desetiletí se stále častější intenzitou, což je důvodem četných diskuzí spojujících tyto změny ve srážko-odtokovém procesu s pojmem klimatická změna. Klimatickou změnou je rozuměno postupné oteplování zemského globálního systému a jeho vliv na hydrologické poměry prostředí je tématem mnoha vědeckých výzkumů. Na evropském kontinentu jsou právě povodně nejčastěji se vyskytujícím typem přírodní katastrofy. Dle výsledků mezinárodní databáze katastrof představovaly mezi lety 1998 – 2002 povodně 43 %

všech katastrofálních událostí. Jejich prevenci, ochraně před nimi a obecně jejich výzkumu je proto věnováno značné úsilí (Muzik, 2002).

3.2.1 Klimatická změna

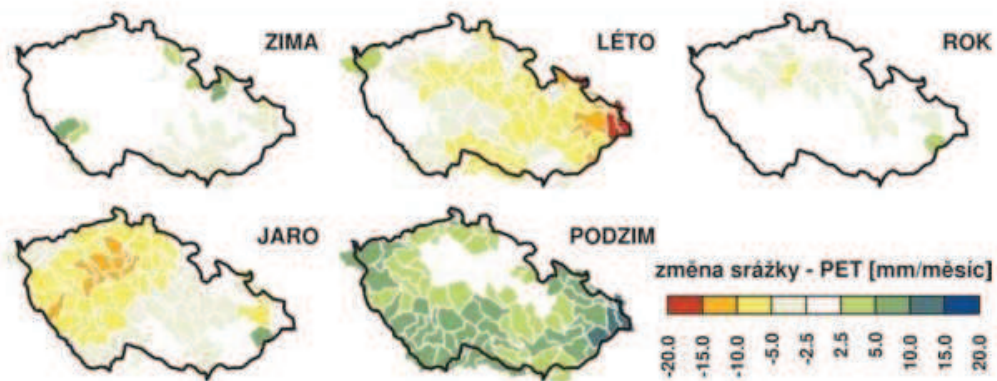
Výzkumy zabývající se klimatickou změnou se v posledních několika desetiletích dostávají stále více do popředí zájmu veřejnosti. Většina autorů prací se až na několik výjimek shoduje na možnosti ovlivnění vývoje klimatu lidskou společností. Mezinárodní panel pro klimatickou změnu (IPCC) uvádí, že se lidská společnost podílí na oteplování klimatu od roku 1750 téměř desetkrát více než změny v intenzitě slunečního záření (Hanel, Kašpárek a kol., 2011). Vědecké poznatky o klimatické změně, nahromaděné od roku 1980, byly publikovány v roce 1996 ve druhé souhrnné zprávě IPCC. Nárůst teploty do roku 2100 zde byl odhadován na 1 – 3,5°C (Muzik, 2002).

Odhadování budoucího vývoje klimatu je založeno na využití simulací globálních nebo regionálních klimatických modelů. Globální model představuje propojený model atmosféry a oceánu, do kterého je často zahrnuti model kryosféry a zemského povrchu. Matematický popis klimatického systému představuje klimatický model. Ten bývá zpravidla založen na fyzikálních procesech a empirických vztazích (Hanel, Kašpárek a kol., 2011).

Z globálního hlediska byl zaznamenán obecný trend rostoucí teploty vzduchu. Tento trend je znatelnější nad pevninou v oblasti severní polokoule. V průběhu 20. století byl zaznamenán i celosvětový nárůst srážkových úhrnů, který se však více než průměrných srážkových úhrnů týká výskytu extrémních srážkových epizod (Kundzewicz a kol., 2005). V některých oblastech lze sledovat i změny v geografickém rozložení srážek. Zatímco v severně položených oblastech (severní Amerika, severní Evropa) byl zaznamenán jejich nárůst, v jižních oblastech (Středomoří) množství srážkových úhrnů klesá. Tento trend ve změnách v geografickém rozložení a nárůstu srážek směrem k severněji položeným oblastem však nelze prokázat globálně (Kubát, 2007).

Celkově lze trend klimatické změny na území České republiky nejlépe sledovat právě na teplotách vzduchu. Velmi znatelný nárůst lze sledovat v období mezi lety 1981 a 2005. Za tuto dobu lze sledovat průměrné navýšení teploty vzduchu o 0,6 – 1,2°C. Tyto změny lze nejlépe sledovat na jaře a v zimě v západní části

republiky a během letních měsíců především na jihu a jihovýchodě. Rostoucí teplota vzduchu je i rozhodujícím faktorem ve změnách v hydrologické bilanci. To je zapříčiněno nárůstem evapotranspirace, souvisejícím s růstem teploty. Nárůst evapotranspirace je v ročním průměru odhadován přibližně na 5 – 10 %. Na tomto nárůstu se nejvíce podílejí zimní měsíce, kdy je růst odhadován i na více než 20 %. Během podzimu nejsou zaznamenávány žádné výraznější změny. Teplotní a evapotranspirační nárůst je však současně kompenzován nárůstem srážkových úhrnů, který snižuje změny v hydrologické bilanci. Roční nárůst srážek dosahuje přibližně 10 %, přičemž nejvyšší hodnoty jsou zaznamenávány během podzimu (obr. č. 5). Z hlediska České republiky představují výjimku střední Čechy, kde lze sledovat spíše trend poklesu srážkových úhrnů, během jarních měsíců až o 20 %. Díky tomuto poklesu lze ve střední části republiky nalézt některá povodí, u kterých lze v budoucnu předpokládat dlouhodobě pasivní hydrologická bilance. Srážkové změny lze sledovat jak u množství jejich průměrných úhrnů, tak i na jejich intenzitě. Zatímco během jara a na podzim dochází především ve střední a severní části republiky k poklesu počtu vyšších srážkových úhrnů, během zimních a letních měsíců je na většině území zaznamenáván jejich nárůst (Hanel, Kašpárek a kol., 2011).



obr. č. 5 – Změny rozdílu srážek a potenciální evapotranspirace mezi obdobími 1961 – 1980 a 1981 – 2005 (Hanel, Kašpárek a kol., 2011)

Vzhledem k chaotické povaze zemského klimatického systému, naráží modelování vývoje klimatu na řadu limitů a omezení a s nimi spojenou nejistotu výsledků modelování. Jako hlavní vstup je pro globální klimatické modely využíváno složení atmosféry a jeho změny, které vstupuje do modelu v podobě takzvaných emisních scénářů. Emisní scénáře slouží k popisu možného vývoje

v oblastech demografie, socio-ekonomie a technologií (Hanel, Kašpárek a kol., 2011).

Hlavním faktorem určujícím energetickou bilanci Země je koncentrace skleníkových plynů. Nadměrné navyšování jejich obsahu v atmosféře může mít zásadní vliv na zesilování skleníkového efektu. Na tom se vedle skleníkových plynů podílí i koncentrace aerosolů a dalších polutantů. Ty mohou mít vliv nejen na množství energie absorbované atmosférou, ale ovlivňují i proces tvorby srážek a oblačnosti, a tím i množství slunečního záření dopadajícího na zemský povrch (Hanel, Kašpárek a kol., 2011).

Vzhledem k tomu, že rozlišení globálních klimatických modelů je pro jejich aplikaci na reálný terén příliš hrubé, využívá se pro přechod k menším měřítkům takzvaného downscalingu. Downscaling lze rozlišovat na statistický a dynamický. Princip statistického downscalingu je založen na hledání empirických vztahů mezi veličinami, jež byly simulovány globálními klimatickými modely a bodovými hodnotami zájmových veličin, zatímco downscaling dynamický je založen na využití regionálních klimatických modelů (Hanel, Kašpárek a kol., 2011).

Modelace klimatických procesů s sebou však nese celou řadu nejistot, pocházejících především z volby počátečních a okrajových podmínek. Jako okrajové podmínky jsou uvažovány například množství dopadajícího slunečního záření či emise skleníkových plynů. Další nejistoty s sebou nese i volba metody pro downscaling, hydrologického modelu a další (Hanel, Kašpárek a kol., 2011).

3.2.2 Povodně

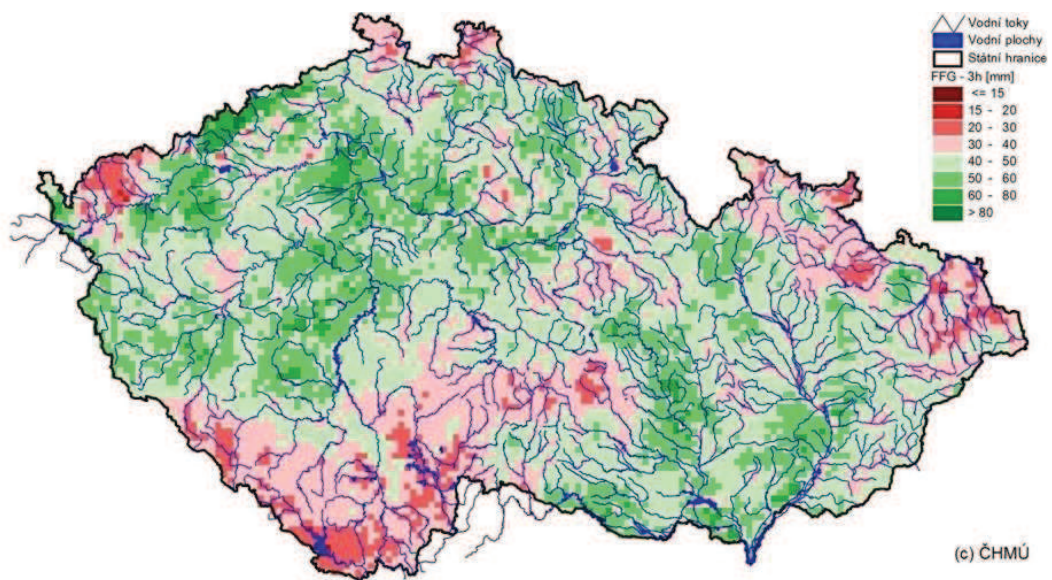
Pod pojmem povodeň lze obecně chápat stav, kdy množství vody protékající korytem překročí jeho kapacitu. Dle zákona č. 254/2001 Sb. Jsou povodně rozlišovány na základě příčin jejich vzniku na přirozené a zvláštní. Přirozené povodně vznikají v důsledku přírodních jevů, jako je srážková činnost či tání sněhu. Povodně zvláštní jsou zapříčiněny jevy umělými, jako je například protržení hráze vodního díla. Přirozené povodně lze dále rozlišovat na povodně dešťové, sněhové či smíšené (Brázdil a kol., 2005). Na území České republiky představují povodně jedno z největších přírodních rizik. Jejich výskyt je časově i prostorově nepravidelný a jednotlivé povodňové události se podstatně liší i ve stupni extremity. Dle způsobu a příčiny vzniku se na území České republiky s nejvyšší četností vyskytují povodně

způsobené náhlým zvýšením průtoku v důsledku srážkové činnosti, popřípadě povodně způsobené omezením průtočnosti koryta, nejčastěji v důsledku ledových bariér (Kakos, 2006).

Povodně zapříčiněné táním sněhové pokrývky jsou nejčastější během zimních a jarních měsíců, především v období od prosince do dubna. Největší ohrožení představují během zimních období bez výskytu dílčího tání. V tomto období je na povodí akumulováno velké množství sněhové pokrývky, která namísto postupného odtávání, odtaje najednou. Významnější zimní povodně jsou na našem území navíc ve většině případů doprovázeny dešťovými srážkami. Tento typ povodně lze v historii zaznamenat například v letech 1784, 1845, 1940, 2000 či 2006. Ledové povodně nejčastěji vznikají během období oteplení, následujícím po období mrazů, během kterého se na tocích vytvořil ledový pokryv. Při oteplování dochází k tříštění ledu, jeho uvolňování a následnému pohybu ledových ker v toku. V úsecích, kde se na toku vyskytuje překážka, mělké dno či zúžení, pak dochází k hromadění ledové hmoty a tvorbě ledových bariér, které znemožňují obvyklý průtok vody korytem (ČHMÚ, 2014). Povodně, které jsou zapříčiněny dlouhotrvajícími dešti, vznikají následkem přesycení půdního profilu. Půda, která dosáhne svého stavu nasycení, již nadále není schopna infiltrovat a zadržovat větší množství vody. Tyto infiltrační a retenční schopnosti půdy se liší v závislosti na daném půdním typu. K vývoji povodní z dlouhotrvajících srážek dochází v řádu desítek hodin až několika dní. Jako známé příklady tohoto typu povodně lze uvést například povodně z let 1997 a 2002 (Brázdil a kol., 2005).

Vzhledem ke své těžké předvídatelnosti jsou v posledních letech velmi často řešeny přívalové povodně, vznikající v důsledku přívalových srážek a s nimi spojeného rychlého povrchového odtoku. Pod pojmem přívalová srážka je chápán srážkový úhrn s intenzitou zpravidla překračující 30 mm/h. Výjimečně dosahují tyto srážky intenzity až přes 100 mm/h. Tento druh povodní je charakteristický velmi rychlým vzestupem hladiny toku, který bývá následován i velmi rychlým poklesem a odezněním povodně. Ve většině případů jsou přívalové povodně doprovázeny i silnými erozními projevy. Postižené území bývá poměrně malé rozlohy, v řádu jednotek až desítek kilometrů čtverečných. Nejhůře se tyto povodně projevují u vějířovitých povodí o vysoké sklonitosti, kde může docházet k takzvané interferenci povodňových vln. Pojem interference popisuje děj, kdy dochází ke střetu

povodňových vln z několika toků na jejich soutoku (Čekal a kol., 2011). V urbanizovaných oblastech je možné zaplavení i bez jakéhokoliv rozlivu toku či mimo rozlivové území. Může k němu docházet v důsledku rychlého nahromadění vody stékající po povrchu po intenzivní srážce. Přívalové povodně se na území České republiky nejčastěji vyskytují mezi dubnem a zářím (Matějčík, Hladný, 1999). Jak již bylo řečeno výše, jsou přívalové povodně velmi těžko předvídatelné. Obtíže s jejich predikcí souvisejí s obtížně předvídatelným vývojem konvekční oblačnosti. Předpovědní službou jsou v současnosti stanoveny takzvané potenciální míry rizika vzniku přívalových povodní. Podkladem pro stanovení této míry jsou aktuální nasycenost území a určení potenciálních rizikových srážek daného trvání (FFG). Hodnotou FFG (obr. č. 6) je myšleno množství srážky, které je schopno během stanoveného časového intervalu naplnit koryta menších vodotečí (Čekal a kol., 2011). Další možností pro stanovení oblastí, které mohou být ohroženy přívalovými srážkami, je metoda kritických bodů. Touto metodou jsou vymezena kritická místa na celém území České republiky. Výstupy metody kritických bodů slouží jako podklad pro tvorbu povodňových a krizových plánů. Pro uživatele jsou volně dostupné například na internetových stránkách www.povis.cz (Drbal, 2009).



obr. č. 6 – Hodnoty FFG s dobou trvání 3 hodiny (6. srpna 2010, 08:00 SELČ) (ČHMÚ, 2014)

3.2.2.1 Předběžné a příčinné faktory povodní

Faktory, které ovlivňují vznik povodňových situací lze rozdělit na faktory předběžné a příčinné. Předběžné faktory se podílejí na budoucím vývoji povodně již s několikadenním až měsíčním předstihem před jejím vznikem. Faktory příčinné se na povodních podílejí několik hodin až dní před jejich nástupem. Předběžnými faktory je ovlivněna nejen naplněnost říčních koryt, ale i infiltrační a retenční schopnosti postiženého území. Lze mezi ně řadit nasycenost povodí, míra promrznutí půdy, či výška a vodní hodnota sněhové pokrývky. Ovlivněné mohou být vegetačním krytem a půdními poměry v povodí. Přímým působením vegetačního krytu je však sama povodeň ovlivňována pouze v počáteční fázi (Matějček, Hladný, 1999). Mezi příčinné faktory se řadí aktuální synoptická situace, srážkové úhrny a jejich časové a prostorové rozložení, ledové jevy či v případě zvláštních povodní například protržení hráze vodního díla. Na základě dlouhodobých pozorování, lze v oblasti střední Evropy stanovit hlavní typy synoptických situací, vedoucí ke vzniku vydatných srážkových událostí. Podle klasifikace povětrnostních situací dle Brádka se nejčastěji jedná o povětrnostní situaci Wc, jíž jsou ovlivněny především srážkové úhrny a povodně během zimních měsíců a situaci NEc, převládající u letních povodní (Jeníček, 2009). U srážek jsou pozorovány tři základní charakteristiky. Jedná se o průměrnou výšku srážky, dobu jejího trvání a zasaženou plochu. Tyto veličiny mezi sebou vykazují určitou vzájemnou interakci. Ve většině případů zasahují dlouhotrvající srážky velká území, ale vykazují nižší intenzitu. Naopak srážky s vysokou intenzitou jsou krátkodobější a vyskytují se na menších územích (Matějček, Hladný, 1999).

3.2.2.2 Protipovodňová ochrana

Obecně lze protipovodňová opatření rozlišovat na technická a netechnická (obr. č. 7). K technickým opatřením lze počítat úpravu koryt vodních toků, navyšování jejich kapacity a stabilizaci břehů, výstavbu retenčních nádrží a ochranných hrází. Tato technická opatření jsou dále dělena podle jejich časového provádění. V období mimo povodně jsou prováděna opatření preventivní a přípravná, při samotném průběhu povodně opatření operativní a po jejím odeznění opatření po povodni. Jako netechnická opatření lze zařadit vyčlenění záplavových zón a právní zajištění jejich využití. Dále lze mezi netechnická opatření počítat předpovědní a

varovné systémy a celkovou připravenost obyvatelstva, obzvláště v záplavových zónách (Miller, 1997).

Protipovodňová opatření je možné dělit také na aktivní a pasivní. Základem aktivních protipovodňových opatření je prevence v oblasti využívání záplavových území. Hlavním cílem tohoto přístupu je zajištění optimálního rozvoje záplavových území a s ním spojená minimalizace dopadu povodňových škod. Problém dopadu povodňových škod je v tomto případě řešen pomocí principu individuální odpovědnosti. Pasivní protipovodňová ochrana je zaváděna na ochranu majetku, který již v záplavovém území stojí a jehož vlastníci se dobrovolně rozhodli nést riziko spojené se záplavovým územím. Na rozdíl od aktivních protipovodňových opatření je na realizaci pasivních zapotřebí vynaložit dodatečné soukromé nebo veřejné finanční prostředky (Čamrová, Jílková a kol., 2006).



obr. č. 7 – Členění protipovodňových opatření (Čamrová, Jílková a kol., 2006)

Řešení protipovodňových opatření je do legislativy České republiky implementováno pomocí Povodňové směrnice, jejíž aktuální podoba vstoupila v platnost v roce 2007. Povodňová směrnice je spjata a provázána s Rámcovou směrnicí o vodách. Jejím hlavním cílem je snížení obětí na životech, materiálových škod a škod na životním prostředí (Pravec a Pithart, 2012).

Na základě zákona o vodách č 254/2001 Sb. Mohou opatření k ochraně vlastního majetku vykonávat obce i jednotlivci samostatně. Při samostatném jednání si tato opatření však financují povětšinou sami, z vlastních prostředků, mohou na ně však získat i příspěvky od státu či kraje. V pravomoci obce je též požádat o příspěvek vlastníky pozemků a majetku, které budou plánovaným protipovodňovým

opatření chráněny. Ve většině případů je však řešení protipovodňových opatření ponecháno obcemi i jednotlivci na ústředních orgánech. V realizaci protipovodňových opatření se významně uplatňují podniky Povodí, které koordinují jednotlivá opatření v rámci celého povodí a sledují, zda nově vytvořené opatření, které zlepšuje situaci v jednom místě, nebude mít negativní dopady v místě jiném. Dále zastávají podniky Povodí též funkci investorů a správců toků, což jim umožňuje realizovat protipovodňová opatření na jim příslušejících vodních tocích (Čamrová, Jílková a kol., 2006).

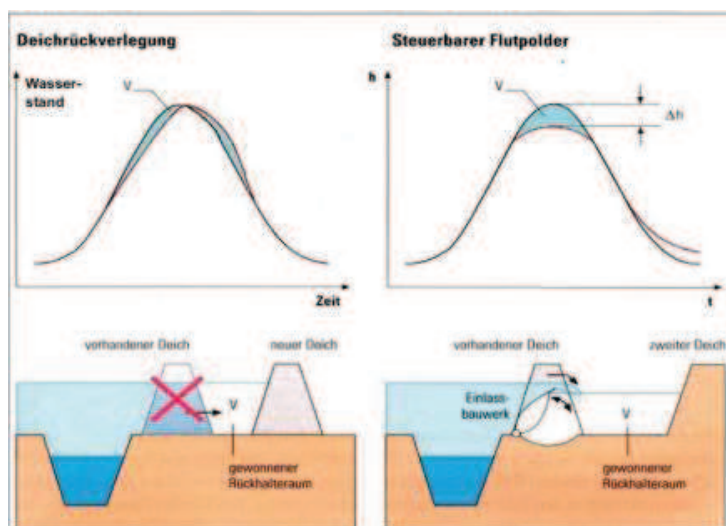
Přírodě nejbližším protipovodňovým opatření je navyšování retenční schopnosti povodí. Hlavním cílem tohoto procesu je co největší ponechání říční nivy jejímu samostatnému vývoji (Janský, 2004). Právě prostor říční nivy je místem, kde dochází k největšímu ovlivnění odtokových poměrů krajiny. Přestože je v mnoha případech niva oblastí výskytu vzácných přírodních biotopů, bývá často pozměněna a využívána obyvatelstvem. Definice a vymezení prostoru říční nivy se liší dle různých vědních oborů. Z geomorfologického hlediska představuje říční niva část údolního dna, která se skládá z akumulací nezpevněných sedimentů a během povodní je pravidelně zaplavována (Demek, 1987). Podél vodních toků lze sledovat její velmi nepravidelné a nesouvislé rozložení. Obecně roste její šířka od pramene k ústí, z lokálního hlediska je však závislá na morfologii protékaného terénu (Hartvich a Jedlička, 2007). Na základě charakteru jejího povrchu se vyčleňují dva základní typy údolních niv. V oblastech se širokou údolní nivou převažují sedimentační procesy v oblasti koryta a je zde vytvářena konvexní niva, charakteristická vytvořením přirozeného akumulčního valu podél koryta toku. Naopak u menších niv, kde se plochý povrch mírně zvedá u okrajů, a v blízkém okolí toku se nevytvářejí akumulční valy, je vytvářena niva konkávní (Hugget, 2007). V pedologii je říční niva chápána jako oblast s charakteristickými typy půd. Vyskytují se v ní převážně fluvizemě, mladé půdní typy bez výraznějších diagnostických znaků a gleje (Šefrna, 2007). Hydrologická definice stanovuje říční nivu jako oblast přilehlou vodnímu toku, která je během vyšších průtoků periodicky zaplavována (Bren, 1993). Podstatným prvkem podílejícím se na retenci vody je objemová kapacita pasivního retenčního prostoru říční nivy. Tento objem je tvořen místy, kde se v nivě nacházejí terénní deprese, které se plní po vybřežení toku, popřípadě infiltrací během zvýšeného stavu hladiny v toku a po jejím opadu zůstávají zaplněna déle než jejich

okolí. Tento pasivní retenční objem je schopen zachytit část povodňové vlny a snižovat celkový objem povodně. V suchých periodách může mít i opačnou funkci a navyšovat zásoby vody v době jejího nedostatku (David, 2012). Díky rozlivům vody vyběřené z koryta do nivního prostoru je zpomalován průtok vody územím. To je zapříčiněno nejen zvětšením průtočného profilu, ale především rozdílnou drsností povrchu nivy. Ta je ve většině případů vyšší než drsnost koryta toku a způsobuje tak vyšší tření vody o povrch, čímž účinněji zpomaluje průtok vody. Drsnost povrchu nivního prostoru je závislá na jeho stavu a využití. Lze předpokládat, že čím je niva blíže svému původnímu stavu a je heterogennější, tím se efekt retardace vody pomocí tření projevuje výrazněji. Tření tak bude vyšší u původních lužních lesů, než například v případě zemědělsky využívané půdy (Janský a Turek, 2012). Jelikož je prostor říční nivy přirozeným záplavovým územím, mělo by s ní tak i nakládat a pravidelné zaplavení zde předpokládat. Jedním ze základních přírodě blízkých protipovodňových opatření je v nezastavěných oblastech snižování kapacity koryta pouze na korytotvorný průtok a navýšení četnosti rozlivů toku do oblasti nivy. Důležité je u tohoto typu opatření navrácení koryta toku i říční nivy do jejich co nejvíce přirozeného stavu. V současnosti lze u nivních prostorů navyšovat jejich retenční schopnosti například úpravou jejich vegetačního pokryvu. Například při trvalém zatravnění je umožněn volný rozliv vody do inundace. Pokud se však úpravou snažíme docílit zvýšení drsnosti povrchu a retardačních schopností nivy, je vhodnějším řešením zalesnění území. V případě zalesnění je podstatným prvkem realizace vhodná volba druhové skladby porostu. Vzhledem k tomu že je předpokládáno jeho periodické zaplavování, jako zcela nevhodné se jeví využití jinak hospodářsky výnosných smrkových porostů. Ty vykazují jen nízkou toleranci vůči zatopení kořenového systému a hrozí snadnými vývraty. Jako nejvhodnější varianta je bráno ponechání nivní oblasti její přirozené sukcesi (Veselý, 2012). Problém na našem území představuje rozšířená zástavba říční nivy, která znemožňuje ponechat nivu přirozenému vývoji včetně pravidelných rozlivů. I z důvodu ochrany této zástavby se často musí přistupovat k dalším způsobům protipovodňové ochrany.

Navýšení retenční schopnosti krajiny je dosahováno také revitalizací vodních toků. Revitalizace představují skupinu opatření, která vedou k navrácení hydrologického přírodě blízkého režimu povodí. Velmi často jsou realizovány zároveň s revitalizací nivního prostoru. Hlavním cílem revitalizace vodního toku je

v mnoha případech především obnova jeho ekologické funkce. Vedle ekologické však musí po realizaci revitalizace tok zachovat také funkci vodohospodářskou (Ehrlich a kol., 2003). Na stavu a upravenosti říční sítě je závislý i průběh povodňových událostí. Značně negativní vliv na průběh povodně mají především celkové zkrácení, napřímení a úpravy koryt toků. Tyto úpravy způsobují snížení celkového objemu říční sítě, což má za následek zkrácení postupové doby povodně, zvýšení strmosti povodňové vlny a dosahování vyšších hodnot vodních stavů. Drsnost koryta je snižována zpevňováním jeho břehů a dna umělými materiály, což má za následek snižování tření v korytě a urychlení průtoku vody. Zkrácením postupové doby povodně je zkracován i čas, který je potřebný na informování a případnou evakuaci obyvatelstva v ohroženém území dále po toku. Nejproblematictější případem úpravy toku je z hlediska povodní zatrubnění koryta toku. Během povodní může docházet k zanesení a následné neprůchodnosti zatrubněných částí unášeným materiálem. Na toku se vytvoří bariéra, která dočasně brání průchodu vody a zapříčiňuje zvýšenou erozní a akumulaci činnost, případně vede až k destrukci celé struktury (Langhammer, 2007). Základní podmínkou úspěšné revitalizace je možnost poskytnout vodnímu toku dostatečný prostor, což může v některých oblastech intravilánu představovat zásadní problém. Z tohoto důvodu jsou rozlišovány revitalizační přístupy v intravilánech a v extravilánech. Právě v urbanizovaných oblastech bývají vodní toky pozměněny a zasaženy nejvíce. Jelikož zde chybí potřebný prostor, je vhodné vytvářet zde alespoň částečné revitalizace. Obecně lze za hlavní problém většiny toků považovat jejich opevnění a zahloubení. Pomocí revitalizací se snažíme skrze změnu morfometrických charakteristik docílit navrácení vodních toků do jejich přirozeného přírodně blízkého stavu. Opevněné a zahloubené toky tak bývají osvobozeny či vyzvednuty. V ideálním případě tok po provedené revitalizaci disponuje potenciálem samovolně se vyvíjejícího toku. V těchto případech je možné jej nadále ponechat jen jeho přirozenému vývoji a již do něj více nezasahovat. Pokud tomu tak není, zakládají se tzv. iniciační centra, která mají za úkol podpořit počáteční morfologický vývoj. Na rozdíl od některých technických protipovodňových opatření jsou revitalizace dlouhodobým procesem a plně funkční jsou až po několika letech (Matoušková, 2007).

V oblastech extravilánu je jednou z možností protipovodňové ochrany transformace povodňové vlny prostřednictvím poldrů či malých vodních nádrží. Během rozhodování mezi výstavbou poldru a nádrže je brána v úvahu i řada dalších aspektů, jelikož jsou brány jako funkční prvek krajiny a ne jen jako prvek protipovodňové ochrany (Janský, 2004). Malými vodními nádržemi může být zachycena pouze část objemu povodňové vlny. K zachycení dochází v retenčním prostoru nádrže, přičemž objem zachycené vody je závislý na nenaplněném akumulačním prostoru nádrže. Výstavba malých vodních nádrží s sebou nese i řadu problémů, jako například zanášení nádrže, zhoršování kvality vody a další. Malými vodními nádržemi lze také zachytit podstatně menší množství vody než například suchým poldrem (Hrádek a Kuřík, 2003). Poldry jsou prostory ohrázené tak, aby byly schopny zachytit část povodňového průtoku. Jejich retenční prostor je naplněn povodňovou vlnou a po jejím průtoku se začíná postupně vyprazdňovat. V období mimo povodně jsou často prostory poldrů využívány k hospodářským účelům (Hrádek a Soukup, 1999). Tvorba poldrů je jedním z klasických hydrotechnických protipovodňových opatření. Z technického i ekologického hlediska jsou jako lepší možnost hodnocen poldr polosuchý, a proto je k výstavbě často zvolen spíše tento typ. V polosuchých poldrech je celoročně zachováno malé množství vody, které zajišťuje zvýšení biodiverzity poldru a zachovává patu hráze ve vlhkém stavu. Během povodně je stejně jako u suchého poldru i polosuchého naplněn celý jeho retenční prostor (Just, 2003). V závislosti na umístění na toku se poldry dělí na průtočné a postranní. Jak vyplývá z jeho názvu, průtočný poldr je umístěn přímo na toku, kterým je celoročně protékán. Postranní poldr je ohraničený prostor v nivě, kterým vodní tok přímo neprotéká. Voda z toku se do něj dostává přepadem, až při dosažení určité hladiny na toku. Objemově bývají větší poldry průtočné (Just a kol., 2005). Poldry lze dělit také z hlediska jejich ovládání na řízené a neřízené (obr. č. 8). U řízených poldrů je cíleně ovlivňováno množství vpouštěné i vypouštěné vody pomocí vpustí a výpustí. V případě bočních poldrů může být ovlivňována výška hladiny toku, při které již bude voda vpouštěna přepadem do poldru. Neřízené poldry jsou závislé pouze na průtoku vodním tokem. Zaplavovat se začínají okamžitě po jeho vybřežení (ELLA, 2013).



obr. č. 8 – Neřízený x řízený polder (ELLA, 2013)

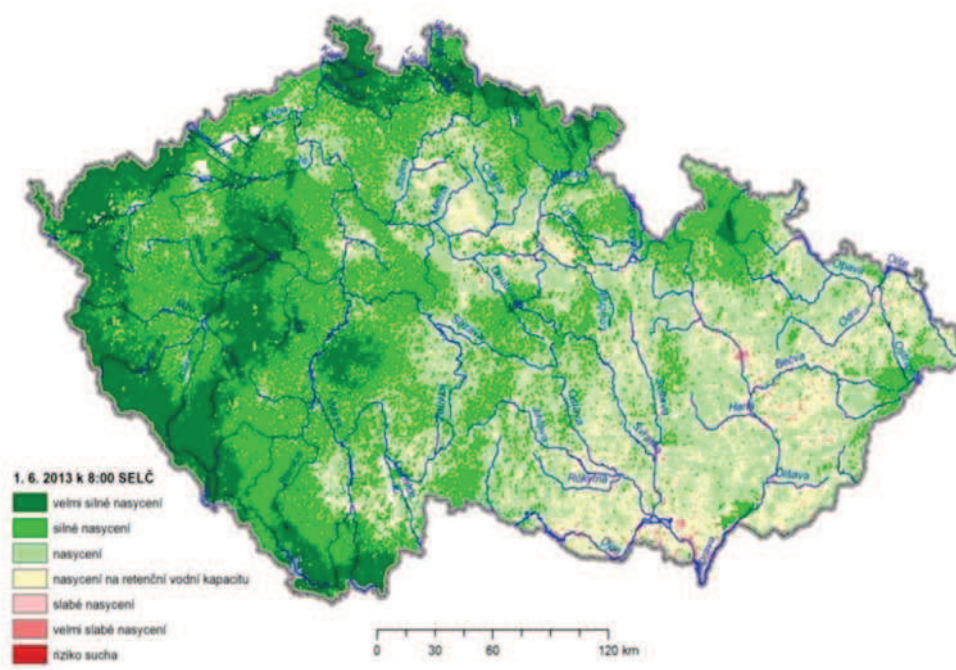
Retenční kapacitu území lze navyšovat také změnami v jeho využití. Z pohledu možností retence vody v povodí se jako významná jeví regulace rozsahu, druhové a věkové skladby lesů. V případě, že se v zalesněném území vyskytuje rozličná druhová a věková skladba dřevin, vykazuje toto území vyšší schopnosti zadržení vody v období jejího a nadbytku a naopak i lepší schopnosti v nadlepšování průtoků během suchých období. Velmi účinné je pro zvýšení retence krajiny také zatravnování zemědělských pozemků s ornou půdou a jejich přeměna na pastviny. Tato opatření v krajině mají nejen zásadní vliv na retenci vody, ale uplatňují se i v protierozní ochraně (Čamrová, Jílková a kol., 2006).

Naprosto odlišný přístup protipovodňové ochrany je využíván v zastavěných oblastech. Zde je vynakládána snaha na co nejrychlejší odvedení vody ze zastavěného území. Hlavními prvky protipovodňové ochrany jsou tak zkapacitňování koryta a snaha o urychlení odtoku z oblasti. Navyšování kapacity koryta vodního toku je dosahováno jeho rozšířením, prohloubením či vytvořením sekundárního – povodňového koryta. Odtok je urychlován například snižováním drsnosti koryta. V zastavěných oblastech je velmi důležitá i pravidelná údržba a čištění vodního toku (Čamrová, Jílková a kol., 2006).

3.2.2.3 Povodeň v červnu 2013

K současnému datu je nejaktuálnější z větších povodňových událostí na našem území povodeň z června 2013. Rok 2013 se z meteorologického hlediska vyznačoval několika anomáliemi. V jeho první polovině docházelo ve střední Evropě

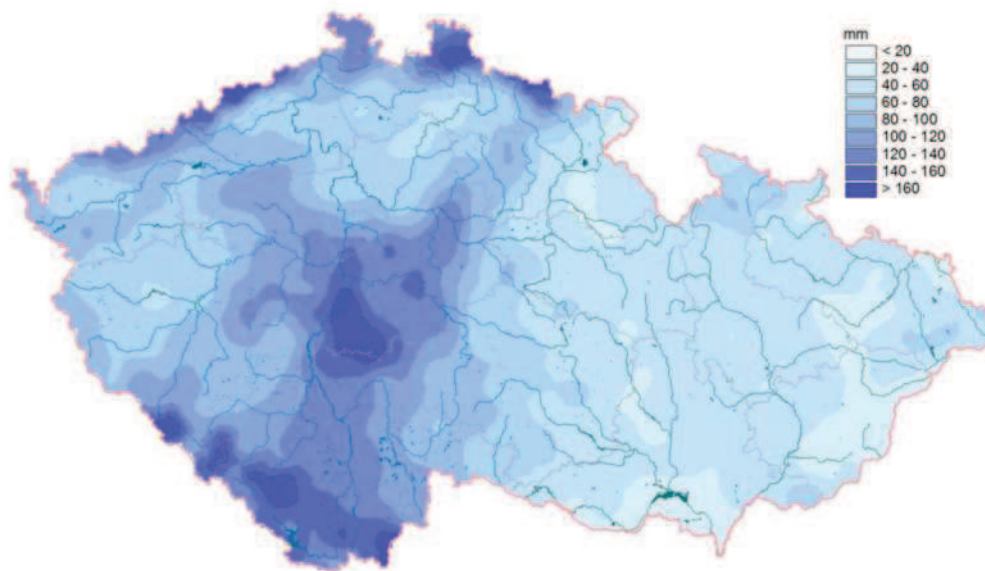
k častým výkyvům teploty vzduchu, spojeným s vysokou rozkolísaností chodu srážek. Tyto jevy lze spojovat s nadměrně silným výškovým prouděním (jet streams), které způsobuje zápornou fázi severoatlantické oscilace – NAO. Květen 2013 lze označit jako teplotně podprůměrný a srážkově nadprůměrný měsíc. Srážky v tomto měsíci dosahovaly průměrně 152 % dlouhodobého srážkového průměru. Na většině území České republiky tak během května došlo k velmi silnému nasycení půd (obr. č. 9), které snižuje schopnost půdy dlouhodobě infiltrovat a zadržovat srážkovou vodu a podporuje vznik povrchového odtoku. I červen 2013 se řadí ke srážkově nadprůměrným měsícům. Průměrné srážky dosáhly 174 % dlouhodobého republikového průměru (Daňhelka a kol., 2014).



obr. č. 9 – Ukazatel nasycení území k 1. 6. 2013 (Daňhelka a kol., 2014)

Významné srážky z 1. a 2. června, které byly příčinou první povodňové vlny, byly způsobeny tlakovou níží, která vznikla 30. května východně od České republiky. Vzhledem k blokujícím anticyklonám nad západní Evropou tato tlaková níže setrvala nad oblastí centrální Evropy. Konkrétně nad naším územím se vyskytovalo frontální rozhraní, které bylo přibližně po dobu 20 hodin bez významnějšího pohybu. Vliv tlakové níže nad územím České republiky přetrvával až do 5. června. Nejvyšší úhrny srážek byly zaznamenány mezi 29. květnem a 3.

červnem (obr. č. 10) téměř výlučně na území Čech. Úhrny srážek během 1. června dosáhly místy, především v oblastech příhraničních pohoří, 80 – 100 mm. Maximálních úhrnů, až 130 mm, bylo dosaženo ve stanici Horní Maršov v Krkonoších, kde srážkové úhrny dosáhly hodnoty stoleté srážky (Daňhelka a kol., 2014).



obr. č. 10 – Úhrn srážek 29. 5. – 3. 6. 2013 (Daňhelka a kol., 2014)

Jako první začaly stoupat hladiny na přítocích Berounky, Klabavě a Úslavě. První povodňová vlna zasáhla postupně povodí Berounky, Otavy, Lužnice a menších přítoků Vltavy. Ve večerních a nočních hodinách v noci z 1. na 2. června začaly po intenzivních srážkách stoupat hladiny toků v Krkonoších. Nejvíce postiženým tokem byla řeka Čistá, ústící do Labe v obci Hostinné. Současně s povodněmi bylo v oblasti Krkonoš zaznamenáno i množství erozních projevů a svahových sesuvů. Kulminace byla v ranních hodinách 2. června zaznamenána také u levostranných přítoků Cidlina. Vzhledem k povodňovým stupňům na přítocích Vltavy docházelo k postupnému plnění Vltavské kaskády. Zvýšené průtoky Vltavy v Praze byly z velké části následkem neregulované Sázavy a Berounky. Velké problémy v hlavním městě představovaly především pravostranné přítoky Vltavy, Rokytky a Botič. Na soutoku Vltavy a Berounky navíc došlo ke střetu obou povodňových vln, což zapříčinilo velké rozlivy do okolí (obr. č. 11). V povodí Lužnice se hodnota kulminace přiblížila hodnotě během povodní v roce 2002. Na soutoku Vltavy a Labe došlo stejně jako během povodní v roce 2002 k rozlivům a zpětnému vzduť hladiny

Labe. Ve většině profilů dosáhla povodeň 20 – 50letého průtoku, výjimku tvořila již zmiňovaná Lužnice, kde se jednalo až o 100letý průtok (Daňhelka a kol., 2014).



obr. č. 11 – Soutok Vltavy a Berounky v Praze (Daňhelka a kol., 2014)

Druhá povodňová vlna v období 8. – 15. června byla představována především místními přívalovými povodněmi. Ty vznikaly v následku spojení cyklony pohybující se od jihozápadu a cyklony s okluzní frontou vyskytující se nad Skandinávií. Díky přílivu teplého a vlhkého vzduchu od jihozápadu se v prostředí nestabilního zvrstvení atmosféry započala vyvíjet bouřková jádra. Vzhledem k extrémnímu nasycení půdy vodou po předchozích povodních, docházelo velmi snadno ke vzniku přívalových povodní. K 10. červnu zasáhly přívalové srážky i oblast Moravy a Slezska. Zvýšené hladiny větších toků byly zaznamenány u Lužnice, Radbuzy, Klabavy, Berounky a u toků v oblasti Jesenicka. Třetí povodňová vlna, která měla nejvýraznější odtokovou odezvu v oblasti Chrudimky a Doubravy, byla na našem území zaznamenána mezi 23. a 26. červnem.

3.2.3 Sucho

Pojem sucho se do popředí zájmu české společnosti začíná dostávat až během několika posledních let. V některých světových regionech, jako je například severní Afrika, Kalifornie či východní Asie, je však sucho problémem dlouhodobým.

Pro pojem sucho neexistuje zcela jednoznačná hydrologická definice. Na rozdíl od rychlých povodňových událostí působí sucho jen pomalu a jeho následky lze pozorovat v některých případech až několik let po ukončení suchých period. Doba jeho nástupu a ukončení je jen těžko stanovitelná, a proto je sucho nazýváno takzvaným „plíživým“ jevem (Hladný a Kakos, 2006). Obecně jej lze popsat jako nedostatek vody pro různé požadavky v daném místě a čase. Tyto požadavky mohou být různé a mohou se týkat jak přírodních systémů, tak například i lidských potřeb. Epizody extrémního sucha mohou negativně ovlivňovat i vodní zdroje a životní prostředí (Tallaksen a Van Lannen, 2004).

Sucho lze vzhledem k rozsáhlému množství jeho příčin hodnotit ze čtyř hlavních hledisek: meteorologického, hydrologického, zemědělského a socioekonomického. Meteorologické sucho je definováno jako odchylka úhrnu srážek od dlouhodobých průměrů. Ovlivňujícími faktory jsou četnost výskytu a množství srážek a teplota vzduchu. Dopady meteorologického sucha na zemědělství jsou označovány jako zemědělské sucho. To nastává při nedostatku vody na pokrytí potřeby zemědělských plodin. Velmi často je zemědělské sucho zaznamenáváno krátce po nástupu sucha meteorologického a před suchem hydrologickým. Socioekonomické sucho je spojeno s dopady a následky sucha na společnost a její hospodářské aktivity. Jeho počátek je stanoven na dobu, kdy se nedostatek vody začne dotýkat obyvatelstva a omezovat jeho aktivity (Hladný a Kakos, 2006).

Na území České republiky je nejstarším spisem zabývajícím se historickými epizodami sucha spis A. Strnada z roku 1790. Spis se zabývá epizodami sucha mezi lety 633 a 1700. Tento spis následovala studie F. Augustina z roku 1894, která shrnovala epizody sucha v Čechách v letech 962 – 1800. Mezi novější publikace zabývající se suchem lze zařadit dílo K. Pejmla z roku 1966, zabývajícím se kolísáním klimatu mezi lety 1500 – 1900 v oblasti severočeských vinic a chmelnic. Z porovnání více zdrojů lze jako obecně suché označit roky 1540, 1590, 1616, 1790 a 1842 (Munzar, 2003). Za poslední roky lze jako velmi suchá období označit rok

2003, během nějž spadlo na většině území České republiky v období od ledna do září méně než 500 mm srážek. To představuje méně než 80 % dlouhodobého ročního průměru, místy i méně než 60 %. Současně s podprůměrnými srážkami byla během tohoto období naměřena i teplotní odchylka +2°C od normálu. Od května začalo docházet k prudkým poklesům hladin toků a od června do září na nich přetrvávaly podprůměrné průtoky. Nejnižší stavy byly zaznamenány v průběhu srpna (Řiřicová a kol., 2003).

3.3 Hydrologické modelování

Podle Dooge (1986) představuje model „zjednodušenou reprezentaci částí přírodního nebo člověkem formovaného světa, která může reprodukovat některé z jeho charakteristik.“ Hydrologické modely reprezentují hydrologický cyklus či vybrané hydrologické procesy. Jedním z hlavních důvodů pro jejich používání je nedostatek prvků hydrologického systému, které lze změřit. Vzhledem k tomu, že většina hydrologických systémů je extrémně komplexní, není možné jim porozumět do posledního detailu. K měření lze používat pouze omezené množství technik a navíc jsou omezena prostorem i časem. Z toho důvodu jsou vedle dostupných dat používány také hydrologické modely, které slouží k vyjádření prostorově a časově nezměřitelných prvků. Hydrologické modely jsou často využívány pro předpověď budoucího vývoje odtokových poměrů povodí, například v souvislosti s klimatickou změnou či se změnami krajinného pokryvu povodí (Beven, 2001).

Vývoj modelů probíhal z mnoha důvodů, a proto existují v mnoha různých formách. I přes jejich velké množství se však všechny shodují ve dvou hlavních účelech. Prvním je snaha lépe porozumět průběhu hydrologických procesů a tomu jak mohou být ovlivněny případnými změnami v povodí. Druhým je generování syntetických sekvencí hydrologických údajů pro jejich následné využití v hydrologických prognózách a předpovědích (Xu, 2002).

3.3.1 Historie hydrologického modelování

První pokusy o modelování hydrologického cyklu proběhly již v 17. století, kdy hydrologii ustanovili experimentální vědou francouzští vědci PierrePerraul a EdmeMariotte. Základy prvních srážko-odtokových modelů lze datovat do poloviny

19. století, kdy se jich využívalo k řešení technických problémů, například k návrhům odvodňovacích soustav či městské kanalizace (Máca, 2013). Základy racionální metody položil roku 1851 Ir Thomas Mulvaney. Racionální metoda předpokládá, že velikost kulminační vlny povodně se odvíjí od výšky spadlých srážek. Kulminační odtok z povodí Q_p je pak definován jako:

$$Q_p = C * i * A,$$

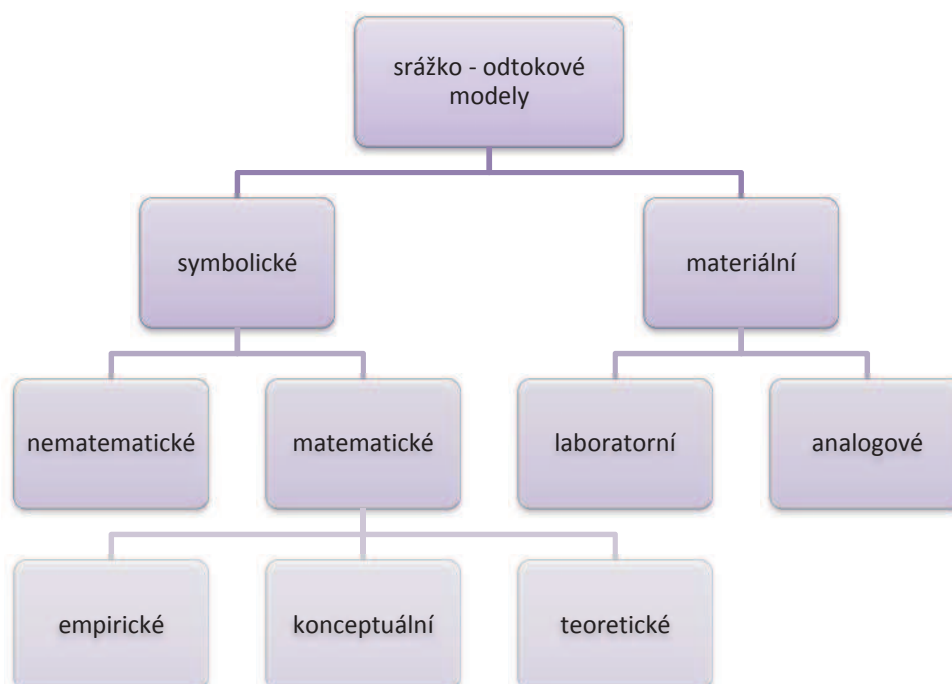
kde C představuje koeficient odtoku, který je závislý na charakteristikách povodí, i je intenzita srážky v čase T_c a A značí plochu povodí. T_c je čas koncentrace, za který se dostane srážka spadlá v nejvzdálenějším bodu povodí do uzávěrového profilu (Beven, 2001).

Během 19. století bylo vydáno mnoho definic proudění pro různé typy prostředí. V roce 1856 definoval Henry Darcy proudění v porézním prostředí v Darcyho zákoně, roku 1863 byly definovány Saint – Venantovy rovnice pro proudění v otevřených korytech a v roce 1877 popsal Joseph Boussinesq proudění v nasyceném porézním prostředí. Během první poloviny 20. století definoval proudění v nenasyčeném porézním prostředí Green Ampt (1911) a následně roku 1931 i Richards (Máca, 2013). Důležitý pokrok v hydrologickém modelování představovala v roce 1932 Shermanova teorie jednotkového hydrogramu, který slouží k výpočtu nejen kulminačního průtoku, ale i objemu celého hydrogramu. Na tuto Shermanovu teorii postupně navázalo mnoho dalších variant, mezi nejvýznamnější z nich patří Nashova (1957) a Doogeova (1959) teorie okamžitého jednotkového hydrogramu. Přestože v 60. letech 20. století vzniklo mnoho nových přístupů k modelování srážko-odtokových procesů, největší rozmach nastal až v 80. letech 20. století s rozvojem počítačových technologií. V tomto období se začali též rozvíjet makroměřítkové hydrologické modely. V současné době jsou matematické modely jedním z nejpoužívanějších nástrojů pro řešení hydrologických a hydraulických problémů (Xu, 2002).

3.3.2 Dělení hydrologických modelů

Hydrologické modely lze klasifikovat z několika různých hledisek. Díky tomu v současnosti existuje mnoho rozličných klasifikací od různých autorů. Jednou z nejznámějších je rozdělení dle Singha z roku 1988 (obr. č. 12). Singh dělí srážko-odtokové modely na symbolické a materiální. Materiální modely jsou dále děleny na

laboratorní a analogové. Někdy jsou též nazývány modely fyzikálními. Hlavním principem je přiřazení vlastností odpovídajících jak modelovanému hydrologickému systému, tak samotnému modelu. Takovými modely jsou například dešťové simulátory, laboratorní lyzimetry, laboratorní modely povodí nebo elektrické analogové modely. Symbolické modely lze dále dělit na matematické a nematematické. Matematické modely popisují chování systému pomocí soustavy rovnic. Lze je dále dělit na empirické, konceptuální a teoretické. U všech modelů je dále rozlišována jejich lineárnost a nelineárnost, časová invariantnost a variantnost, celistvost a distribuovanou a zda jsou deterministické či stochastické (Singh, 1988).



obr. č. 12 – Dělení hydrologických modelů dle Singha (Šmrhová, 2014)

Empirické modely jsou také nazývány modely black boxové. Nezakládají se na fyzikálním základu a jejich hlavní důraz je kladen na reprezentaci dat. Jsou vytvořeny s určitými vstupními podmínkami, a pokud dojde k jejich změně, dochází k celkovému poklesu predikčních schopností modelu. Mezi empirické modely se řadí například racionální metoda, modely jednotkového hydrogramu nebo regresní modely. Jako grey box jsou označovány modely konceptuální. Ty jsou vytvářeny na základě stanoveného konceptu, který je vztažen k modelovanému systému. Modely počítají ve velmi zjednodušené formě i s fyzikální podstatou procesů. Patří mezi ně například Nashův, ESMA a PDM model či NWS srážko-odtokový model. Teoretické, neboli white box modely, jsou založeny na skutečných fyzikálních

zákonech. Jejich struktura je shodná se strukturou modelovaného systému, díky čemuž plně fungují i při změně vstupních podmínek. Jsou velmi náročné na množství vstupních dat a parametrů. Do této skupiny modelů se řadí všechny modely založené na řešení parciálních diferenciálních rovnic, modely SHE, SHETAN, Kineros a další (Xu, 2002).

Jiným způsobem klasifikace hydrologických modelů, který je též často využíváný, je jejich rozdělení podle WMO (World Meteorological Organisation). Klasifikace je založena na několika hlavních principech a rozděluje modely do jednotlivých kategorií dle účelu aplikace, typu simulovaného systému, typu a míry komplexnosti hydrologického procesu, stupně kauzality simulovaného procesu a dle požadovaného rozsahu časové a prostorové diskretizace. Modely jsou zde rozděleny na deterministické a stochastické a dále je vyčleňována i třetí samostatná skupina, která je kombinací dvou předešlých. Stochastické modely se dělí na pravděpodobnostní a modely časových řad. Deterministické modely se dělí velmi podobně jako v klasifikaci dle Singha na white box, grey box a black box modely (obr. č. 13) (Jeníček, 2007).



obr. č. 13 – Členění deterministických modelů dle WMO (Šmrhová, 2014)

Podle účelu jejich aplikace jsou modely rozdělovány do tří hlavních kategorií, na modely určené pro účely operativní hydrologie, modely využívané pro návrhovou a projekční činnost v oblasti vodního hospodářství a na modely využívané pro výzkumnou činnost. Vstupní data, která se využívají pro modely operativní hydrologie, jsou tvořena stavovými veličinami a okamžitými údaji z meteorologických stanic či radarů a následně automaticky převáděna do modelu. Důležité je především rychlé zpracování dat při jejich využití pro krátkodobé předpovědi vodních stavů či průtoků na tocích. Modely pro účely vodního hospodářství se zabývají především dlouhodobým řešením protipovodňové ochrany a řešením umístění technických staveb na toku. Modely, které se využívají ve výzkumu, slouží k získávání informací o jednotlivých složkách srážko-odtokového procesu (Jeníček, 2007).

Podle typu simulovaného systému jsou modely členěny na elementární a komplexní. Toto rozdělení je jedním z určujících pro vodohospodářskou praxi. Dělení jednotlivých typů je uvedeno v tabulce č. 1. Rozdělení podle typu simulovaného systému je uvedeno v tabulce č. 2 (Daňhelka a kol., 2003).

číslo	typ simulovaného systému	ID
1	Elementární systémy	
1,1	Hydrotopy	HU
1,2	Méně až středně velké odtokové plochy	SA
1,3	Zvodnělé vrstvy	AQ
1,4	Říční síť	RR
1,5	Nádrže a jezera	RL
2,0	Komplexní systémy	
2,1	Systém říčních sítí, nádrží a jezer	CS
2,2	Povodí nebo velké odtokové plochy	CB

tabulka č. 1 – Typy hydrologických systémů (Šmrhová, 2014)

číslo	hydrologické procesy a parametry	ID
1	Půdní vlhkost a evapotranspirace	ES

2	Podzemní voda, hladina, průtok	SG
3	Průtok a vodní stav v korytě	
3,1	s časovým krokem < 1 den	QF
3,2	s časovým krokem > 1 den	QM
4	Teplota vody, ledový režim	TW
5	Splaveniny a související parametry	QS
6	Kvalita vody	WQ

tabulka č. 2 – Hydrologické procesy a parametry použité při klasifikaci modelů (Šmrhová, 2014)

U hydrologických modelů lze rozlišovat stupeň jejich kauzality, a podle něj je dělit na deterministické a stochastické. Kauzalita procesu je vyjadřována vztahem příčina – důsledek. Většina hydrologických modelů obsahuje jak deterministické, tak stochastické prvky, přesto jsou však založeny pouze na jednom principu. Z tohoto důvodu se ve výstupech modelů obvykle objevují chyby, které by bylo možné v případě deterministického modelu vyjádřit stochastickými prostředky a naopak (Daňhelka a kol., 2003).

Základem deterministických modelů je vztah závislých (výstupní veličiny) a nezávislých (vstupní veličiny) proměnných. Jednotlivé deterministické modely se od sebe odlišují svou strukturou, fyzikálním přístupem či prostorovou a časovou diskretizací. Na základě těchto odlišností jsou podobně jako u Singhova přístupu modely děleny na black, grey a white box modely (Daňhelka a kol., 2003). Stochastické modely nejsou založeny na vztahu příčina – důsledek. Jsou založeny na pravděpodobnostním prvku, který ovlivňuje výstupy z modelu. V případě, že model proběhne několikrát za sebou, s naprosto totožnými vstupními daty, výstupy se budou kvůli tomuto pravděpodobnostnímu prvku pokaždé poněkud odlišovat (Becker and Serban, 1990).

Časovou diskretizaci modelu určuje volba časového kroku modelu. Pro situace operativního charakteru, povodňové studie či modelování transportu znečištění je velmi často používán hodinový až denní časový krok. Naopak pro bilanční modely je používán spíše delší, týdenní až měsíční krok. Z hlediska časové kontinuity modelu lze rozdělovat modely epizodní a kontinuální. Epizodní, jinak také

událostní modely, simulují chování povodí jen pro dílčí události, například během povodňových událostí či epizod hydrologického sucha. Kontinuální modely se využívají pro dlouhodobé, často i několikaleté simulace a modelují průtoky na území o velkých plochách (Daňhelka a kol., 2003).

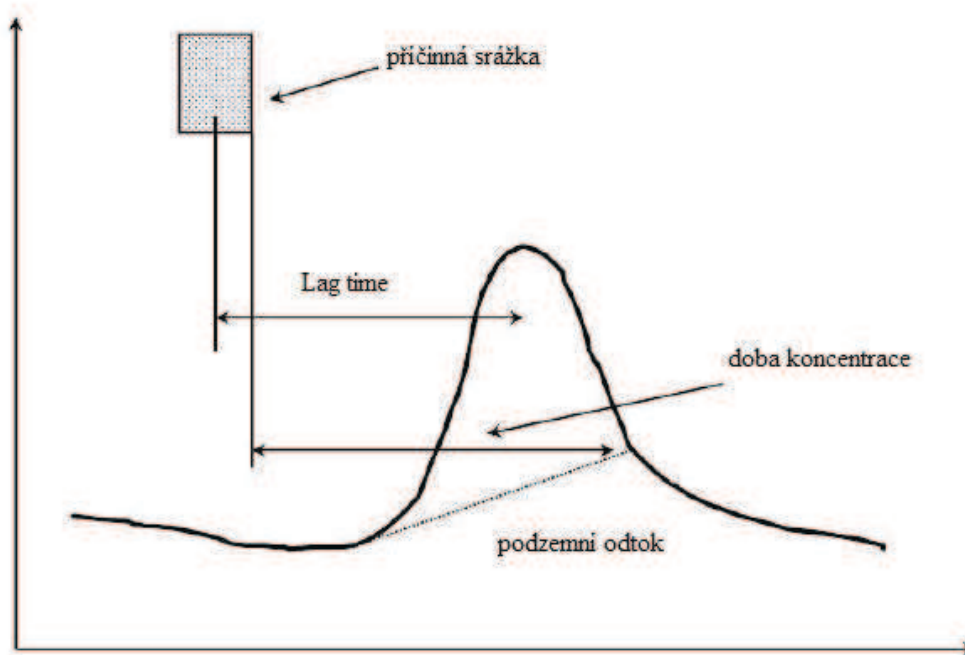
Členění podle prostorové klasifikace je poněkud složitější. Modely se dělí podle schematizace hodnoceného území. Rozdělovány jsou na celistvé, semi-distribované a distribuované. Celistvé modely jsou nazývány lumped modely, někdy též jako modely soustředěných parametrů. Parametry povodí mohou být vztahovány na celé nebo dílčí povodí a není zohledňována jejich prostorová distribuce. Jelikož jsou velmi jednoduché, patří celistvé modely mezi jedny z nejpoužívanějších. Semi-distribované modely jsou založeny na rozdělení území na menší celky. Členění probíhá na základě zvolených kritérií, a proto se jednotlivé celky vyznačují svou homogenností. Semi-distribované modely představují ideální kombinaci modelů celistvých a distribuovaných. Distribuované modely rozdělují území do pravidelné sítě, ve formě čtvercových, popřípadě trojúhelníkových elementárních odtokových ploch. Modelované procesy jsou následně řešeny pro každou plochu samostatně (Becker and Serban, 1990).

V současné době existuje celé množství více či méně úspěšných modelovacích programů. Nejznámějšími z nich jsou například MIKE – SHE, HEC – HMS, HEC – RAS, SWAT, Sacramento, HBV, HYDROG, WaSiM – ETH, WMS, TOPMODEL, KINFIL či NASIM a mnohé další. MIKE – SHE je srážko-odtokový model, který vyvinula dánská firma DHI. Je koncepčně distribuovaným a semi-distribovaným modelem, který je schopen kontinuální i epizodní simulace. Jeho výhodou je vazba na GIS a možnost řešení velkého množství hydrologických úkolů. Sacramento – SoilMoistureAccounting byl vyvíjen již od poloviny 70. let národní meteorologickou službou USA (NWS). V České republice je tento model součástí předpovědního systému Aqualog, využívaného Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ) pro povodí Labe. Pro povodí Moravy a Odry ČHMÚ používá předpovědní systém HYDROG (Bízek a kol., 2011).

3.3.3 Jednotkový hydrogram

Jednotkový hydrogram je hydrogram s jednotkovým objemem, zapříčiněný rovnoměrně rozloženým efektivním deštěm, jehož objem je rovněž roven jedné

jednotce (obr. č. 14). Jako první zavedl koncept jednotkového programu v roce 1932 Sherman. Jednalo se o jednodenní jednotkový hydrogram zapříčiněný efektivním deštěm trvajícím jeden den. Základem hydrogramu byl princip proporcionality. Shermanův koncept byl postupně rozvíjen mnoha dalšími autory, z nichž mezi nejznámější patří například Zoch (1943), Nash (1959) a Dooge (1959). V roce 1943 odvodil Clark spojením modelu izochron a lineární nádrže okamžitý jednotkový hydrogram, který je i v současnosti široce používán (Ramírez, 2000).



obr. č. 14 – Jednotkový hydrogram (Šmrhová, 2014)

Jednotkový hydrogram umožňuje stanovit charakteristické vlastnosti, které jsou dále použity při popisu odtokové odezvy daného povodí. V situacích, kdy je povodí zatíženo libovolným efektivním deštěm s různým celkovým objemem, z něj lze odhadnout hydrogram přímého odtoku. Obecně jsou jednotkové hydrogramy založeny na třech základních principech. Princip proporcionality vyjadřuje lineární vztah mezi efektivní srážkou a odtokem z povodí. Lze tak vyjádřit, jaká bude odezva povodí v případě, že během stejné doby trvání efektivního deště vstoupí do povodí několikanásobek jednotkového objemu efektivní srážky. Princip časové invariance určuje časové rozdělení odtoku. Doba odtokové odezvy způsobené nejednotkovou efektivní srážkou zůstává v porovnání s jednotkovou efektivní srážkou neměnná. Princip superpozice slouží ke stanovení hydrogramu přímého odtoku v případě kdy

je povodí zatěžováno efektivní srážkou trvajícím libovolným celočíselným násobkem doby trvání příslušného intervalového jednotkového hydrogramu. Podle doby trvání efektivního deště lze rozlišovat intervalové jednotkové hydrogramy, jejichž doba trvání příčinného deště je větší než nula a okamžikové jednotkové hydrogramy, s dobou trvání příčinného deště limitně rovnou nule. Dle způsobu stanovení se jednotkové hydrogramy dělí na datově orientované či syntetické modely. Datově orientované jednotkové hydrogramy jsou stanoveny na základě srážko-odtokových dat, zatímco syntetické modely jsou hydrogramy vyjádřené pomocí určitého modelu. Mezi syntetickými modely lze dále rozlišovat pravděpodobnostní, empirické, konceptuální a geomorfologické modely. Dále lze dělit jednotkové hydrogramy na spojité, vyjadřující závislost průtoku na čase spojitou křivkou a diskrétní, které vyjadřují průtok konečnou množinou hodnot (Máca, 2010).

Pravděpodobnostní modely využívají k odvození jednotkového hydrogramu popis rozdělení pravděpodobnosti náhodných veličin. Pro odhad jednotkového hydrogramu je využíváno předpokladu, že veličiny nabývají kladných hodnot s nenulovou nebo nulovou pravděpodobností a záporných hodnot s nulovou pravděpodobností a že mají tvar podobný povodňové vlně, která se vyznačuje krátkou dobou vzestupu. Mezi pravděpodobnostní modely lze zařadit například dvouparametrické gama rozdělení, beta rozdělení, Weibullovo rozdělení či odhad parametrů metodou momentů. Empirické modely jednotkového hydrogramu vycházejí z předpokladu, že přímý odtok z povodí a tvar hydrogramu jsou závislé na tvaru povodí. Charakteristiky povodí jsou popsány neměnnými indexy a tvar srážko-odtokové události pomocí charakteristik, jako je doba koncentrace a doba dotoku, na základě kterých lze stanovit jednotkový hydrogram. Mezi empirické jednotkové hydrogramy patří například Snyderův či Espeyův jednotkový hydrogram. Konceptuální modely umožňují odhad jednotkového hydrogramu pomocí předpokladů o chování hydrologického systému zkoumaného povodí. Jedná se hlavně o dva typy chování hydrologického systému: translační a retenční funkci. Hydrologický systém je často reprezentován soustavou různě navzájem propojených a uspořádaných nádrží a kanálů. Mezi konceptuální jednotkové hydrogramy lze počítat například Clarkův, Nashův, Diskinův či Doogův jednotkový hydrogram. Geomorfologický model jednotkového hydrogramu odhaduje jednotkový hydrogram na základě geomorfologických poměrů povodí (Máca, 2010).

3.3.4 Model HEC – RAS

HEC – RAS byl stejně jako HEC – HMS vyvinut ve výzkumném centru U. S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, River Analysis System. Od svého prvního vydání v roce 1995 již model našel využití v mnoha vědních oborech. Na rozdíl od modelu HEC – HMS, který je modelem hydrologickým, se však jedná o model hydraulický. Jedná se o 1D matematický model sloužící k modelování proudění o volné hladině, který je schopen modelovat jak proudění ustálené, tak neustálené, ale i transport sedimentů či kvalitu a teplotu vody. Program je schopen řešit proudění bystrinné, říční i jejich kombinace a zapojit do proudění v toku vliv různých překážek, jako jsou mosty, jezy či propustky (Brunner, 2008).

HEC – RAS je sjednocený systém, vytvořený pro interaktivní využití v různém prostředí. Jak již bylo zmíněno výše, obsahuje čtyři hlavní varianty výpočtu: ustálené proudění, neustálené proudění, transport sedimentů a analýzy kvality vody. Klíčovým prvkem je využití společných geometrických dat i geometrických a hydraulických výpočtů pro všechny čtyři komponenty. Program je navržený k vytváření jednorozměrných hydraulických výpočtů pro celou síť přírodních i umělých koryt toků (Brunner, 2008).

Při modelování ustáleného proudění lze modelovat proudění samostatným tokem i celou říční sítí v případě bystrinného, říčního proudění či jejich kombinace. Základní výpočty jsou založeny na řešení jednodimenzionální rovnice energie. Energetické ztráty v systému jsou zapříčiněny třením (Manningův koeficient drsnosti) a změnami tvaru koryta. Ve výpočtech jsou zvažovány i vlivy staveb na vodním toku – jezů, propustků, mostů a dalších (Brunner, 2008).

V modelech neustáleného proudění simuluje systém jednodimenzionální neustálené proudění celou říční sítí. Rovnice neustáleného proudění byla do modelu převzata z modelu UNET. Následně do ní byl začleněn i výpočet proudění v oblasti staveb na toku, převzatý z rovnice ustáleného proudění (Brunner, 2008).

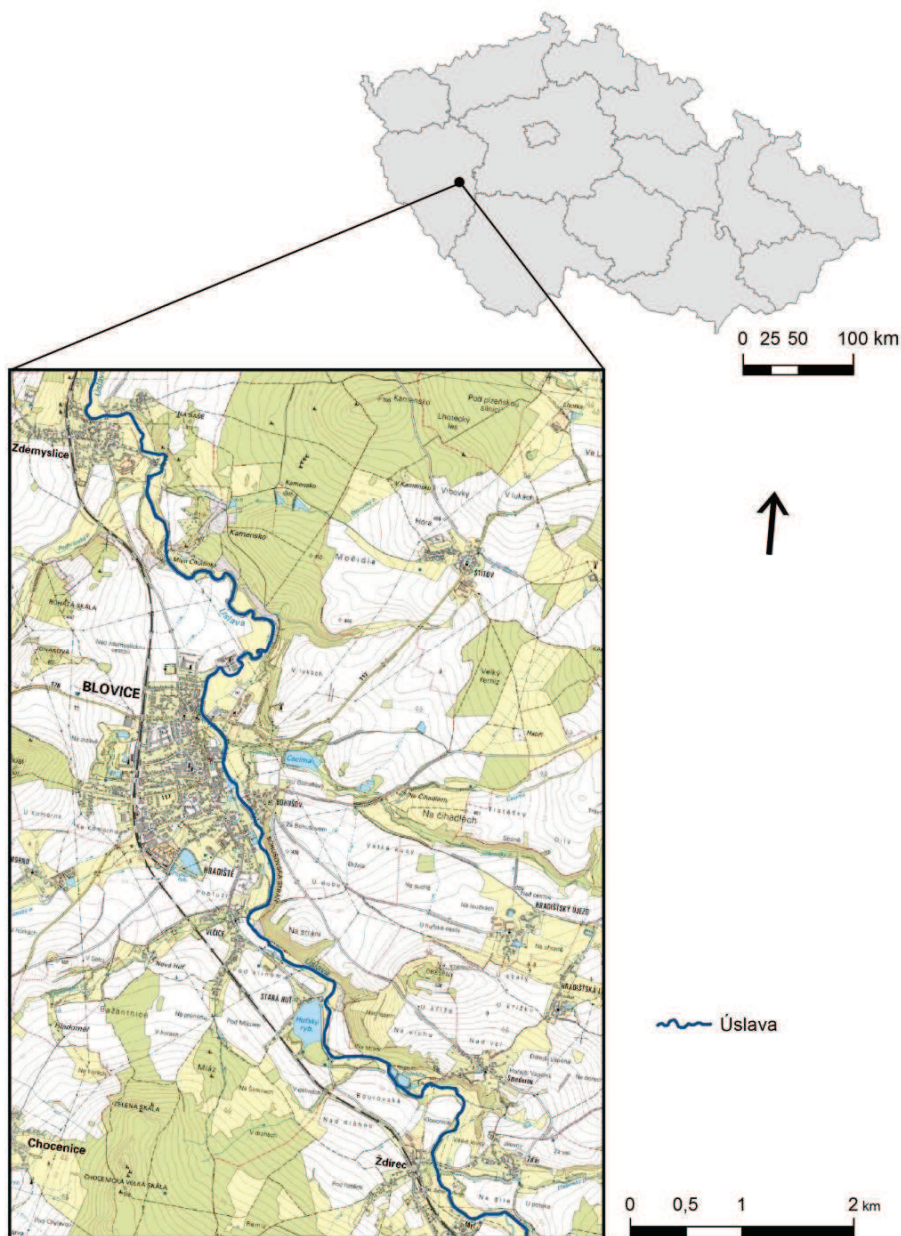
Část modelu, sloužící pro simulaci transportu sedimentů, pracuje s velikostí jednotlivých zrn sedimentu, z nichž určuje transportní potenciál sedimentu. Model byl vytvořen tak, aby vypovídal o dlouhodobých trendech transportu a ukládání

sedimentů v toku. Lze jej využívat například také pro výpočet sedimentů v nádržích (Brunner, 2008).

Analýzy kvality vody umožňují uživateli provádět analýzy kvality říční vody. V současných verzích programu se jedná o analýzu teploty vody a analýzu transportu některých suspendovaných látek (Brunner, 2008).

4. Charakteristiky zájmového území

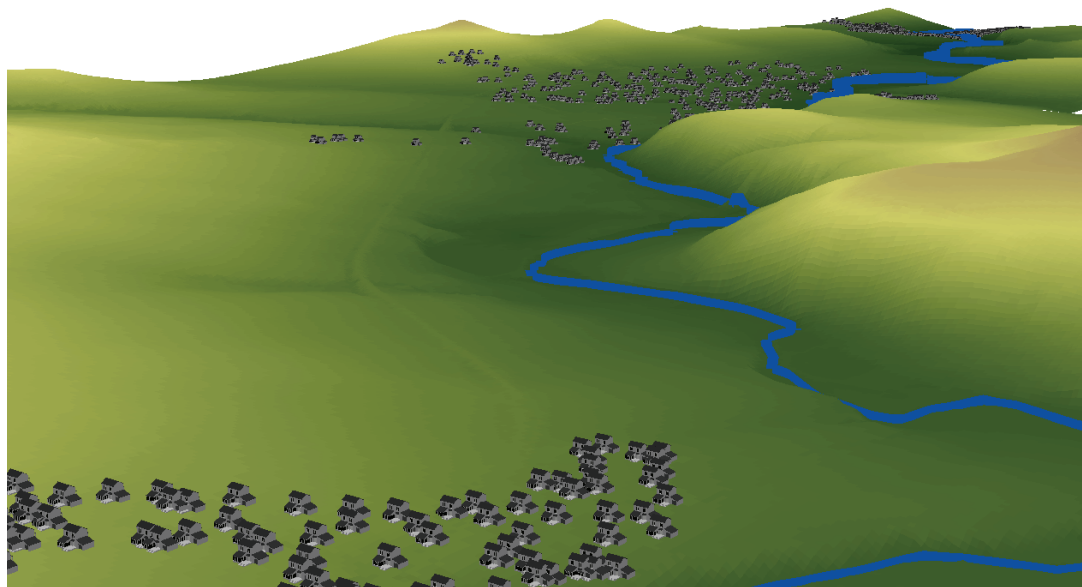
Jako zájmové území bylo zvoleno záplavové území řeky Úslavy v okolí obce Blovice (obr. č. 15). Celá oblast se nachází přibližně dvacet kilometrů jihovýchodně od krajského města Plzeň a je součástí Úslavského mikroregionu. Samotné město Blovice tvoří dominantní centrum mikroregionu, jehož osu představuje řeka Úslava.



obr. č. 15 – Zájmové území

Nadmořské výšky ve sledovaném území se pohybují v rozmezí 365,3 – 569,8 m n. m. V zájmové oblasti se nachází značné množství zástavby. Největší plochu

představuje obec Blovice, včetně přiléhajících Vlčic. Dále se zde nachází též zástavba v obcích Zdemyslice a Ždírec (obr. č. 16).



obr. č. 16 – Přehled zástavby v zájmovém území, v popředí Ždírec, vzadu Blovice;2x převýšeno

4.1 Geologie, pedologie, geomorfologie

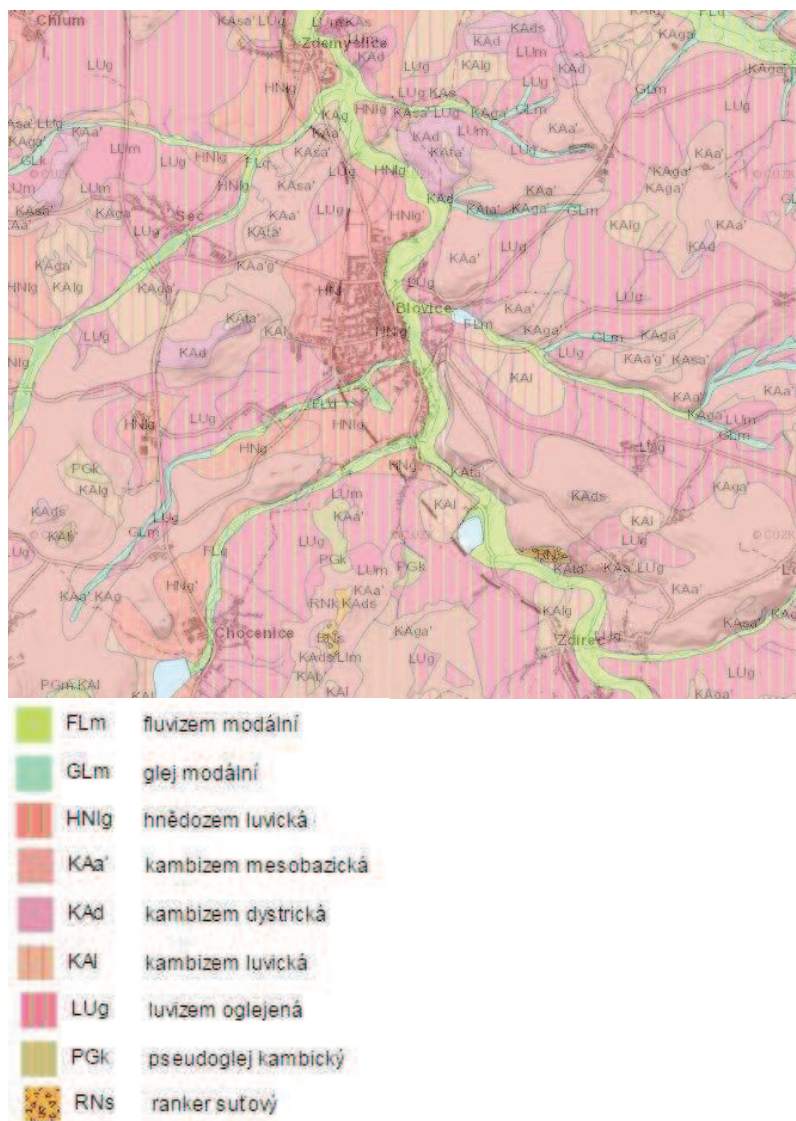
Z geologického hlediska spadá celá oblast do střeđočeské oblasti (Bohemika) Českého masivu. Je součástí proterozoického Barrandienu, konkrétně kralupsko – zbraslavské skupiny. Většina hornin v oblasti je proterozoického až neoproterozoického stáří. V oblasti převažují droby, prachovce a břidlice, popřípadě písčito-hlinité až hlinito-písčité sedimenty kvartérního stáří. Místy lze nalézt silicit, bazalt, andezitobazalt či tufy. V okolí toku se vyskytují kvartérní sedimenty hlíny, písku a štěrku (obr. č. 17).



- 745 droba, prachovec, břidlice
- 748 droba, prachovec
- 12 písčitohlinité sedimenty
- 25 sedimenty písku, štěrku a hlíny

obr. č. 17 – Geologické poměry oblasti (ČGS, 2015)

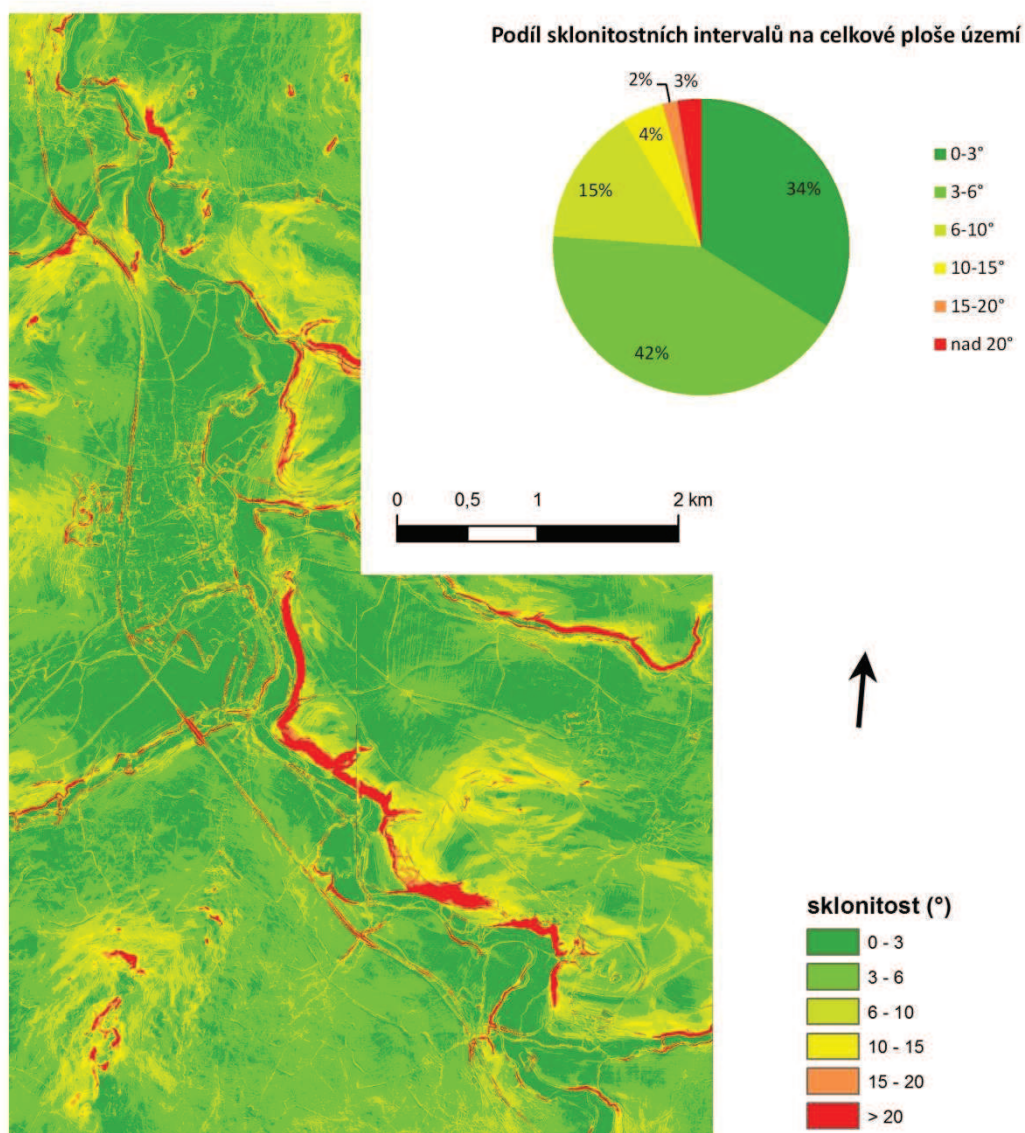
Z pedologického hlediska v oblasti výskytem převažují oglejenéluvické hnědozemě, oglejenéluvizemě a mesobazickékambizemě. Dále se zde vyskytují kambizemědystrická a luvická, místy ranker suťový a pseudoglejkambický. V oblasti toku se nacházejí modální fluvizemě, popřípadě modální gleje (obr. č. 18).



obr. č. 18 – Pedologické poměry oblasti (ČGS, 2015)

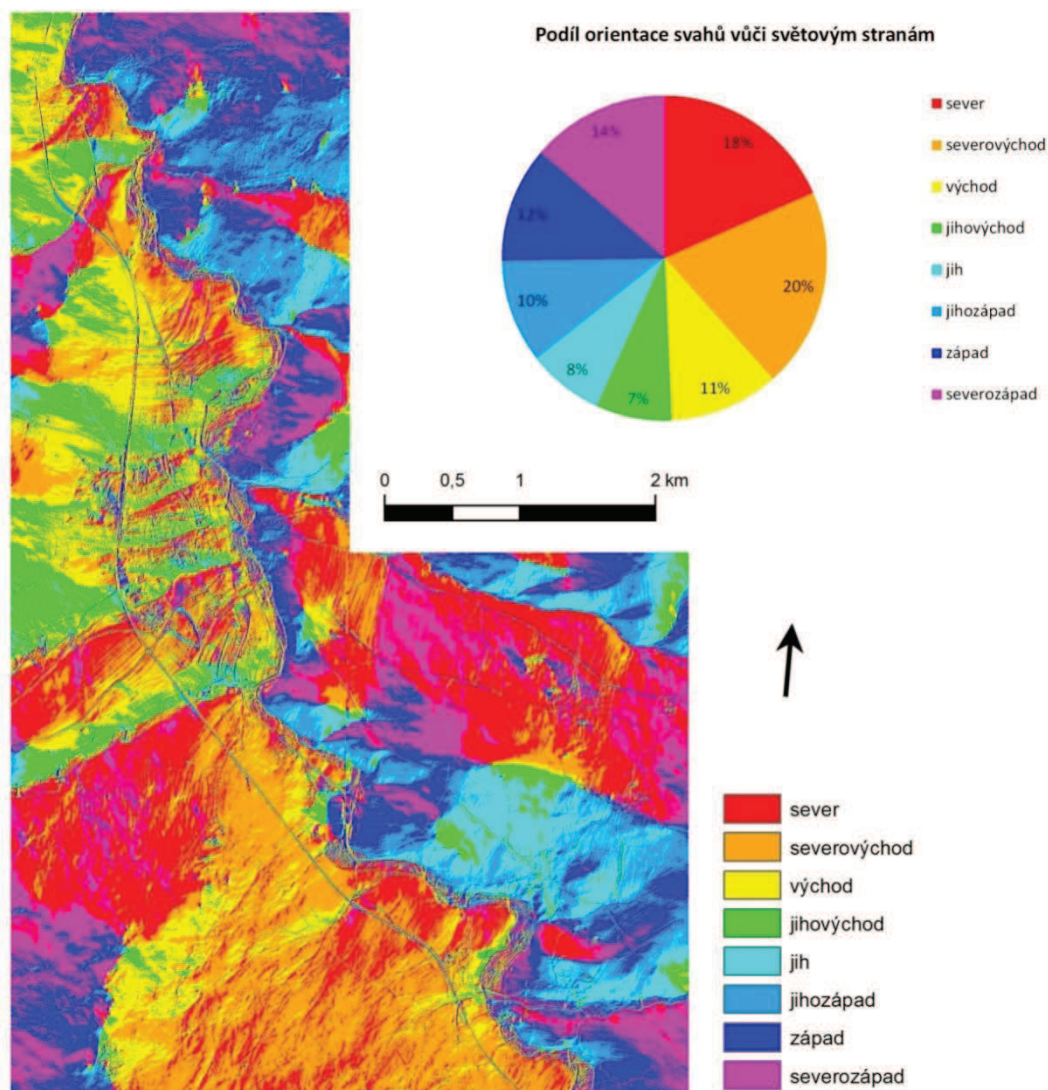
Demeka kol. (2006) řadí oblast do orografického celku Švihovské pahorkatiny, podcelku Radyňská vrchovina a oblasti Blouvícká pahorkatina. V území převažují především rovinatější plochy. Největší podíl zde představují jen lehce sklonité plochy se sklonem 3 – 6°. Ty se nacházejí na 42 % sledovaného území. 34 % zabírají naprosté roviny se sklonem do 3°. Plochy se sklonem 6 – 10° se vyskytují na 15 % území, sklonitější plochy se sklonem 10 – 15° jsou již méně zastoupeny a představují pouze 4 % sledovaného povrchu. Nejméně zastoupenou skupinou jsou sklony mezi 15 a 20°. Ty zabírají pouze 2 % území, zatímco nejvyšší kategorie sklonitosti se svahy nad 20° se vyskytuje na 3 % území (obr. č. 19). Jak je patrné, jedny

z nejsklonitějších ploch představuje pravý břeh Úslavy a jejích přítoků.



obr. č. 19 – Sklonitostní poměry zájmového území

Z hlediska orientace svahů vůči světovým stranám převažují v území plochy orientované severovýchodním směrem. Tyto plochy představují 20 % sledovaného území a vyskytují se především v jeho jižní oblasti. Na 18 % oblasti se vyskytují plochy orientované k severu, které se společně s plochami se severozápadní orientací (14 %) vyskytují ve střední části sledovaného území. Svahy s orientací k jihu (8 %) a jihozápadu (10 %) převažují ve východní části území, na pravém břehu Úslavy. Plochy s jihovýchodní (7 %) a východní (11 %) orientací se nacházejí především v okolí města Blovice (obr. č. 20).



obr. č. 20 – Expozice reliéfu zájmového území

4.2 Klimatické podmínky

Dle Quittovy klasifikace podnebí ČR se zájmové území nachází převážně v mírně teplé klimatické oblasti MT10, do severní části zasahuje i mírně teplá MT11. MT10 se dle Quitta (1971) vyznačuje dlouhým teplým a mírně suchým létem, krátkými přechodnými obdobími v podobě mírně teplého jara a podzimu a krátkou mírnou a suchou zimou s krátkým výskytem sněhové pokrývky.

Nejbližší meteorologické stanice ČHMÚ se nacházejí v obcích Nezvěstice a Nepomuk. Z řady meteorologických pozorování mezi lety 1990 – 2014 lze vysledovat, že nejdešivějším rokem byl rok 2002, během něhož došlo na celém území České republiky také k významným povodním. Průměrné roční srážky za rok

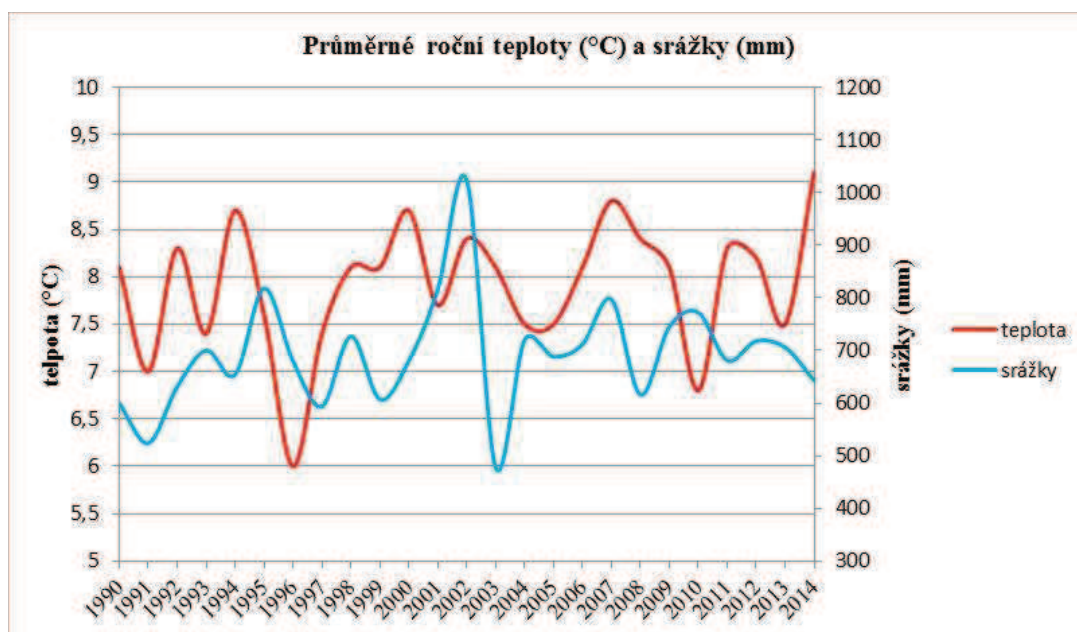
2002 činí pro Plzeňský kraj 1023 mm. Tento nejdeštivější rok byl vzápětí následován rokem nejsušším. V roce 2003 spadlo na území Plzeňského kraje v průměru 478 mm, což je o více než polovinu menší úhrn než v roce předešlém (tabulka č. 3). Mezi vývojem chodu srážek a chodu teplot nelze sledovat výraznější závislost (obr. č. 21). Zatím nejteplejším rokem za sledované období byl rok 2014, kdy průměrná roční teplota dosáhla 9,1°C. Naopak nejchladnějším během sledovaného období byl rok 1996 s průměrnou roční teplotou 6,0°C (tabulka č. 4).

1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
8,1	7,0	8,3	7,4	8,7	7,6	6,0	7,4	8,1	8,1	8,7	7,7	8,4
2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
8,1	7,5	7,5	8,1	8,8	8,4	8,1	6,8	8,3	8,2	7,5	9,1	

tabulka č. 3 – Přehled průměrných ročních teplot ve °C v oblasti mezi roky 1990 – 2014 (ČHMÚ, 2015)

1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
600	524	631	700	654	818	680	594	727	607	680	816	1023
2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
478	720	688	712	797	616	745	772	681	718	706	643	

tabulka č. 4 – Přehled průměrných ročních srážek v mm v oblasti mezi roky 1990 – 2014 (ČHMÚ, 2015)



obr. č. 21 – Vývoj průměrných ročních teplot a srážek v zájmovém území (ČHMÚ, 2015)

4.3 Biogeografické poměry

Zájmová oblast spadá pod působnost správy CHKO Český les. Územím přímo prochází regionální biokoridor, sledující koryto řeky Úslavy (obr. č. 22). Vedle tohoto biokoridoru se v oblasti též nachází regionální biocentrum. To je vymezeno přímo v nejbližším okolí obce Blovice, konkrétně v jejich části Bohušov.



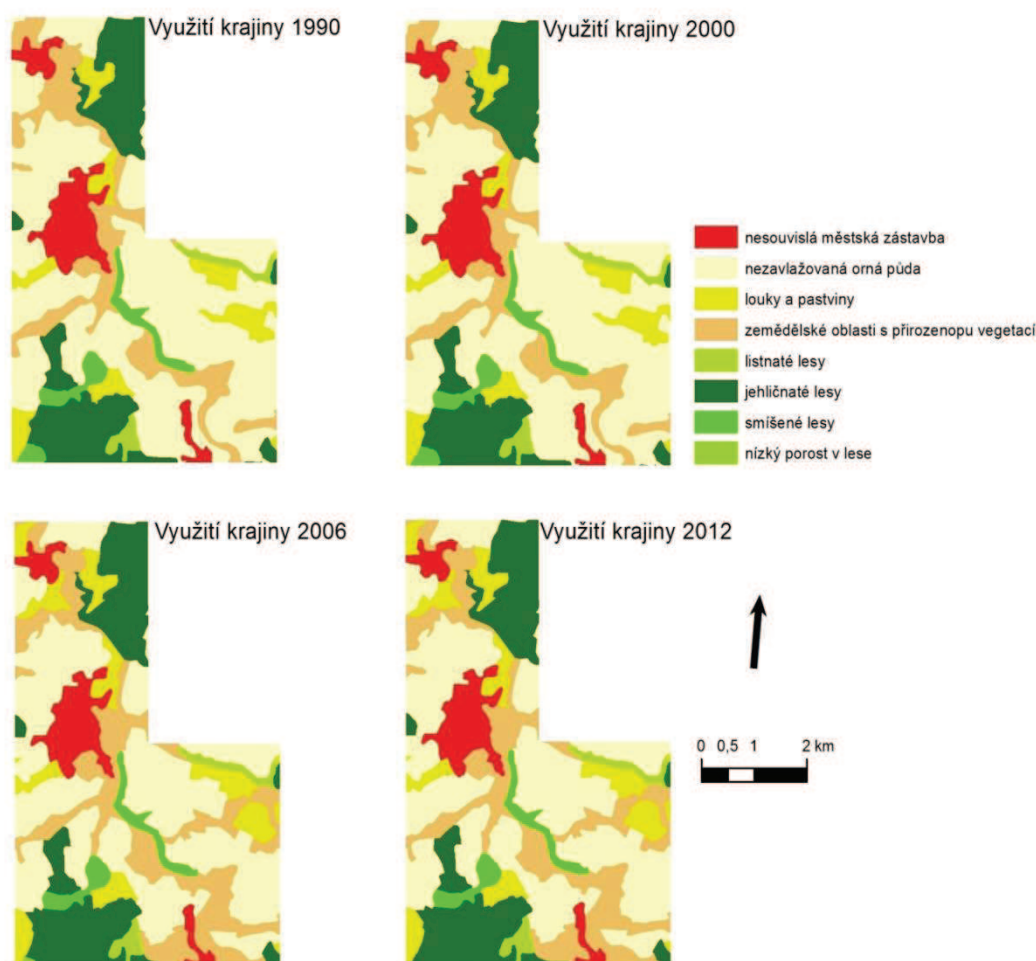
obr. č. 22 – Sít' územního systému ekologické stability procházející územím

Z fyto geografického hlediska náleží území do oblasti Českomoravského mezofytika. Mezofytikum je přechodnou oblastí mezi teplomilnou a chladnomilnou květenou a zabírá největší část území České republiky. Českomoravské mezofytikum je tvořeno celkem 63 okresy, které na sebe plynule navazují. Zájmová oblast se nachází v okrese Plzeňská pahorkatina vlastní. Potenciální přirozenou vegetací oblasti jsou bukové a jedlové doubravy.

Z hlediska typologie krajiny podle reliéfu se nachází oblast v kategorii krajiny oblasti Hercynica. Podle osídlení náleží mezi krajiny vrcholně středověké kolonizace Hercynica. Podle využití území spadá převážná část oblasti mezi lesozemědělské krajiny, jižní část se již řadí mezi krajiny lesní.

Vývoj krajinného pokryvu v oblasti nezaznamenal během let 1990 – 2012 přílišné změny (obr. č. 23). Po celou dobu zůstává nejrozšířenější složkou krajinného

pokryvu zemědělská orná půda. Své maximální rozlohy dosahovala v roce 1990 a od té doby postupně mírně ubývá. Celkem se od roku 1990 jedná o její úbytek na necelých 2,5 km². Mírný úbytek lze zaznamenat také u plochy smíšených lesů, jejichž rozloha se z původního 1 km² v roce 1990 snížila do roku 2012 na 0,87 km². Naopak nárůst plochy o 1,8 km² lze sledovat u zemědělských oblastí s přirozenou vegetací. Menší nárůst (0,5 km²) byl zaznamenán také u luk a pastvin.



obr. č. 23 – Změny ve využití krajiny mezi lety 1990 – 2012

Přímo v zájmovém území se nachází evropsky významná lokalita. Jedná se o odtěženou jámu s množstvím tůní v areálu opuštěné bývalé cihelny na severozápadním okraji obce Blovice (obr. č. 24). Jedná se o jednu z nejvýznamnějších lokalit výskytu kuňky žlutobřiché (*Bombinavariegata*) v jihovýchodní části Plzeňského kraje. Nacházejí se zde biotopy mokřadních vrbin, rákosiny eutotrofních stojatých vod a ruderalní bylinné vegetace nacházející se mimo sídla. V blízkosti zájmového území se také nachází evropsky významná lokalita

Chejlava, ležící jižně od obce Ždírec (obr. č. 24). Jedná se o lesní komplex zachovalých polopřirozených listnatých a smíšených porostů s bohatou hájovou květenou v podrostu. Součástí komplexu je i území, vyhlášené jako národní přírodní rezervace. V literatuře je oblast někdy označována jako jediná ukázka přirozených bučin na Plzeňsku. V podrostu se nachází mnoho významných druhů, například oměj vlčí mor (*Aconitumlycoctonum*), mokryš vstřícnicolistý (*Chrysospleniumoppositifolium*), lýkovec jedovatý (*Daphnemezereum*), kyčelnice devítelistá (*Dentariaenneaphyllos*), lilie zlatohlavá (*Lilium martagon*), měsíčnice vytrvalá (*Lunariarediviva*) či rozrazil horský (*Veronica Montana*). Vyskytují se zde též vzácnější druhy ptáků, mezi které se řadí čáp černý (*Ciconianigra*), pušтік obecný (*Strixaluco*), holub doupňák (*Columbaoenas*), datel černý (*Dryocopusmartius*) a sluka lesní (*Scolopaxrusticola*).

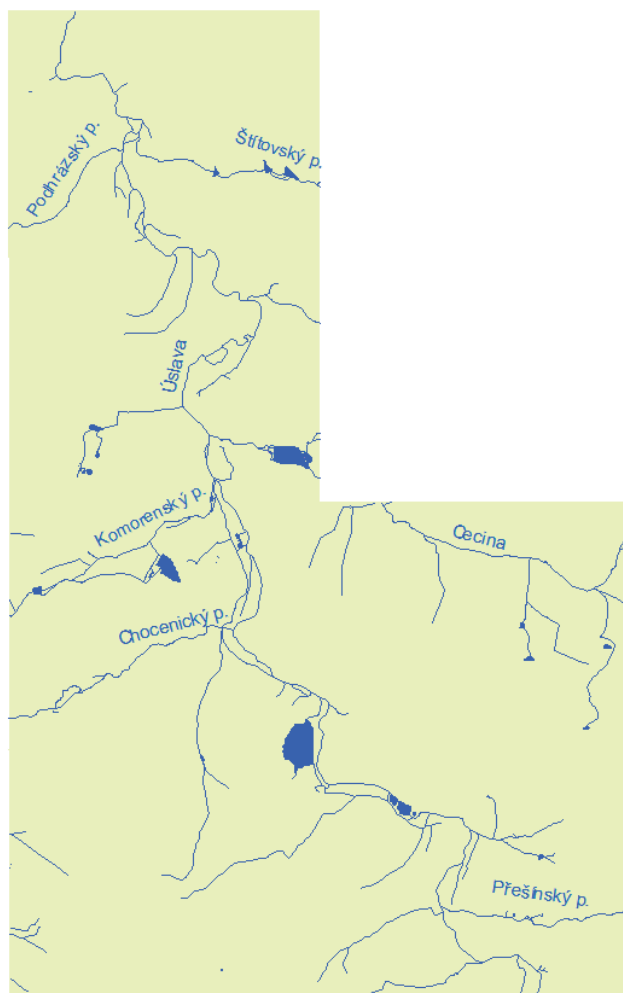


obr. č. 24 – Evropsky významné lokality Blovice (vlevo) a Chejlava (vpravo) v oblasti (www.nature.cz)

4.4 Hydrologie

Úslava, náležející do povodí Severního moře, pramení v oblasti Blatenské pahorkatiny, na úpatí nejvyššího vrcholu oblasti Drkolná (729 m). Se svými 96 kilometry představuje Úslava 26. nejdelší řeku na území České republiky. Nachází se výhradně na území Plzeňského kraje, kde se v Plzni vlévá do řeky Berounky. Plocha povodí Úslavy představuje 755,7 km² a řeka zde překonává celkové převýšení 338 metrů. Hned na počátku svého toku protéká Úslava Hnačovským rybníkem. Na celé délce toku se vyskytuje celkem pět významnějších levostranných a deset pravostranných přítoků, z nichž nejdůležitějším je Bradava, připojující se v obci Nezvěstice.

Přímo v zájmové oblasti se z větších přítoků nachází celkem 6 toků. Mezi levostranné přítoky patří Podhrázský potok, Komorenský potok a Chocenický potok, pravostranné přítoky v oblasti představují Štírovský potok, Cecina a Přešínský potok (obr. č. 25).



obr. č. 25 – Přehled vodních toků a vodních ploch v zájmové oblasti

Zajímavostí je, že řeka teče již od svého počátku sérií nesprávně pojmenovaných toků, mezi kterými jedinou výjimku představuje Vltava. Tok byl již od svého prvního pojmenování nazýván Bradlava. V roce 1712 však vyšlo ve Frankfurtu nad Mohanem dílo Mauricia Vogta, kde byl název toku zaměněn se sousední Úhlavou, a navíc bylo omylem nahrazeno písmeno h za β. Vznikl tak název Úβlava. Od této chyby nese také největší přítok Úslavy název Bradava. Následně se tok vlévá do Berounky, která je již v Kosmově kronice zmiňována až k soutoku s Vltavou jako Mže. Název Berounka je poprvé zmíněn v roce 1638, kdy v díle plzeňského kronikáře J. Tanera označuje úsek toku od Berouna po jeho soutok

s Vltavou. Pod Plzní se název Berounka objevuje v Müllerově Mapě Čech a již se jako kartografický název ustaluje. Poslední úsek chybně pojmenovaných toků tvoří Labe, tok, který by měl být dle všech hydrologických zákonitostí nazýván Vltava. Vltava je na soutoku s řekou Labe delší, má vyšší průtoky i větší plochu povodí. Němci však na svém území pojmenovali řeku Elbe, tudíž se pro ni tento název vžil i na našem území a Vltava je považována pouze za její přítok (Šmilauer, 1972).

V povodí zájmového toku se nacházejí celkem čtyři hlásné profily ČHMÚ. Tři z nich se nacházejí přímo na Úslavě, jeden na Bradavě. Všechny profily jsou ve správě regionálního pracoviště ČHMÚ Plzeň. Profil Prádlo je umístěn na 58. kilometru toku. Jedná se o profil kategorie B, který se nachází přímo v obci Prádlo a spadá pod ORP Nepomuk. Plocha povodí k tomuto uzávěrovému profilu činí 142,03 km². Průměrná výška hladiny se pohybuje okolo 50 cm, s průměrným průtokem 0,780 m³/s. Nejvyšší vodní stav zde byl zaznamenán 13. 8. 2002 a činil 281 cm. Profil kategorie A Ždírec se nachází v obci Ždírec a náleží pod ORP Blovice je umístěn na 42,5 kilometru toku. Plocha povodí k tomuto uzávěrovému profilu tvoří 375,81 km². Průměrná výška hladiny zde činí 50 cm a průměrný průtok 1,91 m³/s. Nejvyšší zaznamenaný vodní stav 218 cm zde byl dosažen 3. 6. 2013. Na toku Bradava je umístěn profil kategorie C, Žákava. Profil je umístěn v obci Žákava a náleží pod ORP Blovice. Plocha povodí k tomuto uzávěrovému profilu představuje 102,55 km². Průměrný vodní stav v profilu činí 34 cm, průměrný průtok 0,440 m³/s. Nejvyššího zaznamenaného vodního stavu 177 cm zde bylo dosaženo 1. 6. 2013. Hlásný profil Koterov je profilem kategorie A, nacházejícím se na 9,1 kilometru Úslavy, v Plzni – Koterově. Jako jediný z uvedených profilů slouží též jako předpovědní. Plocha povodí k tomuto uzávěrovému profilu tvoří 733,26 km². Průměrná výška hladiny dosahuje 32 cm a průměrný průtok 3,52 m³/s. Nejvyšší vodní stav byl zaznamenán 13. 8. 2002 a činil 371 cm.

Na Úslavě a jejích přítocích bylo již v minulosti vybudováno množství vodních děl – jezů a stupňů, náhonů, rybníků a úprav koryta. V oblasti Blovic je koryto toku zčásti regulováno opevněním břehů. Regulace proběhly také na Komorenském potoce, kde došlo u části toku k jeho zatrubnění. Chocenický potok je v oblasti Vlčic pozměněn na otevřený umělý kanál napájející vodní nádrže. Slouží také k zásobování vodního hospodářství zámecké zahrady a parku v Hradišti.

Z významnějších vodních děl v oblasti lze jmenovat Hut'ský rybník u Staré Huti s plochou hladiny 4,2 ha, Poplužní rybník u jižního okraje Blovic a větší rybník nacházející se v blízkosti Komorna.

5. Data a metodika

Hlavním zdrojem dat pro diplomovou práci byla lidarová data Digitálního modelu reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G). Data byla vytvořena pomocí leteckého laserového skenování Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním (ČÚZK) ve spolupráci s Ministerstvem obrany (MO) a Ministerstvem zemědělství (Mze). Lidarová data 5G jsou distribuována ve formě bodů uspořádaných do nepravidelné trojúhelníkové sítě. Vzdálenost bodů v síti je závislá na celkovém převýšení povrchu. Výšková data jsou vytvořena ve výškovém systému Balt po vyrovnání (Bpv). V odkrytém terénu představuje střední chyba výšky 0,18m, v zalesněném 0,30 m. Primární určení dat jsou analýzy terénních poměrů lokálního charakteru a rozsahu. Sloužit by data měla také jako základní zdrojová databáze pro tvorbu vrstevnic velkoměřítkových map. Projekt laserového skenování pro získání 5G dat probíhá nad územím České republiky od roku 2009. V současnosti je jeho ukončení plánováno v průběhu roku 2015, projekt však během svého průběhu nabral již celou řadu zpoždění, a proto toto datum zřejmě není definitivní (ČÚZK, 2015).

Údaje o průtocích a výškách hladin byly získány z databáze Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Přímě v zájmové oblasti se nenachází žádný měrný profil, v blízkosti zájmového území jsou však profily tři. Měrný profil Plzeň – Koterov se nachází v blízkosti ústí Úslavy do Berounky. Jedná se o předpovědní profil kategorie A, pro který je pomocí programu Aqualog vydávána předpověď průtoků na 48 hodin dopředu. Nachází se na 9,1 říčním kilometru, což znamená, že je od zájmové oblasti celkem vzdálen. Navíc se nachází až za soutokem s největším přítokem Úslavy, Bradavou, a tak nejsou hodnoty z tohoto profilu zcela vypovídající i pro zájmové území, které je situováno ještě před soutokem s Bradavou. Měrný profil kategorie C Žákava se již nachází v území působnosti ORP Blovice, je však umístěn na toku Bradava. Pro analýzy průtoků v zájmovém území je tak naprosto nepoužitelný. Jako nejvhodnější byl tedy zvolen profil Ždírec (ČHMÚ, 2015).

Měrný profil Ždírec je profilem kategorie A. Nejedná se však jako v případě Koterova o předpovědní profil, z čehož vyplývá, že pro něj nejsou vydávány hydrologické předpovědi. Profil je umístěn na 42,5 říčním kilometru a spadá do působnosti ORP Blovice. Nachází se v obci Ždírec, na levém břehu toku v místě

silničního mostu (obr. č. 26). Průměrný průtok profilem činí $1,91 \text{ m}^3/\text{s}$ a průměrná výška hladiny 50 centimetrů. První stupeň povodňové aktivity je zde vyhlášen při dosažení průtoku $14,9 \text{ m}^3/\text{s}$ (výška hladiny 150 cm), 2. SPA při průtocích $28,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (výška hladiny 190 cm) a 3. SPA od dosažení průtoku $54,3 \text{ m}^3/\text{s}$ a tomu odpovídající výšce hladiny 220 cm. Stupni extrémního ohrožení, který je vyčleňován při dosažení padesátiletých průtoků Q50, odpovídá průtok $153 \text{ m}^3/\text{s}$. Stoletý průtok Q100 je v profilu Ždírec představován průtokem $189 \text{ m}^3/\text{s}$.



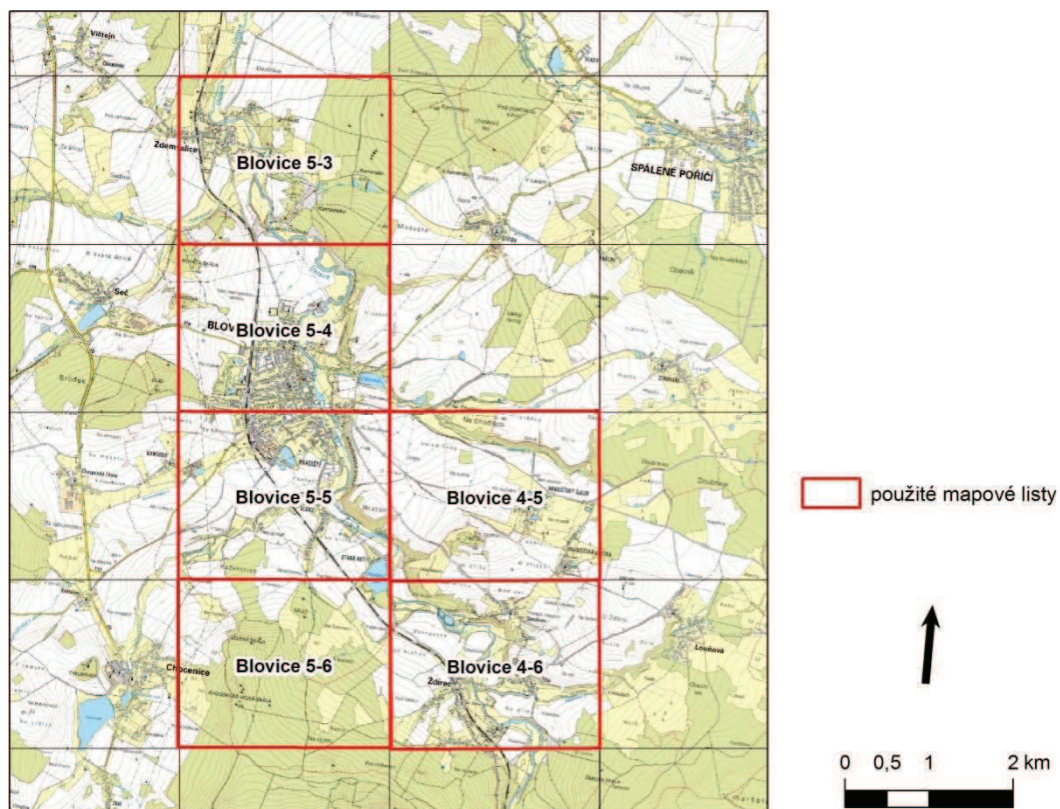
obr. č. 26 – Umístění hlásného profilu Ždírec (ČHMÚ, 2015)

Jako podkladová data vodních toků a ploch byly využity vrstvy zdarma poskytované Výzkumným ústavem vodohospodářským T. G. M. (VÚV T. G. M.) v rámci databáze DIBAVOD.

5.1 Tvorba digitálního modelu terénu

Digitální model terénu (DMT) byl vytvořen na základě bodové vrstvy lidarových dat 5G. Vrstva bodů tvoří nepravidelnou trojúhelníkovou síť, kde rozestupy jednotlivých bodů závisí na členitosti terénu. Data obsahují souřadnice X, Y a H, kde souřadnice H reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání. Standardní výdejní jednotkou dat je mapový list SM5 o velikosti 2,5 x 2 kilometry. Data jsou distribuována jako textový formát x, y, z v souřadnicovém systému S – JTSK.

Pro tvorbu digitálního modelu terénu v zájmovém území Blovic bylo k dispozici 6 mapových listů SM5 zakoupených Fakultou životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze (obr. č. 27).



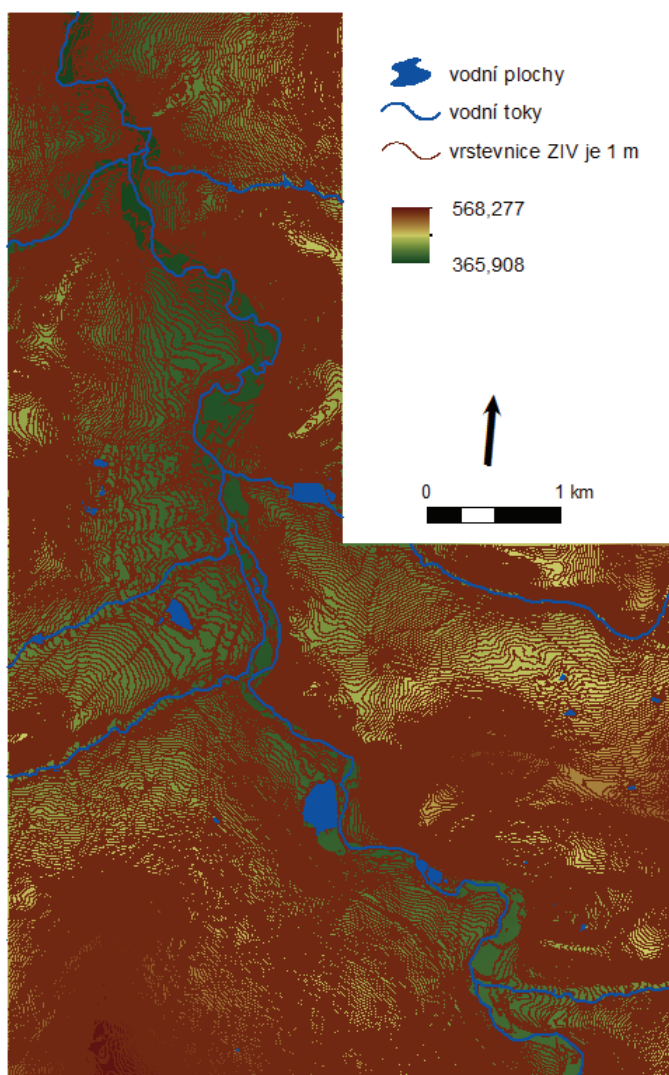
obr. č. 27 – Výběr mapových listů SM5

Digitální model terénu představuje jednu z hlavních podkladových vrstev diplomové práce. Vychází z něj informace o příčných řezech terénem dále používané v programu HEC – RAS. Práce s daty digitálního modelu reliéfu 5. generace probíhala v programu ArcMap od společnosti ESRI. Samotná data jsou dostupná buďto ve formátu *LAS* (Laser fileformat) či jako textový soubor ve formátu *XYZ*. Textový soubor lze do programu ArcMap importovat ve formátu *ASCII*. K tomu je využito funkce *ASCII 3D To FeatureClass*, která je součástí sady *3D Analyst*. Tímto způsobem dojde k vytvoření bodové shapefilové vrstvy, které je zapotřebí ještě zpětně v atributové tabulce dopočítat výškovou souřadnici *z*. Celkem je pracováno s 3 584 578 body. Práce s daty je tak náročná nejen časově, ale především v požadavcích na hardwarové vybavení počítače.

Bodová vrstva, obsahující souřadnici *z*, je následně využita pro samotnou tvorbu digitálního modelu terénu (obr. č. 28). K té je využito funkce *Topo To Raster*, která je součástí sady funkcí *SpatialAnalyst*. Funkce vytváří z bodové vrstvy či z vrstvy vrstevnic hydrologicky korektní model terénu, který může být dále zpřesňován například říční sítí, vodními plochami či vrcholy. Během tvorby digitálního modelu terénu dochází též k eliminaci vytváření bezodtokých depresí,

pokud nebyly předem navoleny. V této práci je jako zdrojová vybrána bodová vrstva, obsahující výškové informace v souřadnici z. K zpřesnění modelu je využito vrstvy vodních toků a vodních ploch z databáze DIBAVOD. Jako základní velikost rastru je zvolen 1 m.

Z digitálního modelu terénu je následně vygenerována vrstva vrstevnic se základním intervalem 1 m (obr. č. 28). K vytvoření vrstevnicové vrstvy lze využít funkce *Contour*, která se nachází v sadě nástrojů *3D Analyst* či *SpatialAnalyst*.



obr. č. 28 – Digitální model terénu zájmového území

5.2 HEC – GeoRAS

Pro přípravu vstupních dat do programu HEC – RAS a jejich správný formát je využíváno extenze programu ArcMap, HEC – GeoRAS. Jako hlavní vstup pro

sadu nástrojů Hec – GeoRAS slouží již vytvořený digitální model terénu. Vstupní rastr může být použit buďto ve formě *TIN* (Triangulated Irregular Network) či jako *GRID*. Z rastru jsou následně získávány výškové hodnoty jednotlivých vrstev. V práci byl zvolen podkladový rastr ve formě *GRID*.

K vytvoření dat pro export do programu HEC – RAS slouží sada nástrojů *RAS Geometry*. Pomocí sady nástrojů *Create RAS Layers* se v programu ArcMap postupně vytvoří všechny podkladové vrstvy. Některé vrstvy jsou programem přímo vyžadovány, jiné jsou brány pouze jako volitelné. V případě, že podkladové vrstvy již byly vytvořeny dříve, jen je potřeba jim přiřadit příslušná *Hydro ID* a exportovat je v odpovídajícím formátu, lze využít sady nástrojů *ApUtilities*.

Mezi povinné prvky exportovaných dat patří pouze linie toku a příčné řezy. Mezi volitelné například linie břehů, linie směru toku či krajinný pokryv území. Samotné prvky jsou vytvářeny pomocí Editoru, v případě práce na základě ortofota České republiky a digitálního modelu terénu.

Pomocí funkce *StreamCenterline* je vytvořena hlavní osa toku. Ta je vrstvou, která by měla být vytvořena jako první, jelikož některé další vrstvy jsou na ní závislé. Počáteční bod linie se nachází v horním úseku toku v uvažované oblasti a linie dále kopíruje tok ve směru jeho proudění. Vzniklá linie je pojmenována názvem toku a jejím jednotlivým úsekům jsou přiřazeny rozdílné popisky. Následně je jednotlivým částem toku přiřazeno *HydroID*.

Funkcí *Bank Lines* jsou vytvořeny linie břehů, které vymezují hlavní koryto toku a oddělují ho tak od záplavových území. Stejně jako u linie toku je jejich editace založena na podkladovém ortofotu. Vytvoření břehových linií je jednou z volitelných funkcí programu a není pro export dat důležité. Břehy lze později vyznačit i v programu HEC – RAS. V programu HEC – GeoRAS lze namísto funkce *Bank Lines* využít i funkce *Bank Points*, která místo celé linie vytvoří pouze body břehů v místě příčných řezů.

Funkce *FlowPathCenterlines* patří stejně jako *Bank Lines* mezi funkce volitelné. Slouží jako podklad pro výpočet vzdáleností mezi jednotlivými příčnými řezy. Pokud není tato vrstva vytvořena, je nutné vzdálenosti doplnit ručně v programu HEC – RAS. V programu ArcMap není nutné ji znovu editovat. V případě že již byla vytvořena vrstva hlavní linie toku, použije ji jako vzor a

automaticky okopíruje její průběh. Pokud je však vytvářena ručně, platí pro ni stejná pravidla jako pro tvorbu hlavní linie toku. Především musí být vedena ve směru toku od jeho horního bodu k uzávěrovému profilu modelovaného území a nesmí být v rámci toku přerušována.

Druhým z povinných prvků je vytvoření příčných řezů. K jejich vytvoření slouží funkce *XS Cut Lines*. Řezy mohou být vytvářeny buďto ručně ve zvolených bodech či automaticky. Při manuální editaci je důležité vést příčný řez vždy od levého břehu k pravému a postupně ve směru toku. Jednotlivé řezy by také měly být vedeny kolmo k toku, nemělo by docházet k jejich překryvům a nesmějí protínat koryto toku na více místech. V práci je využito automatické vygenerování příčných řezů, se základním intervalem 200 metrů a šířkou řezu 500 metrů. Takto vygenerované řezy jsou následně dle potřeby ručně poupraveny. Vytvořené řezy si lze prohlédnout pomocí nástroje *XS Plot*. Vzhledem k tomu, že takto vytvořené řezy neodpovídají rozsahu rozlivů, je vytvořena ještě jejich druhá varianta, ve které jsou řezy vytvořeny ručně a pokrývají celý rozsah rozlivu vody z koryta toku. V této variantě nemají řezy pravidelné rozestupy ani délku a výsledky slouží k doplnění varianty první.

Funkce *LanduseAreas* je dalším z nepovinných prvků. Slouží k přiřazení hodnot Manningova součinitele drsnosti n na základě krajinného pokryvu jednotlivým bodům příčných řezů. Jako podklad krajinného pokryvu je použita vrstva Corine Land Cover 2012. Vytvořená vrstva krajinného pokryvu musí překrývat veškeré části všech příčných řezů. Jednotlivým plochám jsou následně přiřazeny příslušné hodnoty Manningova součinitele drsnosti n jejich doplněním do atributové tabulky, konkrétně do pole „*N_Value*“. Oblasti koryta je přiřazena hodnota n 0,035, loukám a pastvinám 0,030, orné půdě 0,035, křoviskům 0,060 a lesům hodnota n 0,15.

Po vytvoření všech prvků je nutné nastavit parametry exportovaných souborů. V případě že bylo vytvořeno více vrstev, než je pro export potřebné, lze si ve funkci *LayerSetup* vybrat ty vyhovující. V záložce *RequiredSurface* je nastavována výchozí vrstva ve formě *GRIDu* či *TINu*, ze které jsou následně získávány výškové informace. *RequiredLayers* vyžaduje nastavení vrstvy reprezentující linii toku a vrstvy příčných řezů. V záložce *OptionalLayers* lze nastavit všechny volitelné vrstvy, které byly vytvořeny.

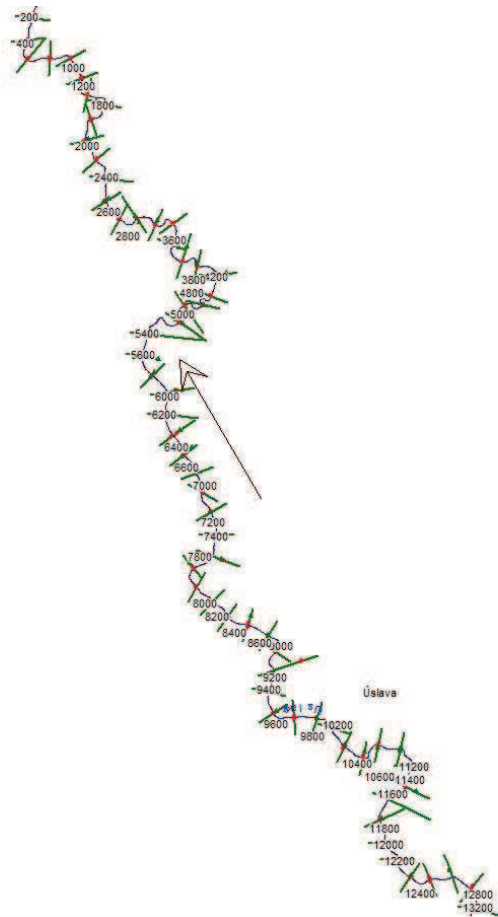
Veškeré vytvořené vrstvy jsou ve formě 2D a je tedy nutné přidat jim ještě výškovou souřadnici z a zároveň další parametry potřebné pro transport. Sada funkcí *StreamCenterlineAttributes* dopočítává potřebné parametry pro linii toku. Funkce *Topology* dopočítává umístění a napojení jednotlivých úseků říční sítě. Funkce *Lengths/Stations* dopočítává délku každého úseku toku. Sada funkcí *XS Cut Lines Attributes* doplňuje parametry jednotlivým příčným řezům. *River/ReachNames* přiřazuje k příčným řezům jméno toku a úseku, na kterém se nachází. *Stationing* přidává jednotlivým příčným řezům staničení. Hodnoty staničení jsou počítány od uzávěrového profilu území vzhůru proti proudu toku. *Bank Stations* přiřadí příčným řezům body břehů. Jako podklad pro tuto vrstvu slouží vrstva břehových linií. Funkce *DownstreamReachLengths* je založena na výstupu z funkce *FlowPathCenterlines* a vypočítává z něj délku jednotlivých úseků toku. Funkce *Elevations* na základě digitálního modelu terénu dopočte pro všechny body příčných řezů výškovou souřadnici z .

Vzhledem k tomu, že je používána i vrstva krajinného pokryvu, je potřeba vyexportovat z ní hodnoty n . Toho je dosaženo pomocí funkce *Manning's n Value – Extract N Values*. Jednotlivým úsekům příčných řezů jsou pak přiřazeny rozdílné hodnoty Manningova součinitele drsnosti.

Samotný export souborů do formátu vhodného pro použití v programu HEC – RAS probíhá pomocí funkce *Export RAS Data*. Proběhnutím funkce dojde k vytvoření souboru ve formátu *ASCII* a přechodného souboru *XML*, jehož formát je při importu do HEC – RASu změněn na formát *SDF*.

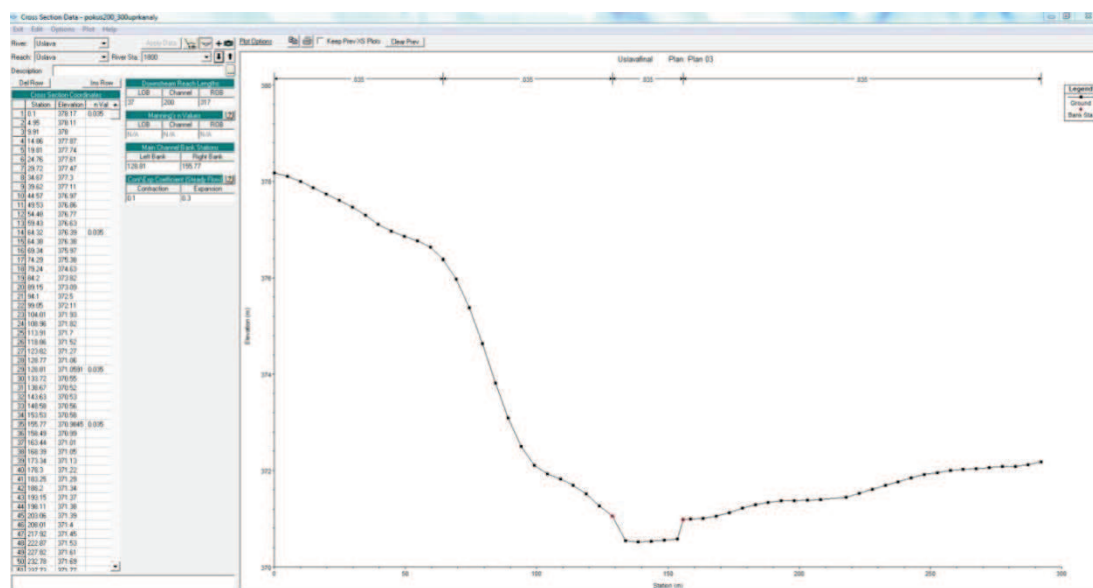
5.3 HEC – RAS

Při zakládání nového projektu je navolen jako výchozí metrický systém jednotek. Import souboru vytvořeného extenzí HEC – GeoRAS do programu HEC – RAS probíhá v editoru geometrických dat. Slouží k němu sada funkcí *Import Geometry Data*, kde je zvolen *GIS Format*. Opět je z nabízených možností zvolen metrický jednotkový systém. Pokud bylo vytvořeno větší množství podkladových souborů než je ve skutečnosti potřebné, je možné ještě před importem vybrat pouze ty vrstvy, které si opravdu přejeme importovat do programu (obr. č. 29)



obr. č. 29 – Schématické znázornění Úslavy a příčných řezů v programu HEC-RAS

Po importu je možné jednotlivé příčné řezy prohlížet a případně poupravit v editoru *CrossSection* (obr. č. 30). Mimo to je zde také možné vytvářet nové příčné řezy či naopak mazat ty existující.



obr. č. 30 – Příklad příčného řezu v editoru CrossSection

Po skončení veškerých úprav geometrických dat je možné přistoupit k nastavení podmínek proudění. Jako základní je v práci zvoleno ustálené proudění. Během vytváření lidarových dat 30. března 2011 činil průtok v profilu Ždírec 1,48 m³/s, což v tomto profilu odpovídá vodnímu stavu 40 cm. Analýzy jsou prováděny s povodňovými průtoky x-letých vod. Ty jsou v profilu Ždírec následující:

$$Q_1 = 38,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_5 = 69,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{10} = 89,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{50} = 153 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{100} = 189 \text{ m}^3/\text{s}$$

Je také nutné nastavit okrajové podmínky. Pokud známe hloubky toku odpovídající v jednotlivých profilech jednotlivých průtokům lze jako okrajová podmínka zvolit *KnownWaterSurfaceElevations*. *Rating Curve* lze použít jako okrajová podmínka v případě, že je známa konsumpční křivka závislosti průtoku a výšky hladiny. *NormalDepth* je použita v případě že jsou známy spádové podmínky toku. V práci byla použita okrajová podmínka *CriticalDepth*. Při této okrajové podmínce není potřeba vkládat další dodatečné informace. Kritická hloubka je dopočtena automaticky programem pro všechny profily.

Po proběhnutí funkce *Run* lze zobrazit výsledky jak pro jednotlivé řezy, tak pro celou zobrazovanou oblast. Zpátky do ArcMapu jsou výsledné vrstvy vyexportovány pomocí příkazu *Export GIS Data*. V dialogovém okně lze navolit výstupní data včetně výstupní lokace.

5.4 Prezentace výsledků

Nadstavba HEC – GeoRAS je kromě přípravy jednotlivých vrstev pro export do programu HEC – RAS schopna také jejich importu. Pro import výsledných vrstev do programu ArcMap slouží sada nástrojů *RAS Mapping*. Vzhledem k tomu, že výstupní data z programu HEC – RAS jsou ve formátu *SDF*, je nejprve nutné je konvertovat do formátu *XML*. Převod do tohoto formátu je prováděn pomocí funkce *Convert RAS SDF to XML File*.

Po získání dat v příslušném formátu je možné je importovat do programu ArcMap. Nejprve je potřebné založit novou analýzu a nastavit její parametry. Přes *LayerSetup* lze nastavit podkladový rastr, lokaci *XML* souboru a lokaci, kam budou ukládány vzniklé výstupy. Po vytvoření nové analýzy se však do projektu nahraje jen podkladový rastr. Výstupy z HEC – RAS se nahrají pomocí funkce *Import RAS Data*.

Sada nástrojů *InundationMapping* slouží k prezentaci výsledných ploch rozlivů. Funkce *WaterSurfaceGeneration* vytvoří *TIN* odpovídající svým rozsahem ploše příčných řezů. Tímto způsobem jsou vytvořeny *TINy* pro všechny modelované rozlivy od Q_1 po Q_{100} . Z takto vzniklých vrstev jsou pak pomocí funkce *FloodplainDelineationUsingRasters* vytvořeny vrstvy ploch a hloubek rozlivů. Vzhledem k tomu, že je počítáno se dvěma variantami příčných řezů, jsou výsledky obou variant na závěr sloučeny pomocí funkce *Cell Statistics*, kde je vždy vybrána větší hodnota pixelu a je tak vytvořena finální varianta rozlivu povodně.

6. Současný stav poznatků

Ačkoliv přímo obcí Blovice protéká řeka Úslava a obec bývá často zasažena povodněmi, v současnosti zde není v provozu ani ve výstavbě žádné protipovodňové opatření. Naposledy byla obec postižena povodněmi v květnu 2014, rozlivy většího významu zde nastaly naposledy během výše zmiňovaných povodní v červnu 2013 (obr. č. 31). Během této povodňové události dosáhla Úslava v profilu Ždírec 217 centimetrů, což odpovídá 2. stupni povodňové aktivity. 3. SPA však tok dosahuje již při 220 centimetrech, takže hladina toku se pohybovala jen těsně pod jeho hranicí. Průměrná výška hladiny toku zde činí 50 cm. V profilu Plzeň Koterov bylo během povodní v červnu 2013 dosaženo hladiny 275 cm, což již odpovídá 3. SPA, který je v úseku vyhlášen od 200 cm. Průměrný stav hladiny v profilu je 32 cm.



obr. č. 31 – Povodně v Blovicích v červnu 2013 (www.nase-voda.cz)

Ačkoliv zatím nejsou v okolí Blovic protipovodňová opatření zrealizována, v novém územním plánu obce z roku 2013 je pro ně vyhraněno území. Mezi plochami technické infrastruktury je pro protipovodňová opatření vyhrazeno celkem 5346 m² (tabulka č. 5).

TI - Plochy technické infrastruktury

Poř. číslo plochy	Označení plochy	Název změny	Účel změny a vybrané specifické podmínky v území a požadavky	Plocha (m ²)	IVP (%)	VRZ	Min. podíl plochy veř.prostr. (%)	Min. podíl plochy sídel. zeleně (%)
609	P-609-0(W)	Protipovodňová opatření	Přístup a manipulační plocha s protipovodňovým opatřením Protipovodňová hráz, mobil. stěna Přestavba demoliční	723	0	n	0	0
610	P-610-0(W)	Protipovodňová opatření	Přístup a manipulační plocha s protipovodňovým opatřením Protipovodňová hráz, mobil. stěna Přestavba demoliční	1629	0	n	0	0
611	P-611-0(W)	Protipovodňová opatření	Přístup a manipulační plocha s protipovodňovým opatřením Protipovodňová hráz, mobil. stěna Hodnotné území zámeckého parku Přestavba smíšená	1315	0	n	0	0
612	P-612-0(W)	Protipovodňová opatření	Přístup k vodnímu toku a manipulační plocha s protipovodňovým opatřením Protipovodňová hráz, mobil. stěna Přestavba demoliční	464	0	n	0	0
613	P-613-0(W)	Protipovodňová opatření	Přístup k vodnímu toku a manipulační plocha s protipovodňovým opatřením Protipovodňová hráz, mobil. stěna Přestavba demoliční	1215	0	n	0	0

tabulka č. 5 – Přehled ploch vymezených v ÚP Blovice pro PPO (MÚ Blovice, 2013)

Celkově si územní plán (obr. č. 32) klade za cíl navýšení retence vody v krajině, za pomoci protierozních opatření a prvků územního systému ekologické stability. Zájem je soustředěn také na průtočnost koryt toků. Protipovodňová a současně i protierozní opatření by měla být prvotně řešena nejen ve zranitelných oblastech, ale i v oblastech náchylných k erozi a splavování půdy. Upřednostňováno by mělo být řešení protipovodňové ochrany v širším kontextu celého toku a ne jen v konkrétních místech na toku.

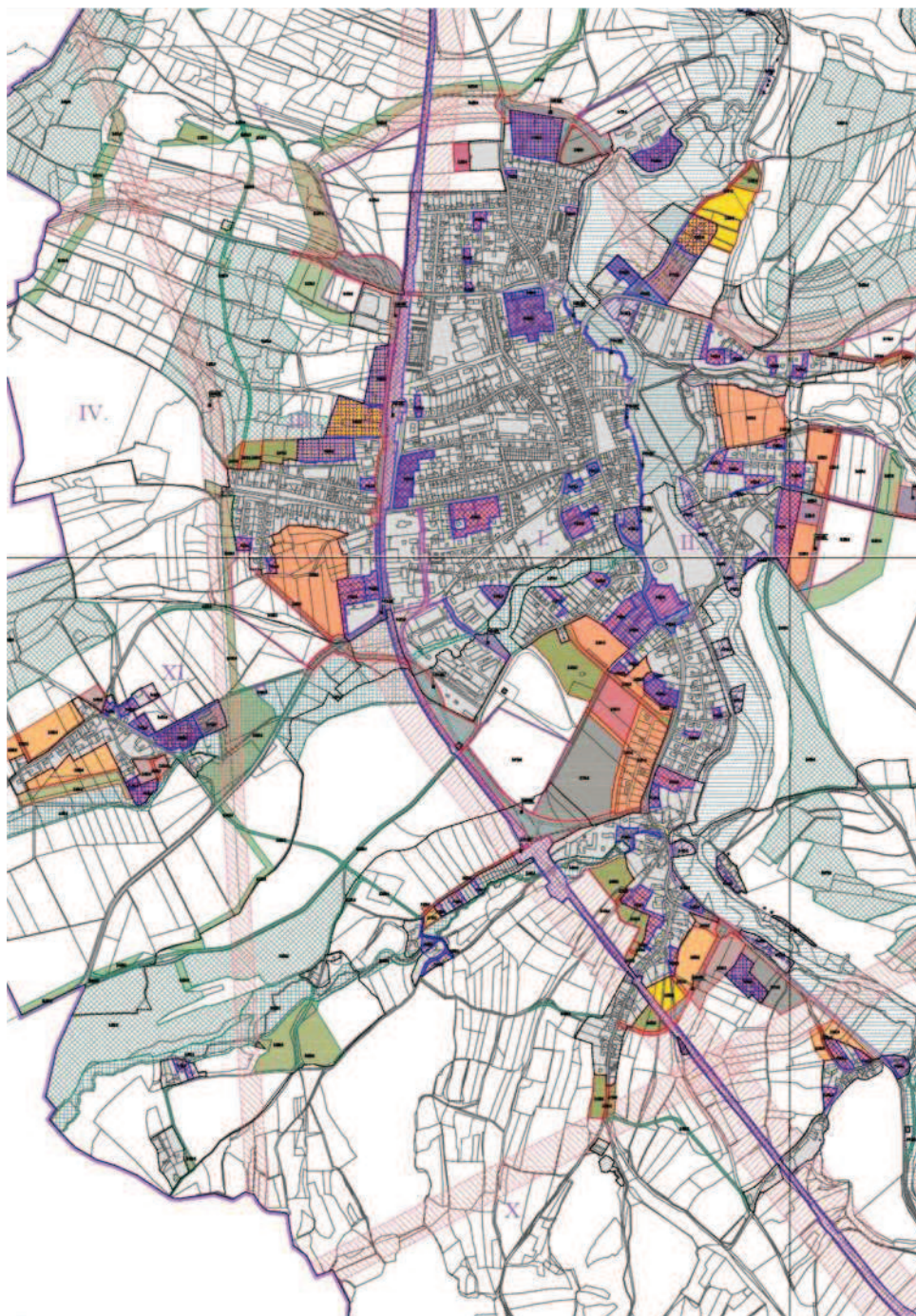
Konkrétní plochy pro protipovodňová opatření jsou vymezeny v minimálním nutném rozsahu na řece Úslavě. Jedná se především o plochy pro liniová protipovodňová opatření, vyčleněné za účelem ochrany stávající nejohroženější části zástavby před zaplavením. Tento druh ploch je navržen v Blovicích na levém břehu řeky Úslavy. Jako konkrétní protipovodňové opatření je uváděno vybudování protipovodňového valu, dimenzovaného na $Q_5 - Q_{15}$, umístěného v oblasti Stará Hut' – U mlýna. Společně s dalšími úpravami je val navržen na 0,81 ha.

Plochy pro zvýšení retenční kapacity území, sloužící současně i jako protierozní, zahrnují tvorbu teras, travnatých průlehů, zatravnovacích pásů, výsadbu doprovodné a ochranné zeleně včetně větrolamů, obnovu mezí, tvorbu retenčních ploch, poldrů, revitalizace malých vodních toků, vodotečí a vodních ploch a změnu způsobu hospodaření na zemědělské půdě. Jedná se především o převod orné půdy na trvalé travní porosty. Takové úpravy jsou navrženy například v oblasti Blovice nad


cihelnou, v části Šibeniční Vrch, ve Vlčicích, v Hradišti nad Chocenickým potokem, v Hradišťské Lhotce a ve Štítově.

Revitalizace vodních toků je plánována jako obnova koryt do jejich původní podoby přírodě blízkým způsobem a výsadba doprovodné zeleně v příbřežních částech. Revitalizace jsou plánovány na Komorenském a Chocenickém potoce. Na Komorenském potoce je revitalizace plánována na třech dílčích plochách o celkové rozloze 22,82 ha. Na Chocenickém potoce se jedná celkem o čtyři dílčí plochy s celkovou rozlohou 10,39 ha.

Pro rozliv povodně jsou vymezena území související s rozsahem možné záplavy na řece Úslavě. Jsou zde zahrnuty plochy předpokládaného aktivního i pasivního záplavového území na obou březích Úslavy.



OPATŘENÍ A ZMĚNY V KRAJINĚ

 PLOCHY PRO PROTIPOVODNOVÁ OPATŘENÍ

 LINOVÉ PROTIPOVODNOVÉ OPATŘENÍ

(MOBILNÍ STĚNA, HRAZ, ZEMNÍ VAL, STÁVEBNÍ ÚPRAVY STÁVAJÍCÍCH NEBO NOVÝCH OBJEKTŮ AJ. DLE KONKRÉTNÍCH PODMÍNEK)

 PLOCHY PRO PROTIEROZNÍ OPATŘENÍ A ZVÝŠENÍ RETENČNÍ KAPACITY ÚZEMÍ

 PLOCHY PRO REVITALIZACI VODNÍCH TOKŮ

 PLOCHY PRO ROZLIV MÍSTNÍ POVODNĚ



obr. č. 32 – Územní plán města Blovice (MÚ Blovice, 2013)

V území je mezi 5,3 a 65,79 říčním kilometrem od 14. 12. 1984 vyhlášeno záplavové území pro Q_{100} . Na základě územního plánu by měla být údolní niva Úslavy ponechána co nejvíce bez zástavby, aby byl umožněn přirozený rozliv vody

při povodních. Jako nejvíce chráněné jsou vymezeny prostory historického území města. Jedná se o úsek mezi kostelem a severní hradbou zámku Hradiště a část historické zástavby severně od kostela. K jejich ochraně před rozlivy je využíváno mobilních protipovodňových stěn. Ve vymezeném záplavovém území na pravém břehu Úslavy se nachází chatová oblast. Tu je v územním plánu doporučeno již nerozšiřovat a popřípadě ji před povodněmi ochránit vybudováním podélné ochranné hráze, dimenzované alespoň na Q_5 . U ostatních vodních toků v oblasti není záplavové území stanoveno. Je zde tedy doporučeno pouze budování nových staveb v dostatečné vzdálenosti od toků.

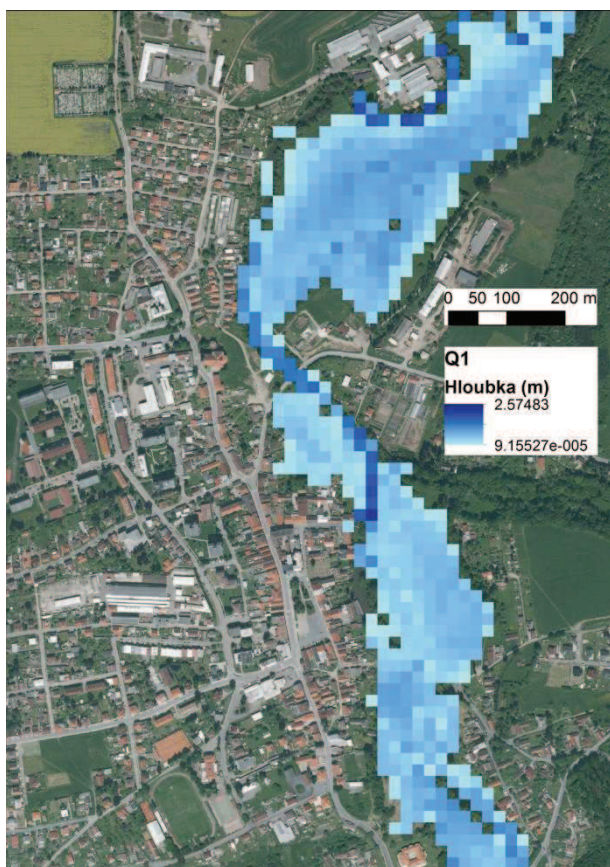
Přehled záplavových území většiny toků České republiky lze nalézt v Povodňovém informačním systému (POVIS). Jeho součástí je i digitální povodňový plán České republiky, v němž je zobrazena říční síť včetně vymezených záplavových území pro Q_5 , Q_{20} a Q_{100} . V oblasti řeky Úslavy však v současnosti nejsou tato území vymezena po celé délce toku. Nacházejí se v oblasti od pramene toku po obec Žinkovy a pak v úseku od obce Št'áhlavy po ústí toku do Berounky. V zájmovém území u obce Blovice vymezení záplavových území pro jednotlivé hodnoty rozlivu zcela chybí.

7. Výsledky

Jedním ze základních kroků práce, od které se odvíjejí další výpočty a analýzy, je volba metodiky pro tvorbu digitálního modelu terénu. Ten je následně používán jako podklad pro ostatní výstupy. Proto je vynaložena snaha dosáhnout jeho co nejvyšší přesnosti. Vzhledem k tomu, že podkladová data ve formátu 5G obsahují pro zájmové území celkem 3 584 578 bodů, je následná práce s nimi poměrně náročná na výkonnost počítače. Jako nejvhodnější metoda pro tvorbu digitálního modelu terénu byla zvolena metoda *Topo To Raster*, která vytváří hydrologicky korektní digitální model terénu.

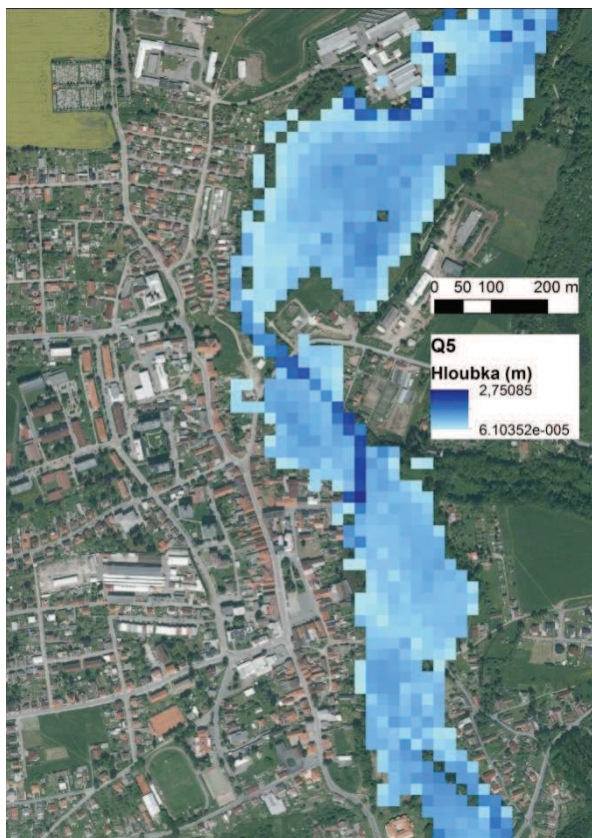
Výstupy z programu HEC - RAS jsou v programu ArcMap vzájemně porovnávány a vyhodnocovány. Zároveň je sledována ohroženost zastavěného území jednotlivými úrovněmi povodní. Zaplavené oblasti jsou porovnány s územním plánem obce Blovice, především s oblastmi, které by měly být určeny pro protipovodňovou ochranu.

Již při jednoletém průtoku, který činí v měrném profilu Ždírec $38,6 \text{ m}^3/\text{s}$ dochází k rozlivům toku mimo hlavní koryto. Nedochází zatím k zatopení budov, ale vzhledem k tomu, že některé jsou situované velmi blízko koryta toku, dostává se voda až k jejich hranici (obr. č. 33). Hloubka rozlitého toku se pohybuje od několika mm po 2,6 m. Hloubka toku je mimo koryto brána jako výška vodní hladiny nad terénem, v korytě toku je to výška vodní hladiny nad stavem během pořizování lidarových dat. Během pořizování lidarových dat byl průměrný průtok korytem toku $1,48 \text{ m}^3/\text{s}$, což přibližně odpovídá průměrnému ročnímu průtoku v oblasti. Mimo sledované území zástavby města Blovice lze větší rozlivy sledovat především v oblastech zákrutů a meandrů, kde tok snižuje svou rychlost a snáze se rozlévá do okolní příbřežní oblasti. Rozlivy během jednoletých průtoků nejsou nikde takového rozsahu, že by byla ohrožena i zástavba. Celkový přehled rozlivů během jednoletých průtoků je zobrazen v Příloze č. 1. Výstup z modelu HEC – RAS je znázorněn v Příloze č. 2.



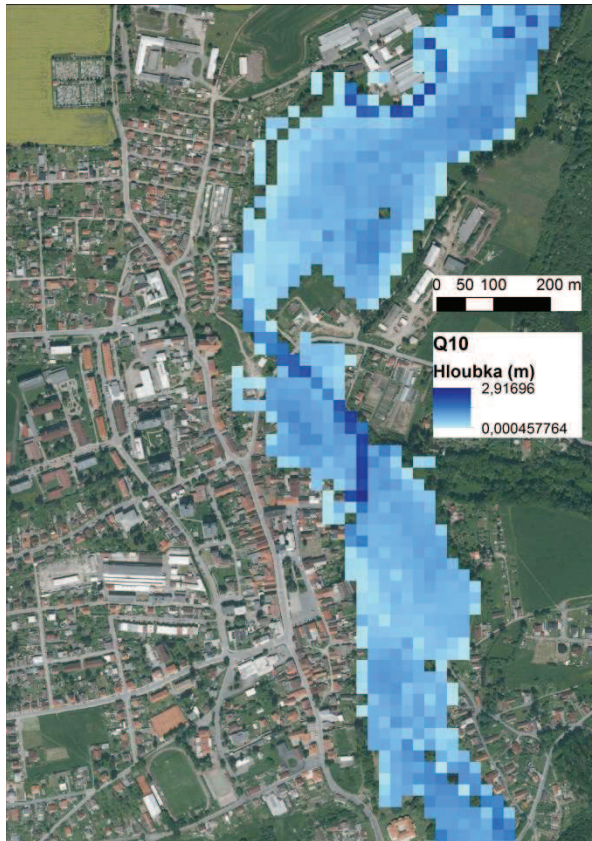
obr. č. 33 – Zástavba obce Blovice během rozlivu odpovídajícího Q_1

Během průtoků, odpovídajících pětileté vodě, dosahuje hloubka rozlivů až 2,75 metru. Průtok při Q_5 činí v profilu Ždírec $69,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Dochází k větším případům vyběžení vody z koryta, při kterých je již zasažena i zastavěná oblast Blovice. Postiženo je několik budov nacházejících se v blízkosti toku pod náměstím a dochází i k zaplavení části areálu zemědělského družstva. V této oblasti se však většina vody rozlévá do nívné oblasti na pravém břehu toku. Zaplavena je také značná část areálu zámeckého parku, zámek samotný je během pětiletého průtoku dostatečně vzdálen (obr. č. 34). Mimo oblast Blovice dochází ponejvíce k rozlivům v říční nivě do oblastí, které jsou využívány jako louky a pastviny, popřípadě jako orná půda. Zasaženo je též několik chatků v chatové oblasti Kamensko, nacházející se mezi Blovicemi a Zdemyslicemi. Tyto rozlivy zobrazené programem ArcMap lze nalézt v Příloze č.3 a programem HEC – RAS v Příloze č. 4.



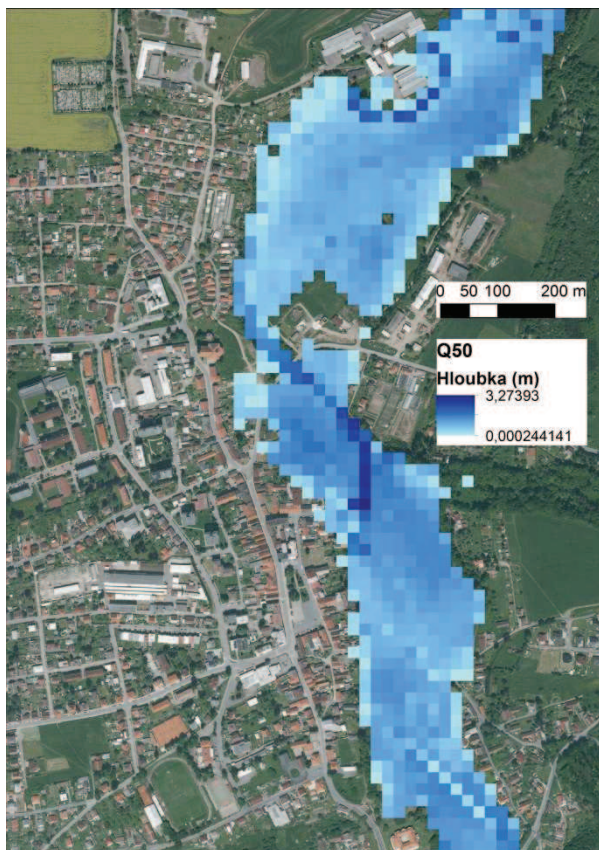
obr. č. 34 – Zástavba obce Blovice během rozlivu odpovídajícího Q_5

Rozlivy toku během desetiletých průtoků v Blovicích jsou poměrně srovnatelné s rozlivy během průtoků pětiletých. Výška vodního sloupce je však vyšší a dosahuje maximální hodnoty 2,92 metru. Desetiletý průtok profilem Ždírec činí $89,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Opět dochází k zatopení několika budov pod náměstím, části areálu zemědělského družstva a areálu zámeckého parku (obr. 35). Mimo oblast Blovic dochází opět především k četným rozlivům do oblasti říční nivy, což je znázorněno v Příloze č. 5. Výstup rozlivu desetiletých průtoků modelovaných v programu HEC – RAS se nachází v Příloze č. 6.



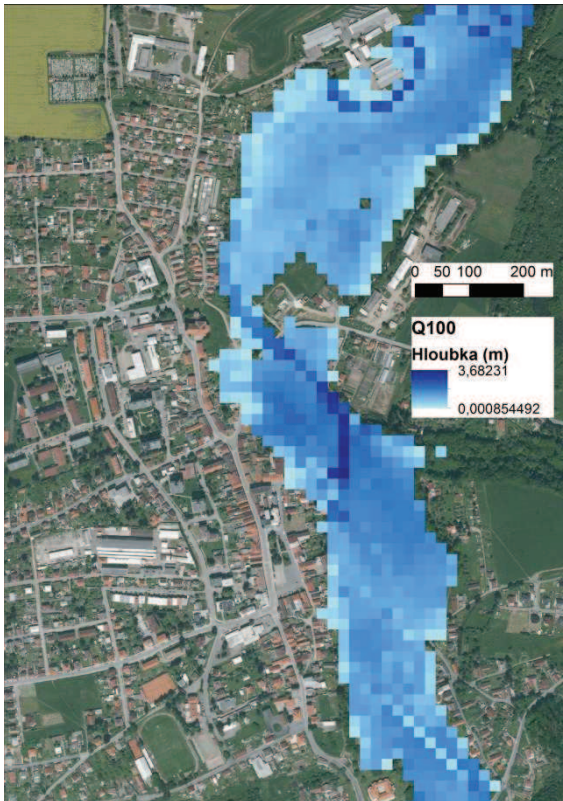
obr. č. 35 – Zástavba obce Blovice během rozlivu odpovídajícího Q_{10}

V případě padesátiletého průtoku dosahuje maximální výška vybřežené vody 3,27 metru. Padesátiletý průtok je v profilu Ždírec stanoven na $153 \text{ m}^3/\text{s}$. Rozlivy v areálu zemědělského družstva již zasahují do jeho větší části. Voda se dostává i k chatkám nacházejících se v blízkosti areálu. Postiženy jsou již i budovy nacházející se v blízkosti toku mezi náměstím a zemědělským areálem. Voda se dostává též k budovám na pravém břehu naproti zámeckému areálu (obr. č. 36). Mimo oblast Blovic je opět zasažena část chatové osady Kamensko a chatek nacházejících se na pravém břehu toku mezi Blovicemi a Kamenskem. Největší plochu zatopeného území opět představují nivy využívané jako louky a pastviny. Ohrožena je též část chatové osady v oblasti Vlčic a budovy nacházející se u toku ve Smederově. Výstup s modelovanými rozlivy z programu ArcMap se nachází v Příloze č. 7, z programu HEC – RAS v Příloze č. 8.



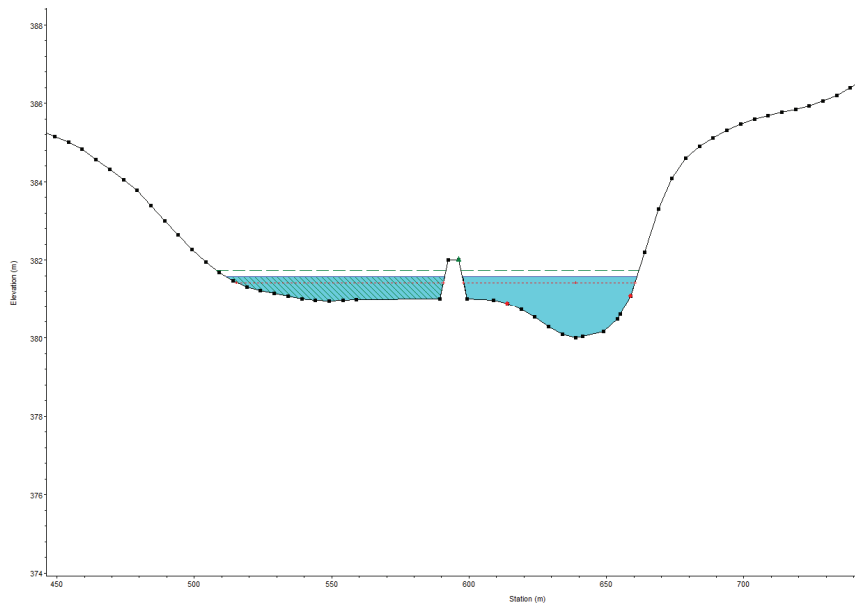
obr. č. 36 – Zástavba obce Blovice během rozlivu odpovídajícího Q_{50}

Během stoletého průtoku, který ve Ždírci činí $189 \text{ m}^3/\text{s}$ dosahuje maximální výška rozlivů ve sledovaném území 3,68 metru. V Blovicích se voda z toku dostává až ke spodnímu okraji náměstí. Částečně zaplavena je většina budov nacházejících se pod náměstím a především podél toku mezi náměstím a zemědělským areálem (obr. č. 37). Největší rozlivy jsou mimo Blovice opět především do oblastí pastvin a luk v říčních nivách. Voda z koryta se dostává již i do Huťského rybníka, který byl až do těchto průtoků chráněn před rozlivy svou hrází. Výsledky jsou zobrazeny v Přílohách č. 9 (ArcMap) a č. 10 (HEC – RAS).



obr. č. 37 – Zástavba obce Blovice během rozlivu odpovídajícího Q_{100}

Při srovnání s územním plánem je zřetelné, že modelované rozlivy jsou větší, než pro jaké je vymezena plocha v územním plánu. Plochy vymezené v územním plánu jako protipovodňové slouží v současnosti pouze k přirozeným rozlivům. Tyto plochy (obr. č. 32) jsou zality již při průtocích odpovídajících Q_1 . Při vyšších průtocích jsou již jako jediná protipovodňová ochrana nedostačující. Z tohoto důvodu je pro ochranu zastavěného území obce navržen protipovodňový val (obr. č. 38). Ten je navržen na výšku 1 metr.



obr. č. 38 – Návrh protipovodňového valu v programu HEC - RAS

Protipovodňový val je dimenzován na stoletý průtok Q_{100} . Umístěn je v říční nivě v blízkosti náměstí (obr. č. 39). Plocha je nyní využívána jako trvalý travní porost. V případě že bude val vytvořen ze sypané zeminy a následně zpevněn travním porostem, je možné ho nenásilně začlenit do okolní krajiny.



obr. č. 39 – Umístění protipovodňového valu (červeně)

Jen postavení valu však situaci nijak výrazně nezlepší. Vzhledem k tomu, že v oblasti nad valem jsou budovy umístěny v těsné blízkosti toku, není zde na podobná opatření dostatek prostoru. Voda vylitá do oblasti zástavby by se odsud však dostávala i za val. Nejvhodnější možností je oblast nad valem zabezpečit pomocí mobilních protipovodňových stěn. Ty lze umístit i do oblasti pod valem, kde zástavba též zasahuje až k hranici koryta toku.

Při využití mobilních protipovodňových stěn a protipovodňového valu by mělo dojít k ochraně většiny postižených budov v obci Blovice na levém břehu Úslavy. Vzhledem k omezení rozlivů do oblasti levého břehu je pravděpodobné zvětšení zatopené plochy na břehu pravém. Zde je ohrožena zahrádkářská kolonie. Pro plnou protipovodňovou ochranu obce by tak bylo nejvhodnější pozměnit územní plán obce a začlenit do něj více prostorů pro dočasný rozliv toku či pro vytvoření suchých poldrů.

8. Diskuze

Při tvorbě digitálního modelu terénu jsou využita lidarová data Digitálního modelu reliéfu České republiky 5. generace. Ta v porovnání s předchozí datovou sadou 4. generace vykazují vyšší výškovou přesnost jak v odkrytém, tak v zastíněném terénu. Jako nejvhodnější metoda převodu těchto bodů na rastr je zvolena metoda *Topo To Raster*.

Volbou vhodné metody pro převody lidarových dat na rastrová se zabývá například práce Čady a Šilhavého (2013). Ti porovnávali přesnost 3D vrstevnic ZABAGED a lidarových dat v oblasti Plzeňska. Výsledkem je poznání, že lidarová data obsahují v porovnání se ZABAGEDem minimum hrubých chyb a jsou tedy výškově podstatně přesnější. Přesnost jednotlivých digitálních modelů reliéfu porovnávali ve své práci Mikita, Cibulka a Janata (2013), kteří zároveň zkoumali výběr nejvhodnější interpolační metody. Stejně jako Šmrhová (2014) posuzovali přesnost digitálních modelů reliéfu, vytvořených různými metodami, pomocí střední kvadratické chyby (RMSE). V obou případech vyšla jako nejpresnější z metod pro převod bodové vrstvy na digitální model reliéfu metoda *Topo To Raster*. Hodnoty RMSE navíc vyšly v obou pracích pro *Topo To Raster* kladné, což svědčí o umístění lidarových dat nad skutečným terénem.

Některé z nejistot obecně spojených s hydrologickým a hydraulickým modelováním souvisejí se získáváním průtočných dat. Průtočná data jsou ve většině případů odvozena pomocí konsumpčních křivek ze známé výšky hladiny. V případě nedostatku měření v profilu a malého počtu bodů v konsumpční křivce, může odvozením průtoků z výšek hladin docházet k odchylkám. Vzhledem k tomu, že většina srovnávacích měření je obecně prováděna v období průměrných průtoků, bývají tyto odchylky nejčastější u nadprůměrných či naopak podprůměrných průtočných situací. Chyby se však mohou vyskytovat i u samotného měření vodního stavu, ke kterému jsou ČHMÚ používána ultrazvuková a tlaková čidla. U ultrazvukových čidel může docházet k výpadkům měření v důsledku vybití akumulátoru či rozbití solárního panelu, který zajišťuje chod čidel. K případnému rozbití stanice může dojít v průběhu bouřkových situací, kdy dojde k přepětí stanice. Během zimních měsíců vzniká většina chyb měření v důsledku zasněžení či zámrazu stanice.

Záplavová území jsou vymežována na základě výstupů z programu HEC – RAS. Práce v programu probíhá na základě několikaletých průtoků získaných z internetových stránek ČHMÚ.. V práci je několikrát uvedena a objasněna přesná hodnota průtoků, pro který je daná plocha rozlivu modelována.

Digitální model terénu, který je vytvořen jako primární má přesnost 1 x 1 metr. Vzhledem k tomu, že je využíván k získávání výškových dat dalších vrstev, je jeho vysoká přesnost velmi důležitá. Výsledný rastr rozlivů je již poněkud hrubší a má velikost pixelu 5x5 m. K tomuto snížení rozlišení rastu dochází v průběhu zobrazování výstupů programu HEC – RAS v ArcMapu. S ohledem na celkovou rozlohu zájmového území se i tato velikost rastru jeví jako dostačující.

Samotné rozlivy zasahují i při průtocích odpovídajících Q_{100} především oblast údolní nivy. Ta je z velké míry využívána jako louky a pastviny, na několika místech je však zastavěna. Vzhledem k tomu, že právě obec Blovice se již několikrát potýkala s následky povodní, je až překvapivé, že zde doposud nebyly zrealizovány žádné prvky protipovodňové ochrany. Během povodní je přístup k ochraně obyvatelstva a majetku, představovaný především stavbou mobilních bariér a podobnými opatřeními. V samotném územním plánu, který byl navržen v roce 2013, jsou jako protipovodňová ochrana vymezeny plochy přirozeného rozlivu, o celkové výměře 5346 m². Převážná část těchto ploch je však vodou zalita již při průtocích odpovídajících Q_1 a během vyšších vodních stavů se dostává i mimo ně. Tyto plochy jsou navíc vyběženou vodou zaplavovány zcela přirozeně a příliš tak neulehčují průtokům níže po toku, například právě v Blovicích. Spíše než prvek protipovodňové ochrany jsou spíše přirozeným územím rozlivu a bez určité úpravy situaci v oblasti nemění.

Pro zvýšení ochrany zástavby v obci je v práci navržen protipovodňový val o výšce jednoho metru. Ten však sám o sobě nemá uplatnění, jelikož voda se za něj může dostávat z výše zaplavených částí obce. Pro jeho funkčnost je nutné jej během povodňových situací doplnit o mobilní bariéry umístěné především výše po toku, kde jsou budovy umístěny na samém břehu Úslavy a jiný způsob protipovodňové ochrany zde tak není možný. Tento způsob ochrany zástavby obce s sebou však nese rizika zvětšení ploch rozlivu na druhém břehu řeky, kde se nachází zahrádkářská kolonie. Hrozí také, že v důsledku snížení rozlivné plochy dojde k urychlení průtoků, což by mohlo mít za následek zhoršení situace níže na toku. První val, který je navrhovaný v územním plánu obce, ale v současnosti není zrealizovaný a jeho

výstavbou se ještě nezapočalo, je navrhován v oblasti pod Hutským rybníkem. Svým rozsahem však nezasahuje ani do oblasti Vlčic, čímž příliš neřeší povodňovou situaci v Blovicích. Druhý z valů navrhovaný v územním plánu se nachází na úrovni valu navrhovaného v této práci. Je však situován na druhý břeh toku a měl by sloužit k ochraně chatové oblasti. Toto řešení by však nijak nezlepšilo povodňovou situaci a ohroženost budov v samotné obci.

Ideálním řešením bylo vyčlenění větších ploch pro protipovodňovou ochranu. Ty by pak neměly být pouze oblastí přirozených rozlivů, ale například upraveny na suché poldry. Při jejich využití jako suchého poldru pak během období mimo povodně mohou fungovat například jako louky či pastviny a zůstat tak i nadále plně funkční. V územním plánu je též zmíněna změna využití některých orných ploch a jejich zatravnění, což by se společně s realizací remízků a dalších krajinných prvků do budoucna mohlo projevit kladným vlivem jak na retenci vody v krajině tak zpomalováním průběhu povodně krajinou. Velmi podstatné je plánovat protipovodňová opatření nejen v ohrožených oblastech, ale v širším kontextu v rámci celého povodí.

9. Závěr

V práci jsou pomocí hydraulického modelování zkoumány současné podmínky a ohroženost zastavěného území na toku Úslava v oblasti obce Blovice. Hlavním cílem práce byla především analýza jednotlivých povodňových událostí a zhodnocení současného stavu rozlivů toku v oblasti Blovic. Dále byla na základě aktuálního územního plánu zkoumána protipovodňová ochrana obce a navržen možný postup jejího vylepšení.

Jako nejrizikovější oblast v Blovicích byla vyhodnocena zástavba nacházející se na levém břehu Úslavy pod náměstím. Budovy jsou zde umístěny na samém břehu toku a voda se dostává do jejich těsné blízkosti již při průtocích odpovídajících Q_1 . Při průtocích odpovídajících Q_5 jsou již tyto budovy zaplavovány. Vzhledem k jejich umístění je není v současnosti možné efektivně chránit jinak než prostřednictvím mobilních protipovodňových bariér. Mezi další ohrožené oblasti patří areál zemědělského družstva a chatová oblast nacházející se mezi družstvem a obcí. Ta by mohla být chráněna v práci navrženým protipovodňovým valem, který však musí být pro svou plnou funkčnost doplněn dalšími prvky protipovodňové ochrany výše po toku. Mezi ohroženou zástavbu v Blovicích patří též zahrádkářská kolonie na pravém břehu toku. Zaplavován je již při jednoletých průtocích také areál zámecké zahrady, samotný zámek je díky své vyvýšené poloze před rozlivy uchráněn.

Mimo oblast Blovic se voda z toku vylévá přirozeně do oblasti říční nivy, která je ponejvíce využívána jako louky a pastviny, popřípadě jako zemědělská orná půda. Ze zastavěných oblastí je nejvíce postižena chatová osada Kamensko. Více rozlivů lze vzhledem ke geomorfologickým podmínkám oblasti, kde je pravý břeh vyzvednut výše než levý, sledovat v oblasti levého břehu toku. Jedna z největších vodních ploch v území, Hut'ský rybník, se nachází na levém břehu toku a je díky své hrázi, která jej od Úslavy odděluje před rozlivy chráněn ještě při průtocích odpovídajících Q_{50} . Při průtocích odpovídajících Q_{100} je již zaplavován. Nedochozí však k přelítí přes hráz přímo z toku, ale k jeho zaplavování z vyšších poloh nad ním.

Hlavním přínosem práce je vymezení záplavových území pro jednotlivé povodňové průtoky Q_1 , Q_5 , Q_{10} , Q_{50} a Q_{100} . Ty v rámci řeky Úslavy v oblasti Blovic vymezeny doposud nebyly a nevyskytují se tudíž ani v digitálním povodňovém plánu České republiky, který je volně dostupný na webovém serveru POVIS.

Současná protipovodňová ochrana obce, kdy jsou používány především mobilní bariéry, byla vyhodnocena jako nedostačující. V současné době je k protipovodňové ochraně přistupováno spíše v širším kontextu, s hlavním cílem navýšení retence vody v krajině. V zájmovém území byl navržen protipovodňový val, který však ke své funkčnosti potřebuje dodatečná opatření. Vhodné by bylo zřídit více regulovatelných rozlivných ploch a upravit je například do podoby suchého poldru. Případná změna využití krajiny nacházející se v okolí toku by také podpořila její retenční schopnosti. Díky těmto opatřením by došlo k celkovému snížení kulminačních průtoků na toku, a tím i ke zmenšení záplavových území pro jednotlivé úrovně průtoků.

Jak již bylo zmíněno výše, povodně jsou a vždy byly součástí krajiny a absolutní ochrana před nimi není možná. Je proto potřeba naučit se s nimi žít a přizpůsobit tomuto faktu i využívání krajiny. Zvyšování retence vody v krajině je důležité již od samého počátku toku, v jeho pramenné oblasti, a to nejen z hlediska povodňových událostí, ale i v kontextu stále častěji se vyskytující hrozby hydrologického sucha.

10. Přehled literatury a použitých zdrojů

BECKER, A., SERBAN, P. (1990): Hydrological models for water – resource system design and operation. Operational Hydrology Report No. 34, WMO, Geneva, 80 s.

BEVEN, K. J. (2001): Rainfall – Runoff Modelling. The Primer, John Wiley & Sons Ltd. Chichester, 360 s.

BÍZEK, V., FOLTÝN, I., HELOVÁ, S., JENÍČEK, M., KOBLÍŽKOVÁ, E., KODEŠOVÁ, R., MERTL, J., NESMĚRÁK, I., NONDEK, L., RATINGER, T. (2011): Aplikace modelů v oblasti životního prostředí. CENIA, Praha, 280 s.

BRÁZDIL, R. a kol. (2005): Historické a současné povodně v České republice. Masarykova univerzita, ČHMÚ, Brno, 370 s.

BREN, L. J. (1993): Riparian zone, stream, and floodplain issues: a review. Journal of Hydrology, č. 150, s. 277 – 299

BRUNNER, G. W. (2010): HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual. US Army Corps of Engineers, Davis, 417 s.

CÍSLEROVÁ, M. (1989): Inženýrská hydrogeologie. ČVUT, Praha, 156 s.

ČADA, V., ŠILHAVÝ, J. (2013): Porovnání přesnosti produktu ZABAGED výškopis – vrstevnice 3D s daty leteckého laserového skenování celého území České republiky. Geodetický a kartografický obzor, 59, č. 8, s. 173 – 181.

ČEKAL, R. a kol. (2011): Průvodce informacemi pro povodňové orgány. ČHMÚ, Praha, 32 s.

ČAMROVÁ, L., JÍLKOVÁ, J. a kol. (2006): Povodňové škody a nástroje k jejich snížení. IEEP VŠE, Praha, 420 s.

ČGS. Česká geologická služba [online]. 2015. [cit. 2. 4. 2015]. Dostupné z WWW: <<http://www.geology.cz>>.

ČHMÚ: Povodně a jejich předpovědi [online]. 2014. [cit. 12. 12. 2014]. Dostupné z: <http://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/letak_new.pdf>.

ČHMÚ. Český hydrometeorologický ústav [online]. 2015. [cit. 8. 4. 2015]. Dostupné z WWW: <<http://www.chmi.cz>>.

ČÚZK. Český úřad zeměměřický a katastrální [online]. 2015. [cit. 22. 3. 2015]. Dostupné z WWW: <<http://www.cuzk.cz>>.

DAŇHELKA, J., KREJČÍ, J., ŠÁLEK, M., ŠERCL, P., ZEZULÁK, J. (2003): Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR. ČHMÚ, Praha, 196 s.

DAŇHELKA, J. a kol. (2014): Povodně v České republice v červnu 2013. ČHMÚ, Praha, 86 s.

DAVID, V. (2012): Stanovení pasivního retenčního objemu. In: Pithart, D. a kol. (eds.): Význam retence vody v říčních nivách, Daphne ČR, České Budějovice, s. 53 – 55.

DEMEK, J. (1987): Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny. Academia, Praha, 584 s.

DEMEK, J. a kol. (2006): Hory a nížiny. Zeměpisný lexicon ČR. MŽP ČR, Brno, 582 s.

DOOGE, J. C. (1986): Lookingforhydrologiclaws. WaterResourcesResearch, r. 22, č. 9, s. 46 – 58.

DOSTÁL, T. a kol. (2012): Hydrologické procesy v nivách a jejich význam pro retenci vody. In: Pithart, D. (ed): Význam retence vody v říčních nivách, DAPHNE ČR, České Budějovice, 141 s.

DRBAL, K. a kol. (2009): Metodický návod pro identifikaci KB. MŽP ČR a VÚV TGM, Brno, 7 s.

DUB, O., NĚMEC, J. a kol. (1969): Hydrologie. SNTL Praha, 380 s.

EHRlich, P., ONDR, P., ZÁMIŠOVÁ, K. (2003): Revitalizační úpravy a protipovodňová ochrana nového díla. In: Kulhavý, F. (ed.): Protipovodňová prevence a krajinné plánování – sborník z mezinárodní konference, ČSSI, Pardubice, s. 248 – 255.

ELLA (2014): Ovlivňování povodní na Labi. [cit 18.11.2014]. Dostupné z www: <http://www.landesentwicklung.sachsen.de/download/Landesentwicklung/Flyer_7_WAVOS.pdf>

GUPTA, R. S. (2001): Hydrology and hydraulicsystems. Second edition, WavelandPress, Inc., Long Grove, 867 s.

HANEL, M., KAŠPÁREK, L., MRKVIČKOVÁ, M. a kol. (2011): Odhad dopadu klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření. VÚV T. G. Masaryka, Praha, 108 s.

HARTVICH, F., JEDLIČKA, J. (2007): Metodika vymezení údolní nivy v prostředí GIS. Praha: PřF UK, MŽP ČR, s. 63 – 72.

HLADNÝ, J., KAKOS, V. (2006): Sucho. In: Němec, J., Hladný, J. (eds.): Voda v České republice, Ministerstvo zemědělství, Consult Praha, Praha, s. 90 – 92.

HRÁDEK, F., SOUKUP, M. (1999): Optimální regulace povrchového odtoku z povodí. VÚMOP, Praha, 98 s.

HRÁDEK, F., KUŘÍK, P. (2003): Protipovodňová opatření v povodích drobných vodních toků. In: Kulhavý, F. (ed.): Protipovodňová prevence a krajinné plánování – sborník z mezinárodní konference, ČSSI, Pardubice, s. 226 – 233.

HUGGET, R. J. (2007): Fundamentals of geomorphology, 2nd ed., London: Routledge, 488s.

CHANG, M. (2003): Forest hydrology. CRC Press LLC, 474 s.

JANSKÝ, B. (2004): Retence vody v povodí. In: Langhammer, J. (ed.): Sborník příspěvků semináře grantu GAČR 205/Z052/03 Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní, PřF UK, Praha, s. 59 – 70.

JANSKÝ, B. a kol. (2006): Oběh vody. In: Němec, J., Hladný, J. (eds.): Voda v České republice, Ministerstvo zemědělství, Consult Praha, Praha, s. 14 – 20.

JANSKÝ, B., TUREK, M. (2012): Interakce povrchových a podzemních vod v nivách – případová studie horní Lužnice. In: Pithart, D. a kol. (eds.): Význam retence vody v říčních nivách, Daphne ČR, České Budějovice, s. 69 – 74.

JENÍČEK, M. (2007): Modelování srážko-odtokových procesů na malých a středně velkých povodích. In: Langhammer, J. (ed.): Povodně a změny v krajině, PřF UK v Praze a MŽP ČR, Praha, s. 101 – 109.

JENÍČEK, M. (2009): Modelování průběhu extrémních povodní v kontextu krajinných změn a integrované protipovodňové ochrany. Disertační práce, PřF UK, Praha, 141 s.

JONES, J. A. A. (1997): Global Hydrology: processes, resources and environmental management. Longman, Harlow, 399 s.

JUST, T. (2003): Revitalizace a povodně. In: Němec, J. (ed.): Sborník příspěvků z konference Landscape and water, Consult Praha, Praha, s. 62 – 68.

JUST, T. a kol. (2005): Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi. ZO ČSOP, MŽP a AOPK, Hořovice, 359 s.

KAKOS, V. (2006): Povodně. In: Němec, J., Hladný, J. (eds.): Voda v České republice, Ministerstvo zemědělství, Consult Praha, Praha, s. 82 – 89.

KATUL, G., NOVICK, K. (2009): Evapotranspiration. In: Likend, G. E. (ed.): Encyclopediaofinlandwaters, volume 1, s. 661 – 667.

KEMEL, M., KOLÁŘ, V. (1980): Hydrologie. ČVUT, Praha, 292 s.

KLIMO, E. (1994): Ekologie lesa. VŠZ Brno, Brno, 170 s.

KRÁLOVEC, V. (2009): Změny srážkoodtokových poměrů v povodí horní Opavy. Diplomová práce, PřF UK, Praha, 125 s.

KUBÁT, J. (2007): Dopad klimatických změn na hydrologický režim v ČR. Dopad klimatických změn na hydrologický režim v ČR. ČHMÚ, Praha, 35 s.

KUNDZEWICZ, Z. V. a kol. (2005): Summerfloods in CentralEurope – ClimateChange Track? Natural Hazards, č. 36, s. 165 – 189.

LANGHAMMER, J. (2007): Antropogenní změny v krajině a povodňové riziko. In: Langhammer, J. (ed.): Změny v krajině a povodňové riziko – Sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině, PřF UK, Praha, s. 183 – 191.

LEOPOLD, L. B. (1997): Water, Rivers and Creeks. University of California, Berkeley, 183 s.

MÁČA, P. (2010): Jednotkový hydrogram. ČZU, VÚV T. G. Masaryka, Praha, 103 s.

MÁČA, P. (2013): Úvod do modelování hydrologického systému. Materiál k výuce, FŽP ČZU, Praha

MATĚJÍČEK, J., HLADNÝ, J. (1999): Povodňová katastrofa 20. století na území České republiky. MŽP, Praha, 60 s.

MATOUŠKOVÁ, M. (2007): Revitalizace vodních ekosystémů a jejich význam v protipovodňové ochraně. In: Langhammer, J. (ed.): Změny v krajině a povodňové riziko – Sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině, PřF UK, Praha, s. 245 – 250.

MIKITA, T., CIBULKA, M., JANATA, P. (2012): Hodnocení přesnosti digitálních modelů reliéfu 4. a 5. generace v lesních porostech. Geodetický a kartografický obzor, 56, č. 4, s. 76 – 85.

MILLER, J. B. (1997): Floods: people at risk, strategies for prevention. United Nations, New York, 93 s.

MUNZAR, J. (2003): Dokumentace výskytu sucha v Česku v neinstrumentálním období. In: Patera a kol. (eds.): Workshop 2003 – Extrémní hydrologické jevy v povodí, Praha, 306 s.

MUŽIK, I. (2002): A first – order analysis of the climate change effect on flood frequencies in a subalpine watershed by means of a hydrological rainfall – runoff model. Journal of Hydrology, č. 267, s. 65 – 73.

MÚ Blovice (2015): Územní plán. [cit 18.3.2015]. Dostupné z [www:](http://www.blovice-) <<http://www.blovice->

mesto.cz/e_download.php?file=data/editor/271cs_3.pdf&original=UP_BLOVICE.pdf

NAŠE VODA. Informační portál o vodě [online]. 2015. [cit. 25. 3. 2015]. Dostupné z WWW: <<http://www.naase-voda.cz>>.

PRAVEC, M., PITHART, D. (2012): Budoucnost niv v České republice v evropském kontextu. In: Pithart, D. a kol. (eds.): Význam retence vody v říčních nivách, Daphne ČR, České Budějovice, s. 127 – 134.

QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. Academia, Studia Geographica 16, GÚ ČSAV, Brno, 73 s.

RAMÍREZ, J. A. (2000): Prediction and Modeling of Flood Hydrology and Hydraulics. In: Wohl, E. E. (ed.): Inland flood hazards: Human, riparian and aquatic communities, Cambridge university press, p. 293 – 333.

ŘIČICOVÁ, P., DAŇHELKA, J., NÁVOJOVÁ, H., KOURKOVÁ H. (2003): Sucho v českých povodích v roce 2003 a v minulých desetiletích. In: Patera a kol. (eds.): Workshop 2003 – Extrémní hydrologické jevy v povodí, Praha, 306 s.

SINGH, V. P. (1988): Hydrologic Systems: Vol. 1 Rainfall – runoff Modeling. PrenticeHall, New Jersey, 960 p.

ŠEFRNA, L. (2007): Vznik a vývoj nivy z pedogeografického hlediska. In: Langhammer, J. (Ed.): Povodně a změny v krajině, PřF UK a MŽP, Praha, s. 209 – 215

ŠMILAUER, V. (1972) Třídění pomístních jmen. Zpravodaj místopisné komise, 13, s. 171-204.

ŠMRHOVÁ, Z. (2014): Vliv malých vodních nádrží na výskyt extrémních odtokových epizod v povodí horní Otavy. Diplomová práce, PřF UK, Praha, 121 s.

TALLAKSEN, L. M., VAN LANNEN, H. A. J. (2004): Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Elsevier, Amsterdam, 579 s.

TARBOTON, D. G. (2003): Rainfall – runoffprocesses. A workbook to accompany the Rainfall – RunoffProcesses Web module. Dostupné z WWW: <<http://hydrology.usu.edu/RRP/userdata/4/87/RainfallRunoffProcesses.pdf>>.

VESELÝ, D. (2012): Přírodě blízká protipovodňová opatření - cesta k renesanci niv? In: Pithart, D. a kol. (eds.): Význam retence vody v říčních nivách, Daphne ČR, České Budějovice, s. 119 – 125.

XU, Ch. (2002): HydrologicModels. Uppsala University Department ofEarthSciences, Uppsala, 168 p.

Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). Dle platného znění, dostupné z: <<http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/2a434831dcbe8c3fc12564e900675b1b/20f9c15060cad3aec1256ae30038d05c?OpenDocument>>

11. Seznam obrázků

obr. č. 1 - Schéma srážko – odtokového procesu.....	13
obr. č. 2 – Lyzimetr.....	17
obr. č. 3 - Typy povrchového odtoku.....	20
obr. č. 4 – Piezometry.....	22
obr. č. 5 – Změny rozdílu srážek a potenciální evapotranspirace mezi obdobími 1961 – 1980 a 1981 – 2005.....	24
obr. č. 6 – Hodnoty FFG s dobou trvání 3 hodiny.....	27
obr. č. 7 – Členění protipovodňových opatření.....	29
obr. č. 8 – Neřízený x řízený poldr.....	34
obr. č. 9 – Ukazatel nasycení území k 1. 6. 2013.....	35
obr. č. 10 – Úhrn srážek 29. 5. – 3. 6. 2013.....	36
obr. č. 11 – Soutok Vltavy a Berounky v Praze.....	37
obr. č. 12 – Dělení hydrologických modelů dle Singha.....	41
obr. č. 13 – Členění deterministických modelů dle WMO.....	42
obr. č. 14 – Jednotkový hydrogram.....	46
obr. č. 15 – Zájmové území.....	49
obr. č. 16 – Přehled zástavby v zájmovém území.....	51
obr. č. 17 – Geologické poměry oblasti.....	52
obr. č. 18 – Pedologické poměry oblasti.....	53
obr. č. 19 – Sklonitostní poměry zájmového území.....	54

obr. č. 20 – Expozice reliéfu zájmového území.....	55
obr. č. 21 – Vývoj průměrných ročních teplot a srážek v zájmovém území.....	56
obr. č. 22 – Síť územního systému ekologické stability procházející územím.....	57
obr. č. 23 – Změny ve využití krajiny mezi lety 1990 – 2012.....	58
obr. č. 24 – Evropsky významné lokality v oblasti.....	59
obr. č. 25 – Přehled vodních toků a vodních ploch v zájmové oblasti.....	60
obr. č. 26 – Umístění hlásného profilu Ždírec.....	64
obr. č. 27 – Výběr mapových listů SM5.....	65
obr. č. 28 – Digitální model terénu zájmového území.....	66
obr. č. 29 – Schématické znázornění Úslavy a příčných řezů v programu HEC –RAS.....	70
obr. č. 30 – Příklad příčného řezu v editoru CrossSection.....	70
obr. č. 31 – Povodně v Blovicích v červnu 2013.....	73
obr. č. 32 – Územní plán města Blovice.....	76
obr. č. 33 – Zástavba obce Blovice během rozlivu odpovídajícího Q1.....	79
obr. č. 34 – Zástavba obce Blovice během rozlivu odpovídajícího Q5.....	80
obr. č. 35 – Zástavba obce Blovice během rozlivu odpovídajícího Q10.....	81
obr. č. 36 – Zástavba obce Blovice během rozlivu odpovídajícího Q50.....	82
obr. č. 37 – Zástavba obce Blovice během rozlivu odpovídajícího Q100.....	83
obr. č. 38 – Návrh protipovodňového valu v programu HEC – RAS.....	84
obr. č. 39 – Umístění protipovodňového valu.....	84

12. Seznam tabulek

tabulka č. 1 – Typy hydrologických systémů.....	43
tabulka č. 2 – Hydrologické procesy a parametry použité při klasifikaci modelů.....	43
tabulka č. 3 – Přehled průměrných ročních teplot ve °C v oblasti mezi roky 1990 – 2014.....	56
tabulka č. 4 – Přehled průměrných ročních srážek v mm v oblasti mezi roky 1990 – 2014.....	56
tabulka č. 5 – Přehled ploch vymezených v ÚP Blovic pro PPO.....	74

13. Seznam příloh

Příloha č. 1 – Mapa rozlivů odpovídajících Q_1	
Příloha č. 2 – Výstup z modelu HEC – RAS pro průtoky odpovídající Q_1	
Příloha č. 3 – Mapa rozlivů odpovídajících Q_5	
Příloha č. 4 – Výstup z modelu HEC – RAS pro průtoky odpovídající Q_5	
Příloha č. 5 – Mapa rozlivů odpovídajících Q_{10}	
Příloha č. 6 – Výstup z modelu HEC – RAS pro průtoky odpovídající Q_{10}	
Příloha č. 7 – Mapa rozlivů odpovídajících Q_{50}	
Příloha č. 8 – Výstup z modelu HEC – RAS pro průtoky odpovídající Q_{50}	
Příloha č. 9 – Mapa rozlivů odpovídajících Q_{100}	
Příloha č. 10 – Výstup z modelu HEC – RAS pro průtoky odpovídající Q_{100}	