

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIROMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ

OBOR KRAJINNÉ INŽENÝRSTVÍ



HYDROTECHNICKÉ POSOUZENÍ VODNÍHO TOKU PŠOVKA MEZI VODNÍ
NÁDRŽÍ LHOTKA A OBCÍ HLEĎSEBE A PŘÍPRAVA PODKLADŮ PRO TVORBU
POVOĎNOVÉHO PLÁNU

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí diplomové práce: Ing. Radek Roub, Ph.D.

Vypracoval: Bc. Stanislav Matas

PRAHA 2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Stanislav Matas

Krajinné inženýrství

Název práce

Hydrotechnické posouzení vodního toku Pšovka mezi vodní nádrží Lhotka a obcí Hledsebe a příprava podkladů pro tvorbu povodňového plánu

Název anglicky

Hydrotechnical review of Pšovka watercourse between Lhotka dam and Hledsebe village for a flood protection plan

Cíle práce

Zpracování literární rešerše v povodňové problematice

Charakteristika vodního toku a příprava vstupních parametrů do hydraulického modelu

Sestavení DMT a hydraulického modelu vodního toku Pšovka mezi vodní nádrží Lhotka a obcí Hledsebe

Hydrotechnické posouzení situace při průchodu N-letých průtoků a stanovení záplavových čar

Metodika

- 1) Úvod
- 2) Cíl a metodika práce
- 3) Literární rešerše
- 4) Charakteristika obce Lhotka a okolí
- 5) Příprava podkladů pro povodňový plán obce Lhotka
- 6) Diskuse a závěr

Doporučený rozsah práce

cca 60 stran + grafické přílohy

Klíčová slova

povodí Pšovky, Pšovka, Lhotka, povodeň, vodní tok, hydrodynamický model, HEC-RAS

Doporučené zdroje informací

Hrádek, F. Kuřík, P.: Hydrologie. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2002. 271 s. ISBN 80-213-0950-4.

Křovák, M.: Ochrana před povodněmi. Praha: Nakladatelství TRITON, 2004. 100 s. ISBN 80-7254-499-3.

Langhammer, J.: Povodně a změny v krajině. Praha: Univerzita Karlova v Praze, 2007. 369 s. ISBN 80-8656-186-0

Zákon č. 254/2001 Sb. O vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů.

Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

Ing. Radek Roub, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 8. 4. 2015

prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 4. 2015

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 12. 04. 2015

"Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Radka Rouba, Ph.D. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal a které cituji v seznamu použité literatury a zdrojů informací."

v Praze, dne 19.4.2015

.....
Bc. Stanislav Matas

Poděkování

"Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Radku Roubovi, Ph.D. z KVHEM za vstřícný přístup a užitečné informace získané během jeho konzultací a své rodině za podporu při vytváření práce. Dále děkuji Růženě Chaloupecké z ČÚZK za topografická podkladová data, paní Ing. Marcele Jiráskové z ČHMÚ v Ústí nad Labem za poskytnutí dat o N-letých průtocích a Ing. Kateřině Gdulové z KAGUP za vypůjčení aparatury pro zaměření prostorových souřadnic v terénu."

Abstrakt:

Tato diplomová práce se zaměřuje na hydrotechnické posouzení vodního toku Pšovka ve střední části jeho povodí. Pšovka je z největší části přírodě blízký vodní tok, který tvoří osu chráněné krajinné oblasti Kokořínsko v severních Čechách. Zaústění Pšovky se nachází na pravém břehu Labe za jeho soutokem s Vltavou a spadá tak pod správu Povodí Ohře. Diplomová práce je rozdělena na několik částí. První rešeršní část se zabývá rozbohem povodní v historii ČR, typů povodní a ochrany před nimi. Dále charakteristikami povodí z hlediska poměrů a ukazatelů v území a stručným rozbohem používaných srážko-odtokových a hydrodynamických modelů. Druhá část popisuje charakteristiky celého povodí a současný stav ve zvoleném zájmovém území, které je ohraničeno úsekem vodního toku Pšovka mezi vodní nádrží Lhotka a obcí Hledsebe. Třetí část se zabývá sběrem a přípravou topografických dat pro použití v aplikaci hydrodynamického modelu HEC-RAS za pomoci aplikací ArcCatalog, ArcMap a jeho nadstavby HEC-geoRAS. Vzniklý výstup z hydrodynamického modelu HEC-RAS pro různé N-leté průtoky je interpretován pomocí vizualizace záplavových čar v zájmové oblasti v aplikaci ArcMap.

Klíčová slova: povodí Pšovky, Pšovka, Lhotka, povodeň, vodní tok, hydrodynamický model, HEC-RAS

Abstract:

This thesis is focused on hydrotechnic review of Pšovka watercourse in the central part of its basin. The Pšovka river is mostly natural watercourse which follows axis of the protected landscape area Kokořínsko in the northern Bohemia. Intake of the Pšovka river is located on the right bank of the Elbe near its confluence with the Vltava and that is why it is under the management of Odra river. The thesis is divided into several parts. The first part deals with analysis of flood issues involved in the country's history, types of floods and protection against them. Also characteristics of the basin in terms of ratios and indicators in the area and review of mathematical models. The second part describes the characteristics of the entire basin and the current situation in interested area between Lhotka dam and Hleděsebe village. The third part contains the collection and preparation of topographic data for use in hydrodynamic model HEC-RAS in ArcCatalog, ArcMap and its extension HEC-geoRAS. The output from the hydrodynamic model HEC-RAS for various N-year flows are interpreted using visualization flood lines in the area of interest in ArcMap application.

Keywords: Pšovka river basin, Pšovka river, Lhotka village, flood, watercourse, hydraulic model, HEC-RAS

Obsah:

1. Úvod	11
2. Cíle práce	12
3. Literární rešerše	13
3.1 Povodeň	13
3.1.1 Historie povodní v ČR.....	13
3.1.2 Meteorologické příčiny povodní v ČR a Evropě.....	19
3.1.3 Charakteristiky povodní	20
3.1.4 Typy a vznik povodní.....	21
3.1.5 Povodňové škody	23
3.1.6 Vliv změny klimatu.....	25
3.1.7 Posuzování povodňových rizik a nebezpečí	26
3.1.8 Protipovodňová ochrana.....	31
3.1.9 Povodňový plán	33
3.2 Popis a charakteristika povodí	35
3.2.1 Fyzikálně geologické vlastnosti povodí	35
3.2.2 Geologické a půdní poměry	35
3.2.3 Vegetační pokrývka	35
3.2.4 Povrchové deprese.....	36
3.2.5 Vodní nádrže	36
3.2.6 Bažiny	37
3.2.7 Vliv člověka	37
3.3 Srážko-odtokové modely	37
3.3.1 DesQ-MaxQ	38
3.3.2 HEC-HMS.....	38
3.3.3 MIKE SHE	38
3.3.4 KINFIL	39
3.3.5 HYDROG.....	39
3.3.6 SAC-SMA AQUALOG.....	39
3.3.7 HBV.....	39
3.4 Hydrodynamické modely	40
3.4.1 Mike.....	40
3.4.2 HEC – RAS	40
3.4.3 Hydrocheck	41
4. Metodika.....	43
4.1 Zpřesnění osy koryta	43
4.2 Vytváření digitálního modelu terénu.....	44
4.2.1 DMT povodí Pšovky	44
4.2.2 DMT zájmového území.....	46
4.3 Záplavové čáry	47

4.3.1	Příprava dat v HEC-geoRAS	47
4.3.2	Zpracování geometrie vodního toku v HEC-RAS	49
4.3.3	Zpracování výsledků hydrodynamického modelu v ArcMap.....	53
5.	Charakteristika toku a jeho povodí	55
5.1	Povodí Pšovky	55
5.1.1	Obecný popis	55
5.1.2	Geologické poměry povodí	56
5.1.3	Půdní poměry povodí.....	56
5.1.4	Teplotní poměry povodí	56
5.1.5	Větrné poměry povodí	57
5.1.6	Vegetace	57
5.1.7	Podnebí.....	57
5.2	Vodního tok Pšovka v zájmovém úseku.....	57
6.	Výsledky	61
6.1	Identifikace povodí.....	61
6.2	Geometrické charakteristiky povodí	61
6.3	Orografické poměry povodí.....	61
6.4	Ostatní poměry na povodí.....	62
6.5	Výpočty ČHMÚ	62
7.	Diskuze a závěr	63
8.	Přehled literatury a použitých zdrojů	64
9.	Seznam obrázků.....	68
10.	Seznam příloh	69

1. ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá problematikou povodní na území České republiky od prvních historických záznamů až po současnost. Ochrana životů obyvatel a jejich majetku při velkých povodních je nadále velmi aktuální téma a je třeba jej vytrvale a systematicky řešit. Povodňové události z let 1997 a 2002 připomněly, že je nutné být neustále na pozoru a neustávat v rozvoji preventivních opatření v oblastech povodňových rizik a nebezpečí.

Tato práce se zaměřuje na preventivní hydrotechnické posouzení území za účelem ochrany obyvatel a majetku před povodněmi ve vybrané části vodního toku Pšovka. V práci jsou zpracovány mapové, geodetické a výškopisné podklady, podklady z místního šetření, hydrologická data atd. Hlavním výstupem jsou mapy záplavových čar, které lze využít pro vytvoření povodňového plánu obce Lhotka a Střemy. V těchto katastrálních územích se rozkládá areál turistického centra Domu dětí a mládeže hlavního města Prahy, které iniciovalo vznik této práce k získání chybějících podkladů pro vlastní povodňový plán.

Pšovka se nachází v severních Čechách a protéká hned dvěma chráněnými oblastmi – CHKO Kokořínsko a Přírodní rezervace Kokořínský důl. Tato říčka protéká převážně v hluboko zaříznutém, skalnatém údolí a její vody nejsou nijak znečišťovány, proto slouží jako zdroj pitné vody pro široké okolí. Pšovka téměř po celé své délce protéká přirozeným korytem s výjimkou oblasti města Mělník, kde je koryto technicky upraveno. V práci jsou rozebrány charakteristiky a poměry celého území povodí Pšovky.

2. CÍLE PRÁCE

- Zpracování literární rešerše v povodňové problematice
- Charakteristika vodního toku a příprava vstupních parametrů do hydrodynamického modelu
- Sestavení digitálního modelu terénu (DMT) a hydrodynamického modelu vodního toku Pšovka mezi vodní nádrží Lhotka a obcí Hleďsebe
- Hydrotechnické posouzení situace při průchodu N-letých průtoků a stanovení záplavových čar

3. LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1 POVODEŇ

Povodeň se ve vodním zákoně 254/2001 Sb. popisuje jako značné zvýšení hladiny vodních toků nebo povrchových vod, kdy se voda rozlije mimo koryto vodního toku. Je to stav, kdy voda nemůže dočasně odtéci, má odtok nedostatečný nebo je území zaplavováno následkem koncentrovaného odtoku srážkových vod. Povodeň způsobují přírodní jevy nebo poruchy vodních děl vedoucích až k havárii. Přírodními jevy se myslí např. tání, srážky nebo chod ledů. Povodeň začíná již při vyhlášení druhého stupně povodňové aktivity (MŽP 2002).

Povodně jsou přirozený přírodní úkaz, díky kterému se formuje a vytváří podoba krajiny. Je otázka, zda rostoucí intenzita a četnost povodní v poslední dekádě na území ČR není způsobena antropogenními zásahy do krajiny. Zejména průběh povodní v antropogenizovaných oblastech. V této tématice se hodnotí především vliv člověka na průběh a následky povodní nebo na možnosti využití přirozeného tlumivého efektu krajiny v extrémních případech (Langhammer et al. 2007).

Stoletá voda

Ve spojitosti s povodněmi se často zmiňuje pojem stoletá voda. Stoletá voda neboli stoletý průtok se označuje Q_{100} . Je to kulminační průtok povodňové vlny dosažený nebo překročený v průměru jednou za 100 let. Je udáván v jednotkách $m^3 \cdot s^{-1}$. Stejně tak se uvádí průtoky Q_{50} , Q_{20} , Q_{10} , Q_5 , Q_2 a Q_1 . Při povodních tyto hodnoty popisují extrémnost kulminačního průtoku a vznikají dlouhodobou statistickou analýzou pozorovaných kulminací. Stoletý průtok čili Q_{100} neznámá, že se stoletá voda objeví jen jednou za 100 let. Je to pouhý statistický údaj. Mezi N-letými průtoky neplatí linearita, proto např. Q_{100} není dvojnásobkem Q_{50} . Je dobré podotknout, že při povodni v roce 2002 byla přiřazena hodnota opakování 200 až 500 let (Němec a Hladný 2006; Hrádek a Kuřík 2008).

3.1.1 HISTORIE POVODNÍ V ČR

Záznamy v kronikách

Přestože jsou lidé ohrožováni povodněmi a extrémními meteorologickými jevy odnepaměti, s jejich dokumentací se začalo teprve v 19. století. Dřívější povodně lze studovat pouze ze starých kronik. Takové záznamy nemají velkou vypovídající hodnotu a obvykle se z nich dala vyčíst pouze výška kulminační hladiny a rozsah povodňových škod (Kender 2004).

První zmínka o povodni v oblasti dnešní České republiky byla nalezena v Kosmově kronice. Líčí povodeň na Vltavě roku 1118, kdy řeka „vystoupila až do výšky desíti lokte přes most“. Podobné zmínky najdeme i v jiných kronikách ze středověku (Wittmann 2012).

Je logické, že si kronikáři dávali dobře záležet na zapisování takových událostí, protože dopad na tehdejší obyvatelstvo byl mnohostranný a navíc v násobně větších měřítkách než dnes. Povodně v době, kdy žádná ochrana ještě neexistovala, ovlivňovaly nejen přilehlé vesnice. Byly rizikem na místech mnohem vzdálenějších. Letní povodně ohrožovaly pěstované pícniny, které se v té době nechávaly vysoušet na přilehlých lukách. Cena takového zboží se zvedala. Stejně tak náklady v dalších oblastech lidské činnosti. Středověká ekonomika byla založena především na zemědělství, takže jakékoliv narušení tohoto koloběhu mělo vážný vliv na život obyvatelstva (Kender 2004).

Historické osídlení v říčních nivách

Řeka odjakživa fungovala jako základní prvek lidských sídel. V jejich okolí byly ideální podmínky pro vznik zemědělství. V pozdějších dobách zde začaly vznikat první civilizace, jako byl Egypt. Řeky byly zdrojem obživy, potravy a závlah, ovšem sloužila i k obraně a jako recipient odpadů.

První česká města vznikala postupně na místech, kde obvykle již z dob z 5. a 6. století existovala nějaká forma osídlení – obvykle venkovská. Slovanská sídliště se kvůli erozi a záplavám přesouvala alespoň 5 m nad hladinu vodního toku a taková se ve 12. až 13. století často transformovala na města. Města vznikala přednostně v místech brodů a mostů nebo byla vhodných polohách z hlediska obrany i obchodu atd. Výhody musely převažovat nad nevýhodami. Vodní toky zde spolu s hradbami tvořily obvykle přirozený obranný pás města. Byly také značně meandrované a nic jim nebránilo ve volném rozlivu do krajiny. Říční nivy poskytovaly lidským sídlům mnoho užitku. Jenže je také zatěžovaly rizikem vzniku povodní. Jen výjimečně se sídelní celky rozšiřovaly do vlastní nivy např. z důvodů nutné obrany (Konvička 2002; Wittmann 2012).

12. až 18. století

S příchodem 12. a 13. století a tzv. velkou kolonizací se začala zhoršovat retenční schopnost krajiny. Tento jev vznikl následkem velkého odlesňování směrem od nížin do podhůří, kam se také přesouval proces intenzivní eroze a akumulace odtoku. Nepomáhaly ani další aktivity jako zorňování, využívání území pro pastvu a těžba zdrojů. Odtok v takových povodích začal být dramatičtější a po spadnutí srážek

se projevil rychleji. V nižších polohách podél toku se hromadily vysoké vrstvy usazených sedimentů. Již ve středověku se města snažila vytvářet protipovodňová opatření zvyšováním terénu v rizikových oblastech, zkapacitňováním koryt atd. Samotný růst sídel ovšem nebyl ovlivněn (Konvička 2002; Wittmann 2012).

Od 15. století se začínají objevovat první značky s letopisy povodní na významných stavbách nebo skalních výchozech. Třeboňská rybníční soustava vystavěná v letech 1505 až 1604 je prvním ukázkovým příkladem vodohospodářské soustavy, která má nejen hospodářský, ale i protipovodňový účel (Konvička 2002).

19. století

V počátcích industrializace v polovině 19. století se výrazně změnila urbanistická struktura měst a s přechodem na uhlí se začal průmysl přesouvat do oblasti uhelných pánví. Průmyslové stavby se vznikaly v blízkosti řek, které byly potom využívány jako zdroj vody i jako recipient pro nečištěný odpad. Pracovní síla v průmyslu se koncentrovala blíže průmyslovým závodům. Lidé si začali stavět obydlí v údolích podél řek. Zásluhou vyšší efektivity práce v oblasti zemědělství se do údolí stěhovali také uvolněná pracovní síla ze zemědělských prací v méně úrodných oblastech vyšších poloh.

V 19. století se pokračovalo v zahlubování vodních toků. Aby bylo ve městech možné získat volné plochy pro zástavbu, bouraly se již nepotřebné hradební systémy. Vodní tok se umístil do narovnaného a regulovaného koryta, což také zlepšilo jeho splavnost. Pro zajištění bezpečnosti lodní dopravy se rovněž zaváděly první vodočty. V místech bohatě meandrovaných řek uvnitř měst vznikala nová nábřeží a další zástavba v bezprostřední blízkosti vodních toků. Nábřežní plochy se staly novou specifickou součástí městského prostoru a dodnes jsou dochovány prakticky v nezměněném stavu. Řeka ztratila svůj obranný význam a stala se organickou součástí města. Ani po povodních na konci 19. století se přístup k rozvoji města nezměnil (Konvička 2002; Wittmann 2012).

20. století

Protože bylo 20. století, zejména jeho druhá část, z hlediska povodňových událostí velmi klidné, nastal velký útlum při zdokonalování protipovodňové ochrany a připravenosti. Kromě dvou záznamů o povodních v letech 1910 na Dyji a 1940 na Vltavě se toho moc neudálo.

Období 20. a 30. let byl čas velkého hospodářského růstu. V této době ve městech přibývalo obrovské množství nových staveb i zpevněných ploch. Větší povodňové škody nesouvisely pouze s rostoucí rozlohou města. Upravily se odtokové

poměry a docházelo k poškození na dalších budovách po směru toku. Povodeň ve 20. století o stejném objemu a ve stejném městě jako v 17. století měla mnohem rychlejší průběh a naprosto odlišné důsledky.

V poválečné době se běžně přestal respektovat prostor údolních niv. Stavělo se na hranici samotné břehové čáry. Takové jednání včetně vytváření nové střediskové soustavy osídlení, která hierarchicky rozčleňovala sídla podle jejich významu, opět o něco zvýšilo míru povodňového rizika. Negativní dopad měly i pozemkové úpravy. Pozemky se zcelovaly. Došlo k odstraňování mezí, s kterým souvisí zvýšená eroze půdy. Takový stav se naplno podepsal na povodňových škodách v letech 1997 a 1998 (Konvička 2002; Langhammer et al. 2007).

Až do konce 20. století se usilovalo o rychlé odvádění velkých vod ze zasaženého území. Během této fáze se vodní toky dále uměle zkracovaly, odstraňovaly se meandrovité úseky a rostl podélný sklon. Navíc, pokud vodní tok stál v cestě plánované výstavby, byl zatrubněn či přeložen. Z původní délky 60 711 km přirozených vodních toků na území České republiky bylo již asi 13 tisíc km upraveno a zkráceno.

Ve 20. století sice vzrostl podíl lesů a luk v horských oblastech, ale v nížinách se projevil úplný opak. Horší dopad má ovšem obrovské zvětšení výměry zastavěných ploch, díky kterému se zhoršuje průběh povodní v důsledku vyšší koncentrace odtoku (Langhammer et al. 2007).

V roce 1997 přišla na Moravu po dlouhé době povodeň nevídaného rozsahu. Poničena byla nejen krajina, ale také sídelní struktura. Po této povodni byla v postižených městech díky vysoké naléhavosti urychlena výstavba protipovodňových opatření, které byly mnohdy v přímém rozporu s územním plánem. Různá specifika provozní, funkční a hmotné struktury nebyla v této fázi brána v potaz.

Náhlá rozhodnutí měla v určitých městech prakticky rozhodující vliv, který podstatně ovlivnil rozsah způsobených povodňových škod. Pro plnohodnotně funkční městský organismus je nezbytné, aby byl založený na správných historicko-provozních principech včetně životního stylu a aktivit místního obyvatelstva. Při povodni v roce 1997 se ukázalo, která města měla prozíravou urbanistickou koncepci. Zejména z dob průmyslových revolucí. Jiná města, která prošla překotnějším ekonomickým vývojem popřela selský rozum a v historii nabyté zkušenosti (Konvička 2002).

Severní Moravu tato povodeň zasáhla ve dvou vlnách. První vlna se projevila v Jeseníkách a Beskydech. Druhá o 10 dní později v Orlických horách a Krkonoších.

Na některých stanicích bylo naměřeno přes 500 mm srážkových úhrnů a v několika velkých oblastech byla povodeň vyhodnocena jako 500letá i větší (MŽP 2011).

Odborníci se začali po této události znovu zajímat o preventivní opatření. Normy a legislativa byla doplněna. Povodňové plány se začaly vypracovávat kvalitněji a na rozsáhlejší území. Povodně se začaly více analyzovat a porovnávat s historickými daty. Vznikla celostátní strategie ochrany před povodněmi.

21. století

Od konce 18. století neexistují obdobně ničivé povodně jako v letech 1997 a 2002. Tyká se to velikosti kulminací, objemů povodňových vln, velikosti zaplaveného území, jejich trvání a vzniklých škod (Němec a Hladný 2006). V těchto povodních se jednalo o výskyt místních povodní charakterizovaných příčinnými srážkami či táním sněhu a následující průtokovou odezvou (MŽP 2009).

U nás nejznámější a zatím nejničivější povodeň z roku 2002 na Labi byla způsobena extrémními srážkami v povodí Labe a některých jeho přítocích. Na část povodí nejdříve spadly dvě vlny bohatých srážek v krátkém časovém rozestupu následované další vlnou, při které došlo k výraznému zvýšení povodňového odtoku. V období od 6. do 13. srpna spadlo v dílčích povodích Vltavy 198 mm srážek. Ze sledování statistických měření se došlo k závěru, že na jednotlivých povodích bylo dosaženo průtoků Q_{500} , Q_{1000} i více.

Ochranný ovladatelný objem všech nádrží, tedy objem plnicí se jen při povodňových stavech, činí na povodí Labe asi 500 mil. m^3 a celkový ovladatelný objem má nad 4 mld. m^3 . Ochranný ovladatelný prostor se nachází mezi hladinou zásobního prostoru a přelivnou hranou. Neovladatelný je dán výškou přepadu přes přelivnou hranu. Povodí zasažená dvěma vlnami srážek naplnila své volné prostory nádrží již odtokem z první vlny, přesto byl jejich vliv na průběh povodně velmi pozitivní. Nádrže pomohly dočasně zadržet a někdy výrazně snížit kulminační odtok pod nimi. Nicméně bylo dokázáno, že i kdyby byly ochranné prostory zvětšeny na úkor jiného využití, na bezpečné zneškodnění srpnové povodňové vlny v roce 2002 by to nestačilo (MKOL 2004).

Mnohem účinnější se v tomto směru ukázalo využití retenčních ploch v oblasti zaústění vodního toku Havola (Havel) do Labe na německé části. Retence pomohla zachytit také samotný přítok z Havoly a zásluhou manipulace na jezích v obci Quitzöbel se povedlo snížit výši vodní hladiny ve stanici Havelberg na Labi o 41 cm.

Podobným způsobem se na vodním stavu projevilo také postupné protrhávání ochranných hrází po proudu Labe, ze kterého vždy těžily níže položené subjekty. Bylo

zjištěno, že téměř polovina z celkové délky 1200 km ochranných hrází na vodním toku Labe neodpovídá nejlepšímu stavu.

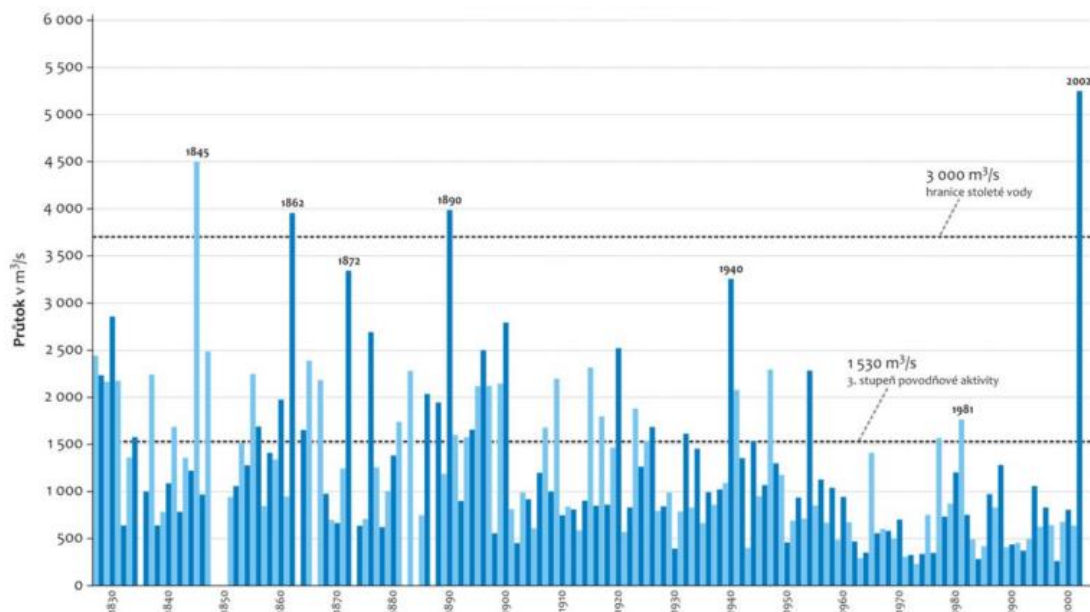
V průběhu povodně byly hydrologické předpovědní služby vystaveny obrovské zátěži. Řada stanic přestala být v důsledku poškození povodní schopna dodávat informace do sítě. Předpovědní hydrologické modely nebyly připraveny na tyto extrémní průtoky. Dobře fungovala spolupráce předpovědních služeb na národní i mezinárodní úrovni. Poznatky z provozu předpovědní a hlášené služby byly cenným podkladem zlepšení jejich fungování. Předpověď ukázala na potřebu časového i prostorového rozšíření povodňových modelů (MKOL 2004).

V současné době vrcholí neřízený růst městské zástavby v prostoru údolních niv, který odstartoval v dobách průmyslových revolucí. Příkladají se mu katastrofální následky v posledních dvou dekadách. Přírodní prostředí je z měst v zájmu technického pokroku necitelně vytlačováno. Zachování přírodních prvků v urbanizovaném prostředí je předmětem diskuzí ve snaze zachovat jistou rovnováhu. Rovněž probíhá další vlna suburbanizace a stěhování obyvatelstva do atraktivnějších lokalit mimo oblast říčních niv (Konvička 2002; Wittmann 2012).

Z historie vyplývá, že v průběhu opakujících se povodní se vždy objeví jistá specifika. Tento aspekt je vhodné aplikovat při plánování budoucí ochrany před další povodňovou událostí. Je podstatné studovat historii povodňových událostí. Zejména jejich průběh a rozsah a prohlubovat znalosti o chování toku v oblastech, které je třeba chránit. Pak je možné se lépe připravit na neočekávané situace (Daňhelka a Elleder 2012).

Vltava v Praze

Vltava v Praze je u nás historicky nejlépe zdokumentovaným tokem. Zároveň její povodí od pramene až po město Praha zabírá asi 34% rozlohy ČR, proto je to velmi reprezentativní vzorek. Nejstarší doložená povodeň pochází z roku 1272, kdy došlo k prolomení pražského Juditina mostu. Podruhé a definitivně se tak stalo ještě v roce 1342, kdy kronikáři popisují povodně „po celém světě“, ale měli tím na mysli zřejmě pouze oblast střední Evropy, především Německo. Dále letní případ povodně v roce 1432, kdy vodní hladina dosáhla na Starém městě úplně nejvýše. Za zmínku stojí také povodně z let 1582, 1862, 1872 a nakonec 2002 (Daňhelka a Elleder 2012). Srovnání novodobých povodní v Praze představuje obrázek č. 1.



Obr. č. 1: Povodně na Vltavě v Praze v letech 1827 až 2002

(Čamrová 2007)

V Praze je již od 15. století je využíván jeden zvláštní měrný profil. Nachází se na něm nejstarší povodňové značky a je umístěn na budově Křížovického kláštera. Přesněji na pravostranném opevnění koryta těsně pod Karlovým mostem. Jeho součástí je velmi vzácný vodočet – kamenná hlava tzv. Bradáč. V okamžiku, kdy se voda dostala až na úroveň „vousů“ hlavy Bradáče, se zatápěly pobřežní části Starého města. K tomuto vodočtu se dá odvodit zhruba až 18 povodní z let 1481 až 1736 (Langhammer et al. 2007). Takový údaj je z dnešního pohledu pouze orientační, protože došlo ke změnám morfologie koryta i jeho okolí. K dokreslení skutečné situace v dávné historii se tak uvažuje pouze v kombinaci s dalšími vodítky, jako jsou rozdíly vlhkých či suchých let u letorostů stromů nebo paleontologických nálezů. První pravidelné pozorování stavu vodní hladiny bylo v Praze zahájeno na vodočtu poblíž Staroměstského jezu až v roce 1825 (Němec a Kopp 2009).

Bylo zjištěno, že za posledních 800 let se skutečně velké stoleté povodně Vltavy v Praze objevovaly pouze v době od ledna do března v případně smíšených povodní nebo od července do září v případě dešťových povodní (Němec a Hladný 2006). Zvláštní náhodou se tyto povodně opakují zejména v letech končících dvojkou (Daňhelka a Elleder 2012).

3.1.2 METEOROLOGICKÉ PŘÍČINY POVODNÍ V ČR A EVROPĚ

Česká republika se nalézá v mírném klimatickém pásmu s výskytem pravidelných sezónních cyklů srážek a teplot. Hydrografická síť tzn. síť větvených vodních toků je velmi hustá a dosahuje délky celkem 85 000 km. Největší měsíční úhrny srážek spadnou v době od května do srpna a nejmenší od února do března.

V letním období se sice objevují extrémní bouřkové srážky, ale obvykle se týkají jen malých území. Déletrvající srážky se vyskytují častěji na výše položených místech, kde je důležitý vliv orografie povrchu (Kovář 2004).

V ČR představují povodně v oblasti přírodních katastrof nejvýznamnější riziko, protože se nenachází na území seismických dějů nebo povětrnostních extrémů např. tornád (MŽP 2000).

Pro střední Evropu platí, že nejvyšší riziko velkoplošné povodně způsobuje nejčastěji tlaková níže pohybující se po trase od Středozemního moře směrem do střední a východní Evropy, kde je v povodňových případech zastavena tlakovou výší. Tento stav, kdy setrvává tlaková níže a související frontální systémy na místě v kombinaci s okluzní frontou se severním prouděním, má za následek intenzivní srážky. Takto vznikly na území České republiky povodně v letech 1997, 2002 a 2010 (Daňhelka a Elleder 2012).

Povodňové riziko v Evropě je podle Dankerse a Feyena (2009) nutné posuzovat na více hydrologických modelech v různých možných scénářích, protože jenom tak lze postihnout různé odchylky v hydrologických extrémech. Nicméně k získání přesnějších závěrů je nutné do těchto modelů zahrnout současný a budoucí stav klimatu (Dankers a Feyen 2009).

3.1.3 CHARAKTERISTIKY POVODNÍ

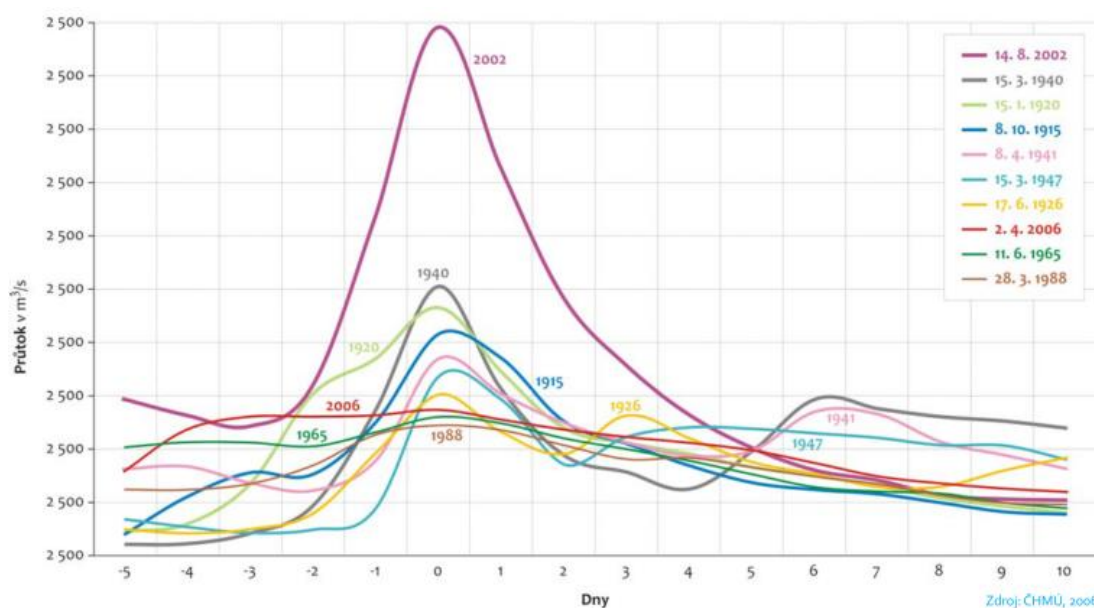
Průtoková vlna

Povodeň nejlépe vystihuje průtoková vlna, která se znázorňuje graficky jako hydrogram (průtok závislý na čase). Pro tuto charakteristiku je hydrogram vztažený na jeden a více měrných profilů na úseku vodního toku, když je v danou dobu potřeba zjistit aktuální průběh průtoku. Na začátku průtokové vlny se nachází počáteční průtok, který z počátku roste, dokud nedosáhne svého vrcholu a následně zase klesá na výchozí hodnotu. Rostoucí část křivky se také nazývá vzestupná větev. Od vrcholu ke konci průtokové vlny se jedná o poklesovou větev, která má zpravidla mnohem pozvolnější průběh.

Vrchol průtokové vlny se v určitém úseku vodního toku pohybuje rychlostí postupu průtokové vlny, kdy se současně mění její tvar. To znamená, že s poklesem kulminace získává průtoková vlna plošší tvar. Tento proces bývá nazýván jako tzv. transformace povodňové vlny (Hrádek a Kuřík 2008; Němec a Hladný 2006).

Povodňová vlna

Extrémní průtokovou vlnu lze již označit také jako vlnu povodňovou. Povodňová vlna může být pozorovaná nebo teoretická. U pozorované povodňové vlny se udává její přesný datum. Například $PV_{(2002-8-20až21)}$ označuje povodňovou vlnu ze dne 20. až 21. srpna roku 2002. Vybrané pozorované povodňové vlny znázorňuje obrázek č. 2. Teoretická povodňová vlna nebo také N-letá povodňová vlna PV_N je určena tvarem hydrogramu, kulminačním průtokem Q_N a jeho objemem W_{PVN} (Hrádek a Kuřík 2008).



Obr. č. 2: Průměrné denní průtoky v deseti objemově největších povodňových vlnách na Vltavě v profilu Praha-Modřany

(Čamrová 2007)

Inundace

Inundace území je jev, který nastává při povodních, když se zaplavuje přilehlé území vodního toku. Zaplavované území lze tedy nazvat jednoduše inundačním územím.

3.1.4 TYPY A VZNIK POVODNÍ

Meteorologické faktory (přírozené povodně)

Meteorologické faktory ovlivňující povodně se v základě dělí na předběžné a příčinné.

Předběžné vznikají dlouho, týdny až měsíce před samotnou povodňovou událostí. Je to např. promrzlá půda, nasycenost půdy, tloušťka sněhové vrstvy, naplněnost vodních koryt před povodní, ledové jevy atd.

Spouštěčem povodní jsou příčinné faktory, které nastávají teprve krátce před povodní v rámci hodin až dnů. Jde o dešťové srážky, teploty tání sněhové pokrývky stejně jako rychlost větru při tání. Pokud se ledové jevy dostanou do pohybu, tak je lze řadit i do příčinných faktorů (Němec a Hladný 2006).

Nasycenost povodí se na ČHMÚ běžně zjišťuje pomocí empirického vztahu - indexu předchozích srážek. Ten počítá s denními úhrny po dobu 30 dní z určité stanice, přičemž váha úhrnů roste k poslednímu dni. Při výpočtu se ovšem postupuje od posledního denního úhrnu před výskytem příčinné srážky směrem k prvnímu. Tento způsob nezahrnuje složku odtoku, protože k tomu je potřeba znát fyzicko-geografické charakteristiky území. Z toho důvodu se doplňuje o bilanční rovnici vycházející z metody CN-křivek (Němec a Hladný 2006; MŽP 2009). Promrznutí půdy zabraňuje vsaku vody a měří se pomocí půdních teploměrů. Zmrzlá vrstva může po dlouhých mrazech dosahovat i více jak 1 m hloubky (Němec a Hladný 2006).

Povodně způsobené meteorologickými (přírozenými) faktory se dělí na:

- Dešťové povodně
- Bleskové povodně
- Povodně pocházející z tání sněhu
- Ledové povodně
- Smíšené povodně

Dešťové povodně vznikají po vytrvalých i několikadenních dešťových srážkách a objevují se v jakémkoliv ročním období. Bleskové povodně způsobují extrémní přívalové deště trvající někdy jen pár hodin. Jsou charakteristické náhlým vzestupem vodní hladiny za krátkou dobu a dokáží bouřlivě rozvodnit i malý potok. V rozlehlých povodích jsou lokální přívalové deště obvykle neškodné a úroveň hladiny zůstává v obvyklých mezích. Existují také přechodné typy povodní, kdy jsou dlouhotrvající srážky prokládány mnohem intenzivnějšími bouřkami.

Tání sněhu v oblasti ČR nebývá primární příčinou záplav. Tání zde bývá obvykle urychlováno dešťovými srážkami a teplým prouděním vzduchu. V takové situaci se tedy jedná o povodně smíšené a ty bývají často doprovázeny ledovými zácpami.

Ledová povodeň vzniká zadržením ledových jevů jednom místě, což má za následek vysoké až několikametrové vzduť vodní hladiny. Tento typ povodní může zvýšit hladinu až na úroveň Q_{100} . Smíšené a ledové povodně se v Česku vyskytují od prosince do dubna (Němec a Hladný 2006).

Zvláštní povodně

Zvláštní povodně nemají přímou vazbu na meteorologickou situaci. Dochází k nim při nepředvídané změně průtočnosti vodního koryta. Může jí způsobit přehrazení toku sesuvem zeminy, uvolněním horniny nebo masy sněhu – lavinové povodně. Dále sem patří ucpání koryta unášenými předměty na hladině v mostních otvorech, v propustcích atd. Pokud dojde k situaci, kdy se zvýší hladina v nižších polohách toku, tak vznikají záplavy zpětným vzduťím. Jinou kategorií zvláštní povodně jsou tzv. splaveninové povodně neboli mury. Tyto povodně se formují na strmých nezalesněných svazích při intenzivních srážkách, kde s sebou strhávají kamení, štěrky a bahno (Němec a Kopp 2009).

Zvláštní povodeň vzniká také při nouzovém vypuštění vodního díla z důvodů poruchy na ovládacích prvcích, pokud by přestala fungovat její retenční funkce (Němec a Kopp 2009). Těmito situacím, kdy může dojít k poruše stability a bezpečnosti díla, by se mělo předcházet pravidelnými odbornými kontrolami, které zajišťují vlastníci vodních děl. Posudek provádí pověřená osoba již ve fázi příprav stavby vodního díla. O kontrolu vodních děl v kategorii I. a II. musí vlastníci zajistit dohled pověřenou odbornou organizací. Do kategorií III. a IV. patří hlavně malé vodní nádrže a rybníky. V těchto kategoriích až 30 % hrází malých vodních nádrží není dostatečně dimenzováno na převedení Q_{50} a Q_{100} (Kovář 2004; MZe 2015).

3.1.5 POVODŇOVÉ ŠKODY

Jako povodňová škoda se obecně označuje vše negativní, co vzniklo při povodňové události. Jsou to škody na majetku fyzických a právnických osob nebo škody v zemědělství. Při povodních vznikají vedle materiálních škod i škody na životním prostředí. Mezi nepřímé následky povodní patří negativní řetězové reakce v sociálně-ekonomické sféře. Povodně způsobují zhoršení fyzického i psychického zdraví obyvatelstva, ztráty vyplývající z narušení některých hospodářských činností, se kterými se pojí zvýšená nezaměstnanost atd. To jsou důvody, proč je nezbytné každé přírodní pohromě věnovat zvýšenou pozornost a na základě vyhodnocení přírodních extrémů rozšiřovat poznatky o způsobech nejúčinnější ochrany (Langhammer et al. 2007; VÚV 2005). Výše škody se hodnotí podle nákladů na jejich odstranění (Říha et al. 2005).

Rozlišujeme dva typy následků povodní – primární a sekundární. Primární typ představují přímé škody na majetku způsobené přírodním živlem apod. Mezi sekundární škody patří např. výpadky proudu, podmáčení budov, kontaminace půdy.

S postupem let sice klesá počet obětí na životech, ovšem rychle stoupá rozsah materiálních škod (Langhammer et al. 2007; Němec a Hladný 2006).

Česká republika utrpěla v letech 1997 až 2004 největší povodňové škody za posledních několik staletí české historie. Škody činily zhruba 145 miliard Kč. Zahynulo 92 osob a bylo zničeno tisíce obytných i neobytných objektů (Němec a Hladný 2006). V tabulce č. 1 lze sledovat vývoj povodňových škod a počtu obětí při jednotlivých událostech na území ČR mezi roky 1996 až 2007.

Rozpočet zemí je k těmto přírodním pohromám velmi citlivý a současně roste zranitelnost životního prostředí. Nicméně studie Barreda (2009) vyplývá, že stoupající trend škod způsobených záplavami v Evropě v letech 1970 až 2006 nebyl prokázán. V hypotetickém scénáři, bez klimatických změn, by nárůst povodňových škod dále pokračoval jako následek ekonomického a sociálního rozvoje.

Tab. č. 1: Povodňové škody na území ČR v období let 1996 až 2007 (Němec a Kopp 2009)

Povodňová situace [rok / měsíc]	Počet lidských obětí	Povodňové škody [mld. Kč]
1996 / květen	0	1,8
1996 / září	0	0,4
1997 / červenec	60	62,7
1998 / červenec	10	1,8
2000 / březen	3	3,8
2001 / červenec	0	1
2002 / červenec	2	2
2002 / srpen	17	73,1
2006 / březen	9	6
Celkem 1996 - 2007	101	153,1

Po přírodní katastrofě a zrekonstruování poškozených budov je nutné pohlídat úroveň jejich zabezpečení proti podobným událostem tak, aby již podobná situace nenastala. (Langhammer et al. 2007).

Likvidace škod

Náhrada vzniklých ztrát má vliv na ekonomiku celého státu i v případě, že není zasaženo jeho celé jeho území. Pokud dojde k narušení základních funkcí území v důsledku mimořádných povodní, pak může stát poskytnout pomoc na obnovu majetku. Státní pomoc se nabízí krajům, obcím a dalším právnickým osobám mimo ty, které hospodaří se státním majetkem. Pomoc se poskytuje osobám, které jsou schopné prokázat neschopnost zajištění základních funkcí v území za pomoci vlastních prostředků (Kovář 2004; VÚV 2005).

3.1.6 VLIV ZMĚNY KLIMATU

Povodně nyní mnohem častěji doprovází extrémní meteorologické situace. Tyto negativní vlivy se často přisuzují vlivům globálního oteplování a zvyšování objemů skleníkových plynů v atmosféře. Na zesilování skleníkového efektu se podílí mnoho lidských aktivit (Konvička 2002).

Odborníci se v názoru vztahu klimatických změn k povodním dělí na dvě skupiny. První skupina tvrdí, že z dlouhodobého hlediska se frekvence povodní nemění a zvyšování škod zdůvodňují postupným zhodnocováním majetku zásluhou hospodářského růstu a necitlivou expanzí do říčních niv. Druhá skupina prosazuje názor, že za tento trend mohou globální změny klimatu. Mezi ně patří skleníkový efekt, vliv slunce, střídání teplých a studených období na Zemi atd.

Bylo dokázáno, že konec 20. století patří mezi nejteplejší období za celou éru pozorování teplot a proto se tomuto jevu přikládá značný význam. Globální oteplování se demonstruje na tání ledovců a měřitelném zvyšování hladin světových moří. První případ katastrofální povodně v České republice v roce 1997 poukázal na absenci geoprostorových a hydrologických modelů pro povodí českých řek. Tyto modely jsou základem pro plánování a přípravu opatření před těmito událostmi (Langhammer et al. 2007).

Dochází k oteplení v zimních měsících, což souvisí s převažující kapalnou fází srážek nad tuhými. Cirkulační podmínky nad Evropou se mění. Teplejší proudění od Atlantského oceánu se projevuje na běžnějších a delších obdobích oblev. Ze západu také častěji přechází atmosférické fronty, které přináší více srážek (Němec a Hladný 2006).

Z předpovědí do budoucna vyplývá, že se ze střední Evropy stane přechodová zóna. To znamená, že v zimě bude srážek přibývat od severu a v létě od jihu ubývat. Tento předpoklad vychází z lineárního trendu zvyšování globální teploty vzduchu i její větší nerovnoměrnosti v poloze. Jsou oblasti, kde teplota naopak klesá. Vyšší teploty obecně zkracují vodní cyklus, takže způsobují častější srážky, které jsou nerovnoměrné v prostoru i čase. Na druhou stranu, extrémní případy povodní u nás v letech 1997 a 2002 nijak nevybočují z řady, protože v porovnání se zbytkem světa se extremita nejvyšších srážek daného trvání pod vlivem změny klimatu zatím prakticky nezměnila. Nicméně ani tyto dvě zmíněné povodně nepředstavují nejhorší možný scénář (Němec a Kopp 2009).

Ze studie Dankerse a Feyena (2009) vyplývá, že koncem 21. století budou povodně na některých evropských řekách častější a intenzivnější, přičemž na jiných

bude scénář opačný. Pokles povodňového rizika se očekává např. u jarních povodní v severovýchodní Evropě, kde budou zimy teplejší a období sněhových srážek kratší. Menší výskyt povodní se předpokládá také na několika řekách ve střední a jižní Evropě. V mnoha částech západní a východní Evropy dojde ke zdvojnásobení výskytu stoletých vod (Dankers a Feyen 2008).

3.1.7 POSUZOVÁNÍ POVODŇOVÝCH RIZIK A NEBEZPEČÍ

Protipovodňová ochrana je soubor opatření s cílem předejít a zamezit ztrátám na životech, zdraví obyvatel a jejich majetku a na životním prostředí. Provádí se systémem prevence, zlepšováním retence v krajině a povodí a zásahy do průběhu povodní. Ochrana se řídí povodňovými a v případě krizových situací krizovými plány.

Ochranu před povodněmi mají na svědomí povodňové orgány, které se řídí povodňovými plány. Povodňové orgány se starají o přípravu, organizaci a kontrolu činností v době povodně i těsně po ní. Je-li vyhlášen krizový stav (nouzový stav či stav nebezpečí), pak ochranu před povodněmi přebírají krizové orgány dle zákona 240/2000 Sb. o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon), ve znění pozdějších předpisů. Povodňová komise se v těchto případech stává součástí krizového štábu. Krizový stav je vyhlášován vládou a hejtmanem kraje, kdy získávají zvláštní pravomoci pro překonání následků povodně (Kovář 2004).

Evropská směrnice

Je v zájmu státu používat charakteristiky škod ve vztahu k meteorologickým a hydrologickým příčinám pro sestavování rozpočtů na prevenci. Povodně v letech 1997, 2002 a 2006 přinesly mnoho poznatků a vedly k řadě nových opatření (Langhammer et al. 2007). V souladu se směrnicí Evropského parlamentu a Rady o vyhodnocování a zvládnutí povodňových rizik 2007/60/ES jsou postupně vyhotovovány nové mapy povodňového nebezpečí a povodňových rizik. Tyto mapy jsou vypracovávány pro vybraná území v povodí na základě předběžného vyhodnocení povodňových rizik.

Pro dokončení jednotlivých částí jsou Povodňovou směrnicí určeny tyto termíny:

- Předběžné vyhodnocení povodňových rizik do 22. prosince 2011
- Mapy povodňového nebezpečí a povodňových rizik do 22. prosince 2013
- Plány pro zvládnutí povodňových rizik do 22. prosince 2015

Slovem „povodeň“ se v tomto dokumentu chápe dočasně zaplavené území a slovem „povodňové riziko“ pravděpodobnost povodně včetně dalších nepříznivých účinků souvisejících s povodní.

Předběžné vyhodnocení povodňových rizik vzniká např. ze studií dlouhodobého vývoje včetně dopadu klimatických změn na výskyt povodní. Zahrnuje popis proběhlých povodní a mapy oblastí povodí.

Mapy povodňového nebezpečí zahrnují zeměpisné oblasti, kde hrozí jejich zaplavení dle různých scénářů. Jedná se o povodně s malou pravděpodobností nebo extrémní povodňové scénáře, povodně s pravděpodobnou dobou opakování více jak 100 let (středně vysoká pravděpodobnost) a povodně s vysokou pravděpodobností výskytu. Každý scénář bude mít uveden rozsah povodně, výšku vodní hladiny a průtok vody.

Mapy povodňových rizik zobrazují místa potenciálně nepříznivých následků. Vyjadřují se dle předpokládaného počtu zasažených obyvatel a typu hospodářské činnosti. Dále podle rizikových zařízení uvedených ve směrnici 96/61/ES, kde hrozí v případě zaplavení havarijní znečištění a dle potenciálně zasažených chráněných oblastí ze směrnice 2000/60/ES v příloze IV. Tyto mapy se zohledňují při rozhodování o využití území v územním plánu nebo při hledání patřičných opatření před povodňovými škodami. Analýza zahrnuje rovněž rizikové členění inundační plochy a nastavení priorit pro uplatnění různých protipovodňových opatření. Pro účely rizikové analýzy záplavových území je potřeba využívat co nejkvalitnějších podkladů (VÚV 2012).

Nezbytným nástrojem pro řešení rizikové analýzy v povodňových územích jsou geografické informační systémy. Metody takových analýz by měly být především standardizované, srozumitelné, flexibilní, přístupné a měly by zohledňovat použití nástrojů a postupů současné úrovně poznání (Říha et al. 2005).

Plány pro zvládnutí povodňových rizik se soustředí na zmírnění nepříznivých účinků povodní. V těchto plánech se zaměřuje na prevenci, ochranu, připravenost a charakteristiky povodí (VÚV 2012; Unie 2007).

Plán hlavních povodí ČR

Plán hlavních povodí České republiky z roku 2007 je strategický dokument plánování v oblasti vod a vychází již ze směrnice 2000/60/ES. Plán nechal vzniknout novým úkolům v přípravě a realizaci konkrétních opatření proti povodním. Tato opatření je nutno posoudit podle míry snížení povodňových rizik a optimalizovat využití prostředků na zajištění standardu pro celostátní nebo regionální protipovodňovou ochranu. Plán hlavních povodí ČR je obnovován každých 6 let. (VÚV 2012; MZe a MŽP 2007).

Rámcové cíle státní politiky jsou:

- Ochrana vod jako složky životního prostředí
- Ochrana před povodňovými a dalšími účinky vod
- Udržitelné užívání vod, zejména zásobování pitnou vodou

Obecným cílem státní politiky v této oblasti je vznik podmínek pro udržitelné nakládání s vodami ČR pro jejich užívání, ochranu i snížení jejich škodlivých účinků.

Zásady státní politiky jsou:

- Zadržování a ochrana vod v území – omezit negativní vlivy urbanizace, omezit nešetrné hospodaření s vodou v zemědělství a lesnictví, obnovit ekologickou stabilitu atd.
- Integrovaný přístup – zapojení dalších sektorů hospodářství v otázce řešení potřeby a požadavků na vody
- Opatrnost – v případě ochrany životů a životního prostředí je-li nedostatek vědeckých poznatků
- Zapojení veřejnosti – významnější role občana při rozhodování, zlepšení informovanosti veřejnosti o navrhovaných postupech a scénářích
- Sociální a ekonomické dopady – znečišťovatel a uživatel platí

(MZe a MŽP 2007)

Vstupní data a podklady

Povodňové nebezpečí vyjadřují kulminační průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} . Jsou to charakteristiky průběhu povodně, které se od sebe liší v rozsahu rozlivu, hloubky zaplavení a rychlosti proudu vody. Podstatné je jejich prostorové rozlišení, které se zpracovává v tzv. mapě povodňového nebezpečí pro dobu opakování 5, 20, 100 a 500 let.

Podklady pro vytvoření map povodňového nebezpečí a rizik jsou:

- Mapové podklady
- Místní šetření
- Geodetické podklady
- Doplnkové výškopisné podklady
- Hydrologická data
- Hydrotechnické podklady
- Kalibrační podklady
- Hydraulické výpočty pro účely vymezení záplavových území
- Podklady pro vyjádření zranitelnosti území

Mapové podklady slouží k základní orientaci v oblasti při určování povodňového nebezpečí a povodňového rizika. Dále také k zadávání topologie numerických modelů nebo k zobrazení výsledků ve formě doplněných mapových výstupů (VÚV 2012). Pro tyto účely se v ČR se používají průběžně aktualizované geografické podklady Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED) v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému Bpv (Balt po vyrovnání). ZABAGED je spolu s geodetickými a leteckými snímkovými daty základní podklad pro zadávání polohopisných prvků modelu. Dále je na něm v rámci rizikové analýzy určováno využití zaplaveného území a při odhadu potencionálních povodňových škod slouží k identifikaci objektů (ČÚZK 2015a; VÚV 2012). Pro zjištění aktuálního stavu území nebo doplnění mapových podkladů se používají ortofotomapy. Ortofotomapy slouží i pro rozlišení využití ploch a tvorbu numerického modelu proudění vody při povodni (VÚV 2012).

Předběžná a podrobná rekognoskace v zájmové oblasti je součástí vytváření numerického modelu a rizikové analýzy. Z předběžného průzkumu vzniká koncepční model a v něm se rovněž dle vymezených cílů popisuje schematizace problému s ohledem na numerický model použitý k hydraulickému výpočtu (způsob modelování, volba hranic atd.). Podrobný průzkum je potom nutný pro vznik modelu zájmové oblasti a to především při modelování objektů, překážek, povrchů, vegetace atd. Vše je vhodné zaznamenat na fotografiích či videu.

Geodetické podklady jsou potřebné pro přesné zpracování hydraulických výpočtů, posouzení výsledků simulací a návazných rizikových analýz. Musí být reprezentativní a výstižné a požadavky na ně jsou připraveny odborníkem ve vodním hospodářství se zkušenostmi v numerickém modelování. Pořizují se v polohopisném systému S-JTSK a výškopisném systému Bpv. Zaměřuje se geometrie vodního toku, geometrie objektů na vodním toku a geometrie inundačního území (VÚV 2012).

Doplňkové výškopisné podklady je lze získat z vrstev geodatabáze ZABAGED. Je možné použít vektorovou vrstvu vrstevnic místně doplněnou o diskrétní body nebo nově mnohem přesnější nepravidelnou trojúhelníkovou síť (TIN). TIN vzniká z databáze bodových měření obsahující diskrétní body o souřadnicích X, Y, H, kde H je nadmořská výška. Přesnost digitálního modelu reliéfu 5. generace, který vznikl metodou leteckého laserového skenování výškopisu, odpovídá střední chybě výšky 0,18 m ve volné a 0,3 m v zalesněné krajině. Tyto data již lze na některých povodích použít také k vyhodnocování záplavových čar a hloubek. V případě zpracování hydraulických výpočtů a hloubek pro rizikové analýzy mají ovšem geodetické podklady stále nezastupitelnou roli (ČÚZK 2015; VÚV 2012).

Hydrologickými daty se rozumí hydrologické údaje o N-letých průtocích, které poskytuje Český hydrometeorologický ústav dle ČSN 75 1400. Data charakterizují povodně s dobou opakování 5, 20, 100 a 500 let ve spodní a horním profilu a také v místech významných přítoků do vodního toku.

Kalibrační data mají zohlednit dostupné informace historických povodní v zájmovém území, zejména velikosti kulminačních průtoků a tomu odpovídajících úrovní vodní hladiny. Správná interpretace vyžaduje mnoho dodatečných materiálů.

Víceméně každý stát v Evropě má k dispozici nějaká historická data o povodních minimálně na svých největších tocích. Pokud státy ještě tyto data do svých předpovědí nezahrnuly, tak se o to alespoň nějakým způsobem pokoušejí. Běžně je používají zatím jen např. v Rakousku nebo Španělsku. Tato data pomáhají lépe analyzovat extrémní povodně překračující Q_{100} . Analýza povodňových událostí v Česku je založena na kombinaci listinných důkazů o povodních a systematických hydrologických měření umožňující pohled až 500 let zpátky. Na Moravě jsou tyto analýzy vytvářeny jen k roku 1691 (Kjeldsen 2014). V Evropě stále chybí komplexní a standardizovaná data o povodňových ztrátách a obětech, což komplikuje vznik dlouhodobých analýz na úrovni celého kontinentu (Barredo 2007).

Hydraulické výpočty jsou základním podkladem pro tvorbu map povodňového nebezpečí a rizikovou analýzu. Vymezuje se jimi zaplavené území pro různé scénáře ustálených kulminačních průtoků s dobou opakování 5, 20, 100 a 500 let. Výpočty navazují na již realizované návrhy záplavových území vodních toků vyššího řádu. Základem jsou vyhlášená záplavová území nebo studie odtokových poměrů jejichž obsahem jsou mimo jiné záplavové čáry a podélný profil pro Q_5 , Q_{20} a Q_{100} . Pro splnění požadavků Povodňové směrnice se takové výstupy rozšíří o Q_{500} . Pro všechny průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} se rovněž nově vyhodnocuje hloubka a rychlost proudění (charakteristiky proudění).

Posledním typem podkladů je zranitelnosti území. Míra zranitelnosti území souvisí se způsobem jeho užívání. Určit způsob užívání území lze z těchto materiálů (VÚV 2012):

- Územně plánovací dokumentace obcí
- Územně analytické podklady
- ZABAGED
- Ortofoto
- Registr sčítacích obvodů
- Webové stránky

- Terénní průzkum

3.1.8 PROTIPOVODŇOVÁ OCHRANA

Při návrhu a realizaci protipovodňových opatření je nutné se zaměřit především na zmírnění škod v obydlých oblastech, protože absolutní ochrana před povodněmi neexistuje. K posouzení efektivity protipovodňové ochrany se používají různé matematické modely. Sbírají se data, která se vyhodnocují a posuzují v rámci rizikové analýzy (Říha et al. 2005). Protipovodňová ochrana by se vždy měla skládat z několika typů opatření, protože jedině jejich kombinací lze dosáhnout nejlepších výsledků (Čamrová 2007).

Retence krajiny

Je nutné hájit zásady prostorové rovnováhy mezi urbanizovaným a hospodářským územím a využití těchto území k účelu lepší akumulace vody a zpomalení povrchového odtoku (MŽP 2000).

K jedné z metod mírnění průběhu povodňových událostí patří rozšiřování retenčních ploch v povodí. Hlavní příčina povodní tkví v nasycené půdě, protože taková půda již není schopná pohlcovat další vodu po déle trvajících intenzivních srážkách a voda odtéká po jejím povrchu. Voda při povodních by se v člověkem nepozměněné krajině jednoduše rozlila do říční nivy. Vegetační pokryv, půda a různé terénní deprese vodu zachytí a pak jí postupně vrací do vodního toku. Zvyšující intenzita využívání říčních niv a údolí takovému rozlivu dávala čím dál méně prostoru. K utlumení povodně již na jejím počátku je nutné v dosud nezastavěných územích vytvořit nové inundační plochy. Za tím účelem se posunují nebo úplně odstraňují existující vodní hráze a tím se částečně obnovuje prostor původní říční nivy (Čamrová 2007; Langhammer et al. 2007).

Zvyšovat retenci krajiny pomáhají také revitalizace drobných vodních toků, které byly v minulosti napřímeny a doplňování chybějících krajinných prvků typu remíz, mokřad nebo lužní les (Čamrová 2007).

Revitalizační opatření se v oblasti ochrany před povodněmi uplatňují ve třech pozicích. Mohou zpomalovat povodňové vlny, tlumit rozlivy v nivách, zadržovat povodňové průtoky v hloubených či hrázovaných objektech částečně přírodního charakteru nebo je přírodě blízkými koryty odvádějí mimo chráněné území. Druhým souborem opatření jsou technická řešení (např. v intravilánech) a zpřirodňování kapacitních koryt. Posledním třetím okruhem jsou kompenzační opatření jako náhrada přírodního prostředí a rozlivů při výstavbě technických objektů (Just et al. 2005).

Konkrétní příklady revitalizačních opatření jsou tato:

- Podpora funkcí přirozené říční nivy (tlumení a zpomalení postupu povodně)
- Revitalizační úpravy v kapacitních korytech intravilánu (ekologická funkce)
- Vytváření přírodě blízkých ochranných koryt k odvádění průtoků
- Obnova povodňově průtočných říčních a potočných pásem
- Zvyšování retence v nivách hloubením terénních sníženin
- Usměrnování a podpora plošného rozlivu pomocí nízkých zemních valů
- Zadržování části vod v polosuchých poldrech
- Odstraňování jezů, stupňů atd. (Just et al. 2005)

V urbanizovaných oblastech pomáhá zlepšit podmínky pro zasakování půdy (zasakovací plochy, příkopy, šachty atd.) a přizpůsobit její obhospodařování. V minulosti byla tato opatření financována z programu MŽP – Revitalizace říčních systémů. V současnosti jsou podporována ze strukturálních fondů EU, zejména z Operačního programu ŽP a Programu rozvoje venkova (Čamrová 2007).

Bohužel zvyšování retenční schopnosti krajiny má své limity, což naznačují různé modelové situace, ale i zkušenosti ze zahraničí. Úprava krajiny za účelem úplného zneškodnění povodně je možná pouze u malých povodní a situace se komplikuje se specifickými rozdíly mezi povodními (Langhammer et al. 2007).

Technická řešení

Technická protipovodňová řešení chrání obyvatele a především jejich majetek. Hráze a stěny se dimenzují na určitou úroveň N-leté povodně. Za účelem zachycení části povodňového průtoku se staví poldry a retenční nádrže. Tyto stavby nesmí umožňovat další rozšiřování povodní ohrožené oblasti. Jejich cílem je pouze omezit rozsah povodňových škod na již existujícím majetku. Nezastavěné plochy musí být ponechány volnému rozlivu. Tato opatření se financují z programu MZe – Prevence před povodněmi (Čamrová 2007; MŽP 2000).

Prevence povodní

I přes opatření zlepšením retenčních schopností krajiny či města a ochranou technickými stavbami zůstává zbytkové riziko. Omezení tohoto rizika spočívá v omezování možností vzniku povodňových škod. Míní se tím zejména vytyčování a zanášení záplavových oblastí do územních plánů, takže nemohou být v budoucnu zastavěna. O rozsahu škod rozhodují také včasné varování o postupu povodně územím. Tuto funkci je nutné zajistit kvalitní předpovědní a hláskou povodňovou

službou. Významnou roli mají při přípravě na povodeň rovněž představitelé obcí a veřejnosti.

Zmírnit povodňové škody lze i pomocí patřičné stavební technologie. Jedná se o vhodné řešení přízemí budov, použití odolnějších materiálů na stavbu nebo zabezpečení speciálními okny a dveřmi (Čamrová 2007).

3.1.9 POVODŇOVÝ PLÁN

Povodňový plán je základní dokument ochrany před povodněmi, který je použit při povodňové situaci pro koordinaci činností v zájmovém území. Je to souhrn organizačních a technických opatření, která mají odvrátit či omezit povodňové škody na majetku, na životním prostředí a zabránit ztrátám na životech. Obsahem je způsob, kterým se lze dostat k včasným a spolehlivým informacím o postupu povodně, možnosti ovlivnění odtoku, příprava a organizace zabezpečovacích prací. Dále také způsob aktivace povodňových orgánů, zajištění hlídkové a hlásné služby včetně ochrany objektů, příprava a organizace záchranných prací, zajištění základních funkcí v postižené oblasti a stanovení limitů pro stupně povodňové aktivity. Povodňové plány menších územních celků musí být vždy v souladu s povodňovým plánem vyššího stupně. Podstatná je zejména organizační a grafická část, jejíž soulad potvrzuje povodňový orgán. Povodňový plán pozemků a staveb musí být v souladu s plány obce. Aktuálnost povodňových plánů územních celků je každoročně kontrolována a dokládána jejich zpracovateli, což se obvykle děje ještě před jarním táním. Ostatní povodňové plány se přezkoumávají, pouze pokud byly změněny podmínky, za kterých vznikly. (MŽP 2006; Kovář 2004).

Povodňové plány se dělí na:

- povodňové plány obcí
- povodňové plány správních obvodů obcí s rozšířenou působností
- povodňové plány správních obvodů krajů
- povodňový plán ČR

Povodňové plány dále z rozhodnutí vodoprávního úřadu zpracovávají také vlastníci nebo uživatelé nemovitostí v záplavových oblastech nebo nemovitostí zhoršujících průběh povodně. Jsou to povodňové plány nemovitosti fyzických, podnikajících fyzických osob nebo právnických osob (MŽP 2006).

Části povodňového plánu

Věcná část povodňového plánu obsahuje údaje nutné k zajištění ochrany před povodněmi konkrétního majetku, obce, povodí či jiného území. Součástí jsou směrodatné limity, dle kterých se vyhláší jednotlivé stupně povodňové aktivity.

Organizační část obsahuje seznamy jmen, adres a kontaktů na osoby účastníci se ochrany před povodněmi. Dále zadává úkoly jednotlivým účastníkům včetně organizace hlásné a hlídkové služby.

Grafická část by měla být složena z map a plánů, ve kterých jsou zakreslena záplavová území, trasy evakuace a místa soustředění, informační místa a hlásné profily (Kovář 2004).

Stupně povodňové aktivity

Povodňový plán stanovuje jednotlivé stupně povodňové aktivity. Stupně povodňové aktivity se používají pro stanovení míry povodňového nebezpečí a jsou spjaty s limity určené obvykle vodním stavem nebo průtokem v hlásném profilu či jiného jevu. Existují tři hlavní stupně povodňové aktivity.

Prvním stupeň je stav bdělosti, který se vyhláší při výskytu nebezpečí přirozené povodně. Nastává také při vydání informace předpovědní povodňové služby nebo při překročení mezních hodnot na vodních dílech z hlediska jejich bezpečnosti. Je nutné zvýšení pozornosti při sledování vodního toku a spouští činnost hlásné a hlídkové služby.

Druhý stupeň neboli stav pohotovosti je vyhlášen v případě, kdy se přirozená povodeň mění v povodeň, ale stále nehrozí velké rozlivy. Stejně jako u prvního stupně se vyhláší při překročení určitých mezních hodnot. Povodňové orgány a další účastníci protipovodňové ochrany zahajují činnost. Probíhá příprava na zabezpečovací práce a opatření ke zmírnění škod dle povodňového plánu.

Třetí stupeň – stav ohrožení nastává při vzniku přímého nebezpečí nebo velkých škod, při ohrožení životů a majetku v záplavovém území. Stav ohrožení nastává při překročení kritických hodnot sledovaných jevů a zahajuje nouzová opatření. Probíhají zabezpečovací práce podle povodňových plánů, záchranné práce a evakuace (MŽP 2002).

3.2 POPIS A CHARAKTERISTIKA POVODÍ

3.2.1 FYZIKÁLNĚ GEOLOGICKÉ VLASTNOSTI POVODÍ

Fyzikálně geologické vlastnosti mají vliv na časové a plošné rozdělení srážek, intenzitě srážek a odtok. Zeměpisná poloha povodí určuje klimatické poměry, které velmi úzce souvisí s hydrologickými poměry. Poloha je udávána zeměpisnými souřadnicemi mezi kterými se povodí rozkládá a souřadnicemi jeho uzávěrového profilu. Většinou se poloha udává ještě vzhledem k nějakým významným geomorfologickým útvarům (Pokorná a Zábranská 2008).

3.2.2 GEOLOGICKÉ A PŮDNÍ POMĚRY

Geologické a půdní poměry určují členitost terénu, propustnost horních vrstev a jejich míru zvětrávání. Na plochách s dobrou propustností se ve srážkově štědrém období vyskytují nízké kulminační průtoky a naopak při dlouhotrvajícím suchu jsou minimální průtoky vyšší než u toků na hůře propustných vrstvách podloží. Rychlejší vsakování na propustných vrstvách se může projevit na výparu. Takový tok se zdá být vodnatější, přestože má stejné srážkové a klimatické podmínky jako tok jiný (Pokorná a Zábranská 2008). Geologické a půdní poměry spolu souvisí. Půdy jsou tvořeny zvětráním povrchových vrstev hornin. Půdní pokryv ovlivňuje množství prosakované vody do horniny. Podle propustnosti se dělí horniny na tři skupiny:

- Propustné horniny
- Polopropustné horniny
- Nepochopitelné horniny

(Hrádek a Kuřík 2008)

3.2.3 VEGETAČNÍ POKRÝVKA

Vegetační pokryv zachycuje určité množství srážek spadlé na plochu povodí. Má vliv na výpar z rostlin (evapotranspirace) nebo půdy a na rychlost, jakou voda stéká po svazích. Les má regulující vliv na odtokový proces z povodí. Smíšený les se silnou vrstvou humusu a hrabanky dokáže pojmout velké množství vody ze srážek. Na takto zalesněných povodích klesají kulminační povodňové průtoky a voda z lesů zásobuje tok průběžně a s časovým odstupem (Pokorná a Zábranská 2008). Kromě skladby lesa záleží také na jeho poloze v povodí. Z hydrologického hlediska je výhodnější, když je zalesněný spíše horní tok. V dolní části toku les vlivem zastínění zpomaluje na jaře tání sněhu a to způsobuje nežádoucí střetávání kulminačních průtoků z této a z horní, bezlesé části toku.

Množství vody zadržené na povrchu vegetace a předmětů v povodí se nazývá intercepce. Část vody přijmou rostliny a zbytek se vypaří. Velikost intercepce ovlivňují různé faktory. Záleží na charakteru srážek, na větru, na druhu rostliny atd.

Intercepci lze teoreticky vyjádřit tímto vzorcem:

$$I = A + E \text{ [mm]} \quad \dots(8)$$

I ...intercepce

A ...voda zadržená na rostlinách a předmětech

E ...voda vypařená z rostlin a předmětů (během deště se zanedbává)

(Hrádek a Kuřík 2008)

Zalesněnou plochu povodí charakterizuje součinitel lesnatosti:

$$z = \frac{F_z}{F} \cdot 100 \text{ [%]} \quad \dots(9)$$

F_z ...zalesněná plocha povodí celkem [km²]

F ...plocha povodí celkem [km²]

3.2.4 POVRCHOVÉ DEPRESE

Povrchovými depresemi se rozumí souvislé brázdy na poli po orbě, dolík na louce apod. Množství vody, která se v nich udrží, závisí na charakteru a sklonu povrchu. Logicky lze usoudit, že se voda udrží lépe na plochém pravidelně zbrázděném terénu než na rovném strmém svahu (Hrádek a Kuřík 2008).

3.2.5 VODNÍ NÁDRŽE

Vodní nádrže rozlišujeme průtočné a neprůtočné, umělé a přirozené. Neprůtočná nádrž zachytí část odtoku, a proto nemá vliv na maximální průtok. Průtočná nádrž má zpomalovací účinek na objem odtoku a ovlivňuje kulminační průtoky. Vyrovnává výkyvy v odtokovém režimu postupným vyprazdňováním retenčního prostoru. Oba typy nádrží vytváří typické mikroklima někdy i klima, pokud se zavodní skutečně velké plochy. Vodní nádrže je výhodnější umísťovat v dolní části toku, protože zde může mít větší regulační schopnost. Schopnost regulace ovlivňuje rovněž objem a funkce nádrže (Hrádek a Kuřík 2008; Pokorná a Zábranská 2008).

Vliv jezer na odtokový proces charakterizuje součinitel jezernatosti:

$$K = \frac{f}{F} \cdot 100 \text{ [%]} \quad \dots(10)$$

f ...plocha všech jezer a vodních nádrží na povodí celkem [km²]

F ...plocha povodí celkem [km²]

(Pokorná a Záborská 2008)

3.2.6 BAŽINY

Bažiny, stejně jako vodní nádrže a jezera, také regulují režim odtoku. Jsou to části území trvale nebo většinu roku prosycené vodou. Voda je zde stojatá nebo pomalu tekoucí. Rašelina je zde tvořena odumřelými rostlinami. Bažiny vznikají tam, kde má voda v půdě špatný odtok a zarůstá vodomilnými rostlinami. Mají ale tu nevýhodu, že v suchém období navstřebají všechnu vodu do sebe a už jí dál neuvolňují. Jsou zde také vyšší ztráty výparem (Kemel a Kolář 1980; Pokorná a Záborská 2008).

Plochy bažin na povodí charakterizuje součinitel bažinatosti:

$$b = \frac{F_B}{F} \cdot 100 [\%] \quad \dots(11)$$

F_B ...bažinatá plocha povodí celkem [km²]

F ...plocha povodí celkem [km²]

3.2.7 VLIV ČLOVĚKA

Hospodaření na pozemcích poblíž vodního toku má obvykle spíše nepříznivý vliv na odtok. Člověk se snaží tyto negativní důsledky eliminovat technickými úpravami toku. Lidskou činností se mění přirozené geografické prostředí na umělé, proto by mělo probíhat s ohledem na komplexní organizaci povodí. Tyto zásahy mohou ovlivnit prakticky všechny charakteristiky přirozeného povodí. Technickými úprava je možné omezovat odtok při povodních. Ztrátám půdy lze zabránit protierozními opatřeními a dalšími opatřeními je možné zvýšit úrodnost polí. Velkou roli hraje také umístění lesů na povodí a jejich druhová skladba. Antropogenní činnost by se měla podřídit aktuálním požadavkům na udržení ekologické rovnováhy v krajině a využívání přírodních zdrojů (Hrádek a Kuřík 2008; Pokorná a Záborská 2008).

3.3 SRÁŽKO-ODTOKOVÉ MODELY

Matematické modely slouží k simulaci povodňových událostí pomocí moderních softwarů na základě mapových podkladů a hydrologických dat. Ověřuje se jimi správná funkce protipovodňových opatření. S rozvojem výpočetní techniky se zlepšuje schopnost zaměření rozlohy a výpočtu tvaru povodní.

3.3.1 DESQ-MAXQ

Aplikace DesQ-MaxQ byla vyvinuta za postupného porovnávání vypočtených hodnot charakteristik povodňových vln na různých povodích se skutečnými údaji poskytnutými ČHMÚ. Základem modelu je metoda čísel odtokových křivek CN. Model je vhodný pro použití jen na malých povodích, kde zvládá vypočítat charakteristiky povodňových vln bez hydrometrických pozorování a kalibrací vstupních dat (Hejduk 2010).

3.3.2 HEC-HMS

Tento srážko-odtokový model pracuje i s velkými povodími. Byl vyvinut službou U. S. Army Corps of Engineers a jde o nejpoužívanější model v USA i České republice. Aplikace umožňuje vytvoření sdruženého, distribuovaného a semidistribuovaného modelu, který se používá nejvíce. Projekt vytvořený v HEC-HMS obsahuje schematizaci povodí, meteorologický model a údaje k ověřování simulace (Fleming 2010).

Pro odvození objemu přímého odtoku je na výběr z metodiky Green-Ampt, počáteční (konstantní) ztráty, čísla odtokových křivek CN, exponenciální ztráty, deficitní (konstantní) ztráty a jiné. Hydrogram přímého odtoku lze odvodit různými jednotkovými hydrogramy nebo pomocí kinematické vlny. Pro základní odtok je použit model exponenciálního odtoku. Velká výhoda aplikace je, že všechny tyto metodiky dokáže zahrnout do jediného schematizovaného povodí.

Americká služba poskytuje navíc doplňkový software HEC-geoHMS a HEC-DSSVue. HEC-geoHMS je rozšíření pro aplikaci ArcMap, které nabízí sadu nástrojů, funkcí a procedur pro import GISových dat do HEC-HMS. Stejně tak umí GISová data z výstupu aplikace HEC-HMS vygenerovat. HEC-DSSVue je vizualizační pomůcka, která pracuje s daty z HEC-DSS databáze (meteorologické časové řady a výsledky simulací). Všechny uvedené aplikace jsou nabízeny s freeware licencí (Hejduk 2010; HEC-HMS 2015; Scharffenberg a Fleming 2010).

3.3.3 MIKE SHE

Tento software vyvíjí dánská firma DHI a je rovněž hojně používán po celém světě. Je součástí placeného balíku MIKE ZERO a zdarma je k dispozici pouze omezená demoverze. Software pracuje s vlastními formáty, ale podporuje také formát „shapefile“ ze systému ArcGIS. Projekt je tvořen obdobně jako v HEC-HMS. Pro simulaci je možné některé parametry odhadnout. Např. parametrizaci nenasycené zóny. Celý balík aplikací MIKE ZERO, včetně MIKE SHE, je velice komplexní a jeho

možnosti jsou větší než v případě HEC-HMS. Je k němu poskytována obsáhlá dokumentace (Hejduk 2010).

3.3.4 KINFIL

Tento model stanovuje návrhové průtoky, které jsou ovlivněny antropogenní činností. Kombinuje teorii infiltrace a transformace přímého odtoku kinetickou vlnou. Není vyžadováno přímé pozorování na toku, protože používá fyziografické, klimatické a hydraulické údaje o povodí. Bere také v úvahu vliv dopadu lidské činnosti. KINFIL se používá k určení návrhových průtoků pro „scénářové situace“. Může jít o odlesnění, urbanizaci apod. (Kovář a Vaššová 2011).

3.3.5 HYDROG

Autorem distributivního modelu HYDROG je profesor Miloš Starý z VUT. Tento model je neustále vyvíjen už od roku 1991. Jeho primární použití je v operativním ovládnání vodohospodářských děl a vydávání předpovědí průtoků. Je používán ČHMÚ v Brně a Ostravě.

Model pracuje s údaji o srážkách, průtocích, odtocích vodních nádrží a tloušťce sněhové pokrývky. V zimě i s údaji o teplotách (ČHMÚ 2006).

3.3.6 SAC-SMA AQUALOG

Neboli Sacramento – Soil Moistere Accounting počítá s bilancí půdní vlhkosti. Spadá do systému NWSRFS (National Weather Service River Forecast System), který je součástí knihovny modelovacích technik. NWSRFS je vyvíjen v USA od druhé poloviny 70. let. V České republice spadá pod systém AquaLog a ČHMÚ ho používá k operativním předpovědím na povodí Vltavy a Labe (Hejduk 2010).

Model pracuje s povodím jako se soustavou vertikálně a horizontálně uspořádaných zón neboli nádrží. Voda je zadržována intercepcí a z nich odčerpávána evapotranspirací nebo prosakuje do nižších zón čili do půdy. Vzniká tak odtok z dočasně nepropustných ploch, odtok z nepropustných ploch, povrchový odtok, podpovrchový, dodatkový podzemní odtok (zóna mělkého proudění) nebo primární podzemní odtok (zóna hlubokého proudění). Parametry modelu mají charakter procesu déšť-odtok (AQUALOGIC 2015).

3.3.7 HBV

HBV model je vyvíjen ve švédském meteorologickém a hydrologickém institutu již od 70. let. Patří do modelovacího systému IHMS, který se používá pro krátké i kontinuální simulace odtoku z povodí. V České republice se příliš neuchytil (Hejduk 2010).

3.4 HYDRODYNAMICKÉ MODELÝ

3.4.1 MIKE

Komerční softwarový produkt MIKE patří k jednomu ze světově nejvíce osvědčených a široce používaných 1D hydrodynamickým modelům. Typické využití nachází v povodňových analýzách a studiích zaměřujících se na zmírnění dopadů povodní. Umožňuje např. prognózu povodní, sucha nebo kvality vody (DHI 2015).

Doplňkovou součástí tohoto softwarového balíku je aplikace MIKE GIS pro schematizaci a vizualizaci záplavových zón v geografických informačních systémech. Její pomocí lze schematizovat úseky vodních toků včetně technických a vodohospodářských objektů, jako např. mosty a propustky. Umožňuje výběr z několika hydrodynamických metodik, jako kinematické, difúzní nebo dynamické vlnové aproximace. Dále nabízí doplňkové moduly pro kvalitu vody, advekční a disperzní procesy, pohyb atd. (Hejduk 2010).

3.4.2 HEC – RAS

Stejně jako aplikace HEC-HMS i HEC-RAS byl vyvinut americkými inženýry z USACE (U.S. Army Corps of Engineers) v hydrologickém centru HEC (Hydrologic Engineering Center) v roce 1964 a používá se k analýze hydrologických dat. Zkratka aplikace HEC-RAS znamená „Hydrologic Engineering Center’s River Analysis System“ (Divín 2013; HEC-RAS 2015).

Aplikace HEC-RAS byla vyvinuta k provádění hydraulických výpočtů pro celou síť přírodě blízkých i uměle upravených říčních koryt. Analýza hydraulických dat se skládá ze čtyř komponentů a jedná se o analýzu ustáleného proudění, simulaci neustáleného proudění, analýzu transport sedimentu a analýzu kvality vody (HEC-RAS 2015). Uvedené analýzy používají stejná geometrická a hydrologická data (Divín 2013).

Program využívá grafické uživatelské rozhraní vycházející z MS Windows. Pro výpočet je nutné nastavit tři hlavní kategorie dat – geometrii koryta včetně objektů, hydraulické součinitelé ztrát a okrajové podmínky. Program lze provázat se systémy CAD a GIS v 3D zobrazení.

Hydraulické posouzení kapacit vodních koryt a objektů lze z hlediska maximálních průtoků provést s pomocí dvou různých principů (Hejduk 2010).

Analýza neustáleného proudění

Tato komponenta umožňuje 1D simulaci neustáleného proudění v otevřeném korytě. Pro zjištění postupu návrhové povodňové vlny v hydrodynamickém modelu se využívá numerického řešení neustáleného proudění. Při této metodě je nutné znát tvar vstupní návrhové vlny na horním uzávěrovém profilu říčního úseku včetně podrobného popisu geometrie a hydraulických parametrů koryta. Jedná se o výpočetně náročný postup, který nebývá využíván pro menší vodní toky. Dále bývá nestabilní, nachází-li se na úseku spádové objekty, kde může vodní tok získávat bystřinný charakter.

Analýza ustáleného proudění

K určování podélných profilů vodních hladin se využívají metody hydrauliky ustáleného proudění. Každá taková hladina odpovídá různým návrhovým N-letým průtokům. Výhodou je, že ustálené proudění lze modelovat v říčním, bystřinném i smíšeném režimu proudění. Tento přístup znemožňuje řešit neustálený režim, ovšem umožňuje přesněji vyjádřit proudění přes objekty na vodním toku. Zahrnují se účinky překážek typu mostu, propustku, jezu a objektů v záplavovém území. Tento systém ustáleného proudění se používá např. pro posuzování protipovodňových řešení. Posuzuje se jím třeba i změna v proudění po opatření vodního toku hrázovým opevněním (Divín 2013; Hejduk 2010).

Aplikace umožňuje řešit hydraulický režim říčního a bystřinného proudění odděleně. Při řešení hladinového režimu poskytuje ustálené proudění vyšší hodnoty, které se dostávají na stranu bezpečného návrhu. Proudění přes objekty lze analyzovat velmi podrobně a v různých hydraulických režimech. S výhodou toho lze využít při posuzování v místech, kde ovlivnění hydraulického režimu zásluhou objektů na toku převažuje.

Obě metody mají své pro a proti. Hydraulický model neustáleného proudění je vhodnější pro vyznačení průchodu vysokých průtoků v čase, ovšem musí být znám tvar povodňových vln v horním uzávěrovém profilu (Hejduk 2010).

Existuje také nadstavba HEC-geoRAS pro aplikaci ArcMap, s jejíž pomocí lze digitalizovat vstupní data (např. digitální model terénu). Digitalizovaná data lze poté snadno importovat do aplikace HEC-RAS, kde s nimi lze pracovat již běžným způsobem (Langhammer et al. 2007).

3.4.3 HYDROCHECK

Komerční aplikace Hydrocheck je od roku 1990 vyvíjena společností Hydrosoft Veleslavín s.r.o. spolu s podnikem Povodí Ohře a.s. a je určena k řešení úloh ustáleného nerovnoměrného proudění v otevřených korytech a objektech. Umí

také stanovit prostor aktivní zóny, průběhy svislicových rychlostí a další úlohy. Autoři aplikace zohledňují požadavky uživatelů a stejně tak českou legislativu v hodnocení aktivních zón nebo výkresové dokumentaci, čímž vyvažují jeho vyšší pořizovací cenu (Hejduk 2010; Hydrosoft 2015).

4. METODIKA

Tato práce byla vypracována v souborovém manageru TotalCommander od firmy Ghisler Software, textovém editoru Word a tabulkovém procesoru Excel z kancelářského balíku Microsoft Office 2013 od firmy Microsoft. K vytvoření grafických mapových výstupů byla použita aplikace ArcMap a ArcCatalog z balíku aplikací ArcGIS 10.2.2 od firmy ESRI. Pro výpočet zátopových čar byla použita aplikace HEC-RAS a nadstavba HEC-geoRAS pro aplikaci ArcMap od U.S. Army Corps of Engineers.

4.1 ZPŘESNĚNÍ OSY KORYTA

Zpřesnění osy koryta vodního toku Pšovka bylo provedeno bodovým měřením pomocí mobilní aparatury Leica GPS 1200 (viz obr. č. 3) z důvodů nepřesností u běžně používané liniové vrstvy toků Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD). Byl zvolen systém jediné přenosné stanice, která přijímala pomocí datového připojení korekční data ze sítě permanentních stanic GNSS České Republiky (CZEPOS). V přístroji byl vybrán připravený konfigurační soubor pro tuto metodu měření, protože jej katedra k těmto účelům běžně používá.

Zařízení bylo umísťováno vždy do střední části koryta v nepravidelných vzdálenostech při postupu z horní části zájmového území do nižší. Vzdálenost mezi měřenými body narůstala v místech, kde docházelo k výpadkům v příjmu družicových dat nebo z důvodů prostorové neprostupnosti (vegetace, skály, soukromé pozemky atd.). Rovněž bylo zanedbáváno měření na úsecích, kde se osa koryta výrazně neměnila.

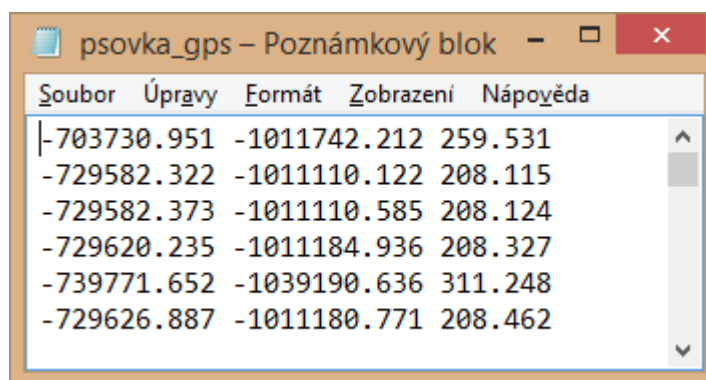


Obr. č. 3: Měření osy vodního toku pomocí aparatury Leica GPS 1200

Změřená data byla přenesena z paměťové karty zařízení v jednoduché textové formě. Přístroj neumí ukládat souřadnice ve standardním souřadnicovém systému „S-JTSK Krovak East North“, ale pouze v „S-JTSK Krovak“ a proto je byla potřeba

upravit. Transformace dat proběhla ruční úpravou v aplikaci Excel přidáním minusových znamének do polohy X a Y. Výsledek byl uložen v souboru „psovka_gps.txt“ (viz obr. č. 4). Souřadnice nadmořských výšek v systému Bpv zůstaly bez úprav.

Odchylna při měření nadmořské výšky obecně bývá s těmito přístroji vyšší než v poloze X a Y. Zde byly horší výsledky umocněny naprosto nevyhovujícími teréními podmínkami. Na některých místech docházelo ke kompletním výpadkům korekcí z důvodů nestabilního datového připojení. Použití za účelem zhuštění bodové sítě a tím i zpřesnění digitálního modelu terénu v okolí toku tedy nepřicházelo v úvahu.



Obr. č. 4: Naměřené body v souřadnicovém systému S-JTSK Krovak East North

Aby bylo možné data ze souboru „psovka_gps.txt“ použít v aplikaci ArcMap, musela být aplikací TotalCommander upravena koncovka na tvar „psovka_gps.xyz“. Ze souboru „psovka_gps.xyz“ byla pomocí funkce „ASCII 3D to feature class“ vytvořena nová bodová vrstva „psovka_gps.shp“ znázorňující polohu zaměřených bodů.

4.2 VYTVÁŘENÍ DIGITÁLNÍHO MODELU TERÉNU

4.2.1 DMT POVODÍ PŠOVKY

Základním požadavkem pro vznik digitálního modelu terénu bylo získání vrstev výškopisných 3D vrstevnic z geodatabáze ZABAGED. Tyto data poskytuje Český ústav zeměměřičský a katastrální (ČÚZK) na individuální žádost každého zájemce. Pro pokrytí celého území povodí Pšovky bylo nutné objednat celkem 17 mapových listů. Tato a další data byla nahrána a zpracována pomocí aplikace ArcMap a ArcCatalog.

Rozvodnice povodí Pšovky byla identifikována a vyexportována z liniové vrstvy „A07_Povodi_IV.shp“, která je volně ke stažení z webových stránek DIBAVOD (DIBAVOD 2015). K určení délky rozvodnice bylo zapotřebí vytvořit nový sloupec v atributové tabulce této vrstvy a pomocí funkce "Calculate geometry" aplikace

vypočítala délky jednotlivých linií. Sečtení délek linií proběhlo pomocí funkce "Statistics".

Pro názornost byla v aplikaci ArcCatalog vytvořena bodová vrstva „uz_profil.shp“, zobrazující umístění uzávěrového profilu celého povodí v místě soutoku Pšovky s Labem. K určení souřadnic uzávěrového profilu posloužil nástroj "Identify". Z DIBAVOD (DIBAVOD 2015) byla použita také liniová vrstva „A01_Vodni_tok_C EVT.shp“ (vodní toky), polygonová vrstva „A05_Vodni_nadrze.shp“ (vodní plochy) a „A06_Bazina_mocal.shp“ (bažiny). Čára údolnice byla vytvořena vyexportováním linie hlavního vodního toku Pšovky z liniové vrstvy vodních toků do nové liniové vrstvy „udolnice2.shp“. V této vrstvě byla již údolnice prodloužena dle zásad jejího vytváření tj. kolmo na vrstevnice a odspoda nahoru až po hranici povodí. Tyto a další vrstvy posloužily pro vytvoření přehledové mapy povodí.

Určení délky hlavního vodního toku včetně délky všech jeho přidružených vodních toků na povodí a samotné údolnice proběhlo obdobně jako u rozvodnice. Hydrologická charakteristika uspořádání říční sítě byla určena vizuálním zhodnocením struktury přítoků hlavního vodního toku.

Aby bylo možné určit celkovou plochu povodí i plochy levé a pravé část jednotlivě, byly vytvořeny další dvě polygonové vrstvy „plocha_povodi_leva.shp“ a „plocha_povodi_prava.shp“. Hranice polygonů v obou vrstvách byly jednoduše převzaty z liniových vrstev rozvodnice a údolnice.

Polygonová vrstva celého povodí posloužila i jako šablona, která reprezentuje půdorysný tvar povodí. Šablona byla využita funkcí "Split" k odstranění všech linií a polygonů za hranicemi povodí.

Kromě polygonové vrstvy bažin a vodních ploch bylo potřeba povodí doplnit také o plochy lesních porostů, orné půdy, trvale travních porostů a zástavby. Tyto vrstvy byly zvektorizovány z WMS vrstvy "CORINE Land Cover" (CENIA 2015) do jednotlivých polygonových vrstev „corine_les.shp“, „corine_pole.shp“, „corine_louky.shp“ a „corine_zast.shp“. Z těchto vrstev byla vytvořena mapa využití půd (land use) na povodí.

Dalším krokem bylo vytvoření rastru digitálního modelu terénu, aby bylo možné zjistit, jaké se na povodí Pšovky nachází výškové poměry. Zde bylo využito vrstev výškopisných 3D vrstevnic získaných z ČÚZK. Před následujícím postupem bylo nutné v aplikaci ArcMap aktivovat rozšíření "3D Analyst" a "Spatial Analyst". Byla spuštěna funkce "Topo to Raster", kam byly vrstvy vrstevnic nahrány. U každé vrstvy

bylo nutné zadat, který sloupec z atributové tabulky obsahuje data o nadmořských výškách. Velikost jednoho pixelu digitálního modelu terénu byla určena na 50 m. Rastr DMT vznikl mapováním povrchu terénu, kde každý jeho pixel obsahuje hodnotu nadmořské výšky. Nyní bylo možné určit hodnotu průměrné, nejvyšší či nejnižší nadmořské výšky na ploše povodí nebo na čáře údolnice. Tyto výsledky byly získány v rámci celého území buď pomocí funkce "Zonal Statistics as Table" (maximum, minimum, průměr) nebo lokálně použitím nástroje "Identify". Pro lepší představu o tvaru terénu byla v nastavení rastru DTM aktivována funkce „Hillshade effect“, díky které vznikne plastický obraz.

Ke vzniku rastru sklonitosti byl použit právě vytvořený rastr DMT pomocí funkce "Slope". Jednotky sklonu v parametrech funkce byly nastaveny na procenta. Funkce "Zonal Statistics as Table" byla znovu uplatněna při zjišťování průměrné, maximální či minimální hodnoty sklonu.

U všech datových vrstev byl používán souřadnicový systém „S-JTSK Krovak East North“. Některé mapové layouty byly doplněny o liniovou vrstvu „zajmovy_usek.shp“ znázorňující zájmový úsek toku mezi vodní nádrží Lhotka a obcí Hleděbe.

4.2.2 DMT ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Pro digitální model terénu zájmového území byly použity výškopisné podklady získané metodou „Light detection and ranging“ (LIDAR), která jsou součástí geodatabáze ZABAGED. Nejaktuálnější verzí je digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G). Z ČÚZK bylo objednáno šest mapových listů bezpečně pokrývajících celé zájmové území.

Objednaná data přišla v textové formě v šesti souborech s koncovkou „*.xyz“ čili data popisující souřadnice každého naměřeného bodu zvlášť. Aby bylo možné souřadnice bodů graficky interpretovat, musely být převedeny do bodové vrstvy pomocí nástroje „ASCII 3D to Feature Class“. Tím byla byla vytvořena vrstva „multipoint.shp“.

Dalším krokem bylo vytvoření digitálního modelu terénu převedením bodové vrstvy „multipoint.shp“ do nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN) pomocí nástroje „TIN Creation“. V nastavení funkce musel být vrstvě „multipoint.shp“ nastaven parametr „Height Field“ na položku „Shape.Z“ a parametr „SF Type“ na položku „Mass_Points“. Vrstva TIN byla nazvána jako „tin_default“.

Vrstvě „tin_default“ byla upravena symbologie změnou barevné škály a nastavením 7mi rovnoměrných klasifikačních tříd nadmořských výšek. Dále bylo také

zapnuto stínování povrchu zaškrtnutím volby „Show hillshade illumination effect in 2D display“. Tímto byla vrstva nepravidelné trojúhelníkové sítě připravena pro další zpracování nadstavbou HEC-geoRAS.

4.3 ZÁPLAVOVÉ ČÁRY

4.3.1 PŘÍPRAVA DAT V HEC-GEORAS

Pomocí nadstavby HEC-geoRAS pro ArcMap si lze vytváření geometrie koryta vodního toku značně ulehčit. Digitální model terénu (DMT) poslouží jako podklad pro sejmutí tvaru terénu v příčných řezech a dalších doprovodných vrstvách (viz obr. č. 6). Prvním krokem byla instalace nadstavby HEC-geoRAS do aplikace ArcMap a zapnutí povinných extenzí „Spatial Analyst“ a „3D Analyst“ z nabídky „Customize - Extensions...“. Dále byl aktivován ovládací panel nadstavby z „Customize – Toolbars“ (viz obr. č. 5).



Obr. č. 5: Ovládací panel nadstavby HEC-geoRAS

Byla vytvořena osa vodního toku klepnutím do nabídky „RAS Geometry – Create RAS Layers – Stream Centerline“ s názvem „psovka_lhotka“. Pomocí standartního nástroje „Editor“ byla tato vrstva vektorizována v jedné nepřerušované linii na základě vrstvy vodních toků z DIBAVOD (DIBAVOD 2015), digitálního modelu terénu, ortofota z WMS vrstvy (ČÚZK 2015) a především místního bodového měření získaného aparaturou Leica GPS 1200. Při vektorizaci bylo nezbytně nutné postupovat ve směru toku. Po dokončení vektorizace a uložení změn byl kurzorem myši identifikován vodní tok a zájmový úsek toku pomocí nástroje nadstavby „Reach and River ID“. Vodní tok čili „River name“ byl nazván jako „psovka“ a zájmový úsek čili „Reach name“ jednoduše „psovka1“. Funkcí „RAS Geometry – Stream Centerline Attributes – All“ byla na podkladě DMT a vrstvy „psovka_lhotka“ automaticky vytvořena nová liniová vrstva „psovka_lhotka3D.shp“, která obsahuje data o topologii, převýšení a délce úseku.

Břehové linie byly vytvořeny obdobným způsobem přes nabídku „RAS Geometry – Create RAS Layers – Bank Lines“. Vznikla liniová vrstva s názvem „brehy“. Vektorizaci bylo nutné zahájit levým břehem a opět ve směru toku. Skutečné umístění břehových linií nebylo možné přesně určit ani z DMT a převážně ani z ortofota (ČÚZK 2015), proto byla šíře koryta odhadnuta z místních šetření a fotografií vodního toku pořizovaných v celé délce zájmového úseku.



Obr. č. 6: Praktická ukázka práce s nadstavbou HEC-geoRAS

Dále byla vytvořena vektorová vrstva „flowpaths“ přes menu „RAS Geometry – Create RAS Layers – Flow Path Centerlines“, která slouží jako podklad pro určování vzdáleností mezi řezy na levé, pravé a osově části toku. Při vytváření bylo potvrzeno převzetí osově části z vrstvy osy vodního toku. Boční linie kolem osy toku byly tvořeny obdobným způsobem jako výše popsaná vrstva břehových linií s tím rozdílem, že tyto linie tvoří pouze hrubě ohraničený prostor asi ve vzdálenosti 50 m na každou stranu od osy vodního toku. Zda jde o pravou či levou stranu bylo nutně kurzorem myši dodatečně určit pomocí nástroje nadstavby „Select Flowpath and Assign LineType Attributes“.

Po vrstvě reprezentující tvar osy vodního koryta je nejdůležitější ještě vrstva příčných řezů. Vektorová vrstvu řezů byla vytvořena přes menu „RAS Geometry – Create RAS Layers – XS Cut Lines“ a nazvána jako „řezy“. Řezy byly pomocí nástroje „Editor“ vedeny od vrchní části zájmového území a vždy z levé strany při pohledu do nižší části údolí. Vzdálenost mezi řezy byla vzhledem k rozlehlosti území určena na 150 až 250 m. Řezy bylo nutno zhusťit v oblasti propustků a mostů. Zde byly umístěny zhruba do míst pat náspů, aby bylo možné zaznamenat překážky na trase koryta, které zadržují zvýšené průtoky. V tomto případě jsou doplňující řezy umístěny v intervalu 4 až 7 metrů od okraje vozovky či železniční trati. V optimálním případě geodeticky zaměřeného koryta, by měla být tato vzdálenost mnohem kratší. Po dokončení vektorizace a uložení změn bylo funkcí „RAS Geometry – XS Cut Line

Attributes – All“ na podkladě DMT a vrstvy „rezy“ automaticky vygenerována nová vektorová vrstva „rezy3D“, která obsahuje data o převýšení, staničení řezů, staničení v místech břehových liniích, název vodního toku a úseků na něm. Dále na podkladě vrstev „flowpaths“ a „rezy“ extrahuje délky mezi řezy na levé či pravé straně a ose vodního toku. Výslednou atributovou tabulku ukazuje obr. č. 7.

Shape *	OID *	Shape Length	XS2DID	HydroID	Station	River	Reach	LeftBank	RightBank	LLength	ChLength	RLength	NodeName
Polyline Z	808	189.762219	1155	1286	3615.455	psovka	psovka1	0.30251	0.35378	97.787	107.921	121.429	<Null>
Polyline Z	809	293.333176	1156	1287	3507.534	psovka	psovka1	0.38566	0.39628	27.238	25.608	29.133	<Null>
Polyline Z	810	286.567924	1157	1288	3481.925	psovka	psovka1	0.36371	0.37767	206.359	207.758	179.901	<Null>
Polyline Z	811	161.092737	1158	1289	3274.167	psovka	psovka1	0.17692	0.19724	145.749	162.037	148.114	<Null>
Polyline Z	812	206.099681	1159	1290	3112.129	psovka	psovka1	0.16827	0.18144	91.869	111.094	106.94	<Null>
Polyline Z	813	195.304877	1160	1291	3001.035	psovka	psovka1	0.18367	0.20064	60.316	63.83	61.466	<Null>

Obr. č. 7: Atributová tabulka vrstvy „rezy3D“

Poslední vrstva „mosty“, charakterizující průběh vozovky pozemních komunikací a železničních tratí, byla vytvořena z nabídky „RAS Geometry – Create RAS Layers – Bridges/Culverts“. Postup při vektorizaci je shodný s vrstvou řezů, akorát v tomto případě byly linie vedeny náspy, které kříží vodní tok. Před ukončením editace této vrstvy bylo zapotřebí doplnit její atributovou tabulku o jednotlivé šířky horní desky propustku nebo mostu (sloupec „TopWidth“) a vzdálenosti mezi jejich okrajem po výše položený příčný řez (sloupec „USDistance“) (viz obr. č. 8). Funkcí „RAS Geometry – Bridges/Culverts – All“ byla na podkladě DMT a vrstvy „mosty“ vygenerována nová liniová vrstva „mosty3D“, která obsahuje data o převýšení, staničení propustků či mostů a název vodního toku a úseků na něm.

Shape *	OID *	Shape Length	HydroID	River	Reach	Station	USDistance	TopWidth	NodeName
Polyline	7	291.225849	1184	psovka	psovka1	3494.593	4	18	ddm
Polyline	8	198.724694	1185	psovka	psovka1	2929.206	4.5	6.8	nadr
Polyline	9	228.008625	1186	psovka	psovka1	2504.236	5.5	5.5	pole
Polyline	10	351.407165	1187	psovka	psovka1	1668.301	4.5	4.3	lh1
Polyline	11	360.450571	1188	psovka	psovka1	1356.22	7	4.8	lh2
Polyline	12	527.520823	1189	psovka	psovka1	79.7547	3.8	6.3	hleds

Obr. č. 8: Atributová tabulka vrstvy „mosty“

V nabídce „RAS Geometry – Layer Setup“ bylo ověřeno, že jsou všechny vytvořené vrstvy správně přiřazeny. Pro exportování geometrie vodního toku byla použita funkce „RAS Geometry – Export RAS Data“. Tím vznikl soubor „GIS2RAS.RASImport“, se kterým bylo dále pracováno v aplikaci HEC-RAS.

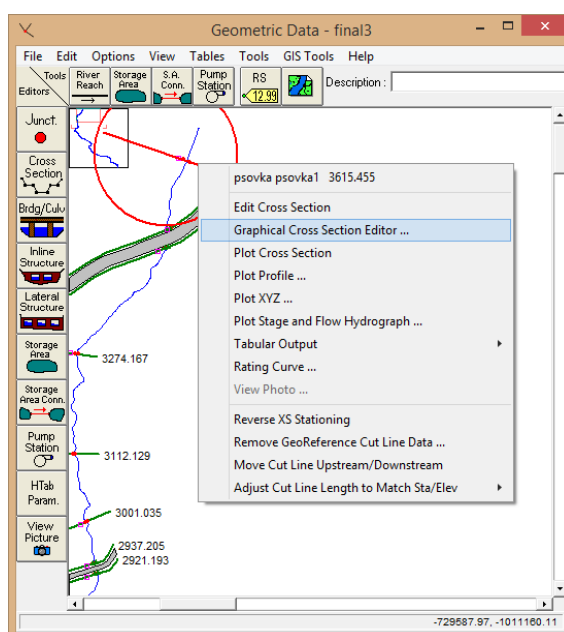
4.3.2 ZPRACOVÁNÍ GEOMETRIE VODNÍHO TOKU V HEC-RAS

Další zpracování a úpravy geometrie vodního toku včetně samotného výpočtu záplavových čar probíhala v aplikaci HEC-RAS. Byl vytvořen nový projekt pomocí nabídky v hlavním okně „File – Save Project As ...“ po názvem „psovka“. Aby bylo možné nahrát připravená geometrická data z aplikace ArcMap, bylo nutné otevřít okno „Geometric Data“ přes nabídku „Edit – Geometric Data...“ ve kterém se funkcí

„File – Import Geometry Data – GIS Format ...“ importoval soubor „GIS2RAS.RASImport“. Vytvořená geometrie byla uložena rovněž pod názvem „psovka“ pomocí nabídky „File – Save Geometry Data As ...“.

Digitální model terénu z kterého byly vytvořeny jednotlivé příčné řezy nebyl dostatečně přesný pro přesné určení břehových linií. Koryto vodního toku v jednotlivých řezech bylo po rekognoskaci manuálně zahloubeno v rozsahu od 20 do 100 cm pod úroveň hladiny. Hladina vodního toku nebyla v řezech nijak zřetelná, proto při úpravách v řezech docházelo také k drobným úpravám terénu v těsném okolí koryta, aby bylo možné simulovat reálný stav. Bez těchto úprav by se veškeré průtoky v modelu okamžitě rozlily do okolní krajiny.

V otevřeném okně „Geometric Data“ se po kliknutí na daný profil zvolil nástroj pro grafickou editaci řezu „Graphical Cross Section Editor ...“ (viz obr. č. 9) čímž se otevřelo okno „Graphic XS Editor“. Pomocí různých funkcí z nabídky, která se objeví po pravém kliknutí do prostoru okna editoru byl řez upraven, aby mělo koryto požadovaný tvar. Body reprezentující břehové linie byly po úpravách určeny pomocí nástroje „Set the Bank Stations“ z horní nabídky ikon editoru.



Obr. č. 9: Editace příčných řezů v HEC-RAS

Při specifikování rozměrů otvorů propustků a mostů na základě místních měření pásmem a laserovým měřičem vzdáleností, bylo nutné souběžně přizpůsobovat rozměry navazujícího koryta, jehož tvar byl předtím pouze odhadnut.

Podobně jako u řezů se v otevřeném okně „Geometric Data“ po kliknutí na daný propustek či most zvolil nástroj pro jeho editaci „Edit Bridge/Culvert“ čímž se otevřelo okno „Bridge Culvert Data“. Byl spuštěn nástroj pro editaci desky „Deck/Roadway“. V tomto okně bylo nutné doplnit tvar spodní hrany přidáním nadmořských výšek ve sloupci „low chord“ (viz obr. č 10). Každý otvor musel být

	Distance	Width	Weir Coef
4		18	1.4

Upstream			Downstream			
	Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
143	113.75	212.76		113.75	212.76	
144	114.15	212.76	210.	114.15	212.76	
145	115.15	212.76	210.	115.15	212.76	
146	115.59	212.72	210.	115.59	212.72	
147	116.08	212.72	210.	116.08	212.72	
148	116.67	212.62		116.67	212.62	
149	117.08	212.59		117.08	212.59	
150	117.88	212.6		117.88	212.6	

U.S. Embankment SS: 0 D.S. Embankment SS: 0

Weir Data
 Max Submergence: 0.98 Min Weir Flow El:

Weir Crest Shape
 Broad Crested
 Ogee

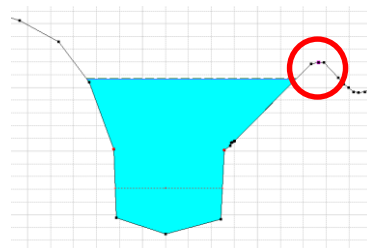
OK Cancel

Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (m)

Obr. č. 10: Editace horní a spodní hrany desky nad propustky/mosty v HEC-RAS

správně usazen do řezu před (upstream) i za propustkem či mostem (downstream) a především odpovídal jeho skutečným rozměrům. Zvláštní situace nastala pouze u propustku v blízkosti turistického centra, kde jsou dva typy otvorů – obdélníkový a dva kruhové. Dva kruhové otvory umístěné po bocích hlavního obdélníkového otvoru musely být v hydrodynamickém modelu zcela zanedbány, protože v opačném případě nebyl aplikací hlavní otvor o násobně větším průřezu vůbec zahrnut do závěrečných simulací N-letých průtoků.

Pomocí položky „Levees“ byl bodově omezen aktivní průtočný průřez pro případy, kdy tyto mezní body nejsou zvýšenou hladinou překročeny (AquaLogic a KTI 2004). V okně „Geometric Data“ se po kliknutí na daný řez zvolil nástroj pro jeho editaci „Edit Cross Section“ čímž se otevřelo okno „Cross Section Data“. Staničení a nadmořské výšky bodů „Levees“ pro pravou a levou stranu od osy vodního toku bylo zadáno v okně „XS Levee Data“ do kterého se lze dostat přes nabídku „Options – Levees ...“. Tyto mezní body byly umístěny zpravidla do míst, kam hladina při zvýšených průtocích mohla pouze růst a až poté se odtud mohla přelévat dále (viz obr. č. 11).

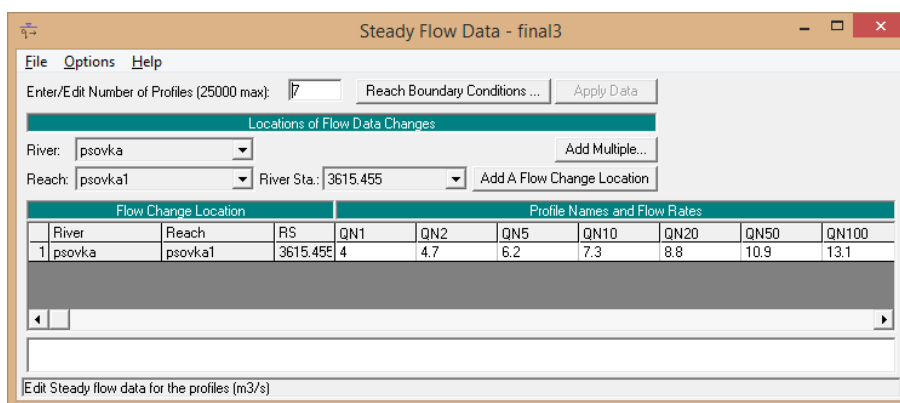


Obr. č. 11: Umístění bodů „Levees“ v příčných řezech

Nakonec se zadal Manningův součinitel drsnosti „n“ pro oblasti koryta a jiný mimo něj. Hodnoty byly zadány do tabulky v okně „Edit Manning’s n or k Values“ do kterého se lze dostat nabídkou „Tables - Manning’s n or k Values (Horizontally Varied) ...“. V tabulce byl označen celý prostřední sloupec hodnot „n“ představující součinitele pro každý řez zvlášť kliknutím na jeho záhlaví „n #2“. Hodnota pro všechny tyto řezy

byla vyplněna zadáním pevné hodnoty „0,02“ v dialogu vyvolaného pomocí tlačítka „Set Values ...“. Obdobně se postupovalo u sloupců „n #1“ a „n #3“ pro povrch za břehovými liniemi nastavením pevné hodnoty „0,03“.

Tímto byla celá geometrie vodního toku Pšovka v zájmovém úseku dokončena a bylo možné přistoupit k zadávání návrhových N-letých průtoků do modelu. V době vzniku této práce byly spočítány průtoky pouze v profilu zaústění Pšovky do Labe, což je zhruba o 12 km dále po její ose. Z těchto důvodů byly průtoky poměrově zmenšeny o rozlohu povodí do posledního příčného řezu zájmového území, který leží v obci Hledsebe. N-leté průtoky byly tímto zmenšeny na 51,3 % původních hodnot. Tyto upravené hodnoty byly zadány do tabulky v okně „Steady Flow Data“, kterou lze otevřít z nabídky „Edit – Steady Flow Data ...“ (viz obr. č. 12). Počet N-letých průtoků byl určen v poli „Enter/Edit Number of Profiles (25000 max):“ na hodnotu „7“ a potvrzen enterem. Tím bylo vytvořeno několik záhlaví pro každý měřený průtok Q_1 , Q_2 , Q_5 , Q_{10} , Q_{20} , Q_{50} a Q_{100} , které lze slovně popsat funkcí „Options – Edit Profile Names ...“. Nyní byl pod každé záhlaví doplněn příslušný průtok udávaný v jednotkách $m^3 \cdot s^{-1}$. Pro všechny profily v zájmovém úseku byl nastaven typ okrajové podmínky kritické hloubky v dolním profilu. Tento typ podmínky byl zadán v okně „Steady Flow Boundary Conditions“ vyvolaného pomocí tlačítka „Reach Boundary Conditions ...“ a zde byla pro zájmový úsek nastavena položka „Critical Depth“ pro „Upstream“ i „Downstream“. Ostatní položky byly ponechány.



Obr. č. 12: Zadávání N-letých průtoků do hydrodynamického modelu HEC-RAS

Před samotným výpočtem ustáleného proudění je nutno přes nabídku „Run – Steady Flow Analysis ...“ v okně zvolit položku „Subcritical“ v seznamu „Flow Regime“, která představuje parametr říčního proudění. Byl zadán název simulace v poli „Short ID“ a pomocí tlačítka „Compute“ spuštěn výpočet. Po dokončení výpočtu lze pomocí nabídky „View – Detailed Output Tables ...“ v hlavním okně aplikace vyvolat detailní tabulkový přehled hodnot ze simulací pro každý N-letý průtok a příčný

řez zvlášť (viz obr. č. 13). Obdobně si lze prohlédnout podélný profil z nabídky „View – Water Surface Profiles ...“. Podélný profil pro Q_{100} byl umístěn do příloh.

Plan: final3 psovka psovka1 RS: 3615.455 Profile: QN100					
Element	Value	Left OB	Channel	Right OB	
E.G. Elev (m)	208.14				
Vel Head (m)	0.02	0.030	0.020	0.030	
W.S. Elev (m)	208.13	97.79	107.92	121.43	
Crit W.S. (m)	206.42	1.23	21.91	3.52	
E.G. Slope (m/m)	0.000053	1.23	21.91	3.52	
Q Total (m3/s)	13.10	0.18	12.34	0.58	
Top Width (m)	18.18	2.33	9.64	6.21	
Vel Total (m/s)	0.49	0.15	0.56	0.16	
Max Chl Dpth (m)	2.43	0.53	2.27	0.57	
Conv. Total (m3/s)	1802.7	24.9	1698.5	79.3	
Length Wtd. (m)	108.15	2.58	11.35	6.32	
Min Chl El (m)	205.70	0.25	1.00	0.29	
Alpha	1.24	9085.30	0.00	3605.68	
Frctn Loss (m)	0.01	61.49	20.73	437.38	
C & E Loss (m)	0.01	98.43	15.16	249.64	

Obr. č. 13: Detailní přehled výsledků simulace pro Q_{100} v horním profilu

4.3.3 ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ HYDRODYNAMICKÉHO MODELU V ARCMAP

Před dalším zpracováním výstupu z hydrodynamického modelu bylo zapotřebí exportovat vzniklá data pomocí nabídky „File – Export GIS Data ...“ z hlavního okna aplikace. Otevřelo se okno „GIS Export“, ve kterém bylo ponecháno původní nastavení kromě položky „Export File“, kde byl zadán název souboru „psovka.RASexport“. Vyexportovaný soubor musel být pomocí nadstavby HEC-geoRAS aplikace ArcMap překonvertován do souboru „psovka.xml“ pomocí nástroje „Convert RAS Export SDF to XML“ spuštěného ikonou „Import RAS SDF File“. Takto vzniklý soubor bylo nutné dodatečně upravit v aplikaci Poznámkový blok a ručně odmazat hodnotu za desetinnou čárkou u čtyř parametrů (viz obr. č. 14).

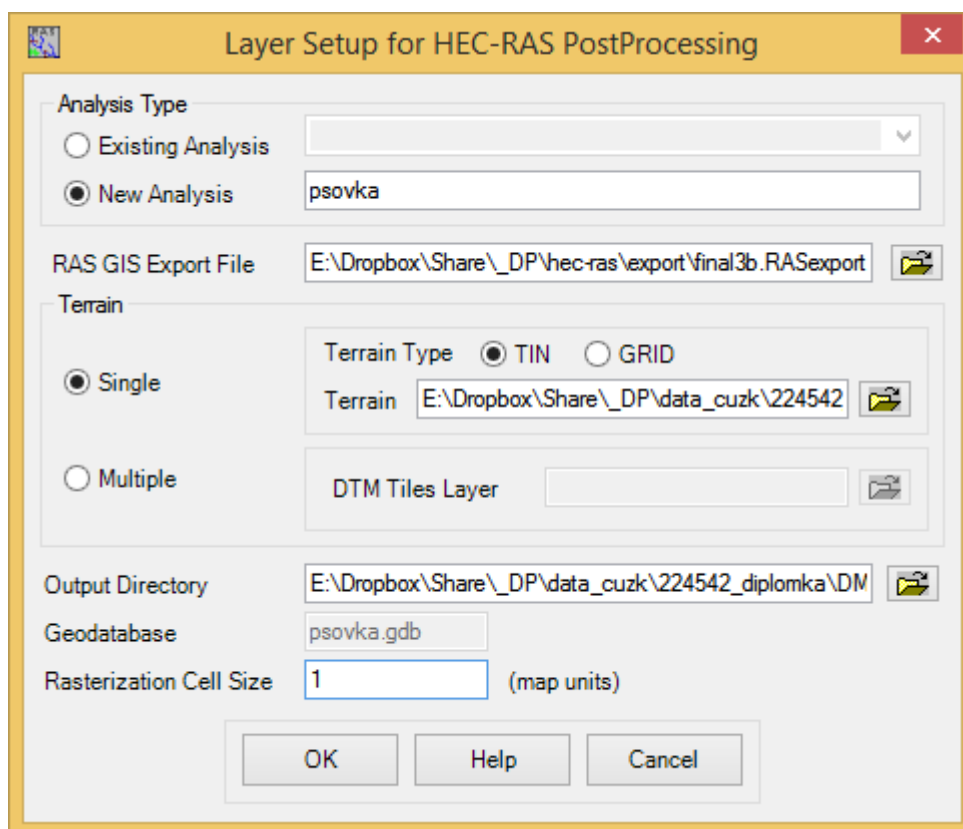
```
<?xml version="1.0"?>
<RAS2GIS>
  <Header>
    <DTM Type= "TIN" Layer="" Workspace=""/>
    <StreamLayer Layer="psovka_1hotka" Workspace=""/>
    <CrossSectionLayer Layer="rezy" Workspace=""/>
    <SpatialExtent XMin="-729980.330758921" YMin="-1014591.0078431" XMax="-728123.3226899" YMax="-1011077.74601507"/>
  </Header>
</RAS2GIS>
```

Obr. č. 14: Dodatečné úpravy souboru „psovka.xml“ v aplikaci Poznámkový blok

Pouze s takto modifikovaným souborem lze dále bez dalších problémů pracovat. V nadstavbě HEC-geoRAS byly v okně „Layer Setup for HEC-RAS PostProcessing“ z nabídky „RAS Mapping – Layer Setup“ nastaveny následující parametry (viz obr. č. 15). Do pole „New Analysis“ byl zadán název nové datové vrstvy „psovka“. Podkladový DMT je použit TIN „tin_default“. Dále byla zadána adresa ke složce nových výstupů a rozlišení rastru na hodnotu „1“. Potvrzením vznikla nová datová sada nazvaná „psovka“ obsahující zatím pouze vrstvu „tin_default“, přičemž z této vrstvy byl datovou sadou převzat souřadnicový systém „S-JTSK Krovak East“.

North“. Tím je vše připraveno pro spuštění importování dat ze simulací HEC-RAS funkcí „Import RAS Data“ z nabídky „RAS Mapping“. Datová sada se doplnila o několik nových vektorových vrstev.

Následovalo vytvoření rastru povrchu hladiny funkcí „Water Surface Generation“ z nabídky „RAS Mapping – Inundation Mapping“ pro každý jednotlivý N-letý průtok. Na podkladě tohoto rastru a DMT byly funkcí „Floodplain Delineation Using Rasters“ vytvořeny dvojice nových vrstev pro každý N-letý průtok. Vrstvy „b QNXX“ kde „XX“ znamená dobu opakování, interpretují plochy rozlivu (záplavové čáry). Vrstvy „d QNXX“ jsou rastry hloubek v zatopených územích.



Obr. č. 15: Vstupní parametry pro import dat z aplikace HEC-RAS do nadstavby HEC-geoRAS

Polygonové vrstvy zátopových čar průtoků Q_{20} , Q_{50} a Q_{100} byly vybrány pro prezentaci výsledků v příloze na podkladech DMT a ortofota. Plochy zátopových oblastí (záplavových čar) byly dodatečně upraveny tak, aby jejich tvar lépe odpovídal skutečnému tvaru terénu v zájmové oblasti z důvodů nepřesností nepravidelné trojúhelníkové sítě TIN a menšího počtu příčných řezů použitých pro simulace, které by se jinak přes sebe křížily. Pro lepší názornost byla pro každou zátopovou plochu Q_{20} , Q_{50} a Q_{100} vytvořena polygonová vrstva zvýrazňující povodní ohrožené objekty.

5. CHARAKTERISTIKA TOKU A JEHO POVODÍ

5.1 POVODÍ PŠOVKY

5.1.1 OBECNÝ POPIS

Pšovka se z velké většiny nachází v severní části středních Čech a prameništěm nepatrně zasahuje až do Libereckého kraje. Protéká jihovýchodní částí chráněné krajinné oblasti Kokořínsko a v těchto místech tvoří v podstatě osu přírodní rezervace Kokořínský důl. Povodí se rozkládá v okresech Mělník a Česká Lípa.

Povodí Pšovky má podélný tvar a rozlohu cca 152,02 km². Vlévá se do Labe (říční km 107,73) z pravé strany těsně pod soutokem Vltavy s Labem u Mělníka, a proto spadá pod správu Povodí Ohře. Soutok s Labem se nachází ve výšce 156 m n. m. Pšovka odvádí vodu ze zalesněné východní části Polomených hor a z výběžku středního Polabí. Má více pramenů. Za nejvýznamnější se považuje pramen na území obce Blatce 390 m n. m. pod hradem Houska. O něco níže se připojuje několik dalších pramenů v oblasti přírodní památky Prameny Pšovky vyhlášené roku 1995. Převýšení pramene a soutoku je asi 97 m. Hydrologické pořadí je 1-12-03-016 a jedná se o tok II. řádu. Délka toku je zhruba 35 km.

Pšovka má dva přítoky. Z pravé strany přitéká potok Žebrák, který je na soutoku s Pšovkou spojen rybníkem Stříbrníkem. Z levé strany přitéká Řepínský potok. V nivách Pšovky a sousedící Liběchovky lze nalézt mnoho přírodovědně významných mokřadů, které jsou chráněny Ramsarskou úmluvou od roku 1998 (Hydroprojekt 1979; Šulc 2008). Povodí Pšovky se dá rozdělit na tři oblasti. V nejsevernější části, kde Pšovka pramení, se nachází husté zalesnění. Prameny se objevují hluboko pod pískovcovými skalními stěnami. Teprve za Tubožským rybníkem lze Pšovce přiznat označení říčka. Zhruba do míst, kde vodní tok protéká obcí Olešno má Pšovka téměř bystřinný ráz (Hydroprojekt 1979).

Ve střední oblasti protéká hluboce zaříznutým údolím, které se nazývá Kokořínský důl. Kokořínský důl je turisticky velmi atraktivní oblast. Objevují se zde první intenzivně využívané hospodářské plochy, velké množství často zamokřených luk a koncentrace lidského osídlení. Z hlediska výskytu různých přírodních a kulturních památek je to také nejhodnotnější část území CHKO Kokořínsko. Až do obce Mělnická Vrutice jsou svahy obvykle skalnaté a velmi strmé. V této a horní části toku má koryto toku Pšovky i koryta přítoků převážně přírodě blízký charakter s velkým množstvím mokřadů (Hydroprojekt 1979; Beran et al. 2008). Teprve

v nejspodnější části toku se údolí rozevírá do nížinné oblasti Polabí, do otevřené holé krajiny. Takové podmínky vyhovují intenzivnímu zemědělskému hospodářství.

Od Tubožského rybníka až k soutoku s Labem v Mělníku fungovalo v historii až 27 vodních strojů (mlýny, turbíny a pily). V moderní době by je mohlo nahradit několik malých vodních elektráren (Šulc 2008).

Cestou od prameniště po soutok s Labem posiluje vodní tok Pšovky spousty studánek nebo dalších pramenů. Pšovka napájí celkem devět rybníků, čtyři tůně, požární nádrž, tři koupaliště a řadu dalších drobných vodních nádrží na soukromých pozemcích.

5.1.2 GEOLOGICKÉ POMĚRY POVODÍ

V horním úseku povodí se nachází úzké a hluboko zaříznuté pískovcové údolí, kde je říční niva značně omezená prostorem, ale podloží je dobře propustné. Niva se rozšiřuje a zároveň změlňuje až v dolní orograficky označované části „mělnický polom“, kde je propustnost horší. Takové území se z hlediska geologie nachází částečně v Lužické oblasti, což je křídový útvar tvořený svrchnokřídovými střednoturonskými horninami převážně písčité povahy. Tuto vrstvu pokrývají kvartérní uloženiny.

Na úseku mezi obcí Hleďsebe a Mělníkem převládá písčitoslínovcová vrstva a severněji jsou to různé typy pískovců. Na střední části vodního toku je zajímavé, že v něm mizí část vody v podzemí. Je to způsobeno dosud otevřenými tektonickými poruchami (Hydroprojekt 1979; Beran et al. 2008).

5.1.3 PŮDNÍ POMĚRY POVODÍ

Prameny Pšovky se rozkládají na arenosolové vrstvě s hnědými půdami a podzoly. Od Tubožského rybníku až k místům soukromého rybníku za Hlučovem ve směru toku je přechod mezi černozemí a arenosoly stejného typu jako u pramene. Zbylé území až ke hranicím Mělníka tvoří glejový typ půdy a černice. V její jižnější části, kde protéká intravilánem Mělníka a končí v soutoku s Labem, se nachází nivní typy půd (ČGS 2015).

Velké množství mokřadních ploch má na svědomí jílovitá povaha půdního podloží (Beran et al. 2008).

5.1.4 TEPLOTNÍ POMĚRY POVODÍ

Teploty padají pod 0°C pouze mezi polovinou prosince až do první třetiny února. Teploty nad 25°C se vyskytují průměrně 55 dní v roce. Průměrný počet dnů, kdy teploty klesnou pod 0°C je 95 (Zemědělský projektový ústav Praha 1968).

Oblast povodí patří mezi velmi teplé. Průměrné roční teploty se pohybují kolem 8°C. Ve vegetačním období mezi dubnem a říjnem jsou 14°C. Z dlouhodobého měření vyplývá, že nejchladnější měsíc je leden a nejtepleji bývá v červenci (Hydroprojekt 1979).

5.1.5 VĚTRNÉ POMĚRY POVODÍ

V průměru převládá proudění z východu na západ a to jak ve vegetačním období, tak po zbytek roku (Hydroprojekt 1979).

5.1.6 VEGETACE

Z lesních porostů výrazně převládá smrk, borovice a ojediněle i dub. V údolních polohách kolem bývalých mlýnů a stavení převažují louky se zbytky olšin a ostřic. Horní úsek toku charakterizují velká mokřadní společenstva a lesní typ habrová doubrava (Hydroprojekt 1979; Jakubínský 2009).

V jižní oblasti se rozkládá rozsáhlá, úrodná, polabská nížina, kde jsou výborné podmínky pro zemědělskou výrobu. Pěstují se zde prakticky všechny zemědělské plodiny (Hydroprojekt 1979).

5.1.7 PODNEBÍ

Povodí Pšovky lze charakterizovat jako velmi suché. Průměrné srážky se pohybují mezi 550 až 600 mm. Dlouhodobý celoroční srážkový průměr je 552 mm. Největší objem vody spadne ve vegetační době (duben až říjen), tedy v teplejší části roku. Z dlouhodobého průměrování vychází v průběhu roku jako nejvlhčí měsíc červenec a nejsušší únor. V červenci napadne průměrně 70 až 80 mm. V únoru okolo 25 mm srážek (Zemědělský projektový ústav Praha 1968; Hydroprojekt 1979).

5.2 VODNÍHO TOK PŠOVKA V ZÁJMOVÉM ÚSEKU

Zájmový úsek začíná zhruba v oblasti, kde se v blízkosti vodního toku objevují první rodinné domy obce Hledsebe. Pšovka je zde v těsné blízkosti soukromých pozemků. Koryto je špatně přístupné a podtéká silnici obdélníkovým otvorem. Za mostem se vyhýbá nově zrekonstruované rybí sádce, kde se patrně nacházel bývalý mlýnský náhon a navazuje na vysoká stavidla od průtočné, značně neudržované vodní nádrže. Zde jsou stavidla zasazena v náspu, který lemuje pomyslnou horní hranici obce Hledsebe napříč údolím.

Vodní nádrž přechází v rozlehlá a nepřístupná území mokřadů, která se při postupu výše údolím pozvolna zmenšují. Za mokřady se v určitém místě Pšovka rozděluje do dvou koryt (viz obr. č. 16). Levým ramenem přitéká voda ze sítě čtyř vodních nádrží včetně přírodního koupaliště. Na tomto levém rameni je zřetelné, že

jím odchází větší část průtoků. Pravé lehce meandrující rameno, které postupuje výše středem údolí, po asi 180 m odbočuje směrem k vodním nádržím na levém boku údolí, kde leží v jejich bezprostřední blízkosti. Koryto je zde zleva odděleno od vodních nádrží úzkým, nízkým náspem, který je místy opevněný litým betonem. Pravý břeh je zde také opevňován, ale kamennou dlažbou a jenom na několika místech. Ve zbytku dochází k samovolným rozlivům do zalesněné, hlouběji položené části údolí. Levé a pravé rameno je možné přejít po lávkách pro pěší před i za sítí vodních nádrží.



Obr. č. 16: Soutok odtoku ze sítě vodních nádrží (uprostřed) s Pšovkou (napravo)

Nad nejvýše položenou vodní nádrží zmíněné sítě nádrží se ze zalesněné říční nivy otevírá pohled do otevřeného údolí a obec Lhotka. Za dřevěnou lávkou je brod sloužící zemědělské technice spojující pravou část údolí s hlavní komunikací po levém boku údolí. Těsně nad brodem je možné vidět nově zbudovaný kruhový propustek pod náspem železniční trati datovaný k roku 2013, který je zatrubněn pod nájezdem z brodu a vyveden do osy vodního toku. Od tohoto místa se Pšovka rozvolňuje do krátkého úseku mokřadů. Zprava jsou těsně lemovány hranicí soukromých pozemků a zleva zmíněnou železniční tratí, která je na několika místech opatřena dalšími menšími propustky, protože zde křížuje údolím.

V místech křížení toku s železniční tratí, která se odklání na pravý okraj údolí, je vodní tok uveden do betonového mostku s obdélníkovým otvorem. Na levé straně za mostkem je po krátké vzdálenosti vidět malou neprůtočnou soukromou vodní nádrž, která je z Pšovky napájena. Dále je osa toku nezřetelná, protože prochází přes oplocené pozemky nebo hustý náletový porost. O něco dále, kdy koryto opouští oplocený prostor, lze spatřit nízký betonový mostek, který byl z hydrodynamického modelu vzhledem k jeho parametrům vypuštěn.

Vodní tok se podobně jako železniční trať přesouvá na pravou stranu údolí, ale předtím protéká ještě klenutým kamenným mostem místní komunikace probíhající kolmo k ose údolí. Mezi posledním překřížením Pšovky s železnicí a tímto mostem

tvoří osa toku povětšinou přirozenou hranici soukromých pozemků na levé straně. Za mostem Pšovka opouští nejhustěji obydlenou část Lhotky a začíná kopírovat tvar osy zprava položené železniční trati, se kterou těsně sousedí. V blízkosti zmíněného mostu je zprava položená železniční trať opatřena rovnou dvěma kruhovými propustky, které umožňují odtok srážek do koryta ze sousedního údolí. Pravý svah Pšovky je od tohoto místa až po následující mostek tvořen převážně svahem náspu železnice, který je tím trvale podmáčen (viz obr. č. 17).



Obr. č. 17: Pšovka v části kopírující tvar náspu železničního tělesa

Vodní tok dále vstupuje do řídkého lesa a je dobře přístupný z obou stran. Řídce zalesněná oblast je ukončena v místech, kde Pšovka protéká částí soukromého statku s volně pochybujícími se hospodářskými zvířaty. Na statku je rovněž umístěna relativně velká, neprůtočná vodní nádrž, které je z Pšovky napájena. Tato vodní nádrž byla do digitálního modelu terénu zachycena ve vypuštěném stavu. Za statkem následuje zhruba 0,5 km dlouhý, přímý úsek. Plochy orné půdy, které tento úsek doprovází, se nachází pod úrovní vodní hladiny, proto budou v případě zvýšených průtoků s jistotou zaplaveny. Na tomto úseku lze nalézt nivelační bod „Ce03-20“, který je možno použít v případě potřeby přesného geodetického zaměření koryta Pšovky.

Na konci této části se Pšovka odklání téměř v pravém úhlu od přímého úseku směrem do betonového mostku železniční trati s obdélníkovým otvorem. Pšovka je za mostkem zprava lemována vysokými pískovcovými skalami. V tomto úseku dochází místy k lehkému meandrování. V další části se koryto začíná výrazněji zařezávat do terénu. Vodní tok míjí soukromý pozemek rodinného domu a prochází nízko klenutým betonovým mostem. V konstrukci mostu je umístěn druhý nivelační bod „Ce1-86.2“.

V krátké vzdálenosti za mostem se vodní tok stává nepřístupným kvůli soukromým pozemkům, svažitému terénu i vegetaci. Pšovka prochází hlouběji

zaříznutým korytem než dosud s přirozeným meandrováním. Za nepřístupnou částí se zleva otevírá pohled do areálu turistického centra domu dětí a mládeže hlavního města Prahy. Součástí neoploceného areálu turistického centra je rovněž malá vodní nádrž. Nádrž je doplněna malými stavidly před napájením z Pšovky, přičemž v jejich těsné blízkosti jsou ještě jedna stavidla umístěná přímo na toku. Nádrž se tedy může patrně změnit z neprůtočné na průtočnou. Areál turistického centra je ze severní a západní strany před velkými průtoky chráněn vysokým náspem železniční trati. Většina vegetace na Pšovce v oblasti turistického centra byla krátce před dobou rekognoskace ze značné části odstraněna. Ve výše položené části za areálem se vodní tok znovu protíná se zmíněnou železniční tratí. Pšovka protéká betonovým propustkem se třemi otvory. K hlavnímu obdélníkovému otvoru přiléhají dva menší kruhové po jeho bocích.



Obr. č. 18: Stavidla vodní nádrže Lhotka

Za železniční tratí Pšovka pokračuje dále řídkou vegetací až po velká stavidla vodní nádrže Lhotka, kde zájmové území končí (viz obr. č. 18). Pro účely vytvoření záplavových čar byl zájmový úsek zkrácen již před stavidly v místě, kde jsou břehy spojeny jednoduchým mostem podpíraným ocelovými trámy. Zde se nachází právě poslední příčný řez hydrodynamického modelu.

6. VÝSLEDKY

6.1 IDENTIFIKACE POVODÍ

Hydrologické číslo povodí Pšovky je 1-12-03-016.

Uzávěrový profil celého povodí se nachází v souřadnicích -735 889; -1 013 212 v souřadnicovém systému S-JTSK (Krovak East North).

6.2 GEOMETRICKÉ CHARAKTERISTIKY POVODÍ

Všechny vypsané plošné a délkové údaje byly zjištěny pomocí aplikace ArcMap, proto se mohou lišit od oficiálních údajů o povodí, které má ČHMÚ.

Plocha povodí $F = 157,45 \text{ km}^2$

Plocha pravé strany $F_p = 59,23 \text{ km}^2$

Plocha levé strany $F_L = 98,22 \text{ km}^2$

Součinitel asymetrie $a = \frac{98,22-59,23}{157,45} = 0,25$ dle vzorce č. 1

Délka toku $L = 34,39 \text{ km}$

Délka údolnice $L_u = 35,11 \text{ km}$

Délka rozvodnice $O = 84,24 \text{ km}$

Uspořádání říční sítě je stromkovité a nesymetrické.

Hustota říční sítě $h_{rs} = \frac{57,15}{157,45} = 0,36$ dle vzorce č. 2

Střední šířka povodí $B = \frac{157,45}{35,11} = 4,48$ dle vzorce č. 3

Součinitel tvaru povodí $\alpha = \frac{4,48}{35,11} = 0,13$ (protáhlý tvar povodí) dle vzorce č. 4

6.3 OROGRAFICKÉ POMĚRY POVODÍ

Výškové údaje zjištěné z rastru digitálního modelu terénu pomocí aplikace ArcMap:

- Maximální nadmořská výška povodí498,8 m n.m.
- Minimální nadmořská výška povodí156,6 m n.m.
- Průměrná nadmořská výška povodí277,0 m n.m.
- Maximální nadmořská výška údolnice332,8 m n.m.
- Maximální nadmořská výška hlavního toku305,9 m n.m.
- Minimální nadmořská výška údolnice157,1 m n.m.

Sklonitostní poměry byly určeny podobným způsobem z rastru sklonitosti terénu.

Pro celé území povodí (**F**):

- Maximální sklon na povodí54,84 %
- Minimální sklon na povodí0,00 %
- Průměrný sklon na povodí9,7 %

Pro pravou část povodí (**F_P**):

- Maximální sklon na povodí50,76 %
- Minimální sklon na povodí0,01 %
- Průměrný sklon na povodí9,87 %

Pro levou část povodí (**F_L**):

- Maximální sklon na povodí54,84 %
- Minimální sklon na povodí0,00 %
- Průměrný sklon na povodí9,61 %

Průměrný sklon údolnice $I = \frac{0,3328-0,1571}{35,11} \cdot 100 = 0,5 \%$ dle vzorce č. 5

Střední sklon svahů $I_{SV} = \frac{0,4988-0,15663}{\sqrt{157,45}} \cdot 100 = 2,7 \%$ dle vzorce č. 6

Absolutní spád $\Delta H = 498,8 - 156,63 = 342,17 \text{ m}$ dle vzorce č. 7

6.4 OSTATNÍ POMĚRY NA POVODÍ

Součinitel lesnatosti $z = \frac{57,75}{157,45} \cdot 100 = 36,61 \%$ dle vzorce č. 9

Součinitel jezernatosti $K = \frac{0,3}{157,45} \cdot 100 = 0,1 \%$ dle vzorce č. 10

Součinitel bažinatosti $b = \frac{0,5}{157,45} \cdot 100 = 0,3 \%$ dle vzorce č. 11

6.5 VÝPOČTY ČHMÚ

N-leté průtoky změřené k celému povodí v profilu na ústí Pšovky do Labe. V závorkách hodnoty průtoků po zmenšení o 48,65 % poměrově odpovídající ploše povodí k uzávěrovému profilu na nižším konci zájmového úseku (obec Hleděsebe).

Q ₁ =	7,8	(4,0)	m ³ .s ⁻¹
Q ₂ =	9,1	(4,7)	m ³ .s ⁻¹
Q ₅ =	12,1	(6,2)	m ³ .s ⁻¹
Q ₁₀ =	14,2	(7,3)	m ³ .s ⁻¹
Q ₂₀ =	17,2	(8,8)	m ³ .s ⁻¹
Q ₅₀ =	21,2	(10,9)	m ³ .s ⁻¹
Q ₁₀₀ =	25,3	(13,1)	m ³ .s ⁻¹

7. DISKUZE A ZÁVĚR

Povodí Pšovky je ekologicky výjimečně cenné území. Oblast středního toku má velmi výrazně tvarovaný reliéf díky hluboko zaříznutým skalistým údolím. Ačkoliv už se zde nenachází moc míst, která zůstala člověkem nedotknuta, vodní tok zůstává stále značně přírodě blízký. Pouze v nejvyšším úseku má vodní tok charakter bystřiny. V nižších částech je voda klidná, průtoky jsou velmi nízké a podélný sklon dna je naprosto minimální. To je důvod, proč se na Pšovce nachází mnoho trvale zamokřených území.

Tato práce uvedla praktický příklad využití digitálního modelu reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) pro vytvoření tvaru záplavových čar. Přestože by měl být takový model terénu pro hydrologické účely již dostatečně přesný, u vodního toku Pšovka to neplatí. Díky malým rozměrům koryta, značně členitému terénu a husté vegetaci v okolí toku, je bez dodatečných podkladů obtížné získat představu o pouhém umístění jeho osy. DMR 5G bohužel neobsahuje dostatečné množství přesně naměřených bodů.

Řešením může být přesné zaměření osy koryta a tvaru břehů pomocí geodetických přístrojů nebo alespoň získání ortofota území z mimovegetačního období. Pro geodetické zaměření je možné využít některý z geodetických bodů České státní trigonometrické sítě poblíž vodního toku, ale opět zde může vzniknout problém s neprostupností v okolí toku (mokřady, vegetace, soukromé pozemky).

Podnětem pro vypracování práce bylo vytvoření nového povodňového plánu turistického centra Domu dětí a mládeže hlavního města Prahy. Jediná platná data o N-letých průtocích na Pšovce od Českého hydrometeorologického ústavu pochází z profilu zaústění Pšovky do Labe. Pro účely diplomové práce byly tyto průtoky poměrově zmenšeny na plochu povodí končící uzávěrovým profilem v obci Hleďsebe. K dalšímu zpřesnění by mohlo dojít po zadání návrhových průtoků k tomuto uzávěrovému profilu do hydrodynamického modelu spočítaných v ČHMÚ na individuální žádost.

8. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

AQUALOGIC, 2015. Online: <http://www.aqualogic.cz/>, cit. 19.4.2015.

AQUALOGIC a KTI, 2004: *HEC–RAS stručný manuál (česká verze)*.

BARREDO, J. I., 2007: *Major flood disasters in Europe: 1950-2005*. Natural Hazards 42: 125 – 148.

BARREDO, J. I., 2009: *Normalised flood losses in Europe: 1970–2006*. Natural Hazards and Earth System Science 9: 97 – 104.

BERAN, L., BÍMOVÁ, K., ČEJKOVÁ, M., NOVÁ, B., POŘÍZEK, L., ŘEZÁČ, M., ŠESTÁKOVÁ, M. a ŠNAJDR, M., 2008: *Plán péče o chráněnou krajinnou oblast Kokořínsko na období 1999-2008*, Správa CHKO Kokořínsko, Mělník.

ČAMROVÁ, L. [ed.], 2007: *Ochrana před povodněmi v urbanizovaných územích*. IREAS, Praha, 82 s. ISBN 978-80-86684-48-2.

CENIA, 2015: *WMS služby*. Česká informační agentura životního prostředí, online: <http://geoportal.gov.cz/web/guest/wms/>, cit. 19.4.2015.

ČGS, 2015: *Půdní mapa 1:50 000*. Česká geologická služba, online: <http://mapy.geology.cz/pudy/>, cit. 19.4.2015.

ČHMÚ, 2006: *Vyhodnocení jarní povodně 2006 na území České Republiky*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, online: <http://voda.chmi.cz/pov06/obsah.html>, cit. 19.4.2015.

ČÚZK, 2015: *ZABAGED*. Český úřad zeměměřický a katastrální, online: <http://geoportal.cuzk.cz/>, cit. 19.4.2015.

DAŇHELKA, J. a ELLEDER, L., 2012: *Vybrané kapitoly z historie povodní a hydrologické služby na území ČR*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 181 s. ISBN 978-80-87577-12-7.

DANKERS, R. a FEYEN, L., 2008: *Climate change impact on flood hazard in Europe: An assessment based on high-resolution climate simulations*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 113: 1 – 17.

DANKERS, R. a FEYEN, L., 2009: *Flood hazard in Europe in an ensemble of regional climate scenarios*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 114: 1 – 16.

DHI, 2015: *Mike 11*. DHI, online: <http://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-11>, cit. 19.4.2015.

DIBAVOD, 2015: *Digitální báze vodohospodářských dat*. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, online: <http://www.dibavod.cz/>, cit. 19.4.2015.

DIVÍN, J., 2013: *Modelování průtoků pomocí softwarů HEC-RAS a HEC-GeoRAS*. Mendelova univerzita, Brno.

- FLEMING, M. J., 2010: *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Quick Start Guide*. U.S. Army Corps of Engineers, Washington, 50 s.
- HEC-HMS, 2015. U.S. Army Corps of Engineers, online: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>, cit. 19.4.2015.
- HEC-RAS, 2015. U.S. Army Corps of Engineers, online: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/features.aspx>, cit. 19.4.2015.
- HEJDUK, T., 2010: *Hydraulické a hydrologické modelování*. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- HRÁDEK, F. a KUŘÍK, P., 2008: *Hydrologie*. Česká zemědělská univerzita, Praha, 280 s. ISBN 978-80-213-1744-4.
- HYDROPROJEKT, 1979: *Úprava Pšovky v úseku Mělník - Vojtěchov: Průvodní zpráva*. Povodí Ohře Chomutov, Praha, nepublikováno, dep.: Městský úřad Mělník.
- HYDROSOFT, 2015. Online: <http://www.hydrosoft.cz/produkty/hydrocheck/>, cit. 19.4.2015.
- JAKUBÍNSKÝ, J., 2009: *Vliv změn odtokových poměrů v povodí Pšovky na krajinný ráz CHKO Kokořínsko*. Masarykova univerzita, Brno, online: http://is.muni.cz/th/191605/prif_b/bakalarska_prace.pdf, staženo: 5.3.2015.
- JUST, T., MATOUŠEK, V., DUŠEK, M., FISCHER, D. a KARLÍK, P., 2005: *Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi*. Český svaz ochránců přírody, Praha, 359 s. ISBN 80-239-6351-1.
- KEMEL, M. a KOLÁŘ V., 1980: *Hydrologie*. České vysoké učení technické, Praha, 292 s.
- KENDER, J. [ed.], 2004: *Water in landscape landscaping programmes*. Consult, Praha, 207 s. ISBN 80-902-1328-6.
- KJELDEN, T. R., MACDONALD, N., LANG, M., MEDIERO, L., ALBUQUERQUE, T., BOGDANOWICZ, E., BRÁZDIL, R., CASTELLARIN, A., DAVID, V., FLEIG, A., GÜL, G.O., KRIAUCIUNIENE, J., KOHNOVÁM, S., MERZN, B., NICHOLSON, O., ROALD, L.A., SALINAS, J.L., SARAUSKIENE, D., ŠRAJ, M., STRUPCZEWSKI, W., SZOLGAYM, J., TOUMAZIS, A., VANNEUVILLE, W., VEIJALAINEN, N., WILSON, D., 2014: *Documentary evidence of past floods in Europe and their utility in flood frequency estimation*. *Journal of Hydrology* 517: 963 – 973.
- KONVIČKA, M., 2002: *Město a povodeň*. ERA, Brno, 219 s. ISBN 80-86517-38-1.
- KOVÁŘ, M., 2004: *Ochrana před povodněmi: řešení přirozených a zvláštních povodní*. Triton, Praha, 100 s. ISBN 80-7254-499-3.
- KOVÁŘ, P. a VAŠŠOVÁ, D., 2011: *Model KINFIL: Manuál*. Česká zemědělská univerzita, Praha.

LANGHAMMER, J., HLADNÝ, J., VILÍMEK, V., ELLEDER, L., PODLAHA, A., KRÁLOVÁ, A. a HARTVICH, F., 2007: *Povodně a změny v krajině*. Univerzita Karlova, Praha, 396 s. ISBN 978-80-86561-86-8.

MKOL, 2004: *Dokumentace povodně v srpnu 2002 v povodí Labe*. Mezinárodní komise pro ochranu Labe, Magdeburk, 207 s.

MZE, 2015: *Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 471/2001 Sb., o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly § 4*. Ministerstvo zemědělství, Praha, online: <http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/100053399.html>, cit. 19.4.2015.

MZE a MŽP, 2007: *Plán hlavních povodí České republiky*. Ministerstvo zemědělství a životního prostředí, Praha, 85 s, online: <http://eagri.cz/public/web/mze/voda/planovani-v-oblasti-vod/plany-povodi-pro-1-obdobi/plan-hlavnich-povodi-cr/>, cit. 19.4.2015. ISBN 978-80-7084-632-2.

MŽP, 2000: *Strategie ochrany před povodněmi v České republice (schválená vládním usnesením č. 382 ze dne 19. dubna 2000)*. Ministerstvo životního prostředí, Praha, online: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/strategie_ochrany_povodne/\\$FILE/OOV_strategie_povodne_20000419.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/strategie_ochrany_povodne/$FILE/OOV_strategie_povodne_20000419.pdf), staženo 19.4.2015.

MŽP, 2002. *Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)*. Ministerstvo životního prostředí, Praha, online: http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe_uplna-zneni_zakon-2001-254-viceoblasti.html, cit. 19.4.2015.

MŽP, 2006: *TNV 75 2931 Povodňové plány: odvětvová technická norma vodního hospodářství*. Ministerstvo životního prostředí, Praha, online: http://eagri.cz/public/web/file/104416/TNV_75_2931.pdf, staženo 19.4.2015.

MŽP, 2009: *Vyhodnocení povodní v červnu a červenci 2009 na území české republiky*. Ministerstvo životního prostředí, Praha, online: <http://voda.chmi.cz/pov09/doc/01.pdf>, staženo 19.4.2015.

MŽP, 2011: *Předběžné vyhodnocení povodňových rizik v České republice*. Ministerstvo životního prostředí, Praha, online: http://www.povis.cz/mzp/smernice/2011/CZ_zprava_PFRA_APSFR.pdf, staženo 19.4.2015.

NĚMEC, J. a HLADNÝ, J., 2006: *Voda v České republice*. Consult, Praha, 253 s. ISBN 80-903482-1-1.

NĚMEC, J. a KOPP, J., 2009: *Vodstvo a podnebí v české republice*. Consult, Praha, 255 s. ISBN 80-903482-7-0.

POKORNÁ, D. a ZÁBRANSKÁ, J., 2008: *Hydrologie a hydroopedologie*. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha, 218 s. ISBN 978-80-7080-707-1.

ŘÍHA, J., DUMBROVSKÝ, M., JULÍNEK, T., KORYTÁROVÁ, J., ŠLEZINGR, M., TICHÁ, A., DRÁB, A., KRATOCHVÍL, J., GOLÍK, P., JANDORA, J., KOUTKOVÁ, H. a UHMANNOVÁ, H., 2005: *Riziková analýza záplavových území*. CERM, Brno, 286 s. ISBN 80-7204-404-4.

SCHARFFENBERG, W. a FLEMING, M.J., 2010: *Hydrologic Modeling System User 's Manual*. U.S. Army Corps of Engineers, Washington, 316 s, online: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/CPD-74A_2001Jan.pdf, staženo 19.4.2015.

ŠULC, F., 2008: *Putování s říčkou Pšovkou Kokořínskem*. Okrašlovací spolek Kokořínska Pšovka, Blatce.

UNIE, 2007: *Směrnice evropského parlamentu a rady 2007/60/ES o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik*. Evropský parlament a rada evropské unie, online: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/smernice_2007_60_es/\\$FILE/OOV-2007_60_ES-20071106.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/smernice_2007_60_es/$FILE/OOV-2007_60_ES-20071106.pdf), staženo 19.4.2015.

VÚV, 2005: *Katastrofální povodeň v České republice v srpnu 2002*. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, Praha. ISBN 80-7212-350-5.

VÚV, 2012: *Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik*. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, Praha, online: http://cds.chmi.cz/dokumentace/Methodika_mapovani_2012-03-13.pdf, staženo 19.4.2015.

WITTMANN, M., HRUBANOVÁ, D., SOCHOREC, M. a HAVLIŠ, K., 2012: *Řeka a město: Vodní prvek v současných městech*. CERM, Brno, 100 s. ISBN 978-80-7204-814-4.

ZEMĚDĚLSKÝ PROJEKTOVÝ ÚSTAV PRAHA, 1968: *Úprava Pšovky v Mělníku*. Zemědělský projektový ústav Praha, Liberec, nepublikováno, dep.: Povodí Ohře s.p. pobočka Terezín.

9. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1: Povodně na Vltavě v Praze v letech 1827 až 2002.....	19
Obr. č. 2: Průměrné denní průtoky v deseti objemově největších povodňových vlnách na Vltavě v profilu Praha-Modřany.....	21
Obr. č. 3: Měření osy vodního toku pomocí aparatury Leica GPS 1200	43
Obr. č. 4: Naměřené body v souřadnicovém systému S-JTSK Krovak East North ..	44
Obr. č. 5: Ovládací panel nadstavby HEC-geoRAS	47
Obr. č. 6: Praktická ukázka práce s nadstavbou HEC-geoRAS.....	48
Obr. č. 7: Atributová tabulka vrstvy „rezy3D“	49
Obr. č. 8: Atributová tabulka vrstvy „mosty“	49
Obr. č. 9: Editace příčných řezů v HEC-RAS	50
Obr. č. 10: Editace horní a spodní hrany desky nad propustky/mosty v HEC-RAS ..	51
Obr. č. 11: Umístění bodů „Levees“ v příčných řezech	51
Obr. č. 12: Zadávání N-letých průtoků do hydrodynamického modelu HEC-RAS....	52
Obr. č. 13: Detailní přehled výsledků simulace pro Q_{100} v horním profilu.....	53
Obr. č. 14: Dodatečné úpravy souboru „psovka.xml“ v aplikaci Poznámkový blok ..	53
Obr. č. 15: Vstupní parametry pro import dat z aplikace HEC-RAS do nadstavby HEC-geoRAS	54
Obr. č. 16: Soutok odtoku ze sítě vodních nádrží (uprostřed) s Pšovkou (napravo)	58
Obr. č. 17: Pšovka v části kopírující tvar náspu železničního tělesa	59
Obr. č. 18: Stavidla vodní nádrže Lhotka	60

10. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Povodí Pšovky

Příloha č. 2: Povodí Pšovky - Land use

Příloha č. 3: Povodí Pšovky – DMT (Rastr)

Příloha č. 4: Povodí Pšovky – DMT (stínování)

Příloha č. 5: Povodí Pšovky - Sklonitostní poměry

Příloha č. 6: Zájmový úsek Pšovky mezi vodní nádrží Lhotka a obcí Hledsebe –
Záplavové čáry pro Q_{20} v DMT

Příloha č. 7: Zájmový úsek Pšovky mezi vodní nádrží Lhotka a obcí Hledsebe –
Záplavové čáry pro Q_{20} v ortofoto

Příloha č. 8: Zájmový úsek Pšovky mezi vodní nádrží Lhotka a obcí Hledsebe –
Záplavové čáry pro Q_{50} v DMT

Příloha č. 9: Zájmový úsek Pšovky mezi vodní nádrží Lhotka a obcí Hledsebe –
Záplavové čáry pro Q_{50} v ortofoto

Příloha č. 10: Zájmový úsek Pšovky mezi vodní nádrží Lhotka a obcí Hledsebe –
Záplavové čáry pro Q_{100} v DMT

Příloha č. 11: Zájmový úsek Pšovky mezi vodní nádrží Lhotka a obcí Hledsebe –
Záplavové čáry pro Q_{100} v ortofoto

Příloha č. 12: Fotodokumentace zájmového území na vodním toku

Příloha č. 13: Podélný profil zájmového úseku v HEC-RAS

Příloha č. 14: Propustky a mosty zájmového úseku v HEC-RAS