

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

**Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování**



**Určení záplavového území a hydrotechnické posouzení
objektů na vodním toku Volyňka**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

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

Diplomant: Alžběta Hudečková

2013

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Radka Rouba, Ph.D, a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala

Poděkování

Děkuji Ing. Radku Roubovi Ph.D za čas, užitečné informace a vstřícnost při konzultacích. Dále můj dík patří mé rodině, která mě podporovala při zpracování této diplomové práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce obsahuje dvě hlavní části, literární rešerši a určení záplavového území vybraného úseku vodního toku Volyňka. Literární rešerše shrnuje problematiku povodní. Pojednává jak o historii povodní v české zemi, tak i konkrétně z oblasti Povodí Otavy, zachycuje prevenci proti povodním např. formou revitalizace, zvýšením retence půd a ukazuje na význam vegetace podél vodních toků. Zmíněny jsou i hydrologické modely, jejich funkce, rozdělení a využití v praxi. Podrobně je popsána charakteristika zájmového území a jeho povodí. Druhá část se zabývá stanovením záplavových území při N-letých průtocích pomocí programu HEC-RAS 4.1.0. Výsledné záplavové území bylo vymodelováno na základě dat o příčných profilech, vodohospodářských objektech a N-letých průtocích a přeneseno na mapový podklad pro lepší vizuální představu. Na základě jednotlivých výsledných výstupů je možno vyhodnotit úroveň kulminačních průtoků. V závěru práce je provedena diskuze o vzniklých výsledcích a účinnosti realizovaných protipovodňových opatření po povodni 2002.

Klíčová slova: HEC-RAS, povodně, záplavové území, průtok, příčný profil, Volyňka

Abstract

This thesis contains two main parts: literature review and determination of the flood plain area selected section of the watercourse Volyňka. Literature review summarizes the problems of floods. Review discusses the history of flooding in the Czech country, and specifically from the Otava River, captures flood prevention e.g. in the form of revitalization, increase soil retention, and shows the importance of vegetation along watercourses. There are also commented hydrological models, their function, distribution and use in practice. Characteristics of the area and its catchment are described in detail. The second part deals with the determination of floodplains in the N-year flows using HEC-RAS 4.1.0. The resulting flood area has been modelled on the basis of data on cross sections, water objects and N-year flows and is transferred to the base map for a better visual idea. On the basis of the resulting outputs is possible to assess the level of peak flows. The conclusion is a discussion of the results and effectiveness of the realized flood control measures after the flood 2002.

Keywords: HEC-RAS, floods, flood plain area, flow, cross sections, Volyňka

Obsah

1. Úvod.....	8
2. Cíl práce.....	9
3. Metodika.....	10
4. Povodně.....	11
4.1. Historie povodní.....	12
4.2. Historie povodní na Povodí Otava.....	14
4.3. Typy povodní.....	15
4.4. Prevence povodní.....	18
4.4.1. Přírozená prevence proti povodním – Retence, revitalizace a vegetace.....	19
4.4.2. Protipovodňová opatření.....	23
4.5. Stupně povodňové aktivity.....	25
4.6. Záplavová území.....	26
4.6.1. Stanovení aktivní zóny záplavového území.....	28
4.8. Povodňové plány.....	31
4.8.1. Mapy povodňového nebezpečí a mapy povodňových rizik.....	32
4.9. Návrh opatření pro zvládnání povodňových rizik.....	32
4.10. Hlásná a předpovědní služba (HPPS).....	32
4.11. Stanovení záplavových území.....	34
5. Hydrologické modely.....	36
5.1. 1D matematické modelování.....	38
5.2. 2D matematické modelování.....	39
5.3. 3D matematické modelování.....	39
5.4. Přehled vybraných modelů.....	40
5.4.1. MIKE-SHE.....	40
5.4.2. MIKE 11.....	40
5.4.3. HEC – RAS (Hydrologic Engineering Centers - River Analysis System).....	41
5.4.4. SAC – SMA (Sacramento – Soil Moisture Accounting).....	42
5.4.5. DesQ - MaxQ.....	43
5.4.6. HYDROG.....	43
6. Charakteristika vodního toku Volyňka a jeho povodí.....	45
6.1. Charakteristika oblasti Povodí Horní Vltava.....	45
6.1.1. Vymezení oblasti povodí.....	45

6.1.2.	Geomorfologické poměry	46
6.1.3.	Geologické poměry.....	49
6.1.4.	Hydrogeologické poměry	50
6.1.5.	Hydrologické poměry	51
6.1.6.	Pedologické poměry	52
6.1.7.	Klimatické poměry	52
6.1.8.	Lesní poměry.....	54
6.1.9.	Sídelní struktura	54
6.1.10.	Využití ploch v oblasti povodí.....	54
6.1.11.	Zkrácení toků v povodí Otava	54
6.2.	Charakteristika zájmového území	56
6.3.	Charakteristika vodního toku Volyňka	56
6.4.	Charakteristika vodohospodářských objektů na řešeném úseku Volyňky..	58
7.	Vlastní část - určení záplavového území.....	63
7.1.	Program HEC-RAS.....	63
7.2.	Určení záplavového území	64
7.2.1.	Data potřebná pro výpočet	64
7.2.2.	Seznámení s programem	65
7.2.3.	Schematizace říční sítě	66
7.2.4.	Zadávání příčných profilů	67
7.2.5.	Zadávání objektů v korytě.....	68
7.2.6.	Zadávání okrajových podmínek pro ustálené proudění.....	70
7.2.7.	Výpočet ustáleného nerovnoměrného proudění.....	71
8.	Výsledky	72
9.	Možný návrh	81
10.	Diskuze.....	82
11.	Závěr	83
12.	Použitá literatura.....	84
	Seznam obrázků.....	90
	Seznam tabulek	92
	Seznam fotografií.....	93
	Seznam příloh	94

1. Úvod

„Voda má rozpuštěné vlasy.“ Pod touto větou z písně Motlitba za vodu je možno si představit rozpuštěné vlasy vody jako nespoutaný živel, který chce ukázat svoji sílu. A to nejen jako zdroj, bez kterého nelze žít, ale představit si jej jako hrozbu, se kterou lidstvo musí počítat v podobě povodní. Po povodňových událostech v letech 1997 a 2002 nás není třeba přesvědčovat o tom, čeho je voda schopna. Snaha ochránit pouze svůj majetek popř. svou obec při katastrofě jako je povodeň by mělo ustoupit komplexnímu řešení protipovodňové ochrany. „Co sis nadrobil, to si taky sněž.“ Platí to i v případě vztahu člověk versus příroda. Je třeba si připomenout, že přírodní katastrofy jsou součástí přirozeného cyklu přírody. V historii četnost výskytu povodní byla menší, než jak je tomu dnes. Avšak tento fakt lze připsat tomu, že minulost se může pyšnit tím, že vodní toky měly své přirozené meandry, údolní nivy břehové a doprovodné porosty nebo nevydlážděná koryta. Oproti nedávné minulosti, kdy docházelo ke značným úpravám, zejména napřimování toků, vybetonování koryta toků, budování zemědělského odvodňování, přeměňování přirozených rozlivů na zemědělské půdy. To vše vedlo ke zrychlování průtoků a vybřežování v osídlených oblastech. V současnosti dochází k obnovování původního stavu a to především díky komplexní propracované protipovodňové ochraně, v podobě revitalizací a protipovodňových opatření.

Tato práce obsahuje dvě hlavní části, literární rešerši a vlastní část. V literární rešerši se zabývám problematikou povodní, zejména z hlediska platné legislativy, prevencí před povodněmi a to v rámci revitalizace, zvýšení retence půd, a často opomíjené vegetace. V následující kapitole je diskutováno o možnostech hydrologických modelů a několik z nich je detailněji popsáno. Ve vlastní části charakterizují oblast dotčeného povodí a vybraný vodní tok Volyňka.

Zájmové území řeky Volyňky se nachází v Jihočeském kraji, v okrese Prachatice, v katastrálním území Vimperk. I město Vimperk se nevyhnulo ničivým povodním v roce 2002, kdy je tato povodeň považována za stoletou. Proto díky této diplomové práci mám možnost zjistit, co za následky bude mít potencionální rozliv při kulminačních průtocích až Q_{100} . To vše bude zpracováno pomocí programu HEC-RAS, který vznikl v 60. letech v USA jako armádní hydrologický software. Z pořízené fotodokumentace povodně ve Vimperku z roku 2002 bude možno porovnat fotografie s výslednou simulací.

2. Cíl práce

Cílem této práce je seznámení s problematikou povodní, protipovodňové ochrany a matematických modelů. Dále charakterizovat vybraný vodní tok a objekty na něm se vyskytující. V hlavní části pak sestavit hydraulický model a určit záplavové čary pro průchod N-letých průtoků a následné zakreslení do situace. Vyhodnocením výsledků bude možno stanovit, zda provedené úpravy na vodním toku jsou dostačující pro zkoumané N-leté průtoky a případně navrhnout další opatření.

3. Metodika

Nejprve bylo důležité se seznámit s problematikou povodní, protipovodňových opatření a matematických modelů v podobě literární rešerše. Doplňkem rešerše je i charakteristika Povodí Horní Vltavy, vodního toku Volyňka a vybraných vodohospodářských objektů.

Pro vypracování vlastní části bylo nutné v první řadě vybrat si úsek vodního toku pro zjištění záplavového území. Jasnou volbou byl pro mne vodní tok Volyňka, konkrétně její část protékající Vimperkem, který je i místem mého bydliště. I Vimperk v roce 2002, jako celou republiku zasáhly ničivé povodně. Následně byla i zde realizována protipovodňová opatření např. v podobě nábřežních zdí a terénních úprav koryta toku. Pokračovala jsem v charakteristice Povodí Horní Vltava, vodního toku Volyňka a vodohospodářských objektů.

Dalším krokem bylo získání potřebných dat pro výpočet. Na žádost, že data budou využita pouze ke studijním účelům, mně Povodí Vltavy poskytlo potřebné údaje. Nutné bylo uskutečnit i terénní průzkum, který sloužil k zhodnocení aktuální situace a pořízení fotodokumentace. Následovala samotná práce s programem HEC-RAS 4.1.0. Pro výpočet bylo zapotřebí zadat geometrii příčných profilů a objektů a okrajové podmínky v podobě získaných N-letých průtoků. Posledním krokem bylo spuštění samotného výpočtu, což představovalo nejméně náročnou akci. Na závěr bylo nutné vyhodnotit výsledky modelu, navrhnout možná řešení, aby se zabránilo rozlivu a prodiskutovat výsledky s možným návrhem.

4. Povodně

Úvodem je nutné si vymezit pojem povodeň. Tento termín je definován v zákoně č. 254/2001 Sb. o vodách. V § 64 jsou povodně charakterizovány jako přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody. Povodeň může být způsobena přírodními jevy. Táním, dešťovými srážkami nebo chodem ledů (přírozená povodeň) nebo jinými vlivy, zejména poruchou vodního díla, která může vést až k jeho havárii (protržení) nebo nouzovým řešením kritické situace na vodním díle (zvláštní povodeň).

Slavíková (2007) uvádí, že povodeň je fáze hydrologického režimu vodního toku, která se vyznačuje náhlým, obvykle krátkodobým zvýšením průtoků a vodních stavů. Zvýšení je vyvoláno dešti nebo táním sněhu a může se vyskytnout vícekrát během roku v různých ročních obdobích. Přechodné výrazné zvýšení hladiny toku, způsobené náhlým zvětšením průtoku nebo dočasným zmenšením průtočnosti koryta (např. ledovou zácpou); zpravidla způsobí povodeň na některých úsecích toku a hospodářské škody podle stupně vybudované ochrany (ČSN 736510).

Velké povodně patří v České republice k nejčastěji se vyskytujícím přírodním katastrofám, způsobující obrovské materiální škody a ztráty na lidských životech. Podle historických hydrologických záznamů, které jsou např. na Labi k dispozici od roku 1845, byly velké povodně poměrně časté ve druhé polovině minulého století. Jejich výskyt pozvolna ustával a druhá polovina 20. století na výskyt velkých regionálních povodní byla již vysloveně chudá. Až do nedávné minulosti, kdy došlo na našem území k několika ničivým povodním. Povodně v posledních letech důkladně prověřily úroveň povodňové ochrany a systém povodňové služby v České republice (Kubát, 2001). Žádná povodeň není svým projevem stejná. Je jedinečná, jako jsou v daktyloskopii otisky lidských rukou. Mechanismy vzniku u téhož druhu povodní se mohou sice podobat, ale dynamika vyvolané situace v povodí a účinky na životní prostředí mají obvykle svá specifika. Z toho pro zmírňování škod vyplývá, že z každé povodňové situace je nutno se poučit a rozšiřovat si stále poznatky i zkušenosti, jak se před škodlivými důsledky těchto pohrom dokonaleji chránit. Díky povodním v letech 1997, 2002 a 2006 začaly vznikat rozsáhlé projekty vyhodnocující povodňové situace v již zmíněných letech iniciované a podporované vládou ČR, které přinesly mnoho cenných poznatků a otevřely i cestu k dalším rozvojovým aktivitám. U klíčových nestrukturálních opatření šlo například o:

- zdokonalení meteorologických modelů a prodloužení časového předstihu kvantitativních předpovědí srážek,
- zlepšení radarového monitoringu pohybu dešťových jader,
- postupné rozšiřování aplikací hydrologických předpovědních modelů na povodí vodohospodářsky významných toků včetně instalací k tomu potřebných automatizovaných objektů hlásného systému,
- rozvoj příslušných legislativních opatření, z nichž nejvýznamnější byla inovace zákona o vodách, vydání zákona o krizovém řízení,

zákona o integrovaném záchranném systému, zákona o hasičském záchranném systému aj.

- odstranění dřívějšího mnohakolejného krizového řízení v České republice tím, že odpovědnost za pokud možno jednotný přístup ke zvládnutí pohrom byla přidělena Ministerstvu vnitra, a to především Hasičskému záchrannému sboru (Hladný, 2007).

4.1. Historie povodní

Pro plánování v oblasti ochrany před povodněmi a vodního režimu krajiny je nutné znát rozsah a možnou četnost výskytu povodňových situací i suchých období a to v kontextu se skutečnostmi, které už kdysi nastaly. Je pravděpodobné, že se v budoucnu mohou znova opakovat. Informace o extrémních historických hydrologických situacích jsou jedním z nejdůležitějších podkladů pro návrh opatření na jejich minimalizaci (Povodí Vltavy 1, 2009).

Od počátku osídlení Země jsou lidé vystaveni projevům přírody ve formě katastrof, jako jsou např. povodně, zemětřesení nebo větrné smrště. Povodně jsou přirozeným cyklem přírody (Hudečková, 2011). Povodně a silné zimy patří k těm kronikářským zápiskům, které mají největší frekvenci. Je pochopitelné, že středověký letopisec si všiml právě takových pohrom, které měly celoplošný dopad ve velkém měřítku. V době, kdy neexistovala regulace toku, představovala velká povodeň vážné nebezpečí (Cílek, 2004). Dějepis povodní z území České republiky však nejen prozrazuje, ale i varuje, že časové seskupování povodňových epizod do kratších údobí je možné, byť z hlediska historického a postižení stejného území nejde o běžný jev (Hladný, 2007). Hudečková (2011) se zmiňuje, že v dávné historii povodně nebyly tak časté díky meandrování řek a říčním nivám, ale v nedávné minulosti zásluhou např. napřimování toků pro získání větší plochy zemědělské půdy a rozšiřování městských částí, se voda přirozeně nerozlévá do luk, ale během své cesty nabírá rychlost a míří přímo do obydlených oblastí. Hladný (2007) doplňuje, že zejména v poválečných desetiletích hospodářská činnost pronikala často do bezprostřední blízkosti toků, mnohdy až na samotnou linii jejich břehového vymezení. Jakoby se zapomínalo, že prostor údolních niv byl odjakživa průtočným koridorem, vymezeným přírodou k tomu, aby jím mohl jakýkoliv objem povodňového odtoku z krajiny procházet.

Proto je nutné zaměřit se na revitalizaci malých vodních toků a vytvoření opatření pro zachycení vody (Hudečková, 2011). Dlouhá léta jsme byli ukolébáváni pocitem, že se nás přírodní katastrofy netýkají. V roce 1997 postihly naši republiku ničivé povodně, které spustily rozsáhlé diskuze. Tudiž ČR byla přeci jen lépe připravena na povodeň v srpnu 2002 a následující povodně. Na základě historických záznamů ale i nedávných extrémních povodní je zřejmé, že protipovodňová ochrana sídel, technických děl a cenné hospodářsky využívané půdy je bohužel nutnou součástí života společnosti. Znalost či alespoň kvalifikovaný odhad příčin, průběhu a dopadů povodňových vln jsou nezbytné pro každé území, které může být takovouto extrémní situací zasaženo (Hrnčíř, 1997).

Jak říká Cílek (2004), velké povodně patří mezi periodicky se opakující přírodní jevy, jejich vzniku není možné zabránit žádnými technickými opatřeními. Absolutní ochrana území před povodněmi není možná a je třeba vycházet ze společensky přijatelné, diferencované, realistické a všeobecně dohodnutelné míry ochrany území. Hladný (2007) podotýká, že nepřímé následky povodní dokumentují čím dál rozsáhlejší negativní řetězové reakce v socio-ekonomické sféře, jejichž důsledky se již obvykle jen stěží dají hodnotově vyčíslit.

První zmínky o povodních se datují do roku 1118 – podzim, na Vltavě. Voda šla přes most ve výšce 10 loket (Cílek, 2004).

1432 - červenec, Vltava, na Staroměstském náměstí se jezdilo na loďkách. Voda odnesla všechny mlýny z řeky. Zničeno bylo velké množství domů v Praze, Berouně (Berounka) a v Písku (podemlet kamenný most - Otava), (Cílek, 2004).

1784 - od počátku 19. stol. je možné sledovat povodně i průtokově, v 18. stol byla ničivá povodeň, která postihla nejen Prahu, ale i celé Čechy (Cílek, 2004).

1890 – tato povodeň patří mezi několik mohutných povodní, které postihly celé Čechy. Důvodem byly několikadenní srážky po celém území. Rekordní úhrn srážek byl naměřen na stanici Žofínský zámek v povodí řeky Malše, kde od 1. do 4. 9. napršelo 243 mm (Cílek, 2004).

1954 – povodeň dosáhla přirozeného maxima 2920 m³/s. Vznikla po mimořádných třídních srážkách, které dosáhly celkové kulminace 100 – 150 mm. Pro tuto povodeň bylo velmi charakteristické rychlé stoupání průtoku (Cílek, 2004).

1997 - povodně byly způsobeny mimořádnou koncentrací srážek na poměrně malém území v krátkém časovém úseku především v povodí Moravy a Odry s následnou více než stoletou vodou. Povodeň měla dvě fáze, které měly delší trvání a následovaly v delším časovém odstupu. Do povodí Odry spadla asi jedna miliarda m³ vod, do povodí Moravy po ústí Dyje 1,5 miliardy m³ vody (Cílek, 2004).

2002 – katastrofální srpnové povodně byly způsobeny postupem dvou výrazných tlakových níží a s nimi spojených frontálních systémů přes střední Evropu v krátkém časovém odstupu za sebou. V povodí Vltavy spadlo od 6. do 13.8 téměř pět miliard m³ srážek (Cílek, 2004). Při této povodni byla ve významných profilech (i po započtení kulminace z roku 2002 do souboru kulminací) dosažena N - letost rovná nebo větší 100-200). Na Lomnici v Dolním Ostrovci šlo dokonce o vodu 1000 - letou (Povodí Vltavy 1, 2009).

2006 - nejvíce postiženo bylo tentokrát povodí Nežárky (Q₂₀ až Q₅₀) a Lužnice (Q₅₀ až Q₁₀₀), (Povodí Vltavy 1, 2009). Během zimního období se na velké části území ČR vytvořily značné zásoby vody ve sněhové pokrývce. Nejvíce srážek za období 25.3.–3.4. 2006 (40–60 mm) spadlo s výjimkou hor v oblasti Českomoravské vrchoviny a Brd. Nejdeštivější byl 28. březen, kdy spadlo místy až 30 mm. Srážky významně působily jako katalyzátor tání a odtoku vody ze sněhové pokrývky (VÚV TGM, 2006)

2009 - výjimečnost hydrometeorologické situace v poslední dekádě června a na začátku července spočívala v typu synoptické situace (V až JV proudění), která trvala poměrně velice dlouhou dobu, silnými srážkami a následnými přivalovými

povodněmi byla často postihována stejná území. Kulminační průtoky na nejvíce zasažených povodích (zejména na Novojičínsku) často značně přesáhly stávající hodnoty 100letých průtoků a rovněž maximální specifické odtoky byly velmi významné (zejména povodí Jičínky), (CHMU, 2009).

Velké letní povodně s obvykle pustošivým účinkem na území České republiky jsou způsobovány určitými cirkulačními podmínkami v atmosféře, které mají za následek výskyt plošně rozsáhlých vydatných dešťů s trváním od jednoho až do několika dnů. Obecně se váže vznik srážek na existenci výstupných pohybů vzduchu, k nimž dochází termickou konvekcí se vznikem bouřkových mraků, při orografických návětrných efektech, v oblasti cyklon a brázd nízkého tlaku v nižších hladinách atmosféry, jakož i cyklonálními pohyby vzduchu v oblasti atmosférických front. Většinou se na vypadávání povodňových srážek podílí kombinace několika těchto příčin nebo působení všech (Hladný, 2007).

4.2. Historie povodní na Povodí Otava

Na konci 19. století se v krátkém sledu vyskytlo několik po sobě jdoucích povodňových situací, zatímco druhá polovina 20. století byla mezi roky 1954 a 1981 na velké povodně relativně chudá. Z hlediska sezonality výskytu v roce je pak zřetelná převaha 11 případů z letního hydrologického půlroku oproti jednomu respektive dvěma případům ze zimního hydrologického půlroku (Vlasák, 2004).

Velké povodně na Otavě se s mnohem větší pravděpodobností vyskytly v minulosti od května do října než ve zbytku kalendářního roku. Způsobily je intenzivní frontální srážky, které zasáhly zpravidla větší území české kotliny. Srážky byly u všech letních povodní spojeny s výskytem tlakové níže pohybující se z oblasti středomoří směrem k severovýchodu a v plošném rozložení vykazovaly relativně slabší orografické zesílení, než je tomu obvyklé u západních cyklonálních situací. Jádrem příčinné srážky se často nacházelo v oblasti mezi Kašperskými Horami a Vimperkem. Ukazatel předchozích srážek před povodní dosahoval v jednotlivých případech různých hodnot, a i když je možné tvrdit, že zvýšená nasycenost má značný vliv na velikost kulminace povodňové vlny, tak relativně suché období není zárukou, že velká povodeň v povodí Otavy nehrozí (Vlasák, 2004).

Povodeň v srpnu 2002 je v porovnání s ostatními analyzovanými povodněmi výjimečná v první řadě výrazně větším kulminačním průtokem. Stejně tak extrémní je sedmidenní úhrn srážek, který výrazně převyšuje úhrny u kterékoliv z analyzovaných povodní. Opakování srážkových epizod v krátkém sledu za sebou mělo mimo jiné také vliv na neobvykle vysoký podíl hlavního přítoku Blanice na celkové kulminaci povodně v závěrovém profilu v Písku (Vlasák, 2004).

Jediná prokazatelně smíšená povodeň při $Q_{max} > Q_{10}$ ve zkoumaném období je povodeň z prosince 1993, kdy zásoby sněhu ve vrcholových polohách Šumavy před povodní dosahovaly kolem 100 mm vodního ekvivalentu. Přesto i u této povodně je zřetelná převaha podílu dešťových srážek na celkovém objemu povodňové vlny (Vlasák, 2004).

V době velkých povodní na Otavě se v drtivé většině případů vyskytly následné velké průtoky v Praze, kde přesáhly hodnotu $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což je zde 3 až 4 - letý průtok (Kakos, 1983). Povodí Otavy přitom zabírá pouze necelých 11% celkové plochy povodí Vltavy po Prahu a kulminační průtok se podílel zhruba 20 až 30% na velikosti kulminace Vltavy v Praze. Z toho vyplývá, že velké povodně na Otavě nebyly nikdy lokální záležitostí, naopak vysokými odtoky muselo být zasaženo mnohem větší území (Vlasák, 2004).

Pro povodňové průtoky na Otavě je charakteristické zpoždování kulminace Blanice za kulminací hlavního toku. Tento důležitý efekt, který příznivě snižuje potencionální velikost maximálního průtoku v Písku, je způsoben jednak existencí přehrady Husinec v horní části povodí a dále přírodními podmínkami dolní části povodí Blanice, které prodlužují postupovou dobu povodňové vlny a způsobují její silnou transformaci (Vlasák, 2004).

Vlasák (2004) tvrdí, že u druhé povodňové vlny ze srpna 2002 byl ovšem podíl Blanice značný, a naprosto se tak vymyká ostatním analyzovaným povodním, ze kterých byly údaje z Blanice k dispozici. Hlavní příčiny tohoto extrému jsou následující:

- nejvyšší úhrny srážek při druhé vlně byly naměřeny právě v povodí Blanice,
- fyzicko-geografické poměry dolní Blanice (sklonitost, podloží) způsobují pomalejší odvodňování půdních zón, a tedy i vyšší citlivost na srážkové epizody, které se opakují v krátkém sledu po sobě,
- nádrž Husinec byla z větší části naplněná a její ochranný efekt při druhé vlně byl zanedbatelný.

4.3. Typy povodní

Nejenom v ČR, ale po celém světě se objevují různé typy povodní. V následujících řádcích je jejich výčet:

1. Povodně z tání

- Velké povodně způsobené táním sněhu vznikají v zimním i jarním období. Nebezpečnými faktory jejich vzniku jsou velké množství sněhu, zejména v nižších a středních nadmořských výškách, zima bez výskytu dílčích tání, promrzlá půda pod sněhovou pokrývkou, rychlé oteplení s teplotou vzduchu nad bod mrazu i v noci, a především dešťové srážky v průběhu oblevy (ČHMÚ, neuvedeno). Nejdříve se voda, která spadla na zemský povrch v podobě sněhu, zadržuje ve sněhové pokrývce. Teprve při oblevě odtéká tato voda z území. Množství vody, které zadržuje sněhová pokrývka, se může lišit. Napadne-li 1 cm prachového sněhu, odpovídá to 1 mm dešťových srážek, tj. 1 litru na m^2 vody.
- Dle Hrádka (2008) je jedním z důležitých termínů zásoba vody ve sněhové pokrývce H_s [mm], což je vrstva vody, která by vznikla

roztáním sněhové pokrývky na uvažované ploše (povodí). Zásoba vody ve sněhové pokrývce se odhaduje podle průměrné výšky sněhové pokrývky H_{sn} na uvažované ploše a vodní hodnoty sněhu:

- $H_s = H_{sn} * s$

H_szásoba vody ve sněhové pokrývce [mm]

H_{sn}průměrná výška sněhové pokrývky na uvažované ploše [mm]

svodní hodnota sněhu ($s = 0,1$ až $0,4$)

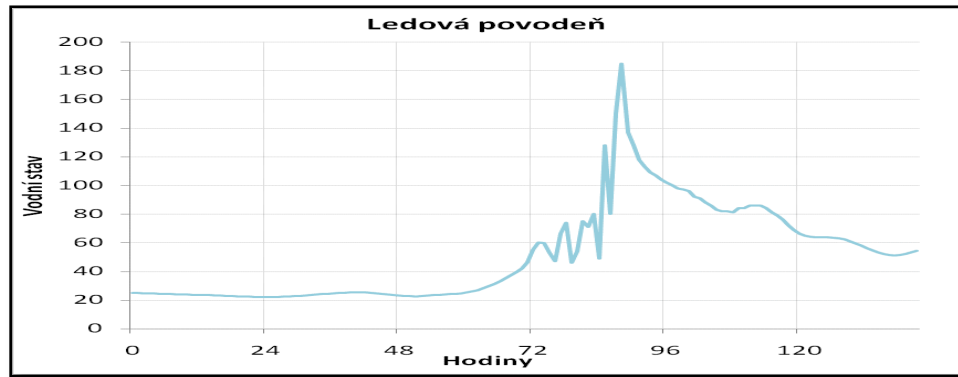
Odtokové výšky z tajícího sněhu za 24 hod vychází průměrně 8 až 12 mm, hodnoty 15 až 20 mm se považují za vysoké, hodnoty 25 až 30 mm za extrémní.



Obr. č. 1: Typický průběh povodně při povodni z tání sněhu (ČHMÚ, nevedeno)

2. Ledové povodně

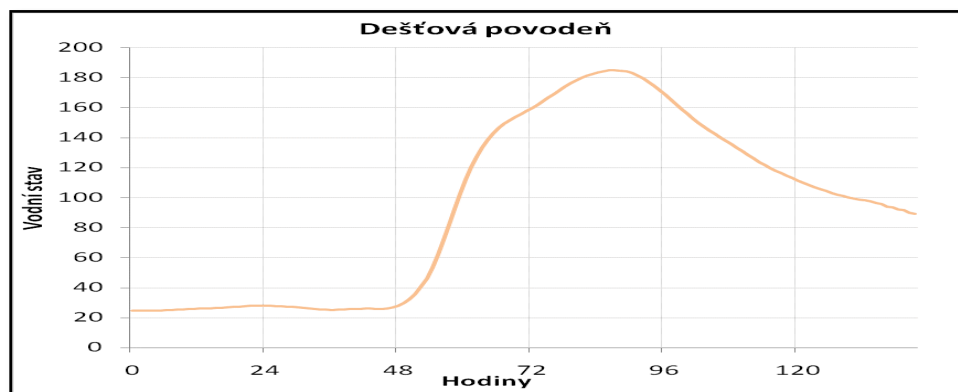
- K povodňovým událostem přispívá jak tzv. okrajový led, hladinový led nebo led na dně (Slavíková, 2007). Díky zámrazu řeky se zmenšuje průtočný profil, navíc při oblevě jsou kry unášeny a mohou vytvořit ledové bariéry (ČHMÚ, nevedeno). Stále se zvětšující barikády z tekoucích ker zatarasí tekoucí vodě cestu. Odtok v řece je natolik omezen, že řeka vystoupí z břehů. Řeky nezamrzají vždy směrem od hladiny ke dnu. Ledové krystaly se mohou v důsledku turbulencí dostat na dno a tam přimrznout. Koryto se zesponduje a ze stran stále více zužuje, až voda hledá jinou cestu k odtoku (Slavíková, 2007). V našich podmínkách se jedná spíše o lokální zaplavení.



Obr. č. 2: Typický průběh povodně při ledové povodni (ČHMÚ, nevedeno)

3. Dešťové povodně

- Několikadenní intenzivní srážky, často zesílené na návětrí hor, nasytí půdu, která již dále není schopna zadržovat vodu. Vznikají povodně. Nebezpečné je, pokud před vlastní povodní bylo vlhké období a půda byla nasycena vodou už před začátkem silných srážek. Tento typ povodní postihuje nejen malé řeky a potoky, ale i velké toky, které zaplavují rozsáhlé oblasti říčních niv až po několik dní (ČHMÚ, nevedeno). Jsou-li během 24 hodin překročeny hodnoty srážek 15 - 30 mm, vzrůstá pravděpodobnost vzniku povodně (Slavíková, 2007).



Obr. č. 3: Typický průběh povodně při dešťové povodni (ČHMÚ, nevedeno)

4. Letní přívalové povodně

- Přívalové povodně vznikají následkem krátkodobých a velmi intenzivních přívalových srážek při letních bouřkách, kdy během 1 až 6 hodin může vypadnout více než 100 mm srážek. Rychlý přísun srážek nestačí půda vsakovat a voda odtéká rychle po povrchu. Často odnáší půdní materiál a způsobuje erozi. I když zasažená plocha není velká, voda proudí velmi rychle, má velkou ničivou sílu a způsobuje značné škody (ČHMÚ, nevedeno).

5. Zvláštní povodně

- Zvláštní povodně vznikají havárií vodních děl – protržením hrází rybníků či přehrad. Jsou velmi rychlé, ale výjimečné.

6. Další typy: Pluviální povodně, bahnotoky, povodně na mořském pobřeží, povodně z podzemních vod, tsunami.

4.4. Prevence povodní

Absolutní ochrana proti povodním neexistuje, cílem protipovodňových opatření může být tedy pouze minimalizace jejich důsledků, především zamezení ztrát lidských životů. Rámcové cíle ochrany před povodněmi vytyčuje Plán hlavních povodí ČR v oblastech legislativních a ekonomických nástrojů, přípravy povodňových plánů, zdokonalování podkladů, finanční a pojišťovací politiky, usměrňování aktivit v záplavových územích a v nezbytnosti mezinárodní spolupráce a aktivit dlouhodobé povahy a s dlouhodobými efekty (Povodí Vltavy 1, 2009). Jeníček (2007) doplňuje, že mezi ničivé následky povodní nepatří její vlastní záplava, ale i katastroficky probíhající procesy erozní a akumulací. Dále Hladný (2007) zmiňuje, že hodnota hmotných ztrát v celosvětovém měřítku následkem přírodních pohrom všeho druhu je v poslední dekádě osmkrát větší než v dekádě šedesátých let minulého století. Přitom až 70 % z nich bylo způsobeno nebezpečnými meteorologickými a hydrologickými situacemi. Mezi nimi povodňové pohromy zaujímají přední místo. V celkovém souhrnu škod se podílejí zhruba jednou třetinou.

Váška (2001) uvádí, že je důležité věnovat pozornost prevenci, tzn. vyhledávat povodí, které v důsledku topografie, půdních poměrů a způsobu využívání jsou rizikové, ve kterých příčinné deště mohou způsobit výrazné škody a do nich soustřeďovat preventivní opatření.

Slavíková (2007) se zmiňuje, že prevence spočívá zejména v omezení potenciálních povodňových škod – tj. vytyčení záplavových území, jejich zasazení do územních plánů i zajištění toho, aby tato území nebyla zastavěna. Patří sem mimo jiné volba odolných stavebních materiálů a zabezpečení budov protipovodňovými dveřmi a okny. Vytyčení záplavových území, předpovědní a hlásková povodňová služba zajišťuje a financuje stát. V zastavování záplavových území a v přizpůsobení staveb riziku povodní hraje velkou roli rozhodování představitelů obcí a veřejnosti (Slavíková, 2007). Hlavní zásady protipovodňové ochrany v České republice shrnuje dokument Strategie ochrany před povodněmi pro území České republiky. Hladný (2007) rozšiřuje myšlenku o to, že zahraniční ekonomické výzkumy prokazují, že vhodnými preventivními opatřeními s dobře fungující a moderně vybavenou výstražnou i předpovědní službou a za spoluúčasti obyvatelstva, osvětově vychovaného ke kázi a k pohotovému reakci, lze snižovat tyto ztráty až do 30 % jejich skutečné výše v závislosti od rozměrů povodně. Pro extrémní povodně je horní hranice pro možnou redukci povodňových škod samozřejmě menší. Zde se kromě jiného uvádí (Usnesení vlády ČR č. 382/2000):

- prevence je nejefektivnější formou ochrany

- na realizaci preventivních opatření se musí podílet vlastníci a správci nemovitostí
- je nutné najít vhodnou kombinaci mezi opatřeními k podpoře přirozené retence a technickými protipovodňovými opatřeními
- je nutné zkvalitnit informační systém a nástroje k modelování průběhu povodní

Průměrné charakteristiky povodňových škod a jejich vztah k meteorologickým a hydrologickým příčinám by měly být proto směrodatnými podklady při úvahách o sestavení příslušných rozpočtů na rozvoj preventivních protipovodňových opatření.

Realizace Strategie je naplňována pomocí programů pověřených resortů v rámci programového financování. Jedná se především o: Program MZe 229 060 Podpora prevence před povodněmi, Program MZe 129 120 Podpora prevence před povodněmi II, Operační program Životní prostředí, Program rozvoje venkova, Program péče o krajinu (Povodí Vltavy 1, 2009).

4.4.1. Přirozená prevence proti povodním – Retence, revitalizace a vegetace

Nejenom vysoké průtoky a následné vyběžení se podílejí na zatopení krajiny. Velkou měrou k tomu přispívá i snížená retenční schopnost území. Ta se projevuje jako důsledek dlouhodobě nevhodného způsobu jeho využívání a stavu funkčnosti jednotlivých přírodních a technických prvků, které odtok retardují a akumulují. Tyto prvky tvoří tzv. retenční potenciál krajiny, který ovlivňuje schopnost území transformovat příčinné srážky na odtok, určuje jeho průběh a kulminaci a současně ovlivňuje i další transport látek, uvolněný např. erozními procesy (Váška, 2001). Snaha o zvyšování retenční schopnosti krajiny patří v moderní době nepochybně k jednomu z ambiciózních přístupů ke zmírňování povodňových škod. Zůstává však zatím otevřenou otázkou, s jakou maximálně možnou úlevou v povodňovém zatížení lze počítat při aplikaci tohoto postupu (Hladný, 2007).

Váška (2001) definuje retenční schopnost krajiny jako dočasné zadržení vody na vegetaci a objektech v povodí, zadržení vody v povrchové vrstvě půdy, v půdě, mikrodepresích, poldrech, protierozních příkopech, průlezech. Skutečná retence v povodí je dána především různým uplatněním a funkcí retenčních a akumulačních prvků při výskytu příčinného deště různého typu v závislosti na velikosti zasaženého území.

Retence tvoří neopomenutelnou skupinu preventivních opatření v krajině. Cílek (2004) uvádí, že ke zvýšení retenční schopnosti patří nejen zvýšení nebo zachování kapacity půdy a její infiltrační způsobilosti, ale také rozloha lesních a lučních porostů oproti orné půdě, ponechání a vytvoření lučních lesů a údolních niv, úprava hospodaření na orné půdě.

Vašků (1998) doplňuje, že za nejdůležitější hydrologické procesy, je možno označit přeměnu povrchového odtoku na odtok podpovrchový, schopnost akumulovat vodu, retenci (přirozené i umělé zdržení vody v krajině), drenážní schopnost, intercepci (zadržování vody na povrchu rostlin) a infilkačně-infiltrační

schopnost půdy, přičemž jejím nositelem jsou kanálky, trubičky a pukliny souborně nazývané pedohydatody. Bolt et al. (1975) tvrdí, že faktory, které ovlivňují infiltrační kapacitu horninové formace, jsou: 1) míra vlhkosti, 2) propustnost, 3) mocnost, 4) dosah perforování organizmy (např. červy, hmyzem, savci či kořeny rostlin). Závěrem je možno říci, že relativně ještě vyššího účinku ve zmírňování škod lze dosáhnout pak jen za předpokladu, bude-li zvyšování retenční schopnosti krajiny tvořit s ostatními opatřeními jeden systém (Hladný, 2007).

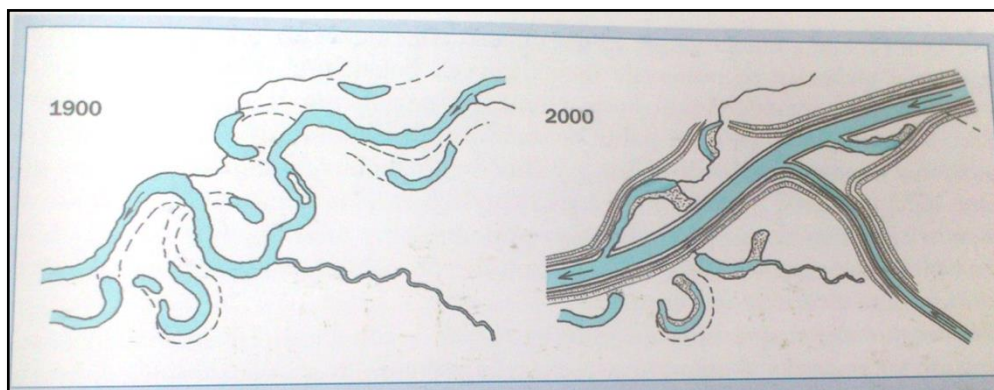
Nedílnou součástí krajiny jsou její stabilizační prvky, které mohou přispívat ke zmírnění následků povodní. Dle Vašků (1998) je možno zařadit mezi hydrologické stabilizační prvky v krajině:

- singulární lesíky (remízky, háje),
- meze,
- vsakovací pásy (zatravněné nebo dřevinné),
- strukturní terasy (vzniklé přirozenými erozně-denudačními pochody)
- selské terasy (dlouhodobě utvářené orbou),
- protierozní terasy (umělé terénní stupně),
- stráně a stráňky,
- průlehy (mělké přejezdné široké příkopy s mírným sklonem svahů),
- zatravněné nebo zalesněné údolní polohy, nivy, úpady a hloubené svahové tvary,
- umělé hrázký (k ochraně pozemků a objektů před zaplavením),
- příkopy, rybníky a malé hospodářské nádrže,
- tůně,
- suché nádrže . poldry (využívají se např.. zemědělsky, při povodni zachycují vodu),
- polní cesty a pěšiny, kamenné rovnaniny, kamenné snosy a svozy, úvozy,
- stabilizované strže (hluboké ronové rýhy 1,5 - 20 m),
- dobře stabilizované strže, u nich. se v průběhu vývoje vytvořilo ploché dno),
- rokle, aleje a osamělé dřeviny

Nástrojem pro příznivou změnu jednotlivých faktorů, ovlivňujících odtokové poměry, jsou především komplexní pozemkové úpravy, jejichž realizací dochází ke změně způsobu využívání pozemků a jejich obhospodařování, tj. ke změně rostlinného pokryvu a snížení erozních jevů v ploše povodí. Dalším nástrojem je optimalizace způsobu lesnického využívání krajiny, změna druhové a prostorové skladby lesních porostů ve prospěch jejich přirozené skladby, což znamená především převod dřevitých monokultur na smíšené porosty (Povodí Vltavy 1, 2009).

Mezi další možnosti zlepšování vodního režimu krajiny patří např. revitalizace koryt a výstavba suchých vodních nádrží (Povodí Vltavy 1, 2009). V minulosti péče o malé vodní toky vykazovala řadu problémů, které se v současné době projevují jako např. nedostatečná úroveň používání vegetačních opevňovacích

prvků. Díky intenzivnímu zemědělství mnoho toků ztratilo svůj přírodní charakter (Obr. č. 4)



Obr. č. 4: Ovlivnění meandrující řeky regulací (Just, 2005)

Ekologická funkce toků byla často potlačována s důrazem na technická řešení. To mělo za důsledek napřimování toků, vytváření opevněných prismatických profilů, zahlubování koryt, atd. Účelem revitalizace je odstranit nebo změnit negativní důsledky dřívějších nevhodných „regulačních“ úprav vodních toků v otevřené krajině, obnovit jejich ekologickou funkci, avšak při zachování účelových funkcí toku, pro které byl upraven (Křovák, 2001). Proto přírodní potoky, řeky, mokřady a další vodní prvky v krajině jsou v každém případě základní předlohou pro revitalizační opatření (Just, 2005). Tradičně se od revitalizací očekává obnovení hodnot vodních toků a niv z přírodovědeckého, krajinářského a vodohospodářského hlediska (Just, 2005). Revitalizace mohou vést k adaptaci na přívalové povodně. Z hlediska povodní vede změna morfologie toku k menší průtočné kapacitě, zmenšení postupové doby povodní a většinu rozlivu mezi řečiště. V úsecích toku, kde existuje údolní niva, způsobí rozliv zmenšení kulminačních průtoků. Tento efekt se však projeví pouze u povodní s rychlým vzestupem a krátkým trváním, u objemných povodní z několikadenních srážek nebo z několikátýdenního tání sněhu je nevýznamný. Z hlediska adaptace na hydrologické sucho lze považovat revitalizaci vodních toků za vhodnou, avšak zásadně neovlivní nedostatek vody v toku v období minim (Hanel, 2011). Revitalizace a revitalizační přístupy se mohou v ochraně před povodněmi uplatnit např. při podpoře přirozených rozlivů v nivách, vytváření přírodě blízkých ochranných opatření nebo podporu retence povodňových vod ve sníženinách vyhloubených v nivě (Just, 2005). Za nejdůležitější opatření, ve vztahu k protipovodňové prevenci v nivách, považujeme podle Tremla (2004) následující:

- Přijmout takové legislativní úpravy, které zajistí vymezení aktivních zón záplavových území podél celých toků, ne pouze v zastavěném území jako je tomu doposud. V těchto aktivních zónách zamezit intenzivnímu zemědělskému hospodaření, vymístit z nich veškeré stavby s výjimkou nezbytných vodohospodářských objektů.
- Chápat celé nivy jako potenciální záplavová území a neumožňovat v nich rozšiřování zastavěného území.
- Zmenšovat rozlohu orné půdy v nivách ve prospěch trvalých travních porostů a lesů, zejména se to týká orné půdy v blízkosti umělých překážek v nivě.

- Z hlediska preventivních opatření považujeme za důležitější než úpravy říčních koryt do předpovodňového stavu klást důraz na odstranění nebo úpravu identifikovaných nevhodných objektů v nivách.

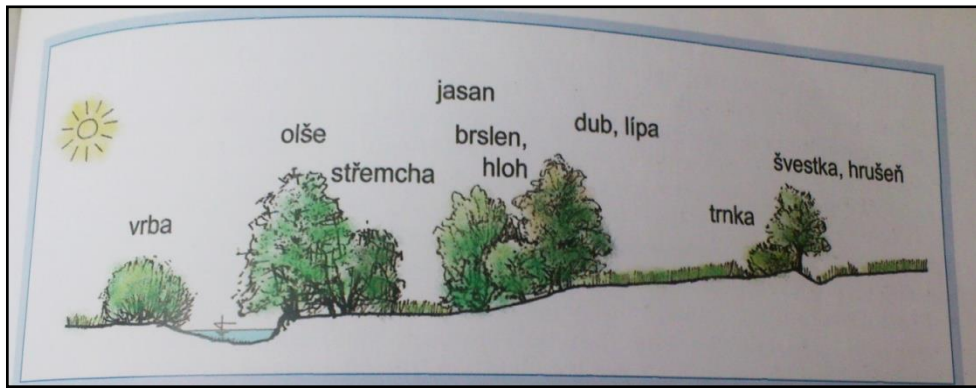
Obnova a posilování břehových a doprovodných porostů jsou významnými součástmi revitalizačních opatření. Porosty jsou přirozenou a nezbytnou součástí koryt vodních toků (Just, 2005). Je známo, že vegetace výrazně ovlivňuje infiltraci a zadržení vody v půdním profilu a také snižuje průtok. Důležité je vhodné zvolení druhu dřeviny nehledě na to, jak snáší určitou dobu zatopení a jejich vzájemné rozmístění.

Druhovú skladbu dřevinných břehových porostů vychází z jednotlivých druhů dřevin a jejich charakteristik významných pro jejich růst a vývoj na březích vodních toků. Jsou to tvar kořenového systému, odolnost proti poškození, schopnost regenerace po poškození a odolnost proti záplavám. Hlavním úkolem břehových porostů je chránit břehy proti vodní erozi, a proto jsou pro tuto funkci nejvhodnější dřeviny s hlubokými a dostatečně rozvětvenými kořeny nebo s kořeny srdčitého typu (Ehrlich, 2003).

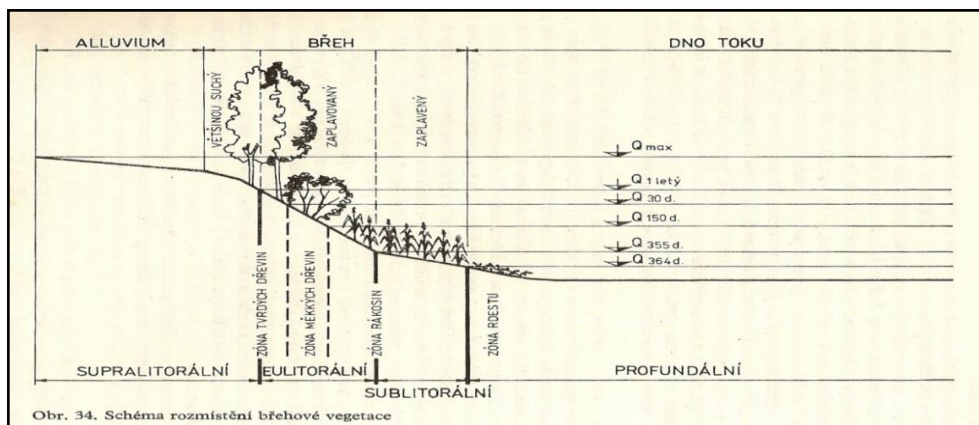
Foltýn (1997) tvrdí, že funkční pojetí břehových porostů je vlastně abstrakcí a zjednodušením pohledu a profesního zájmu hodnotitele. To je potřeba mít při provádění zásahů do břehových porostů stále na paměti, abychom se vyvarovali prosazování jednostranného profesního pohledu bez ohledu na ostatní oprávněné zájmy. Známe například tyto funkce břehových porostů:

1. funkce stabilizační
2. funkce mikroklimatická
3. funkce samočistící
4. funkce produkční
5. funkce klimatická
6. funkce ekologická
7. funkce genetická
8. funkce krajnotvorná

Druhovú skladbu dřevinných břehových porostů vychází z jednotlivých druhů dřevin a jejich charakteristik, významných pro jejich růst a vývoj na březích vodních toků. Jsou to tvar kořenového systému, odolnost proti poškození, schopnost regenerace po poškození a odolnost proti záplavám. Hlavním úkolem břehových porostů je chránit břehy proti vodní erozi. Proto jsou pro tuto funkci nejvhodnější dřeviny s hlubokými a dostatečně rozvětvenými kořeny nebo s kořeny srdčitého typu. Z mnoha druhů dřevin, které svými ekologickými požadavky odpovídají danému stanovišti, se druhy volí i z hlediska konkurenčních vztahů (Ehrlich, 2003). Cílem zakládání břehových porostů je vytvořit vegetační společenstvo stromů a keřů, které svou druhovou skladbou nejlépe odpovídá stanovištním podmínkám a zastoupení jednotlivých druhů dřevin se blíží k porostům, které by v těchto podmínkách vznikaly přirozeným způsobem (Obr. č. 5). Při volbě druhového složení je třeba současně přihlížet k úkolům a funkcím, které musí založený břehový porost plnit (Obr. č. 6).



Obr. č. 5: Umístění hlavních druhů dřevin (Just, 2005)



Obr. 34. Schéma rozmístění břehové vegetace

Obr. č. 6: Schéma rozmístění břehové vegetace (Novák, 1986)

Doprovodné břehové porosty zdůrazňují průběh linie vodního toku. Pokud se také rozčleňují na menší uzavřené celky, přispívají k modelaci krajiny. Tu je nutno zdůraznit především tam, kde je nedostatek jiné roztroušené vysoké zeleně. Prostředkem k dosažení tohoto cíle je nepravidelné střídání skupin stromově rostoucích dřevin nesterpného vzrůstu (Novák, 1986). Opevnění břehů keřovitými vrbovými patří mezi nejfrekventovanější vegetační způsob používání. V úzkých korytech vodních toků s břehy souvisle opevněnými keřovitými vrbovými porosty může být průtok při stejné hloubce o 18 – 70 % menší než v korytech bez vrb (Novák, 1986), což vede ke zpomalení průtoku.

Na dřevinnou zeleň je nahlíženo dvěma pohledy. Z hlediska vodohospodářského může zeleň působit nepříznivě, pokud na nevhodných místech omezuje průtočnost nebo pokud představuje povodňové plaveniny a vytváří ucpávky a bariéry v objektech na toku. Ale současně musejí být zohledňovány její příznivé technické funkce (stabilizace koryta, posilování tlumivých účinků niv na povodňové rozlivy, atd.), (Just, 2005). Pokud se vyžaduje od břehových porostů, aby mohly plnit očekávané funkce a byla zajištěna jejich přiměřená kvalita, je nutné zajistit jim patřičnou péči (Foltýn, 1997).

4.4.2. Protipovodňová opatření

Povodně se v naší republice vykytují čím dál častěji, i několikrát za rok, proto je potřeba vynaložit co největší úsilí na to, aby následky povodní byly co nejmenší.

Proto je důležité budování protipovodňových opatření, která je možno dělit dle situace povodně na (z. č. 254/2001 Sb):

1. Přípravné opatření
 - např. stanovení záplavových území, vymezení směrodatných limitů stupňů povodňové aktivity, povodňové plány, organizační a technická příprava
2. Opatření při nebezpečí povodně a za povodně
 - např. činnost předpovědní a hlásné povodňové služby, varování při nebezpečí povodně, povodňové zabezpečovací a záchranné práce
3. Opatření po povodni
 - např. evidenční a dokumentační práce, vyhodnocení povodňové situace, odstranění povodňových škod a obnova území po povodni

Ochranná protipovodňová opatření se mají doplňovat navzájem, přičemž systém ochrany by měl začínat v horních částech povodí. Proto by výstavba retenčních nádrží měla představovat poslední krok protipovodňových opatření. Podkladem pro uskutečnění ekostabilizačních hydrologických opatření v krajině by se měly stát výsledky pravidelných revizí (jednou za 5 - 10 let) a revizí mimořádných (např. v době povodní a bezprostředně po nich), (Vašků, 1998).

Realizaci opravdu účinných protipovodňových opatření, jakými jsou zejména zadržování vody v neškodných rozlivech, v údolní nivě, poldrech a nádržích s hlavním účelem akumulace povodňových průtoků a zkapacitnění koryt v kombinaci s ochraněním obcí a posílením změny hospodaření v území, omezují velmi často vlastnické vztahy (Usnesení vlády ČR č. 496/2006).

Konvička (2002) dělí opatření podle jejich časové vazby k průběhu povodně na:

1. Opatření preventivní
 - a. Územně organizační opatření
 - souvisí s ovlivňováním procesu územního plánování v záplavových územích na základě kategorie záplavových území a jejich částí (stanovování povodňových plánů, zajištění kvalifikovaní hydrologické předpovědi, hlásné povodňové služby). Nejúčinnějším organizačním opatřením je však zabránění situování nových staveb do inundačního území.
 - b. Ekologická opatření
 - Opatření v širším povodí řek
 - Jde především o biotechnická a lesotechnická opatření spočívajících v návrhu konfigurace krajinných prvků, infiltračních území a v návrhu přirozené dřevinné skladby lesních porostů.
 - Opatření ke zvýšení protipovodňové funkce inundačního území

-
- částečné rozšíření záplavového území a umožnění samovolného rozlévání povodňových vod do povodí povodňové pláně
 - ohrazování zeleného pásu z jeho vnější strany, aby i nadále byla chráněna orná půda i všechny objekty v říční krajině
 - přeměnu orné půdy v nově rozšířeném inundačním území na lesní nebo luční kultury
- Opatření při ochraně urbanizovaných území
- c. Opatření stavebně technická
- v převážné většině charakteru stavebních objektů a konstrukcí (ochranné hráze, retenční nádrže). Jejich úkolem je snížit kulminační průtoky a redistribuovat objem povodňové vlny v prostoru a čase
2. Opatření operativní
- a. Opatření technická
- spočívající ve výstavbě provizorních mobilních konstrukcí zabraňujících rozlití vody v případě přímé hrozby podle aktuální povodňové situace ve vazbě na povodňový plán lokality. Mobilními prvky jsou např. pytlování, vakové konstrukce, mobilní hradidlové hrazení.
- b. Opatření organizační
- jejichž těžištěm jsou záchranné a evakuační činnosti, jejich zajištění a organizace.
3. Další opatření
- a. Přírodě blízká
- Just (2010) řadí mezi hlavní okruhy přírodě blízkých opatření např.:
- Revitalizace koryt vodních toků ve volné krajině
 - Ochrana ploch pro přirozené povodňové rozlivy
 - Přírodě blízká řešení kapacitních koryt v intravilánech, neboli intravilánové revitalizace

4.5. Stupně povodňové aktivity

Stupněm povodňové aktivity se dle § 70 zákona č. 254/2001 Sb. o vodách rozumí míra povodňového nebezpečí vázaná na směrodatné limity, jimiž jsou zpravidla vodní stavy nebo průtoky v hlásných profilech na vodních tocích, popřípadě na mezní nebo kritické hodnoty jiného jevu uvedené v příslušném povodňovém plánu.

K vyhlášení povodní je potřeba rozeznávat tři stupně povodňové aktivity (z. č. 254/2001 Sb.):

1. První stupeň (stav bdělosti) nastává při nebezpečí přirozené povodně a zaniká, pominou-li příčiny takového nebezpečí; tento stav nastává rovněž vydáním výstražné informace předpovědní povodňové služby; vyžaduje věnovat zvýšenou pozornost vodnímu toku nebo jinému zdroji povodňového nebezpečí, zahajuje činnost hlásná a hlídková služba; na vodních dílech nastává tento stav při dosažení mezních hodnot sledovaných jevů a skutečností z hlediska bezpečnosti díla nebo při zjištění mimořádných okolností, jež by mohly vést ke vzniku zvláštní povodně.
2. Druhý stupeň (stav pohotovosti) se vyhláší v případě, že, když nebezpečí přirozené povodně přerůstá v povodeň, ale nedochází k větším rozlivům a škodám mimo koryto; vyhláší se také při překročení mezních hodnot sledovaných jevů a skutečností na vodním díle z hlediska jeho bezpečnosti; aktivizují se povodňové orgány a další účastníci ochrany před povodněmi, uvádějí se do pohotovosti prostředky na zabezpečovací práce, provádějí se opatření ke zmírnění průběhu povodně podle povodňového plánu.
3. Třetí stupeň (stav ohrožení) se vyhláší při bezprostředním nebezpečí nebo vzniku škod většího rozsahu, ohrožení životů a majetku v záplavovém území; vyhláší se také při dosažení kritických hodnot sledovaných jevů a skutečností na vodním díle z hlediska jeho bezpečnosti současně se zahájením nouzových opatření; provádějí se zabezpečovací povodňové zabezpečovací práce podle povodňových plánů a podle potřeby záchranné práce nebo evakuace.

Povodeň začíná vyhlášením druhého nebo třetího stupně povodňové aktivity a končí odvoláním třetího stupně povodňové aktivity (není-li v době odvolání třetího stupně povodňové aktivity vyhlášen druhý stupeň povodňové aktivity. V tom případě končí povodeň odvoláním druhého stupně povodňové aktivity.) Povodní je rovněž situace, kdy stav nebo průtok vody v příslušném profilu nebo srážka dosáhla směrodatné úrovně pro některý z těchto stupňů povodňové aktivity podle povodňového plánu příslušného územního celku.

4.6. Záplavová území

Zákon č. 254/2001 o vodách v § 66 hovoří o záplavových územích jako o územích administrativně určených, která mohou být při výskytu přirozené povodně zaplavena vodou. Jejich rozsah je povinen stanovit na návrh správce vodního toku vodoprávní úřad. Konvička (2002) záplavová přirozená území člení dle pravděpodobnosti výskytu povodně a nezabezpečení povodňových průtoků na:

1. **Aktivní průtočnou zónu**, která je částí přirozeného záplavového území, do kterého je při povodních soustředěna rozhodující část celkového povodňového průtoku. Zóna, do níž se nesmí umísťovat stavby s výjimkou vodohospodářských děl, liniové stavby dopravní a technické infrastruktury (Konvička, 2002).

Odstavec 67 z. č. 254/2001 Sb. říká, že v aktivní zóně záplavových území (dále jen AZZU) se nesmí umísťovat, povolovat ani provádět stavby s výjimkou vodních děl, jimiž se upravuje vodní tok, převádějí povodňové průtoky, provádějí opatření na ochranu před povodněmi, nebo která jinak souvisejí s vodním tokem nebo jimiž se zlepšují odtokové poměry, staveb pro jímání vod, odvádění odpadních vod a odvádění srážkových vod a dále nezbytných staveb dopravní a technické infrastruktury. Dále je zakázáno např. zřizovat oplocení, živé ploty, tábory, kempy, skladovat odplavitelný materiál, atd. DHI (2005) tvrdí, že v podstatě se jedná o území, které by mělo být výhradně určeno pro převádění povodňových průtoků.

Aktivní zóna se podle vyhlášky 236/2002 SB. stanovuje pro ustálený průtok odpovídající Q_{100} . Stanovení AZZU se tedy stává velmi účinným preventivním nástrojem pro snížení povodňových škod (DHI, 2005).

- Pasivní průtočnou zónu**, která je částí standardního přirozeného záplavového území a je při povodni zaplavena vodou, která jí protéká nízkou rychlostí (Konvička, 2002). Je oblastí, která je v průběhu průchodu povodňových průtoků zaplaveno, avšak nepřevádí rozhodující část průtoku a tedy případná výstavba, nebo terénní úpravy v rámci této oblasti záplavového území nemají podstatný vliv na odtokové poměry. Jedná se tedy o oblast, kde sice mohou také být ohroženy životy, zdraví a majetek lidí účinky povodňových průtoků (především vlivem velkých hloubek), ale jako takové mají jen minoritní vliv na proudění celým územím a neovlivňují tedy přímo míru ohrožení pro ostatní části záplavového území (DHI, 2005). Zóna, ve které je povoleno rekonstruovat a modernizovat stávající stavby. Umísťovat nové stavby v rámci současně zastavěného území lze v tomto území jen v oblasti bytové výstavby, pokud hloubka vody při návrhové povodni nepřesáhne v místě stavby 0,5 m (Konvička, 2002). Jedná se totiž velmi často o území, které se sice nepodílí aktivně na převádění povodňových průtoků, ale podílí se aktivně na jejich transformaci (DHI, 2005).
- Historickou průtočnou zónu**, která zahrnuje historické záplavové území, pokud se zde nevyskytuje aktivní průtočná zóna. V zóně lze rekonstruovat a modernizovat stávající stavby a umísťovat nové stavby v rámci zastavěných území a rozvojových ploch (Konvička, 2002).

Nedílnou součástí termínu „záplavové území“ jsou údolní nivy. V současném znění ČSN 75 0120 „Vodní hospodářství – Terminologie hydrotechniky“ je údolní niva definována jako „plochá část dna údolí podél vodního toku tvořena říčními náplavami, s kolísající hladinou podzemní vody s případným výskytem průsakové vody; při povodních bývá zpravidla zaplavována“ (Veselý, 2003). Dále Just (2005) definuje nivu jako plochou část dna údolí, která je ovlivňována a formována velkými vodami. Pro vymezení nivy z geomorfologického a vodohospodářského hlediska není podstatné, zda jejich povrchy pokrývají přírodní porosty, orná půda nebo třeba zástavba. Zatopením údolní nivy se řeka rozšíří a nezastavěné plochy na březích zvyšují retenci vody v krajině. Pomocí břehových porostů zpomaluje niva také rychlost odtoku. V prohlubních a nerovnostech nivy se kromě toho zadržuje část vody. Proto není kulminace povodně tak dramatická a povodňová vlna postupně opadne (Slavíková, 2007). Opatření označené „uvolnit nivy pro rozlivy“ může

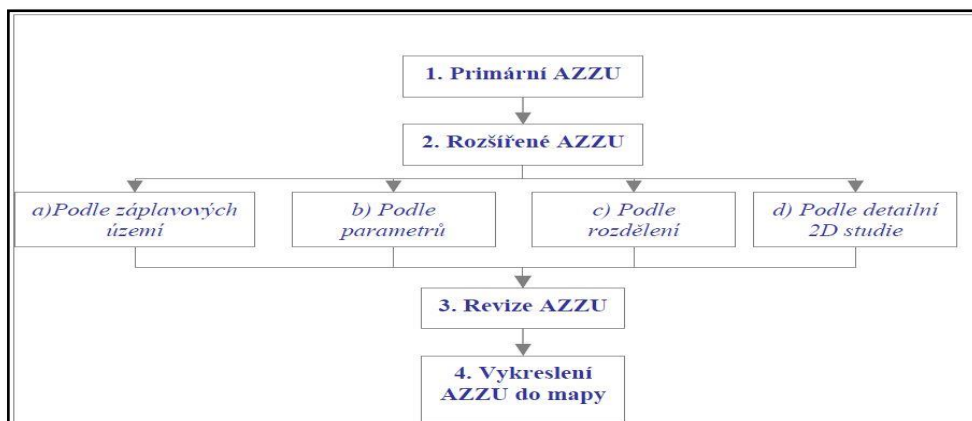
i v některých úsecích toků i významně přispět ke snížení kulminačních průtoků, dokonce i u regionálních povodní. Je však omezeno na úseky toku, kde rozsáhlé nivy existují a v minulosti byl rozliv do nich zamezen ohrazováním. Dosavadní vývoj i po extrémních povodních z roku 1997 a 2002 nenasvědčuje tomu, že toto řešení bude v našich podmínkách časté (Hanel, 2011).

4.6.1. Stanovení aktivní zóny záplavového území

Stanovení aktivní zóny záplavového území je zaznamenáno dle DHI (2005):

Aktivní zóna se, podle vyhlášky 236/2002 Sb., stanovuje pro ustálený průtok odpovídající Q100. AZZU je možné stanovit pouze na základě komplexního hydraulického výpočtu vhodným matematickým modelem. Základní princip této metodiky vychází z následujících kroků:

1. definice primárních území AZZU,
2. rozšíření primárních AZZU vhodnou metodou,
3. revize AZZU,
4. definice rozsahu aktivní zóny záplavového území vykreslením do mapy.



Obr. č. 7: Grafické znázornění metodiky (DHI, 2005)

1. Definice primárních území, které se automaticky stávají součástí aktivní zóny záplavového území

Tato část metodiky vychází ze základních zákonitostí proudění vody v otevřených korytech za podmínek ustáleného nerovnoměrného proudění a ze základních pravidel řešení ochrany před povodněmi.

- Primární AZZU je vždy vlastní koryto hlavního toku v šířce definované břehovými hranami (nejedná se o definici koryta ve smyslu zákona o vodách).
- Všechny vedlejší paralelní permanentní vodoteče, derivační, či jiné kanály a zaústění přítoků hlavního toku jsou vždy definované jako primární AZZU v šířce určené břehovými hranami.

- V případě, že se jedná o tok ohrázený příbřežními hrázemi chránícími před povodněmi dimenzovanými na Q_{100} , jsou tyto hráze současně hranicí AZZU.
- Linie existujícího průběžného mobilního hrazení podél toku s kapacitou na Q_{100} tvoří hranici AZZU.

2. Stanovení rozšířené aktivní zóny záplavového území vhodnou metodou

Na základě analýzy nejběžnějších typů toků, které se vyskytují v ČR, byly definovány čtyři základní přístupy řešení AZZU:

- a. Stanovení rozšířené AZZU podle záplavových území,
 - Vhodné pro kategorii toků:
 - s kratší dotokovou dobou,
 - se strmějším tvarem hydrogramu,
 - s jednoduchým nebo mírně komplikovaným prouděním v inundačním území,
 - s jednoduchým i členitým tvarem údolních profilů.
 - Způsob výpočtu:
 - AZZU řešeno jednorozměrným (1D) matematickým modelem, případně modelem 1D+.
 - Vymezení aktivní zóny:
 - Za AZZU budou stanoveny prostory odpovídající záplavovému území dvacetileté vody. V případě, že zpracovatel bude schopen definovat mimo záplavové území Q_{20} koncentrovaný proud vody, který odvádí alespoň 10 % zůstatkového průtoku ($Q_{100} - Q_{20}$), bude definovaný koncentrovaný proud taktéž prohlášen za aktivní zónu.
 - U bystřin je možné stanovit AZZU v rozsahu Q_{100} .
- b. Stanovení rozšířené AZZU podle parametrů proudění,
 - Vhodné pro kategorii toků:
 - v lokalitách, kde je k dispozici rozdělení rychlostí a hloubek po příčném profilu,
 - s komplikovaným prouděním v inundačním území,
 - s jednoduchým i členitým tvarem údolních profilů.
 - Způsob výpočtu:
 - AZZU řešeno jednorozměrným (1D) matematickým modelem pro jednoduché tvary údolí, případně modelem 1D+ pro komplikované a složené údolní profily,

s následným stanovením rozdělení svislicových rychlostí po příčném profilu

- Vymezení aktivní zóny:
 - Za AZZU budou považovány oblasti definované jako aktivní na základě závislosti součinu rychlosti proudění a hloubky vody.
- c. Stanovení rozšířené AZZU podle rozdělení měrných průtoků,
 - Vhodné pro kategorii toků:
 - s delší odtokovou dobou,
 - s širokým a plochým záplavovým územím, kde rozsah Q20 téměř povídá Q100,
 - bez zřejmých výrazných koncentrovaných proudů v inundačním území,
 - s jednoduchým i členitým tvarem údolních profilů.
 - Způsob výpočtu:
 - AZZU řešeno jednorozměrným (1D) matematickým modelem, případně modelem 1D+ s následným rozdělením svislicových měrných průtoků.
 - Vymezení aktivní zóny:
 - Za AZZU budou stanoveny ty oblasti záplavového území, které provádějí alespoň 80 % průtoku Q100 stanovené vhodnou hydraulickou metodou na základě rozdělení svislicových měrných průtoků po příčném profilu
- d. Stanovení rozšířené AZZU detailní 2D studií
 - Vhodnost použitého postupu:
 - vhodný pouze v odůvodněných případech v území s patřičným významem,
 - v oblastech, kde 2D matematický model již existuje, nebo bude vytvořen pro jiné účely a studie,
 - ve sporných případech vyžadující detailní studii.
 - Způsob výpočtu:
 - AZZU řešeno dvojrozměrným (2D) matematickým modelem.
 - Vymezení aktivní zóny:

Za AZZU, jež při povodni odvádí rozhodující část celkového průtoku a tak bezprostředně ohrožuje životy, zdraví a majetek lidí, se stanoví území definované kombinací:

 - přístupu stanovení území provádějící podstatnou část průtoků na základě prostorového rozdělení měrných

průtoků a definice soustředěných proudnic v inundačním území,

- v závislosti na součinu hloubky a rychlosti vody při stoletém průtoku podle grafů Fink – Bewicka nebo podle metodiky Ministerstva vnitra USA – pro záplavová území vysokého významu

3. Definice rozsahu aktivní zóny záplavového území vykreslením do mapy

- Výsledkem aplikace této metodiky je vykreslení AZZU v mapě podle doposud získaných podkladů. Výsledná linie AZZU bude zpracována ve vektorovém formátu s využitím závazného mapového podkladu.
- Výsledný rozsah AZZU je zapotřebí vynést a zvýraznit do stejného mapového podkladu, jaký je použit pro záplavové čáry a to tak, aby nedocházelo k záměnám mezi definicí aktivní zóny záplavového území se záplavovými čarami a naopak.

4.7. Území ohrožená zvláštními povodněmi

Území ohrožená zvláštními povodněmi se rozumí podle § 69 zákona č. 254/2001 Sb. jsou území, která mohou být při výskytu zvláštní povodně zaplavena vodou. Pokud pro krizové situace předpokládaný rozsah území ohrožený zvláštními povodněmi výrazně přesahuje záplavová území, vymezí se jejich rozsah v krizovém plánu.

4.8. Povodňové plány

Povodňovými plány, dle § 71 zákona č. 254/2001 Sb., se rozumějí dokumenty, které obsahují způsob zajištění včasných a spolehlivých informací o vývoji povodně, možnosti ovlivnění odtokového režimu, organizaci a přípravu zabezpečovacích prací, dále obsahují způsob zajištění včasné aktivizace povodňových orgánů, zabezpečení hlášené a hlídkové služby a ochrany objektů, přípravy a organizace záchranných prací a zajištění povodní narušených základních funkcí v objektech a v území a stanovené směrodatné limity stupňů povodňové aktivity.

Obsah povodňových plánů se dělí na:

1. věcnou část, která zahrnuje údaje potřebné pro zajištění ochrany před povodněmi určitého objektu, obce, povodí nebo jiného územního celku, směrodatné limity pro vyhlásování stupňů povodňové aktivity,
2. organizační část, která obsahuje jmenné seznamy, adresy a způsob spojení účastníků ochrany před povodněmi, úkoly pro jednotlivé

- účastníky ochrany před povodněmi včetně organizace hlásné a hlídkové služby,
3. grafickou část, která obsahuje zpravidla mapy nebo plány, na kterých jsou zakresleny zejména záplavová území, evakuační trasy a místa soustředění, hlásné profily, informační místa.

4.8.1. Mapy povodňového nebezpečí a mapy povodňových rizik

Dle § 10 vyhlášky č. 24/2011 o plánech povodí a plánech zvládnání povodňových rizik se pro každý scénář na mapách povodňového nebezpečí zobrazí rozsah povodně, hloubka vody, případně rychlost proudu nebo odpovídající průtok vody. Dále se uvedou úseky toků, kde dochází k významnému pohybu sedimentů nebo transportu unášených předmětů a tím k ovlivňování průtočnosti koryt a příčných staveb při povodních.

Mapy povodňového nebezpečí zahrnou území, která by mohla být zaplavena podle těchto scénářů:

1. povodeň s nízkou pravděpodobností výskytu (pravděpodobnost opakování 500 let) případně i zaznamenaná extrémní povodeň,
2. povodeň se středně vysokou pravděpodobností výskytu (pravděpodobnost opakování 100let),
3. povodeň s vysokou pravděpodobností výskytu (pravděpodobnost opakování 20 let).

Na mapách povodňových rizik se vyznačí potenciální nepříznivé následky spojené s povodněmi, které budou vyjadřovat orientační počet potenciálně zasažených obyvatel, druh hospodářské činnosti v zasažené oblasti atd. Pro první zpracování plánů byly zpracovány mapy povodňového nebezpečí pro Q_{100} , s orientačním výpočtem počtu ohrožených obyvatel. Za ohrožené jsou označeni všichni obyvatelé trvale obydlených objektů v zaplavovaném území, i když se jejich bytových jednotek zátopa nedotkne (Povodí Vltava 1, 2009).

4.9. Návrh opatření pro zvládnání povodňových rizik

Návrh opatření pro zvládnání povodňových rizik se zpracovává pro jednotlivé oblasti s významným povodňovým rizikem. Pro každé opatření se uvede odhad nákladů, zhodnocení účinnosti, ekonomická efektivnost, aktuální stav přípravy, odhadovaná doba přípravy a realizace a zhodnocení dopadu opatření na stav dotčených vodních útvarů (vyhláška č. 24/2011).

4.10. Hlásná a předpovědní služba (HPPS)

S prvními pokyny, jak postupovat v případě výskytu povodně, se lze setkat v 16. století na Moravě. Tak součástí privilegia Jana z Perštejna je, že v případě nebezpečí protržení rybníků mají být nalezeni lidé v blízkých obcích, kteří by hráze

bránili, aby se zabránilo škodám, které by vznikly skrz takové stržení. V 17. století instrukce hejtmanská v panství České komory se zmiňuje o dalších opatřeních v případě povodní. V 19. století byl vydán ve Vídni cirkulář pro inženýry a hospodářské správce v zemích rakouského mocnářství, aby sledovali výšku vody v mlýnských náhonech, to lze považovat za předzvěst hydrologických pozorování. Praxi v povodí Labe a Vltavy z počátku 20. století přibližuje podrobná vyhláška místodržitelství v Praze z roku 1909 „Přehledné sestavení služby ohlašující a předpovídání stavu velkých vod na řekách v Čechách“ (Munzar, 2001).

Podle mezinárodních zkušeností je možné včasným povodňovým varováním a povodňovým varováním fungujícím systémem operativních opatření výrazně snížit materiální škody a vyloučit nebo omezit ztráty na životech. Současná hlásná a vodoměrná síť ČHMÚ a podniků Povodí je dostatečná pro předpovídání povodní na hlavních tocích. Problémem je zajištění stabilizace měrných profilů a funkce stanic za extrémních povodní (Kubát, 2001).

Hlásná a předpovědní povodňová služba Českého hydrometeorologického ústavu (dále ČHMÚ), která zajišťuje monitorování aktuální situace, připravuje předpovědi a vydává výstrahy, které aktivují celý mechanismus protipovodňových opatření. Státem budovaný systém protipovodňové ochrany má zásadní podíl na snižování povodňových škod a poskytuje určitou jistotu ochrany každému. Odstavec 73 zákona 254/2001 Sb. definuje předpovědní povodňovou službu jako službu, která informuje povodňové orgány, popřípadě další účastníky ochrany před povodněmi, o nebezpečí vzniku povodně, o jejím vzniku a o dalším nebezpečném vývoji, o hydrometeorologických prvcích charakterizujících vznik a vývoj povodně, zejména o srážkách, vodních stavech a průtocích ve vybraných profilech. Tuto službu zabezpečuje Český hydrometeorologický ústav ve spolupráci se správcem povodí.

Centrální předpovědní pracoviště ČHMÚ zvládne distribuci informací na povodňové orgány a další uživatele s celostátní i regionální působností. Regionální pracoviště dále na úroveň okresů a velkých měst. Problémem je včasný průnik informace k finálnímu uživateli. Po velkých povodních v devadesátých letech byl revidován systém hlásné povodňové služby v ČR (Kubát, 2001).

Dle § 73 zákona 254/2001 Sb. hlásná povodňová služba zabezpečuje informace povodňovým orgánům pro varování obyvatelstva v místě očekávané povodně a v místech ležících níže na vodním toku, informuje povodňové orgány a účastníky ochrany před povodněmi o vývoji povodňové situace a předává zprávy a hlášení potřebná k jejímu vyhodnocování a k řízení opatření na ochranu před povodněmi. Hlásnou povodňovou službu organizují povodňové orgány obcí a povodňové orgány pro správní obvody obcí s rozšířenou působností a podílejí se na ní ostatní účastníci ochrany před povodněmi. K zabezpečení hlásné povodňové služby organizují povodňové orgány obcí, v případě potřeby, hlídkovou službu.

Na webových stránkách Českého hydrometeorologického ústavu je možno sledovat nepříznivé hydrologické předpovědi nebo reagovat na vydání výstrahy před povodněmi dříve než složky civilní ochrany. A to díky tomu, že je většina informací je ze stanic ČHMÚ a jsou dostupná každému.

Hlásná a předpovědní služba ČHMÚ (HPPS) zajišťuje:

- monitorování aktuální situace v povodí
- přípravu hydrologických předpovědí
- vydávání pravidelných zpráv a výstrah v případě hrozící povodně

Tyto úkoly řeší hydrologové na regionálních předpovědních pracovištích ČHMÚ v rámci působnosti poboček ČHMÚ. Téměř všechny výstupy HPPS jsou k dispozici veřejnosti prostřednictvím médií - zejména internetu. Činnost HPPS by neměla smysl, pokud by příjemci, mezi něž patří i široká veřejnost, nevěděli, jaké informace jsou od ČHMÚ k dispozici, kde je najít a jak jim správně rozumět (ČHMÚ 1, neuvedeno).

4.11. Stanovení záplavových území

Nejprve je dobré vymezit si několik základních pojmů. Mezi ně patří dle § 3 vyhlášky 236/2002 Sb.:

- záplavová čára
 - křivka odpovídající průsečnici hladiny vody se zemským povrchem při zaplavení území povodní
- záplavové území
 - území vymezené záplavovou čarou
- záplavové území nejvyšší zaznamenané přirozené povodně
 - území, které je vymezeno záplavovou čarou odpovídající nejvyšší historicky zaznamenané a dokumentované hladině vody při přirozené povodni
- periodicita povodně 5, 20 a 100 let
 - výskyt povodně, který je dosažen nebo překročen průměrně jedenkrát za 5, 20 a 100 let
- inundační území
 - území přilehlé k vodnímu toku, které je zaplavováno při průtocích přesahujících kapacitu koryta vodního toku.

Co se týká přesného postupu stanovení záplavového území, hovoří o tom již zmíněná vyhláška 236/2002 Sb. Nejprve Správce toku neprodleně oznámí vodoprávnímu úřadu zahájení práce na návrhu záplavového území a způsob zpracování návrhu záplavového území s ním konzultuje. Návrh záplavového území se zpracovává pro inundační území vodního toku určené správcem vodního toku nebo Plánem hlavních povodí České republiky a plány oblastí povodí. Pro každý úsek vodního toku se zpracovává návrh záplavového území odpovídající přirozené povodni, jejíž hydrologické charakteristiky byly výchozí pro vymezení záplavového území, a to pro průtoky odpovídající příslušné technické normě, které se vyskytují při přirozené povodni s periodicitou 5, 20 a 100 let. Návrh záplavového území se zpracovává a uchovává v digitální, popřípadě též v tištěné formě a s náležitostmi zajišťujícími jeho využitelnost pro další potřeby veřejné správy.

Hydrosoft (2006) uvádí, že úspěch práce závisí na několika faktorech. Prvním z nich je pokud možno co nejlepší znalost zájmového území. Podrobný

průzkum je tedy základem dobře udělané práce a musí proběhnout v předstihu před geodetickým zaměřením. Součástí průzkumu je provedení co nejpodrobnější foto a videodokumentace. Dále je nutné stanovení drsností. V průběhu průzkumu je nutné nasbírat všechny podklady a informace pro pozdější stanovení drsnostních charakteristik v celém zájmovém území. Druhým důležitým okamžikem je kvalitní geodetické zaměření. Hydrosoft vlastní výpočty provádí metodou ustáleného nerovnoměrného proudění s využitím programu Hydrocheck. Vybrané objekty pak samostatným programem Hydrocheck2. Výsledky výpočtů, tedy hladiny pro jednotlivé průtokové stavy, jsou pak převáděny do mapy.

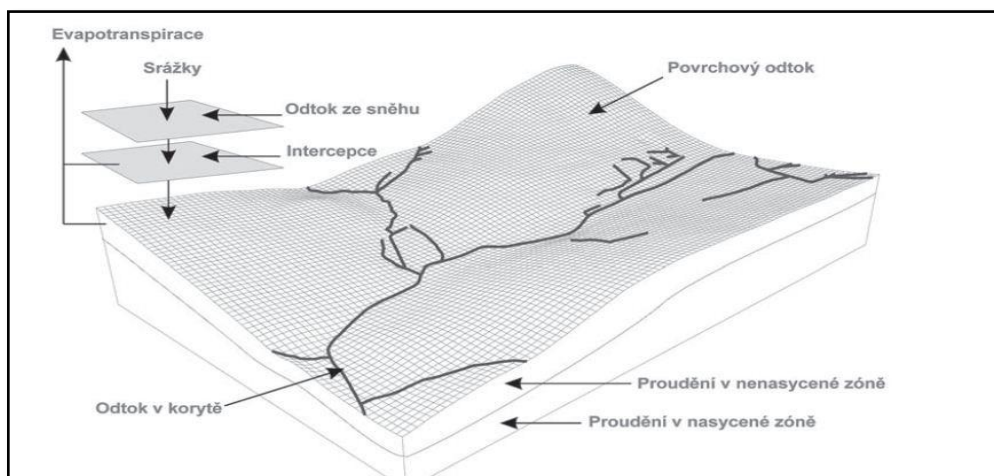
Dle § 5 vyhlášky 236/2002 Sb. musí podklady pro úspěšné zpracování návrhu záplavového území obsahovat:

1. standardní hydrologické údaje poskytnuté Českým hydrometeorologickým ústavem,
2. manipulační řád vodního díla sloužícího ke vzdouvání nebo akumulaci vod, kterým se mohou významně ovlivnit nejvyšší průtoky při průchodu přirozené povodně
3. základní mapu České republiky 1 : 10 0004) a základní bázi geografických dat České republiky
4. výsledky geodetického zaměření podélného a příčných profilů koryta vodního toku a přilehlého inundačního území, a to včetně objektů, které průtok ovlivňují
5. výsledek hydraulického výpočtu
6. dostupné údaje o nejvyšší zaznamenané přirozené povodni

5. Hydrologické modely

Matematická reprezentace srážko-odtokového procesu má dlouhou historii, ale teprve zhruba od 80. let minulého století se díky postupnému rozvoji počítačových technologií stává významným nástrojem hydrologů a vodohospodářů, ať už pro operativní předpověď nebo pro návrhové účely (Jeníček, 2007). Mnoho problémů souvisejících s povodněmi může být prověřeno použitím matematických modelů, které se skládají z řady rovnic, které reprezentují chování systému. Stavební inženýrství typicky používá hydraulické modely ke zkoumání: (1) hydraulických struktur, jako jsou složité jezy, přelivy a průtok vody skrz mosty (2) průtoku v korytech toků a následků povodní (3) průtoku v ústí, včetně přílivové vlny, efektu hydromeliorací (4) účinku konstrukcí nových přístavů (5) pobřežní eroze, transportu sedimentů a pobřežní ochrana (6) průtoku v potrubí, zúžení a rozšíření potrubí (7) výkonu čerpadel a turbín (Hamill, 2011).

Hydrologický cyklus a srážko-odtokový proces (tedy přeměna ovzdušné srážky na odtok vody v korytech či její akumulaci v nádržích) lze poměrně dobře matematicky popsat a tento popis lze poté transformovat do programového kódu. Tímto způsobem vznikly numerické hydrologické modely, které „jazykem počítačů“ popisují oba zmíněné jevy (Obr. č. 8), (Únička, 2009). Matematický model srážko-odtokového procesu představuje zjednodušený kvantitativní vztah mezi vstupními a výstupními veličinami určitého hydrologického systému (Daňhelka et al., 2002).



Obr. č. 8: Obecná struktura hydrologického modelu (Jeníček, 2007)

Únička (2009) zmiňuje, že existují dvě základní skupiny numerických hydrologických modelů: srážko-odtokové modely (SM) a hydraulické (přesněji hydrodynamické) modely (HM). První skupina řeší pomocí nejrůznějších metod transformaci ovzdušné srážky na odtok z povodí či jeho případnou akumulaci např. v nádržích. Druhá skupina pak má na starosti transformaci vodní masy v hydrologických objektech (koryta toků, přirozené a umělé nádrže apod.) a rozlivy vody za povodní ve spolupráci s GIS (geografickými informačními systémy) – tzv. GIS postprocessing.

Metody matematického modelování umožňují nejen simulovat skutečný hydrologický resp. hydraulický proces, ale s jejich pomocí lze navíc aproximativně

určovat i chování modelovaného prototypu v různých extrémních situacích pro prognózní nebo návrhové účely. Modely umožňují odhalovat reakce povodí na antropogenní činnost, určovat návrhové veličiny, zpětně ověřovat parametry navržené v minulosti. Modely, aplikované v režimu tzv. „scénářů“, mohou tedy implicitně ukázat odtokové reakce na lidské zásahy v povodí, které bude třeba změnit revitalizačními opatřeními (Křovák, 2001). Pro určení charakteristik povodňového nebezpečí (rozsah rozlivu, hloubka a rychlost vody) slouží hydraulické výpočty pomocí matematických 1D nebo 2D modelů (VÚV TGM, neuvedeno).

Nasazení hydrologických modelů nemůže ani ve výhledu pokrýt všechna povodí, zejména menších toků, kde se mohou vyskytnout extrémní lokální povodně při přívalových srážkách (Kubát, 2001).

Výstupy s hydrologického modelu mohou sloužit jako vstupní veličiny dalších modelů (například modelů šíření znečištění vodním prostředím), a naopak mohou mít návaznost na jiné projekty, například na odhad vlivu klimatických změn na srážko-odtokové poměry v povodí. (Jeníček, 2007).

Jeníček (2007) uvádí několik typů hydrologických úkolů, při jejichž řešení lze matematické modelování použít:

- simulace průchodu povodňových vln v libovolném časovém kroku jak na přírodních, tak na urbanizovaných povodích,
- vypracování projektů protipovodňové ochrany, podpora systémů krizového řízení, modelování nízkých průtoků například pro výpočet šíření znečištění ve vodních tocích,
- stanovení hydrologické bilance,
- scénáře dlouhodobého vývoje založené na modelech klimatických změn
- výpočet statistických veličin (N-letost, M-denní průtoky)

Pokud jde o výběr vhodného modelu, je nutno brát v úvahu několik kritérií. Jeníček (2007) uvádí souhrn těchto kritérií následovně:

- přizpůsobivost místním podmínkám a úkolu, na který je model aplikován,
- schopnost simulovat odtokový proces v prostorovém i časovém kroku, který odpovídá velikosti povodí,
- propojení srážko-odtokového modelu s podrobným korytovým (routing) modelem,
- nutnost dopředu zjistit dostupnost dat, která jsou modelem vyžadována,
- vazba na podpůrné programy, např. pro zpracování dat, vytváření grafických výstupů, zapojení GIS,
- komerční dostupnost modelu,
- dostupná systémová podpora, reference.

Balvín (2009) se zmiňuje, že při matematickém modelování přirozených i umělých otevřených koryt je třeba postupovat metodicky stejně jako při experimentálním výzkumu na hydraulických modelech. To znamená, že každý matematický model je žádoucí vždy verifikovat. To vyžaduje zpravidla opakovanou

úpravu některých dat (součinitelů drsnosti, neefektivních průtočných ploch atd.) tak, aby se dosáhlo požadované shody simulovaných parametrů (průběhů hladin) s parametry zaměřenými. Balvín (2009) rozeznává matematické modely:

- 1D matematické modelování
- 2D matematické modely
- 3D matematické modely

5.1. 1D matematické modelování

Oblast vhodnosti aplikace jednorozměrných modelů je v důsledku použité schematizace omezená. Modely lze bez problémů aplikovat v oblastech, kdy proudění má převážně jednorozměrný charakter (paralelní proudění v toku a inundačním území, konstantní úroveň hladiny v příčném směru), např. pokud je předmětem řešení proudění v korytě řeky s přilehlým inundačním územím menšího rozsahu a pravidelného tvaru (VÚV TGM, neuvedeno). 1D modely se používají pro vyšetřování průběhů hladin v podélném profilu vodního toku při povodních různé četnosti výskyt. Prostředí, ve kterém jsou 1D modely používány, je obvykle definováno geometrickými a hydraulickými parametry vhodně zvoleného souboru příčných profilů toku. Samotné proudění je přitom popsáno středními hodnotami veličin v těchto profilech (hloubka, rychlost, průtok). Lze řešit jak případy ustáleného proudění, kdy je průtok v čase konstantní, i případy neustáleného proudění za reálných povodňových situací. 1D model je schopen podat informace o podélném sklonu hladiny v posuzovaném úseku vodního toku, o úrovni hladin v jednotlivých zaměřených příčných profilech, o prostorovém rozlivu v posuzované lokalitě a průměrné rychlosti proudění v zaměřených příčných profilech včetně mostního profilu. Jedná se např. o modely HYDROCHECK 3, MIKE 11, HEC-RAS (Balvín, 2009).

Výhoda jednorozměrných modelů spočívá v jejich jednoduchosti a v relativně malých nárocích na vstupní data (VÚV TGM, neuvedeno).

Vstupní data:

- záplavová území (hranice rozlivů) při průtocích Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{500} (vzniknou průnikem použitého výškopisu a hladin sestavených mezi příčnými profilem interpolací) – polygon
- hloubky vody při průtocích Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{500} – rastr
- celkové rychlosti vody při průtocích Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{500} mohou být určeny odborným odhadem z průměrných profilových rychlostí a průměrných rychlostí v inundačním území
- hladiny při průtocích Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{500}
- osa toku - linie
- příčné profily – linie

5.2. 2D matematické modelování

2D matematické modely pracují s prostorovou reprezentací koryta a záplavového území v podobě spojitého digitálního modelu terénu a umožňují detailně vystihnout variabilní charakter proudění při povodňových situacích ve složitých prostorových podmínkách. Jsou tedy vhodné pro modelování širokých inundačních území s nepravidelnými terénními prvky – koryta, náhony, hráze, násypy komunikací, pro modelování urbanizovaných území a ve všech ostatních případech, kdy nejsou jednoznačně splněny podmínky vhodnosti aplikace jednorozměrných či kvazidvouřměrných modelů (VÚV TGM, neuváděno).

Při použití 2D modelů lze poměrně hodnověrně vyšetřit proudové poměry (průběh proudnic, vektory středních svislicových rychlostí proudění, izolinie hladin) v plochém i různě členitém inundačním území, vliv jednotlivých překážek na okolní proudové pole, hydrodynamické účinky proudící vody na mostní podpěry apod. Přesnost výsledků je dána především přesností vstupních podkladů, ale hodně závisí i na vhodné volbě sítě uzlových bodů a její hustotě. 2D modely jsou náročnější na vstupní data, hardware počítače i pracnost výpočtů. Jejich použití je proto nákladnější - oproti 1D modelům více než dvojnásobné. Lze řešit - obdobně jako u 1D modelů - jak případy ustáleného proudění, kdy průtok v čase je konstantní, tak i případy neustáleného proudění za reálných povodňových situací (Balvín, 2009). 2D modely poskytují podrobnější výstupy interpretovatelné přímo ve formě map povodňového nebezpečí (VÚV TGM, neuváděno)

Jedná se např. o modely FAST 2D, MIKE21, FESWMS (Balvín, 2009)

Vstupní data (VÚV TGM, neuváděno):

- záplavová území (hranice rozlivů) při průtocích Q5, Q20, Q100, Q500 (průsečíky vypočtených hladin a použitého DMT) – polygon
- hloubky vody při průtocích Q5, Q20, Q100, Q500 (rozdíl nadmořské výšky vypočtených hladin a použitého DMT) - rastr
- celkové rychlosti vody při průtocích Q5, Q20, Q100, Q500- rastr
- použitý DMT - rastr
- hladiny při průtocích Q5, Q20, Q100, Q500
- osa toku - linie
- příčné profily - linie

5.3. 3D matematické modelování

3D matematické modely jsou vhodné pro vyšetřování prostorového proudění v lokalitách tvarově složitého prostředí. 3D modely jsou taktéž vhodné pro simulaci obtékání středových a břehových podpěr mostních objektů a propustků v případech, kdy je nutno vyšetřit, zda dojde nebo nedojde k překročení vymílačích rychlostí, a kdy je popř. potřebné navrhnout vhodná opatření ve formě opevnění dna a břehů koryta. Jedná se např. o COMSOL Multiphysics (Balvín, 2009).

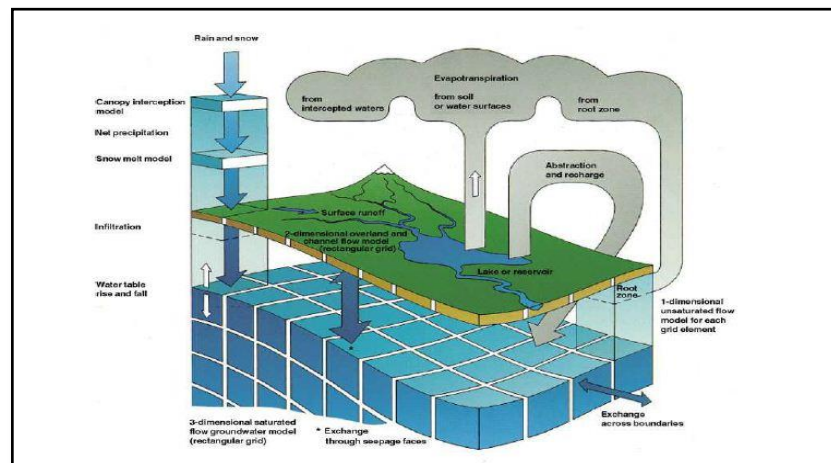
5.4. Přehled vybraných modelů

Matematické modely pro řešení protipovodňové ochrany nejsou všemocný lék, ale velmi dobrý diagnostický nástroj pomáhající účinně při prevenci povodňových rizik (Hrnčíř, 1997).

5.4.1. MIKE-SHE

Srážko-odtokový model dánské firmy DHI (Danish Hydraulic Institute) patří do skupiny koncepčních distribuovaných, případně semi-distribuovaných modelů se schopností simulovat jak kontinuálně, tak pouze epizodně. Jedná se o poměrně propracovaný model s vazbou na GIS, se kterým je možné řešit širokou škálu hydrologických úkolů (Jeníček, 2005). Mezi hlavní komponenty patří:

- Srážky
- Evaporace, včetně intercepce
- Povrchový odtok z povodí
- Odtok v korytě
- Podpovrchový odtok v nenasycené zóně půdního profilu
- Podzemní odtok (Jeníček, 2005)



Obr. č. 9: Struktura modelu MIKE – SHE (Jeníček, 2005)

5.4.2. MIKE 11

Hydrodynamický programový prostředek MIKE11 dánského Hydraulického Institutu je matematický jednosměrný model, popisující neustálené proudění v otevřených přirozených nebo umělých korytech a v jim přilehlých inundačních územích extravilánu nebo intravilánu. Struktura modelu je založena na jednotlivých modulech, jež jsou navzájem spojeny především společnými datovými soubory. Znamená to například, že dva různé moduly využívají tatáž data jako své vstupní soubory nebo že výsledkový soubor jednoho modulu je vstupním souborem modulu druhého. Výhodou takového uspořádání modulu je možnost efektivního nasazení vybraných modulů podle potřeb a zaměření konkrétního projektu či studie (Hrnčíř, 1997).

Mike 11 pro jednorozměrné simulace hydrodynamiky a kvality vody v říčních systémech a MIKE SHE pro simulace proudění vody (Bíza et al., 1997).

5.4.3. HEC – RAS (Hydrologic Engineering Centers - River Analysis System)

Program HEC-RAS využívající integrovaného prostředí MS Windows s vynikajícím grafickým uživatelským rozhraním (GUI), podrobně zpracovává řešenou hydrauliku ustáleného proudění v otevřených korytech a objektech na umělých i přirozených tocích (Křovák, 2001). Některé modely při výpočtu proudění dělí příčný profil na samostatné části koryta (levé a pravé inundace). Model HEC-RAS nabízí celkem 4 výpočetní postupy: Average Conveyance, Average Fiction Slope, Geometric Mean Friction Slope a Harmonic Mean Friction Slope (Havlík 1, 2001). HEC-RAS zabezpečuje především velmi propracovanou nadstavbu v systémech Windows, která velmi usnadňuje přípravu vstupních dat i prezentaci výsledků. Velkým kladem systému je shodný přístup k přípravě geometrického modelu sítě vodních koryt a navazujících inundací pro model nerovnoměrného i neustáleného proudění. Hlavní předností programu je rozdělení profilu na vlastní koryto a levou či pravou inundaci. V případě řešení průběhu hladin a dalších veličin v zakřivených tratích program umožňuje počítat s různými vzdálenostmi mezi těmito částmi dvou sousedních údolních profilů. Umožňuje zadávat rozložení drsností nejen v horizontálním, ale i dokonce ve vertikálním směru. Program umožňuje modelování neaktivních částí záplavového území, která se významně podílejí na transformaci povodňové vlny. Kromě přímého zadávání neaktivních ploch v příčných profilech je možné definovat i odkladové plochy.

Program nabízí prezentaci výstupů dvojího typu. Jednak jsou to hydrogramy povodí a závislosti průběhu povodně na čase, a to jak ve formě grafické, tak i tabelární. Kromě toho program dovoluje tabelární prezentaci velkého množství hydraulických parametrů proudění pro jednotlivé časové kroky i pro maximální průtok v každém profilu. Program nedovoluje graficky ani tabelárně prezentovat vývoj podélného profilu hladiny v závislosti na čase (Havlík et Šercl, 2001).

a) HEC – 1 (Hydrologic Engineering Center)

Rozsáhlý srážko-odtokový model HEC-1 vznikl v 60. letech v armádní hydrologii v USA. Dnes je volně dostupný, v systému WMS. V modelu je řešen v několika variantách výpočet odtokové ztráty, z nichž nejpoužívanější pro svoji jednoduchost je metoda CN-křivek. Pro transformaci odtoku z povodí je využívána metoda jednotkového hydrogramu, z nabízených možností bývá nejčastěji aplikován jednotkový hydrograf dle Clarka. Model HEC-1 umožňuje mimo jiné modelovat i odtok z tání sněhu, simulovat průchod povodňové vlny nádrží při zadání parametrů nádrže a hydrotechnických parametrů, omezeně i transformaci povodňové vlny v korytě nabízenou metodu Muskingum-Cunge. Model HEC-1, v systémech WMS i HEC-HMS, je možné využít pro potřeby modelování povodňových epizod z příválových srážek za předpokladů, kdy např. plocha zkoumaného povodí by z praktických důvodů neměla překročit 500 km² nebo musí být k dispozici měřené či namodelované výšky srážek na povodí, a to alespoň v denním kroku, ale lépe v hodinovém kroku (Havlík et Šercl, 2001).

b) HEC – WMS (Hydrologic Engineering Center – Watershed Modeling System)

Vznikl v USA v průběhu 90. let. Je šířen komerčně. Je to programový systém pro nejrůznější hydrologické výpočty zaměřený zejména na rozsáhlou přípravu vstupních dat pro několik podpovrchových srážko-odtokových modelů, které jsou systémem spuštěny, jako vnější procedury. Vstupní data v podobě fyziogeografických charakteristik povodí jsou odvozována ze vstupního digitálního výškového modelu (DEM) zkoumaného území. Tím má systém i významné rysy grafického informačního systému (GIS) jakožto základního podpůrného aparátu pro hydrologické modelování v ploše (Havlík et Šercl, 2001).

c) HEC – HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System)

Model je pokračovatelem modelu HEC – 1 vyvíjeným od 60. let armádou USA, Jedná se především o celistvý model se soustředěnými parametry. Modely HEC – HMS i WMS jsou široce používané srážko-odtokové modely, které je možné využít k řešení celé řady hydrologických úkolů. Podstatnou výhodou HMS je, že je jako freeware dostupný na internetu. WMS je rozšířen komerčně. Mezi hlavní komponenty patří:

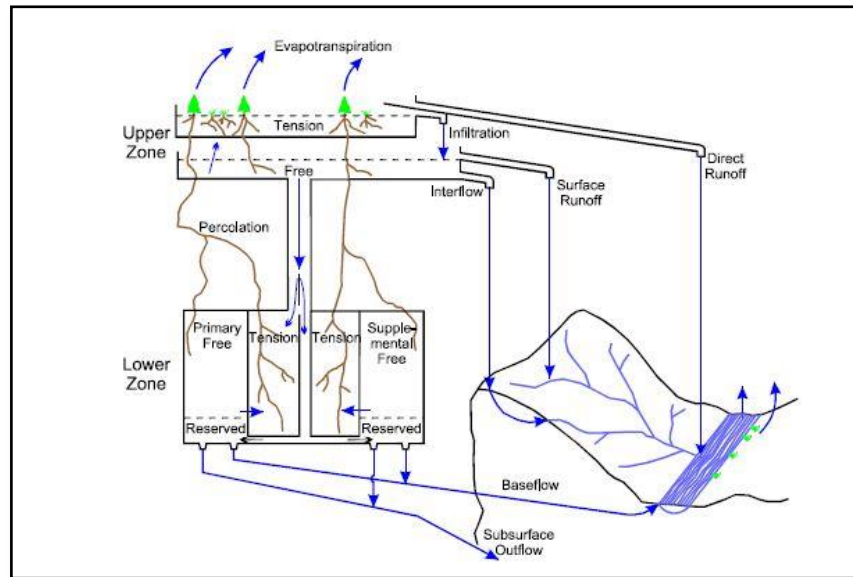
- Komponenta počítající objem odtoku
- Komponenta pří měho odtoku
- Komponenta podzemního odtoku
- Komponenta korytového odtoku
- další modely (Jeníček, 2005)

Model HEC-HMS nedisponuje přímo prostředky GIS, které umožní výpočet geograficko-fyzikálních charakteristik povodí. Většina vstupů musí být proto připravena mimo prostředí tohoto programu. V současnosti je již k dispozici doplňkový produkt HEC-GeoHMS pro ArcView. Oproti modelu WMS obsahuje vynikající optimalizační rutiny, umožňuje snadnější definování různých úloh a sestav parametrů v rámci projektu, obsahuje navíc distribuovaný model Mod-Clark (Havlík et Šercl, 2001).

5.4.4. SAC – SMA (Sacramento – Soil Moisture Accounting)

Je založen na parametrizaci charakteristik půdních vlastností. V Česku je tento model součástí knihovny modelovacích technik předpovědního systému Aqualog, který je používán na ČHMÚ k operativní předpovědi v povodí Labe a Vltavy. Mezi hlavní komponenty patří:

- Evapotranspirace
- Vázaná voda
- Volná voda
- Povrchový odtok
- Horizontální odtok
- Vertikální odtok – perkolace (Jeníček, 2005)



Obr. č. 10: Schéma modelu SAC – SMA (Jeníček, 2005)

5.4.5. DesQ - MaxQ

Program DesQ - MaxQ je aktualizovaná verze hydrologického modelu DesQ, který vyvinul prof. Ing. František Hrádek, DrSc. v r. 1997 (Hydro.upol.cz, 2009). Tento model je určen pro stanovení návrhových charakteristik povodňových vln v nepozorovaných profilech malých povodí vyvolaných přívalovými dešti a výpočet ovlivnění maximálních průtoků a objemů povodňových vln změnou charakteristik povodí (Program DesQ – MaxQ, 2000).

Hydrologický model DesQ jehož struktura s prakticky přípustnou přesností zohledňuje vliv nejvýznamnějších činitelů, které ovlivňují proces maximálního odtoku. Model DesQ umožňuje:

- Výpočet maximálních N-letých (návrhových) průtoků a objemů povodňových vln, vyvolaných přívalovými dešti „kritické“ doby trvání.
- Výpočet maximálních průtoků a objemů povodňových vln, vyvolaných dešti zadané doby trvání a intenzity.
- Odvození tvaru povodňových vln.
- Výpočet charakteristik hydrogramů, ovlivněných antropogenní činností v povodí (Hrádek et al., 2001)

5.4.6. HYDROG

Model určený k simulaci povodňových situací v povodí (ČHMÚ, 2006). Model, který při napojení na automatizovaný přenos ze srážkoměrných stanic lze v reálném čase předpovídat průtok v libovolném profilu povodí. V současné době je systém v provozu na ČHMÚ v rámci působnosti Brno a Ostrava. Na schematizaci povodí aplikuje HYDROG teorii grafů, kde hrany představují koryta toku, uzly odběrná místa, místa řízení nebo uzly říční sítě. Plochy grafů pak tvoří povodí nebo jejich části. Charakteristiky, které se k plochám vztahují, jsou považovány za konstantní (Jeníček, 2005). Model při srážko-odtokovém modelování respektuje

počáteční ztrátu infiltrací. Ostatní srážky pak tvoří plošný odtok, který je transformován za použití jednotkového hydrogramu do koryta toku (ČHMÚ, 2006).

5.5. Shrnutí

Rizikovitost území se doporučuje vyšetřovat v plošném v měřítku globálním (povodí 100 a více km²) a lokálním (povodí řádově do 10 km²). Pro vyhodnocení rizikovitosti povodí v globálním měřítku se jako vyhovující postup ukázalo použití empirických metod. Na lokální úrovni jsou používány např. model hydrologické bilance WBCM pro řešení celého hydrologického roku se zahrnutím tání sněhu nebo model DesQ pro řešení kulminačních průtoků v nepozorovatelných povodích a kvantifikaci vlivu agrotechnických a technických opatření charakteristiky maximálního odtoku na elementárních odtokových plochách nebo modely řady HEC (Váška, 2001).

Problémy při používání těchto modelů v lokálním měřítku jsou především spojeny s neexistencí přímých hydrometrických pozorování ve většině malých povodí, na základně kterých by bylo možné zpřesnit kalibraci modelů (Váška, 2001).

6. Charakteristika vodního toku Volyňka a jeho povodí

6.1. Charakteristika oblasti Povodí Horní Vltava

6.1.1. Vymezení oblasti povodí

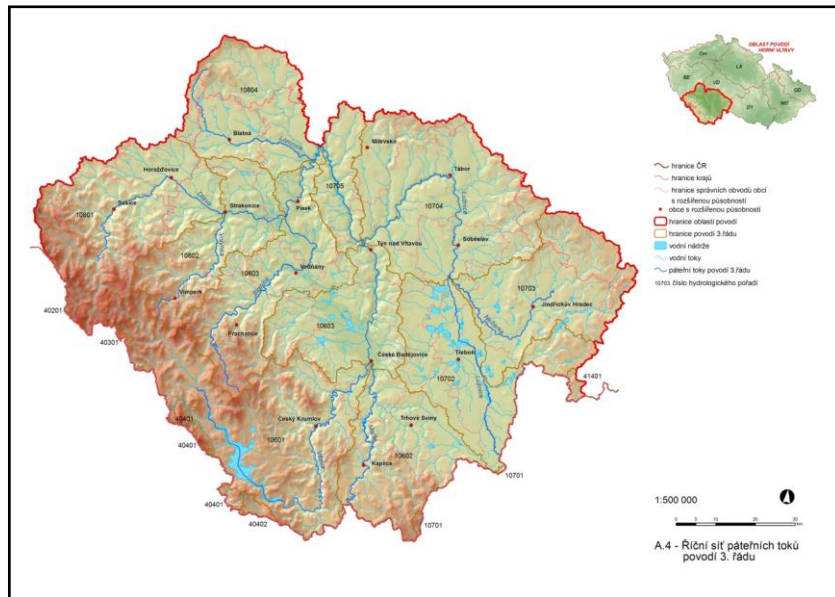
Oblast povodí Horní Vltavy představuje geograficky poměrně uzavřený celek, jehož jádro tvoří jihočeská kotlina. Na jihozápadě je obklopena Šumavou, na severozápadě výběžky Brd, na severu Středočeskou pahorkatinou, na východě Českomoravskou vrchovinou a na jihovýchodě Novohradskými horami. V jihočeské kotlině se rozkládají dvě pánve - Budějovická a Třeboňská. Celková plocha oblasti povodí Horní Vltavy činí celkem 11 058.615 km². Část vodních toků přitéká do oblasti povodí Horní Vltavy z území Spolkové republiky Německo a z Rakouska. Plocha těchto dílčích povodí, ležících mimo území České republiky, je 686.321 km². Páteřním tokem oblasti povodí Horní Vltavy je vodní tok Vltava, jejími nejvýznamnějšími přítoky jsou Malše, Lužnice, Otava a Lomnice, (Obr. č.11), (Povodí Vltavy, 2009).

Nejvyšší nadmořská výška oblasti povodí Horní Vltavy je na vrchu Plechý – 1378 m n.m., nejnižší nadmořská výška je v závěrném profilu oblasti povodí a je představována hladinou v nádrži Orlík. Největší vzdálenost od severu k jihu činí zhruba 131 km, od východu k západu zhruba 152 km, (Povodí Vltavy, 2009).

Oblast povodí Horní Vltavy zasahuje celkem do čtyř krajů. Její převážná část leží v kraji Jihočeském, menší část v povodí horní Otavy pak v kraji Plzeňském. Okrajově zasahuje oblast povodí Horní Vltavy i do kraje Středočeského a kraje Vysočina (Tab. č. 1), (Povodí Vltavy, 2009).

Název kraje	Plocha kraje v oblasti povodí (km ²)	Podíl oblasti povodí v ploše kraje (%)	Podíl plochy kraje v oblasti povodí (%)
Jihočeský	9 270,62	92,17	83,83
Plzeňský	1 140,01	15,08	10,31
Středočeský	330,67	3,00	2,99
Vysočina	317,32	4,67	2,87

Tab. č. 1: Vymezení oblasti povodí Horní Vltavy vůči krajům (Povodí Vltavy, 2009).



Obr. č. 11: Vymezení povodí Horní Vltavy (Povodí Vltavy, 2009)

6.1.2. Geomorfologické poměry

Vějířovitý charakter povodí Vltavy předznamenává nebezpečí střetu povodňových vln z horní Vltavy, Otavy a Lužnice. Vertikální členitost (měřená výškovým rozdílem ve čtvercových polích 4x4 km) má vliv na odtokové charakteristiky. Obecně platí, že čím je vertikální členitost větší, tím je rychlejší odtoková odezva. V oblasti povodí jsou zastoupeny všechny typy reliéfu - roviny, pahorkatiny, vrchoviny i hornatiny. Nejvíce jsou zastoupeny pahorkatiny s výškovou členitostí 30 - 150 m a vrchoviny s členitostí 150 - 300 m. Území oblasti povodí Horní Vltavy náleží geomorfologické provincii Česká vysočina zastoupené dominantně subprovinciemi Šumavskou soustavou a Českomoravskou soustavou, ze severozápadu sem okrajově zasahuje subprovincie Poberounská soustava (Povodí Vltavy, 2009).

Geomorfologické projevy povodně dle Křížka et Engela (2007) jsou:

1. Gravitační tvary

- Sesuv
 - V povodí zaznamenány pouze mělké (tj. takové, které zasáhly jen zvětralinu), plošné nevelké (řádově desítky m²).
- Sesuvná území
 - Tj. plošně rozsáhlejší oblasti (v řádu do stovek m²) postižené sesuvy, byly zjištěny pouze v povodí Ostružné u Kolince a v pramenné oblasti Volyňky, kde to souvisí s dlouhodobým podmáčením charakteristickým pro pramenné oblasti.

2. Fluviální akumulční tvary

- Údolní niva

- Geologicky jsou údolní nivy tvořeny nejmladšími, holocenními až recentními sedimenty, probíhá v nich výrazná recentní eroze i sedimentace.
- Údolní niva je vyvinuta u všech mapovaných vodních toků, její šířka je však značně variabilní. Na některých úsecích je v důsledku geologických predispozic či antropogenních zásahů částečně nebo zcela přerušena. Zúžení údolních niv v důsledku výstavby komunikací a doprovodných dopravních staveb (náspy a mosty) bylo z hlediska povodňových rizik významné v místech, kde jsou tyto stavby orientovány napříč údolní nivou. Taková situace byla zaznamenána v údolí Volyňky, a to v případě náspů železnice ve Strakonících a silnice ve Čkyni a v Bohumilicích. V důsledku nevhodně umístěného mostu v Bohumilicích došlo dokonce k přeložení koryta Volyňky. K destrukci železničních náspů došlo ve větším rozsahu v údolí Blanice.
- Hlinitopísčité akumulace představují 54 % veškerých fluviálních akumulací uložených v nivách, což platí jak pro povodňové sedimenty usazené po povodních v roce 2002, tak i pro starší akumulace.
- Náplavový (dejekční) kužel
 - Tyto tvary se nacházejí v celém povodí Otavy na všech tocích různých řádů. Nikde však nebyly příčinou akcelerace povodňové situace či projevů akumulčních či erozních procesů. Horizontální rozměry těchto tvarů se pohybují řádově v desítkách metrů.
- Fluviální terasa
 - Fluviální terasy jsou vyvinuty na středním a dolním toku Otavy mezi Střelskými Hošticemi a ústím Blanice do Otavy, kde mají podobu plošin ve dvou úrovních.
 - V údolních nivách byly navíc zaznamenány nevysoké stupně, které charakterizují nejmladší fázi vývoje údolí daných vodních toků. Tyto stupně byly nalezeny i na horních úsecích toků, kde se nacházejí 1 – 1,5 m nad údolním dnem (např. horní tok Volyňky nad Lipkou).

3. Fluviální erozní tvary

- Přeložené a opuštěné koryto
 - Tyto lineární geomorfologické tvary jsou spolu komplementárně spojené a vznikaly v místech, kde měly vodní toky největší erozní sílu, tedy v místech se zvýšenou rychlostí toku, která byla často podmíněna

antropogenními zásahy do koryta vodního toku či jeho bezprostřední blízkosti .

- Podmínky pro přeložení koryta se rovněž vytvářely v důsledku zanesení hlavního koryta nebo oslabením břehů.
- Nejvíce jsou tyto jevy rozšířeny na horním toku Blanice, lze se s ním setkat rovněž na horním a středním toku Volyňky a horním toku Otavy.
- Výrazné poškození břehu, břehová nátrž
 - Tyto tvary se vyskytují ve všech úsecích toků a jsou nejčastějším erozním tvarem. Ve větší míře se vyskytují v okolí míst výrazných antropogenních úprav toků (např. jezy, úseky s antropogenně změněným směrem koryta).
- Protržený val
 - K výraznějším projevům tohoto jevu došlo vlivem nevelkého množství vybudovaných protipovodňových valů.
 - Z hlediska potenciálních rizik představují valy zvýšené nebezpečí, spojené s jejich případnou destrukcí a následnou akcelerací erozních procesů.
 - Na Brložském potoce protržení jedné hráze rybníka způsobilo kaskádovitý efekt protržení dalších, níže po toku položených rybníků. K podobnému protržení hrází rybníků došlo rovněž na středním toku Volyňky či Bavorovského potoka.
- Erozní rýha
 - Ve zvýšeném počtu se erozní rýhy nacházejí v dolních částech povodí, které se vyznačují větší mocností zvětralin a slabším vegetačním krytem, případně nevhodnými antropogenními zásahy.
- Zdrojová oblast plošného splachu
 - Jedná se o zemědělsky obhospodařované plochy, ze kterých byl plošným splachem transportován materiál do příkopů a depresí na úpatí svahů. Tyto plochy jsou charakteristické sklonem přesahujícím 5°.

4. Antropogenní tvary

- Jez
 - nacházejí na všech studovaných vodních tocích a jsou soustředěny převážně do středních a dolních částí toků.

- Z terénního výzkumu vyplývá, že v okolí jezů se koncentrují největší erozní a na ně navazující akumulární projevy fluvialní činnosti. Lze konstatovat, že čím je jez vyšší, tím došlo k větším a ničivějším událostem (např. jezy ve Strakonících, Radošovicích, Strunkovicích n. Volyňkou, Volyní, Nišovicích, Vimperku, Horním Poříčí atd.), které poškodily okolí rozsáhlými akumulacemi nebo nátržemi, včetně protržení protipovodňových valů, destrukcí mostů a lávek.
- Protipovodňový val
 - Tyto tvary se vyskytují v blízkosti lidských sídel a v místech nejintenzivnějšího antropogenního působení v údolních nivách, tedy na středním a dolním toku Otavy.
- Antropogenní val, halda
 - Rozmístění těchto antropogenních tvarů je koncentrováno do okolí obcí a souvisejí s dopravními stavbami procházejícími údolními nivami, tedy jsou převážně situovány na středním a dolním toku Volyňky a na středním toku.
 - Takovým příkladem je železniční násep, který prochází napříč údolní nivou Otavy.
- Most poškozený nebo zničený

5. Ostatní tvary

- Úpad
- Bezodtoková deprese
 - Deprese v inundačním území nebo místa na svazích s malým sklonem zaplavovaná povrchovou nebo vystupující podzemní vodou se nacházejí v oblasti niv ve středních a dolních částech vodních toků (Otava, Volyňka, Mlýnský potok).

6.1.3. Geologické poměry

Geologické poměry předurčují geomorfologické a hydrogeologické charakteristiky. Mají vliv na intenzitu zvětrávání, ovlivňují tvar říční sítě, materiál dna či chemické složení vody. Jako moldanubikum označujeme rozsáhlý komplex většinou silně přeměněných a hlubinných hornin, které tvoří převážnou jižní a jihozápadní část Českého masivu. Kromě variských granitoidových komplexů hlavně karbonského stáří jsou zde přítomny metamorfované sedimentární, vulkanické i starší hlubinné horniny. Jde o nejsilněji metamorfovanou a nejhlouběji obnaženou část variského horstva (Povodí Vltavy, 2009).

Šumavské moldanubikum zaujímá oblast Šumavy a Novohradských hor a jejich podhůří. Na severu sousedí se středočeským plutonem mezi Nýrskem a Pískem, na východě s jižním cípem Třeboňské pánve a na severovýchodě tvoří konvenční hranici osa Budějovické pánve. Převážná část je tvořena svory, svorovými rulami a migmatity s málo hojnými vložkami kvarcitů, erlanů, vápenců a grafitických hornin. Horniny pestré skupiny sušicko-votické jsou pararuly a migmatity s vložkami křemenců, amfibolitů, erlanů a v menší míře vápenců. Horniny šumavského moldanubika (a to jak jeho jednotvárné tak pestré skupiny) budují převážnou část povodí Otavy, Volyňky a Blanice a pramenní oblast Vltavy a jejich hlavních přítoků (Povodí Vltavy, 2009).

V celé oblasti moldanubika jsou nejrozšířenější horniny jednotvárné skupiny - především biotitické plagioklasové pararuly a sillimaniticko-biotitické pararuly s hojným cordieritem v blízkosti kontaktů s variskými granitoidy. V menší míře jsou zastoupeny i pararuly muskovit - biotitické až dvojslídne svory, hlavně v oblasti chýnovské. Základními horninami pestré skupiny jsou rovněž peliticko-psamitické sedimenty, přeměněné na biotitické, biotit - sillimanitické a biotiticko - cordieritické pararuly. Dále jsou přítomny vložky hornin pestré skupiny - kvarcity, metamorfované slepence, krystalické a dolomitické vápence, skarny, amfibolity, granulity a peridotity (granátické peridotity-eklogity) a hojná tělesa metamorfovaných granitoidů- ortorur (Povodí Vltavy, 2009).

Významnější akumulace kvartérních sedimentů zahrnují fluviální uložení přítoků střední Vltavy - údolní nivy a spodní terasy Otavy mezi Střelskými Hořticemi a Strakonice, dále fluviální sedimenty Otavy a Blanice po Písek a fluviální sedimenty Lužnice a Nežárky. Jsou zde zastoupeny písčité štěrky různého stáří, zejména würmské a risské.

6.1.4. Hydrogeologické poměry

Hydrogeologické poměry indukují možnosti zásob podzemní vody a působení na odtokové poměry prostřednictvím základního odtoku. Druhy hornin, jejich propustnost nebo uspořádání jednotlivých vrstev ovlivňují výskyt, pohyb, chemické a fyzikální vlastnosti podzemní vody. Hydrogeologické poměry ovlivňují proces odtoku vody z povodí (Povodí Vltavy, 2009).

Hydrogeologický masív, kterým lze charakterizovat zvodnění v krystaliniku, je jednokolektorový zvodnělý systém s mocností nepřesahující obvykle několik desítek metrů a probíhající konformně s terénem. Je pro něj příznačné lokální proudění podzemních vod s infiltrací převážně v celé ploše a s drenáží v úrovni nebo nad úrovní místní drenážní báze. Horniny krystalinika jsou málo propustné horninové komplexy. Z hydrogeologických celků mají největší vodohospodářský význam jihočeské pánve, zejména klikovské souvrství Budějovické a částečně i neogén a křída Třeboňské pánve (území mezi Borovany a Trhovými Sviny). V pánvích lze vymezit dva typy proudění podzemních vod: mělké (lokální) a hlubší (regionální), (Povodí Vltavy, 2009).

Z hlediska specifického odtoku podzemních vod jsou nejvyšší hodnoty nad 10 l/s/km² dokumentovány v pramenních oblastech toku Otavy ve vrcholových partiích Šumavy. V pramenné oblasti Vltavy a ve vrcholové části Šumavy dosahuje

specifický odtok hodnot 5-7 l/s/km², v podhůří Šumavy v okolí Sušice, Vimperka, širším okolí Českého Krumlova a na Českomoravské vrchovině severně od Nové Bystřice činí specifický odtok 3 - 5 l/s/km². Naopak oblasti s nejnižšími hodnotami specifického odtoku 1 l/s/km² jsou Jihočeské pánve, a oblast na dolním toku Otavy a Blanice v okolí Písku a Strakonice. Pramenní činnost je nejvýznamnější na horním toku Otavy a Volyňky mezi Kašperskými Horami a Vimperkem, dále v okolí Třemšína severně od Blatné v povodí Lomnice, a také v okolí Týna nad Vltavou při soutoku Lužnice a Vltavy (Povodí Vltavy, 2009).

6.1.5. Hydrologické poměry

Pro toky pramenící v Novohradských horách (např. Malše) a v podhůří Šumavy (např. Blanice) je typický letní režim povodní. Pro Vltavu a Otavu je na jejich horních tocích charakteristický zimní až smíšený režim a na dolních tocích v oblasti povodí převažuje režim letní. Lužnice s přítoky má spíše zimní režim povodní (Povodí Vltavy, 2009).

Charakteristickým znakem této oblasti povodí je velké množství rybníků, z nichž největšími jsou Rožmberk, Bezdrev, Horusický a Dvořiště. V oblasti povodí Horní Vltavy byly rovněž vybudovány velké vodní nádrže horní části Vltavské kaskády - Lipno a Hněvkovice, a dále stupeň Kořensko ve vzdušné nádrže Orlík. Dalšími vodními nádržemi jsou vodárenské nádrže Římov na Malši a Husinec na Blanici. Humenice na Stropnici slouží pro zásobování užitkovou vodou (Povodí Vltavy, 2009).

Mezi hlavní toky povodí Horní Vltavy jsou řazeny Vltava, Malše, Lužnice, Nežárka, Otava, Volyňka, Blanice, Lomnice. Bližší popis si zaslouží Vltava, která pramení na Šumavě v nadmořské výšce 1172 m n.m. Po soutok se Studenou Vltavou je nazývána Teplou Vltavou. Horní tok protéká NP a CHKO Šumava, kde na jejím toku byla vybudována nejrozsáhlejší vodní nádrž v ČR Lipno a Lipno II. Dále teče Šumavským podhůřím až k jižnímu cípu České republiky, kde se u Vyššího Brodu začíná stáčet k severu, a generálně tímto směrem pak teče až ke svému ústí. Protéká Českokrumlovskou vrchovinou, podél hranic CHKO Blanský les do Českobudějovické pánve, kde se její údolí značně rozšiřuje a snižuje svůj spád. U Hluboké nad Vltavou vstupuje řeka do pahorkatin Českomoravské soustavy (Táborská pahorkatina) a protéká hlubokým údolím, ve kterém byla vybudována vodní nádrž Hněvkovice (pro zásobování jaderné elektrárny Temelín chladicí vodou) a ponořený stupeň Kořensko na konci vzdušné vodní nádrže Orlík. Oblast povodí Horní Vltavy opouští u Zvíkova soutokem s Otavou. Celková délka toku činí asi 424,3 km, délka v oblasti povodí Horní Vltavy (po soutok s Otavou) asi 252 km (Povodí Vltavy, 2009).

Pro ukázkou jsou v tabulce č. 2 základní hydrologické údaje N-letých průtoků z vybraných hlásných profilů. V oblasti Horní Vltavy se jedná o 57 profilů.

Profil	Vodní tok	ČHP	A (km ²)	Q _a (m ³ /s)	N - leté průtoky (m ³ /s)				
					Q ₁	Q ₅	Q ₁₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
Němetice	Volyňka	1-08-02-041	383.80	2.95	33	80	109	196	243
Bavorov	Blanice	1-08-03-061	500.6	3.54	27	78	108	200	250
Strakonice	Otava	1-08-02-046	1719.07	18	141	267	339	547	656
Č. Budějovice	Vltava	1-08-03-001	2849.82	28	172	350	452	751	908

Tab. č. 2: Základní hydrologické údaje (Povodní Vltavy, 2009)

6.1.6. Pedologické poměry

Půdní vlastnosti, svažitost terénu a typ vegetace jsou zásadními faktory pro specifikaci erozního ohrožení. Z hlediska půdních typů převládají v oblasti povodí Horní Vltavy hnědé půdy (52,9 %), následují pseudogleje a gleje (28 %) a podzoly (12,1 %). Všechny rozšířenější typy moldanubických metamorfovaných hornin zvětrávají na písky více nebo méně hlinité. V místech, kde působila mladá eroze, vznikají písčito - kamenité půdy (Šumava, Šumavské podhůří).

Na území krystalinika jsou nejrozšířenějším půdním typem podzolové půdy, ve vyšších a chladnějších polohách převládají podzoly, pouze v nižších teplejších polohách se vytvořily hnědozemě, které však podléhají vyluhování a postupně rovněž přecházejí do podzolů. Tak např. silně podzolované půdy jsou vázány na území s velkým množstvím srážek (většinou zalesněná území), půdy středně podzolované zaujímají lesní plochy Šumavského podhůří. Na podmáčená území jsou vázány gleje a rašeliníšní půdy. Podobně v inundačních územích řek a potoků je celý půdní profil nebo jeho spodní část charakterizována glejovým vývojem.

6.1.7. Klimatické poměry

Klimatické podmínky zásadně utvářejí vodní režim v území. Odtokové poměry závisí na spadlých srážkách – především na jejich druhu, množství, časovém a plošném rozložení a dále pak na výparu. Povodí Horní Vltavy leží stejně jako celá Česká republika v mírném klimatickém pásu severní polokoule na okraji území s mírným oceánským vlivem a pravidelným střídáním čtyř ročních období. Z klimatických oblastí (podle Quitta) převládá v oblasti povodí Horní Vltavy mírně teplá oblast. Na Šumavě a v Novohradských horách se vyskytuje oblast chladná. Nejnižší srážky v oblasti povodí jsou v širší oblasti okolí toku Vltavy pod Českými Budějovicemi a dolních toků Otavy a Blanice, kde dlouhodobý průměr činí 500 - 600 mm, nejvyšší jsou v oblasti Šumavy a Novohradských hor i jejich podhůří, kde dlouhodobý roční srážkový úhrn přesahuje 1200 mm, na Šumavě až 1400 mm. Ve zbylé části oblasti povodí se dlouhodobý srážkový průměr pohybuje mezi 600 až 800 mm. V převážné části oblasti povodí jsou dosahovány průměrné roční teploty vzduchu vyšší než 6°C. Nižší průměrné teploty se vyskytují v oblastech hornatin a vrchovin a zejména v oblasti Šumavy, kde průměrné roční teploty klesají pod 4° C. K nejteplejším oblastem patří území Českobudějovické a Třeboňské

pánve a v oblasti Písecka, kde jsou dosahovány průměrné roční teploty vzduchu přes 8°C (Povodí Vltavy, 2009).

Průměrné měsíční teploty vzduchu a úhrny srážek od r. 1961-1990 pro stanice Churáňov (1118 m n. m.), České Budějovice (388 m n. m.), a Tábor (461 m n. m.) jsou uvedeny v tabulkách č. 3 a č. 4.

Stanice	Měsíc												Rok
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Průměrná teplota vzduchu 1961-1990 [°C]													
Churáňov	-4.1	-3.8	-1.1	2.9	7.8	11.1	12.9	12.4	9.5	5.4	0.1	-3.1	4.2
České Budějovice	-1.8	-0.3	3.4	8.1	13.0	16.2	17.7	17.1	13.5	8.4	3.3	-0.3	8.2
Tábor	-2.8	-1.1	2.6	7.4	12.6	15.8	17.3	16.6	12.9	7.9	2.7	-1.0	7.6

Tab. č. 3: Průměrné teploty vzduchu (Povodí Vltavy, 2009)

Stanice	Měsíc												Rok
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Úhrny srážek 1961-1990 [mm]													
Churáňov	78.7	67.2	80.0	86.0	103.4	127.5	114.0	115.6	77.3	62.2	83.5	95.3	1090.7
České Budějovice	22.6	23.4	32.0	46.5	70.1	93.0	77.8	78.8	47.5	32.0	34.7	24.5	582.8
Tábor	32.5	30.7	34.4	41.4	66.9	79.3	68.4	72.7	45.6	35.2	36.2	35.4	578.8

Tab. č. 4 Úhrny srážek (Povodí Vltavy, 2009)

V následujících tabulkách 5 a 6 jsou uvedeny průměrné měsíční teploty a úhrny srážek za 2012 taktéž pro stanice Churáňov, České Budějovice a Tábor.

Stanice	Měsíc												Rok
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
průměrná měsíční teplota [°C]													
Churáňov	-3.7	-8.5	2.7	4.5	10.6	13.0	13.7	14.5	9.9	5.6	3.0	-2.4	5.2
České Budějovice	1.5	-4.1	6.5	9.2	15.0	18.0	18.7	18.9	14.0	8.5	5.2	0.7	9.3
Tábor	-0.1	-5.3	5.6	8.5	14.4	17.3	18.1	18.5	13.3	7.2	4.6	-1.5	8.4

Tab. č. 5: Průměrné teploty vzduchu 2012 (ČHMÚ, 2013)

Stanice	Měsíc												Rok
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Úhrny srážek 1961-1990 [mm]													
Churáňov	161.5	41.2	16.9	96.7	49.0	143.2	228.8	152.0	91.9	56.4	55.9	117.6	1210.3
České Budějovice	3.1	19.7	7.7	46.8	73.7	168.2	141.8	137.2	61.4	37.1	23.1	39.2	804.8
Tábor	85.5	27.0	11.4	31.5	46.7	74.2	122.6	81.2	41.6	36.4	29.2	69.9	657.2

Tab. č. 6: Úhrny srážek 2012, (CHMÚ, 2013)

6.1.8. Lesní poměry

Vegetace, především pak lesy, ovlivňuje hydrologický režim toků. Pro rozbor růstových podmínek byly stanoveny lesní vegetační stupně (LVS) a ekologické řady. Dle typologického systému ÚHÚL oblast povodí zahrnuje vyrovnané spektrum vegetačních stupňů od dubových bučin až po smrkové bučiny s téměř 90 %. Horská část (7. - 9. LVS) je zastoupena téměř 10 %. Z hlediska ekologických řad je převažující kyselá ekologická řada s 42,8 %, následuje řada oglejená na střídavě zamokřených půdách s 23,4 % a živná řada s 20,3 %. Na zájmovém území převládá smrk s majoritním podílem nad 60 %, u listnáčů má největší zastoupení buk s 4% a dub s 2,5 % (Povodí Vltavy, 2009).

6.1.9. Sídelní struktura

Dnes žije nejvíce obyvatel v Českobudějovické pánvi. Přes vysokou porodnost byl přírůstek do poloviny 18. století velmi nízký (díky chorobám, četným válkám a neúrodě). V průběhu 19. století se počet obyvatel v souvislosti se změnou v zemědělství, zlepšení hygienické situace téměř zdvojnásobil. Během 20. století byl populační vývoj značně nerovnoměrný a vývoj počtu obyvatel byl značně ovlivněn světovými válkami a odsunem německých obyvatel. Od počátku osmdesátých let nastává období nízké natality i mortality, charakterizované malým přirozeným přírůstkem či dokonce úbytkem obyvatel (Povodí Vltavy, 2009).

6.1.10. Využití ploch v oblasti povodí

Největší plochu v oblasti povodí Horní Vltavy zauímají lesy a polopřírodní vegetace (přes 40 %) a orná půda (přes 35 %). Na základě porovnání CORINE 2000 s předchozí vrstvou CORINE 1990 (www.geoportal.gov.cz) je zřejmé, z vodohospodářského hlediska příznivá, tendence rostoucího podílu travních porostů na úkor orné půdy. Určitým rizikem je nárůst uměle přetvořených povrchů, zejména v okolí větších sídel (Povodí Vltavy, 2009).

6.1.11. Zkrácení toků v povodí Otava

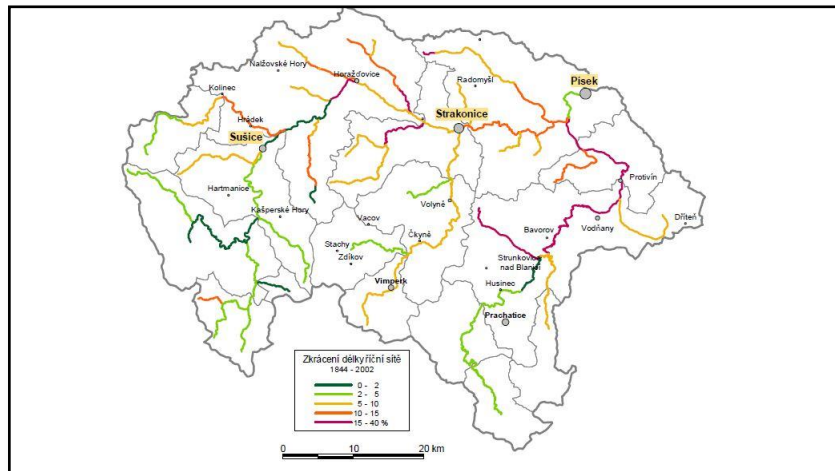
Hladný (2007) uvádí, že z celkové délky 60 711 km přirozených vodních toků v České republice jich bylo zhruba 13 000 km upraveno a došlo ke zkrácení jejich přirozených tratí o 4 600 km. Přitom se drobné vodní toky s plochou povodí menší než 5 km² podílejí na celkové délce všech toků 51,5 %.

Podle analýzy historického vývoje říční sítě v povodí Otavy dle Langhammera et Vajskebra (2004), vyhodnocení dat z historických map druhého a třetího vojenského mapování (1844; 1869-87), map GŠ ČSA (1952-7) a digitální vektorové mapy ZABAGED (2002), prokázaly výrazné změny v historickém vývoji délky říční sítě v povodí Otavy (Obr. č. 12). K největším změnám došlo na dolních povodích toků a na drobných tocích v zemědělské krajině. Nejvyšší dosaženou míru zkrácení toku pozorujeme na dolním toku Blanice. Celkově byl tok Blanice zkrácen v jednotlivých fázích vývoje o více než 17,7 km, tok Otavy o necelých 6 km. U zkoumané Volyňky došlo ke zkrácení o 2,7 km. Zkrácením délky toku dochází k podstatnému snížení objemu říční sítě a tím ke zvětšení podílu odtokové vlny, který je třeba uskladnit mimo vlastní koryto. Zkrácení toku vede dále ke zrychlení

postupu povodňové vlny údolní nivou, zvýšení strmosti jejího tvaru a celkově k dosažení vyšších hodnot vodních stavů při kulminaci. Zkrácení délky toku se na zrychlení postupu povodně projevuje zejména v situacích, kdy voda nevystupuje z hranice koryta či protipovodňových valů, vedených paralelně s korytem toku. Při překročení těchto limitů, kdy povodeň k odtoku využívá celý profil údolní nivy, se efekt zkrácení toku minimalizuje. Urychlení odtoku vody z území a dostatečné nevyužití transformačního potenciálu údolní nivy má jednoznačně za následek zvýšení dosažených výšek hladin vody při kulminaci. To klade vyšší nároky na dimenzování a konstrukci protipovodňových opatření a přímo rozhoduje o výši povodňových škod, (Langhammer et Vajskebr, 2004).

Povodí Volyňky a jejích přítoků, stejně jako přítoky Otavy v oblasti šumavského podhůří byly úpravami toků postiženy v omezené míře. Průměrná míra zkrácení se v těchto povodích pohybuje okolo 5 %, což představuje hodnoty pod průměrem povodí Otavy jako celku, ale i pod průměrnými hodnotami zkrácení říční sítě, uváděnými v literatuře pro ČR. Příčinou je slabší antropogenní tlak na krajinu v této oblasti, méně intenzivní osídlení i zemědělství. Nejvýraznější změny říční sítě v povodí Otavy pozorujeme v časovém období první poloviny 20. století. Rozdíl v délce říční sítě zachycené na mapách 3. vojenského mapování, tj. v letech 1869 – 87 a stavem z poloviny 20. století, zachyceném na mapách GŠ ČSA z let 1952-7, dosahuje délky 39,8 km, což představuje 6,6% délky říční sítě. Úpravy toků ve druhé polovině 20. století již nedosáhly intenzity předchozího období. Celkové zkrácení toků dosáhlo 8,8 km a nejintenzivněji se projevilo opět v povodí Blanice, ale nově též v povodí Volyňky (Langhammer et Vajskebr, 2004).

Langhammer et Vajskebr (2004) vyhodnotili, že výsledky analýzy historického vývoje říční sítě prokázaly výrazné změny ve vývoji délky říční sítě v povodí Otavy. V průběhu posledních 150 let říční síť doznala značného zkrácení, které se v některých úsecích blíží až 40 % původní délky. Největší zkrácení říční sítě je pozorováno na dolních úsecích toků a na drobných přítocích. K nejintenzivnějšímu zkrácení toků došlo v období od konce 19. století do poloviny 20. století, kdy byly napříměny hlavní úseky významných toků v povodí, zejména dolní Blanice a Otavy. Intenzivní socialistické zemědělství v 2. polovině 20. století se na úpravách říční sítě překvapivě projevilo méně výrazně. Při hodnocení průběhu a následků povodně v srpnu 2002 na povodí Otavy zkrácení vodních toků se ukázalo, že, vliv zkrácení hydrografické sítě na povodňové následky byl omezený a že rozhodujícím činitelem pro výši škod a průběh povodně byly extrémní srážkové úhrny a časový sled dvou povodňových vln. Vhodným prostředkem pro částečné zmírnění negativních dopadů zkrácení toků na následky povodní může bezesporu být vhodně navržená a realizovaná revitalizace vybraných úseků toků.



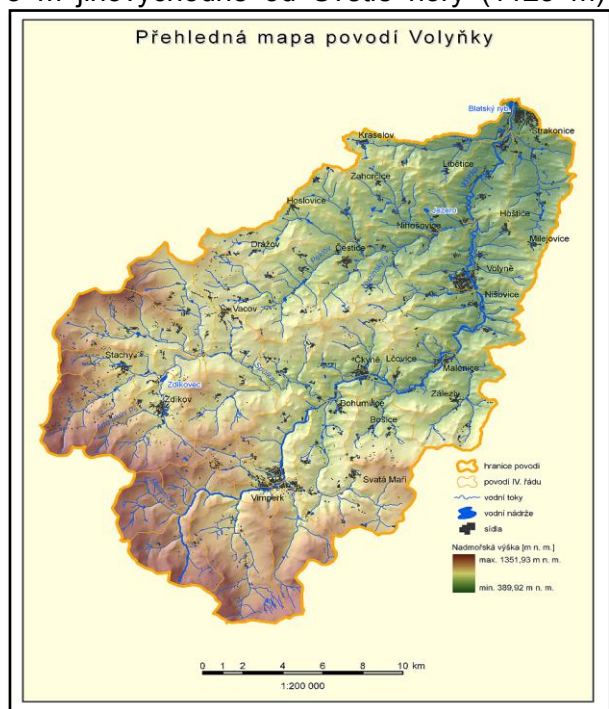
Obr. č. 12: Celková délka říční sítě v povodí Otavy od 2. voj. mapování po současnost (Langhammer et Vajskebr, 2004)

6.2. Charakteristika zájmového území

Zkoumaná část toku má délku 4.6 km a protéká městem Vimperk, které se nachází 25 km východně od okresního města Prachatic a necelých 30 km od německých hranic, v Jihočeském kraji. Vimperk leží v údolí řeky Volyňky v nadmořské výšce 700 m. Může se pochlubit necelými 8000 obyvatel. Jedná se klimatický region chladný, vlhký. S výskytem půdních typů kambizemě dystrikové, podzoly a kryptopodzoly.

6.3. Charakteristika vodního toku Volyňka

Vodní tok Volyňka pramení 75 m jihovýchodně od Světlé hory (1123 m) ve výšce 1031.96 m n. m. Ústí zprava do Otavy ve Strakonících na jejím 53.73 ř. km ve výšce 389.92 m n. m. Délka toku je 46.13 km. Plocha povodí Volyňky je 426.66 km². Číslo hydrologického pořadí je 1-08-02-001/0 až 1-08-02-045/0 (IV. řád). V povodí se nachází 412 vodních ploch s celkovou rozlohou 63.41 ha. Největší z nich je Blatský rybník (4.36 ha) a rybník Zdíkovec (3.73 ha), (VÚV TGM, 2011). Volyňka protéká městem Vimperk, obcemi Sudslavice, Čkyně, Malenice, Nišovice, městem Volyně, obcemi Přední Zborovice, Radošovice, Mutěnice a městem Stakonice. Plocha povodí je



Obr. č. 13: Mapa povodí Volyňky (VÚV TGM, 2011)

413.1 km². Celková délka toku činí 46.1 km. Nad Arnoštským potokem protéká územím CHKO Šumava. Na Volyňce se nacházejí dvě hydrologické stanice: Lčovice a Němetice (Vlček, 1984). Řeka má na horním toku velký spád a teče v kamenitém korytě sevřeným údolím. Na středním a dolním toku je tok klidnější a údolí širší.

Jedná se o vodohospodářsky významný tok s pstruhovou vodou. Volyňka je i vodácky využívaná a to v úseku 7 km od soutoku s Arnoštským potokem po Sudslavice. Pyšní se zde obtížností WW IV (z německého Wildwasser, tj. „divoká voda“). Dále od Sudslavic po Čkyni s obtížností WW III, následně od Čkyně do Volyně (13 km) obtížnost WW II, a od Volyně po ústí do Otavy (14 km) obtížnost WW I (Vlček, 1984).

Mezi větší pravé přítoky Volyňky patří: Arnoštský potok, Pravětínský potok, Bořanovický potok, Radhostický potok, Svaryšovský potok.

Mezi větší levé přítoky Volyňky patří: Medvědí potok, Křesánovský potok, Spůlka, Nahořanský potok, Starovský potok, Peklov, Smiradický potok.

Významnější povodeň zažilo město Vimperk v r. 2002, kdy se Volyňka vylila z břehů. Rozlila se například v parku, dostala se i do kulturního domu a podemlela například komunikaci u čistírny odpadních vod a chodníky u nádraží. Ve směru toku Volyňka zaplavila několik domů a také jednu firmu ve Čkyni. Musely být evakuovány kempy v Lenoře a Horní Vltavici. Houžná se proměnila v rozsáhlé jezero. Hřiště v Lenoře se po vylití Řasnice s Vltavou proměnilo v jedno jezero a silnice mezi Soumarským mostem a Českými Žleby byla pod vodou a chybí část vozovky. Kvůli povodním byla řada lidí bez proudu. Vážná situace panovala i na silnicích. Zaplavená byla silnice z Vimperka na Čkyni u Sudslavic, Krumlovská ulice v Prachaticích a další zaplavené úseky byly v Záblatí nebo Zábrdí (Město Vimperk, 2009).

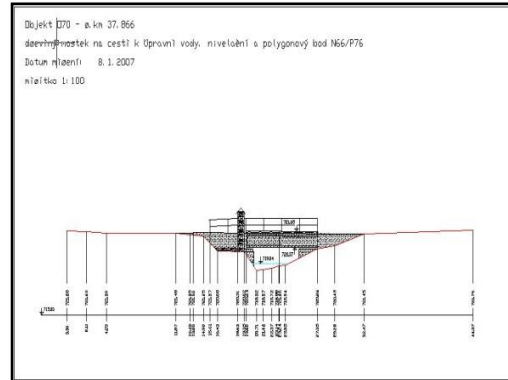
6.4. Charakteristika vodohospodářských objektů na řešeném úseku Volyňky

V úseku od 33.332 ř. km do 37.870 ř. km se nachází celkem 12 vodohospodářských objektů, z toho 11 mostů a jeden jez.

1. Dřevěný mostek na cestě k Úpravně vody - 37.866 ř. km, sloužící pro obousměrný provoz, široký 4m, dlouhý 18m



Foto č. 1: Skutečnost – dřevěný mostek (Autor, 2013)

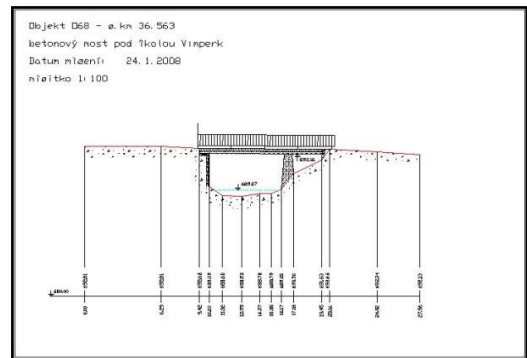


Obr. č. 14: Technický výkres – dřevěný mostek (Povodí Vřtava 2008)

2. . Betonový most pod školou Vimperk - 36.563 slouží pro obousměrný provoz, široký 5m, dlouhý 11m



Foto č. 2: Skutečnost – betonový most pod školou (Autor, 2013)

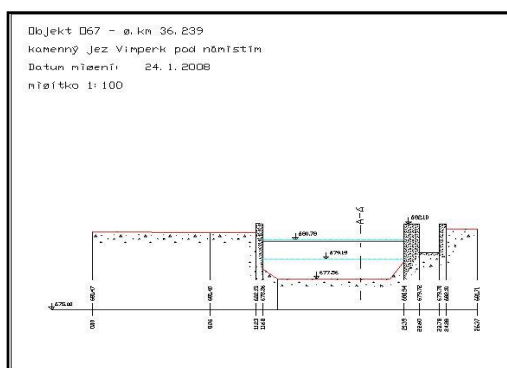


Obr. č. 15: Technický výkres – betonový most pod školou (Povodí Vřtava, 2008)

3. Kamenný jez Vimperk, Pasovská ul. 36.239 ř. km



Foto č. 3: Skutečnost – Kamenný jez Vimperk (Autor, 2013)

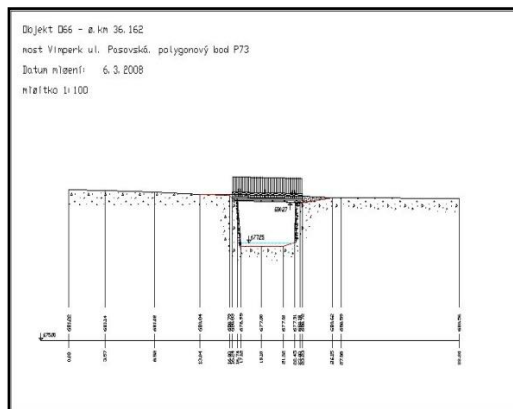


Obr. č. 16: Technický výkres – Kamenný jez (Povodí Vltava, 2008)

4. Most Vimperk ul. Pasovská - 36.162 ř. km, slouží pro jednosměrný provoz, široký 7m, dlouhý 7m



Foto č. 4: Skutečnost – most Vimperk, ul. Pasovská (Autor, 2013)

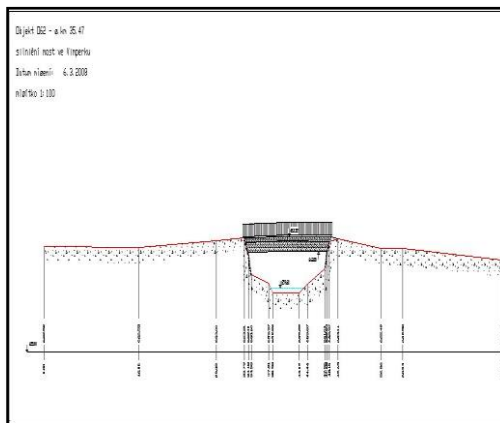


Obr. č. 17: Technický výkres – most Vimperk, ul. Pasovská (Povodí Vltava, 2008)

5. Most u parkoviště u Hotelu Amber – 35.867 ř. km, široký 11m, dlouhý 10m



Foto č. 5: Skutečnost – most u parkoviště (Autor, 2013)

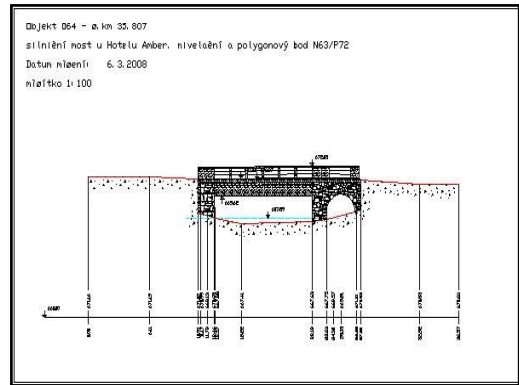


Obr. č. 18 Technický výkres - most u parkoviště (Povodí Vltava, 2008)

6. Silniční most u hotelu Amber - 35.807 ř. km, slouží pro obousměrný provoz, široký 11m, dlouhý 16m.



Foto č. 6: Skutečnost – silniční most u hotelu Amber (Autor, 2013)

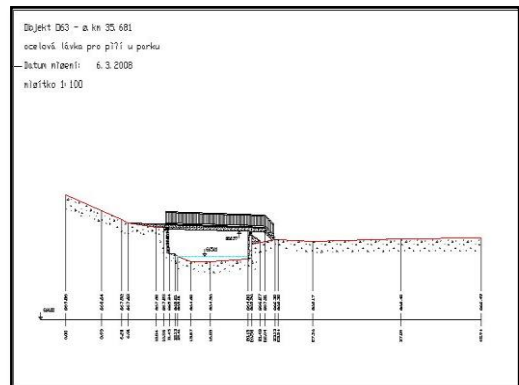


Obr. č. 19: Technický výkres – silniční most u hotelu Amber (Povodí Vltava, 2008)

7. Ocelová lávka pro pěší u parku - 35.681 ř. km, slouží pro přechod do obytných budov, široká 1.7m, dlouhá 15m.



Foto č. 7: Skutečnost – ocelová lávka (Autor, 2013)

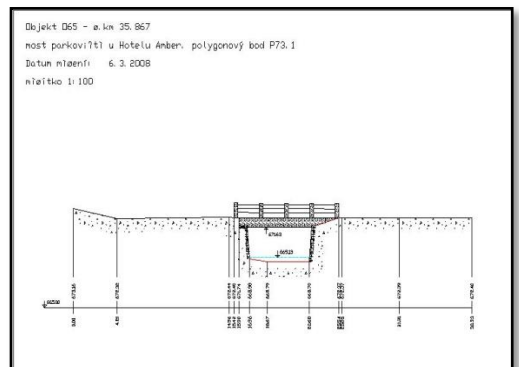


Obr. č. 20: Technický výkres – ocelová lávka (Povodí Vltava, 2008)

8. Silniční most ve Vimperku - 35.470 ř. km, slouží pro jednosměrný provoz široký 5m, dlouhý 15m



Foto č. 8: Skutečnost – silniční most (Autor, 2013)



Obr. č. 21: Technický výkres – silniční most (Povodí Vltava, 2008)

9. Silniční most silnice I.třídy 4 - 35.131 ř. km slouží pro obousměrný provoz, široký 14m, dlouhý 21m

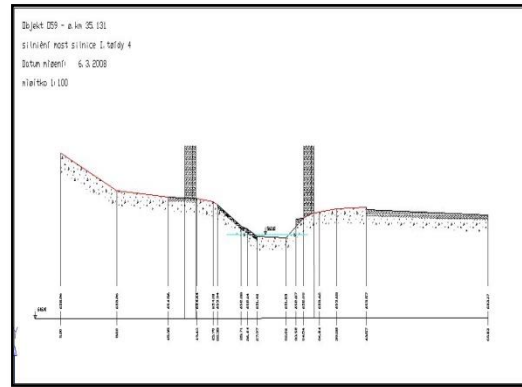


Foto č. 9: Skutečnost – silniční most silnice I. třídy 4 (Autor, 2013)

Obr. č. 22: Technický výkres - silniční most silnice I. třídy 4 (Povodí Vltava, 2008)

10. Silniční most silnice II.třídy 145 - 35.009 ř. km slouží pro obousměrný provoz, široký 9m, dlouhý 25m

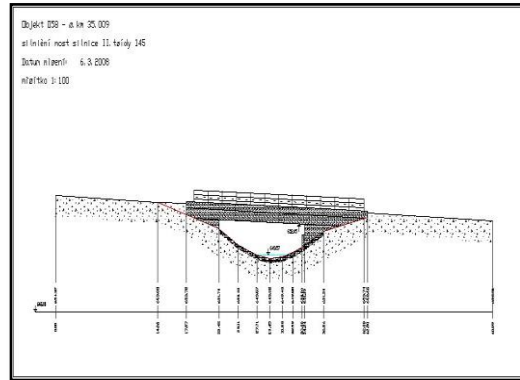


Foto č. 10: Skutečnost - silniční most II. třídy (Autor, 2013)

Obr. č. 23: Technický výkres - silniční most II. třídy (Povodí Vltava, 2008)

11. Silniční most u podniku Jitona - 34.570 ř. km slouží pro jednosměrný provoz, široký 7.5m, dlouhý 18m

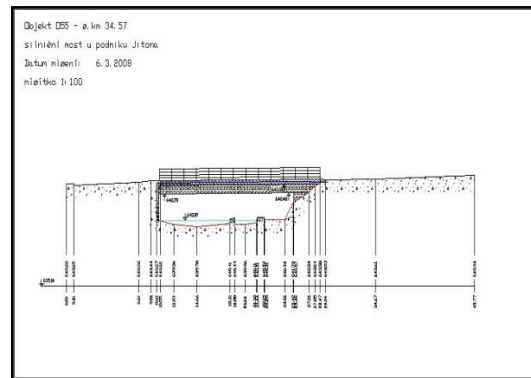


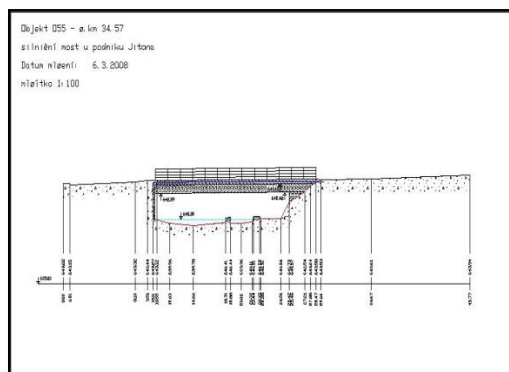
Foto č. 11: Skutečnost - silniční most u podniku Jitona (Autor, 2013)

Obr. č. 24: Technický výkres - silniční most u podniku Jitona (Povodí Vltava, 2008)

12. Most u bývalé teplárny ve Vimperku - 34.211 ř. km slouží pro jednosměrný provoz, široký 4.5m a dlouhý 25m.



Foto č. 12: Skutečnost – most u teplárny (Autor, 2013)



Obr. č. 25: Technický výkres - most u teplárny (Povodí Vltava, 2008)

7. Vlastní část - určení záplavového území

V této kapitole je vysvětlen postup zpracování výpočtu v programu HEC-RAS 4.1, díky jemuž jsou určeny výšky hladin N-letých průtoků v na řece Volyňce v řešeném úseku od 33.332 ř. km do 37.870 ř. km, kde se nachází 11 mostů, 1 jez a 4 stupně. Na úseku bylo zaměřeno celkem 62 příčných profilů.

7.1. Program HEC-RAS

Program HEC-RAS byl vytvořen Hydrologic Engineering Center (HEC), který byl založen r. 1964 k institucionalizaci technických znalostí, které se následně staly známé pod pojmem „Vodní hospodářství“ (US Army Corps of Engineers, neuváděno). Organizace v rámci Institutu pro vodní zdroje je centrem odborných znalostí pro US Army Corps of Engineers v technických oblastech povrchových a podzemních vod, hydrologie, hydrauliky a transportu říčních sedimentů, hydrologické statistiky a rizikové analýzy, analýzy plánování a řada dalších úzce souvisejících technických předmětů. HEC podporuje pole kanceláří, sídel firmy a laboratorní tým, že poskytuje řadu technických metod a pokynů, modely vodních zdrojů a související utility, školení a semináře, výzkum a vývoj, a provedení technické pomoci a speciální projekty (US Army Corps of Engineers 1, neuváděno). HEC-RAS je integrovaný softwarový systém, navrhnutý pro interaktivní používání multi - taskingu v oblasti životního prostředí. Tento systém je složen z grafického uživatelského rozhraní, samostatnými komponenty provádějící analýzy, možnosti ukládání dat a tvorby grafických výstupů. Současná verze HEC ras 4.1.0 podporuje výpočet ustáleného nerovnoměrného a neustáleného nerovnoměrného proudění, transportu sedimentů a analýzu kvality vody (Brunner et Ceiw-HEC, 2011). Tento program byl zvolen z toho důvodu, že je volně dostupný (freeware) na adrese <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hecras-download.html> a je vcelku snadno ovladatelný. Další informace jsou v kapitole 5.4.3.

Pro ustálené proudění v otevřených korytech musí být veškeré veličiny konstantní (průtok, hloubka, průměrné rychlosti) a jsou stejné jako ve všech příčných profilech podél celé délky toku (Hamill, 2011). Nerovnoměrný ustálený pohyb v prizmatických korytech vzniká vestavěním umělých překážek, např. jezů, pilířů, stupňů a změnou sklonu dna (Fictum, 1980). Nerovnoměrné ustálené proudění je součástí modelového systému, která je určena pro výpočet profilů povrchových vod pro ustálený různorodý tok. Tento systém může řešit plnou síť koryt, dendritický systém nebo samostatný říční tok. Program HEC-RAS umožňuje modelování říčního, bystřinného a smíšeného režimu proudění. Základní výpočet je založen na řešení 1D energetické rovnice. Energetické ztráty jsou způsobeny třením (Manningova rovnice) a koncentrací. Rovnice kinetické energie je využívána v situacích, kde se hladina výrazně mění. Tyto situace zahrnují výpočet smíšené proudění (hydraulický skok), hydrauliku mostů a hodnocení profilů na soutoku. Účinky různých překážek jako mostů, propustků, přehrad, jezů a dalších objektů mohou být důležité k výpočtům povodňových rozlivů (Brunner et Ceiw-HEC, 2011).

Výpočet neustáleného nerovnoměrného proudění je schopen simulace 1D neustáleného proudění skrz plnou síť otevřených koryt. Komponenty neustáleného proudění byly vyvinuty zejména pro výpočet říčního proudění. Hydraulické výpočty pro příčné profily, mosty, přehrady, propustky atd. vyvinuté pro ustálené proudění byly začleněny i do modulu pro neustálené proudění. Speciální funkce neustáleného proudění zahrnují např.: analýzu protržení přehrady, porušení a přelití hráze, tlakový potrubní systém (Brunner et Ceiw-HEC, 2011)..

Model transportu sedimentů je navrhnout k simulaci dlouhodobých trendů vymílání (SCOUR) a ukládání (sedimentů) v korytě, které by mohly mít vliv na změnu frekvence a délku vyběžení nebo změnu geometrie koryta. Tento systém může být využit k hodnocení uloženin v přehradách, předpověď vlivu bagrování na rychlost ukládání, odhad maximální možné SCOUR během velkých povodní a vyhodnocení sedimentace v pevných korytech (Brunner et Ceiw-HEC, 2011).

Současná verze HEC RASu může provést již zmíněné hodnocení kvality vody, jako jsou detailní teplotní analýza a transport omezeného množství složek jakosti vody (např. řasy, rozpuštěný kyslík, rozpuštěný organický fosfor), (Brunner et Ceiw-HEC, 2011).

7.2. Určení záplavového území

Veškeré výpočty potřebné k určení záplavového území při průtocích vybraných průtoků Q_{20} a Q_{100} byly zpracovány v programu HEC-RAS 4.1 vyvinutý Hydrologic Engineering Center (HEC).

7.2.1. Data potřebná pro výpočet

Mezi potřebné podklady nutné k výpočtu patří (1) Podklady mapové (orotofoto mapa, podkladová mapa) použité ze serveru geoparat.gov.cz, díky níž byla vykreslena v programu Arcgis 9.3 řešená část toku a následně použita i jako podklad pro schematizaci řešené říční sítě. (2) Hydrologické podklady, kde se jedná o data příčných profilů, kde každý příčný profil byl ve formátu .txt, který obsahoval X a Y souřadnice, nadmořskou výšku, označení levého a pravého břehu a dna. Pro správné zadání příčných programů v HEC-RASU chyběly údaje o staničení k jednotlivým nadmořským výškám, to bylo vyřešeno pomocí vzorce:

$$= \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2}$$

kde: X.....x-ová souřadnice


Y..... y-ová souřadnice

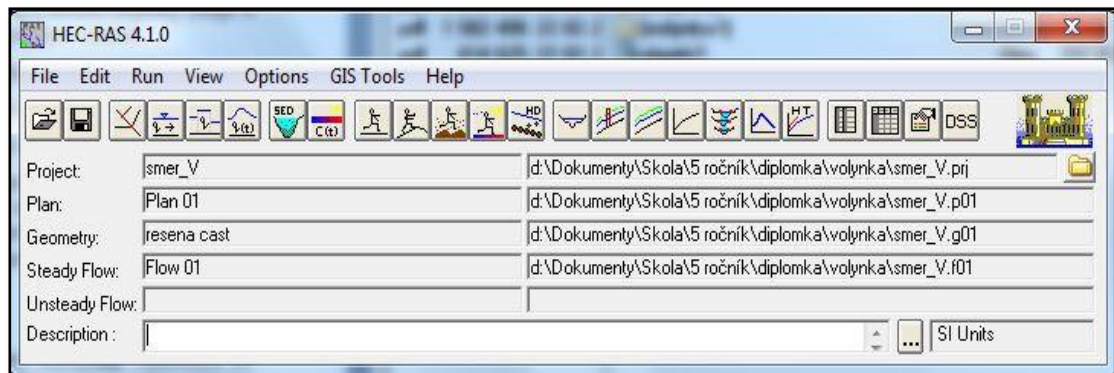
A a B.... vzdálenost mezi body

Objekty na vodním toku a průtoky (Q_1 , Q_2 , Q_5 , Q_{10} , Q_{50} , Q_{100}), které byly získány od Povodí Vltavy (závod Horní Vltava) od Ing. Jířího Balouna. (3) Stanovení drsnosti, které byla určena díky vlastnímu terénnímu průzkumu a dále vyhodnocena pomocí tabulky z HEC-RAS Reference Manual v kapitole 3 Basic data requirements dle drsností podle Manninga.

7.2.2. Seznámení s programem

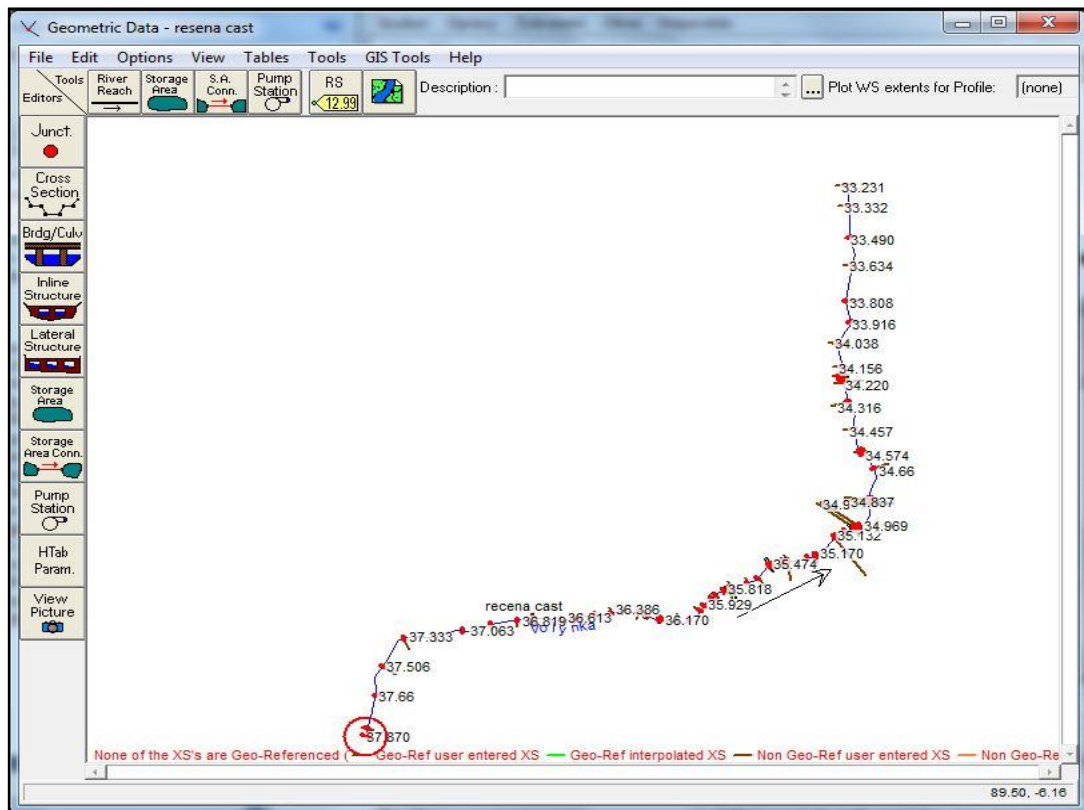
Pro správné fungování programu je nutné v rámci místního nastavení v ovládacích panelech zvolit jako desetinný oddělovač tečku (standardně je čárka). Vzhledem k tomu, že se jedná o americký program, jsou jako standardní jednotky nastaveny anglické. Proto je třeba změnit trvale jednotky na metrický systém SI (Základní Menu => Option => Unit systém). Dále umožňuje prostřednictvím nadstavby HEC-GeoRas importovat geometrická data pomocí ArcView GIS do HEC-RAS a výsledky výpočtů zpětně exportovat do prostředí GIS. Rovněž se výrazným způsobem zvýšil uživatelský komfort a grafická i tabelární prezentace výsledků. (KTI et Aqualogic, 2004).

Po instalaci programu je prvním krokem spuštění pomocí ikony . Práce se soubory v rámci programu HEC-RAS probíhá v tak zvaných PROJEKTECH. Základní vlastností projektu je, že všechny soubory, které byly v rámci něj vytvořeny, mají automaticky shodné jméno před příslušnou příponou jako sám projekt (KTI et Aqualogic, 2004). Následně se objeví základní okno (Obr. č. 27). Pomocí položky File – New project byl vytvořen nový projekt. Základní okno




Obr. č. 26: základní okno programu HEC-RAS (Autor, 2013)


obsahuje menu na prvním řádku, kde je zobrazeno 6 hlavních položek (*file, edit, run, view, options, help*). Každá z položek umožňuje řadu činností (např. *File* - otevření existujícího projektu, uložení projektu, stručný přehled o projektu; *Edit* - zadávání všech geometrických dat, okrajové podmínky pro řešení rovnoměrného proudění; *Run* - spuštění výpočtu rovnoměrného a nerovnoměrného pohybu; *View* - vykreslení příčných profilů, hydrogramy, prostorové vykreslení koryta; *Options* - nastavení standardních hodnot; *Help* - uživatelský manuál, dokumentace vzorových projektů. Na druhém řádku je skupina ikon, pomocí nichž lze spouštět vybrané funkce (význam je shodný jako funkce v prvním řádku). V mém případě byly využity funkce Editoru geometrických dat (Obr. č. 28) (*Edit geometric data*) - Schematizace říční sítě (*River reach*), Data o příčných průřezích (*Cross section*), Mosty a propustky (*Bridge and Culver data*), Jezy (*Inline structure*).



Obr. č. 27: Základní okno pro práci s geometrickými daty (Autor, 2013)

7.2.3. Schematizace říční sítě


Vykreslení říční sítě bylo provedeno pomocí ikony  v editoru geometrických dat. Vykreslení probíhá pomocí myši, kde každý klik znamená jeden bod polygonu trasy, dvě zmáčknutí za sebou ukončují náčrtek a objeví se okno, do kterého se zapíše do kolony *River Name* - název řeky (Volyňka) a do kolony *Reach Name* - jméno úseku (řešená část), (Obr. č. 12). Program umožňuje i vykreslení přítoků pomocí příkazu *Junction*, ale to v mém případě nebylo nutné. Aby řešená část toku byla vykreslena dle skutečné trasy toku, byl načten mapový

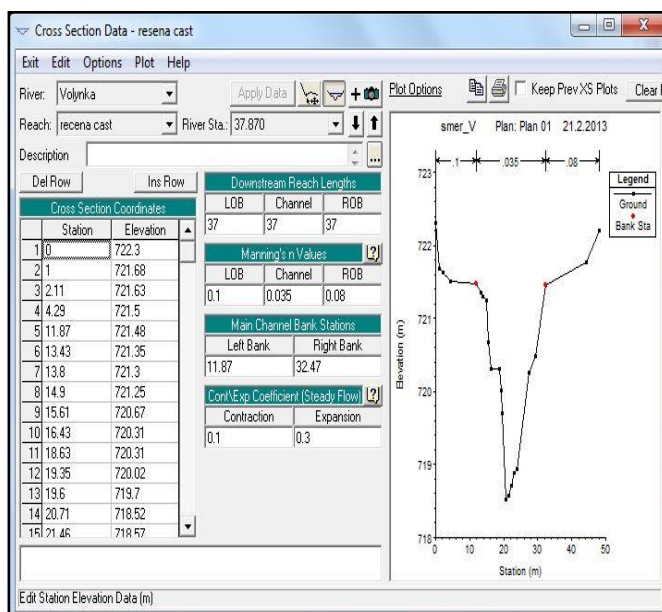
výřez ( - Add background picture) dané oblasti). Pomocí příkazů v menu *Edit* lze změnit jméno řeky nebo úseku (*Change Name*), editace barvy textu (*Reach and RS text colour*), vymazání trasy (*Delete Reach*), vymazání přítoku (*Delete Junction*) a mnoho dalších.

Položka *View* umožňuje například zvětšení výřezu (*Zoom In*), posun (*Pan*), předchozí pohled (*Zoom Previous*). Díky položkám *Tables* a *Tools*, lze měnit a upravovat řadu dalších nastavení jako jsou např. součinitel drsnosti v rámci jednotlivých profilů (*Manning's nor K Values*), vzdálenosti mezi jednotlivými profily (*Reach Lengths*), nastavení parametrů (*Default params*), základní změny koryta (*Channel modification*).

7.2.4. Zadávání příčných profilů

Použité příčné profily byly poskytnuty Povodím Vltavy ve formátu .dwg, tudíž nebylo nutné vlastní zaměrování toku. V řešeném úseku bylo zadáno 62 příčných

profilů. Pomocí ikony  se zobrazí dialogové okno (Obr. č. 29), do něhož jsou zadávány jednotlivé hodnoty. Na začátku editace je nutné zadat název řeky (*River*), úseku (*Reach*) a staničení profilu (*River station*). Každý nový profil se vkládá přes Options → Add a new Cross section. Objeví se okno pro zadání staničení. Do tabulky *Cross Section Coordinates*, která má dva sloupce *Station* (staničení) a *Elevation* (nadmořská výška). Tyto hodnoty mi byly poskytnuty ve formátu .txt a následně převedeny do Microsoft excel



Obr. č. 28: Dialogové okno pro zadávání příčných profilů (Autor, 2013)

a z něho zkopírovány do příslušného sloupce. Downstream Reach Lengths představuje vzdálenost levého, pravého břehu a kynety od předchozího profilu. Dále je nutné zadat hodnoty drsnosti podle Manninga. Výběr vhodné hodnoty n pro drsnost podle Manninga, která je velmi důležitá pro přesnost výpočtů v zadaných příčných profilech. Manningova hodnota je výrazně proměnlivá a záleží na několika faktorech: ukládání a vymílání, vegetaci, překážkách, velikosti a tvaru koryta, úseku a plnění koryta, sezónních změnách, teplotě a zadrženém materiálu (Brunner et Ceirw-HEC, 2008).

Mé hodnoty se pohybovaly v rozmezí 0.03 – 0.1. Tyto hodnoty byly stanoveny na základě terénního průzkumu. Hodnoty byly použity z tabulky z HEC-RAS 4.0 Reference Manual (Obr. č. 30). Hodnoty naměřené a označené jako levý a pravý břeh se zadávají do *Main Channel Bank Stations*. Hodnoty součinitele místních ztrát - *Cont/Exp Coefficients* se objevují automaticky, jsou nastaveny jako default parametry. V dialogovém

Chapter 3—Basic Data Requirements

Table 3-1 Manning's 'n' Values


Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
A. Natural Streams			
1. Main Channel:			
a. Clean, straight, full, no riffs or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. Same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.048	0.055
f. Same as "d" but more stones	0.045	0.050	0.060
g. Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stands of timber and brush	0.070	0.100	0.150
2. Flood Plains:			
a. Pasture no brush			
1. Short grass	0.025	0.030	0.035
2. High grass	0.030	0.035	0.050
b. Cultivated areas			
1. No crop	0.020	0.030	0.040
2. Mature row crops	0.025	0.035	0.045
3. Mature field crops	0.030	0.040	0.050
c. Brush			
1. Scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.070
2. Light brush and trees, in winter	0.035	0.050	0.060
3. Light brush and trees, in summer	0.040	0.060	0.080
4. Medium to dense brush, in winter	0.045	0.070	0.110
5. Medium to dense brush, in summer	0.070	0.100	0.160
d. Trees			
1. Cleared land with tree stumps, no sprouts	0.030	0.040	0.050
2. Same as above, but heavy sprouts	0.050	0.060	0.080
3. Heavy stand of timber, few down trees, little undergrowth, flow below branches	0.080	0.100	0.120
4. Same as above, but with flow into branches	0.100	0.120	0.160
5. Dense willows, summer, straight	0.110	0.150	0.200
3. Mountain Streams, no vegetation in channel, bank; usually steep, with trees and brush on banks; submerged			
a. Bottom: gravels, cobbles, and few boulders			
a. Bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.030	0.040	0.050
b. Bottom: cobbles with large boulders			
b. Bottom: cobbles with large boulders	0.040	0.050	0.070

Obr. č. 29: Hodnoty dle Manninga (Brunner G. W. et Ceirw-HEC, 2008)

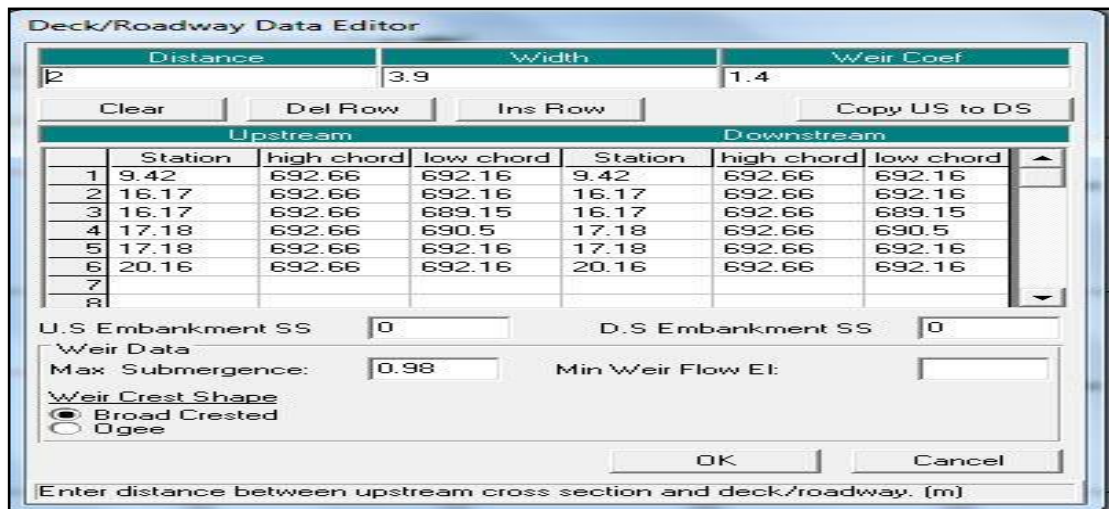
okně lze dále pomocí *Plot Options* daný profil přiblížit/oddálit, zobrazit si požadovaný průtok. Příčný i podélný profil lze tisknout nebo pomocí clipboardu přenášet do jiných aplikací (Word, Excell). Způsob grafického znázornění (volba vykreslování veličin, volba měřítek charakteru čar, označení atd.) lze upravovat položkami v menu *Options* (KTI et Aqualogic, 2004).

7.2.5. Zadávání objektů v korytě

Program umožňuje řešit proudění množstvím objektů (mosty, jezy, propustky). V řešeném území se nachází celkem 12 objektů, z toho 11 mostů bylo zadáno v dialogovém okně *Bridge Culvert Data*, jediný jez byl vytvořen pomocí okna *Inline Structure* a 4 stupně, z nichž každý byl zadán pomocí dvou shodných příčných profilů vzdálených od sebe 1 m.

Pro zadávání mostů byla použita ikona *Brdg/culvs*  v okně *Geometric Data*. Je nutné, aby nad i pod objektem byla existence profilů a tyto profily by měly být umístěny bezprostředně u obou okrajů objektu. Po otevření nového okna došlo k zadání staničení mostu *Options* → *Add a Bridge/and or Culvert* a objekt je podle toho umístěn mezi dva nejbližší profily. Pro zadání geometrie mostu (Obr. č. 31)

bylo použito tlačítko *Deck/Roadway* .



Upstream		Downstream				
Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord	
1	9.42	692.66	692.16	9.42	692.66	692.16
2	16.17	692.66	692.16	16.17	692.66	692.16
3	16.17	692.66	689.15	16.17	692.66	689.15
4	17.18	692.66	690.5	17.18	692.66	690.5
5	17.18	692.66	692.16	17.18	692.66	692.16
6	20.16	692.66	692.16	20.16	692.66	692.16
7						
8						

Obr. č. 30: Zadávání geometrie mostu (Autor, 2013)


Do políčka *Distance* bylo uvedena vzdálenost mezi horním příčným profilem a horním okrajem objektu, dále šířku objektu *Width* a hodnotu součinitele přepadu *Weir Coef* (nastavená hodnota 1.66 odpovídá součiniteli přepadu $m = 0.37$ (KTI et Aqualogic, 2004)). Následně bylo potřeba zadat hodnoty do tabulky *Upstream* a *Downstream Bridge*. Políčko *Station* představuje staničení objektu, *high chord* a *low chord* pak horní a spodní úroveň mostovky - v nadmořské výšce. Poté byly zkopírovány hodnoty do tabulky *Downstream* pomocí *Copy US to DS*, protože horní i spodní profil byl shodný. Po zadání těchto hodnot došlo k vykreslení daného objektu. Tento postup byl aplikován na všechny mosty v řešeném úseku. Ukázka zadaného mostu v ř. km 36.563 (Obr. č. 32)

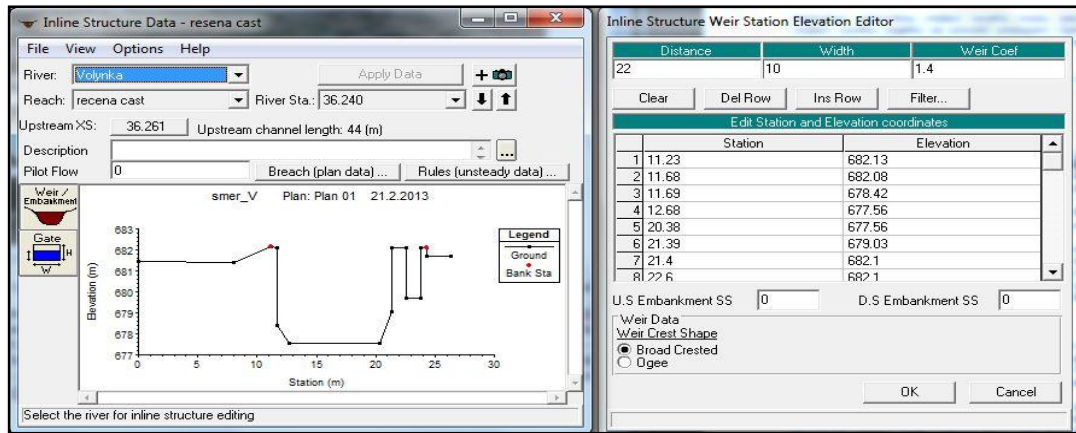


Obr. č. 31 Ukázka vykresleného mostu u hotelu Amber - 35.807 ř. km (Autor, 2013)



Foto č. 13: Vykreslený objekt ve skutečnosti (Autor, 2013)

Při vykreslování jezu na 36.24 ř. km bylo použito okno *Inline Structure Data*, které se spouští ikonou . Po otevření okna pomocí Option → Add a new Inline Weir/Gated Spillway bylo zadáno staničení jezu a pomocí *Weir/Embankment* bylo postupně zadána vzdálenost mezi horním příčným profilem a horním okrajem objektu *Distance*, šířka objektu - *Width* a hodnota součinitele přepadu Weir *Coe/* (nastavená hodnota 1.66 odpovídá součiniteli přepadu $m = 0.37$, (KTI et Aqualogic, 2004)). Do tabulky *Station* (staničení objektu) a *Elevation* (nadmořská výška) byly zadány potřebné hodnoty k vytvoření jezu (Obr. č. 34).




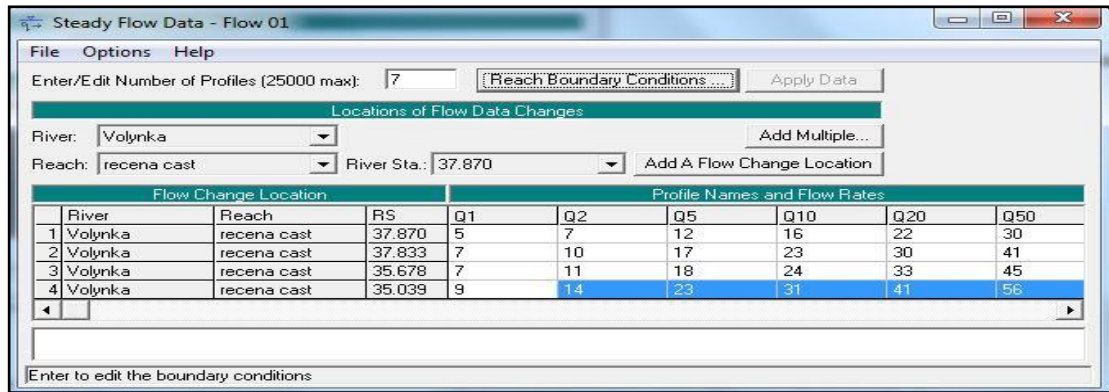
Obr. č. 32: Dialogová okna pro zadávání jezu (Autor, 2013)

7.2.6. Zadávání okrajových podmínek pro ustálené proudění

Okrajové podmínky jsou nezbytné ke stanovení počáteční hladiny. Počáteční hladina je nezbytná k tomu, aby program byl schopen zahájit výpočet (Brunner et Ceir-HEC, 2008). Kromě vytvoření geometrického modelu říční sítě včetně objektů je pro simulace proudění nutné zadat okrajové podmínky. Formulace okrajových podmínek závisí na volbě režimu výpočtu. Při ustáleném proudění je v obou uzávěrových profilech říčního úseku volena jediná hodnota (hladina nebo průtok), (KTI et Aqualogic, 2004).

Po zadání příčných profilů a objektů na vodním toku jsem mohla přejít k zadání okrajových podmínek a následně k výpočtu. Dialogové okno, pomocí


něhož byly zadány potřebné průtoky, bylo otevřeno ikonou  *Steady Flow Data*. V základním okně (Obr. č. 35) pomocí *Enter/Edit Number of Profiles* byl zadán počet simulací, které jsem chtěla řešit pro různé průtoky. V mém případě se jedná o 7 simulací. Automaticky naskočilo 7 polí, kam byly zadány hodnoty jednotlivých N-letých průtoků (Q_1 , Q_2 , Q_5 , Q_{10} , Q_{20} , Q_{50} , Q_{100}). Pro lepší přehlednost došlo k přejmenování v tabulce *Profile Names and Flow Rates* kolonky na Q_1 , Q_2 , Q_5 , Q_{10} , Q_{20} , Q_{50} , Q_{100} pomocí *Options* → *Edit Profiles*. V políčku *Reach Boundary Coonditions* (určení dolní okrajové podmínky) byla zadána *Critical Depth*. Program vypočte kritickou hloubku pro každý z příčných profilů a použije je jako okrajové podmínky (Brunner et Ceir-HEC, 2008). Byly mi poskytnuty jednotlivé N-leté průtoky pro každý příčný profil. Kde došlo ke změně hodnoty průtoky, byla pomocí *Add Flow Change Location* přidána lokalizace daného profilu a následně vyplněny jednotlivé průtoky. Změny byly zaznamenány v profilech 35.039 ř. km, 35.678 ř. km, 37.833 ř. km a 37.870 ř. km.

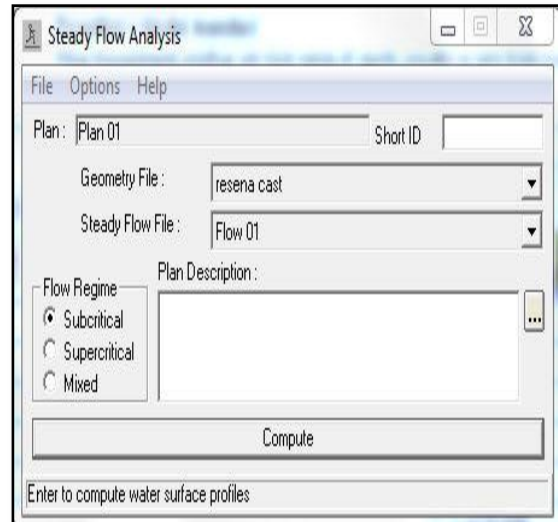


Obr. č. 33: Dialogové okno pro zadávání okrajových podmínek (Autor, 2013)

7.2.7. Výpočet ustáleného nerovnoměrného proudění


Výpočet byl zahájen otevřením dialogového okna *Steady Flow Analysis* (Obr. č. 38) z hlavního menu *Run* → *Steady Flow Analysis* nebo přímo

ikonou . V základním okně se v poli *Plan* ukáže jméno plánu, v rámci HEC-RASu má slovo *PLAN* význam kombinace některého z vytvořených souborů s geometrickými daty a s daty s okrajovými podmínkami. V každém plánu jsou tak uchovány potřebné údaje ke spuštění výpočtu nerovnoměrného proudění (KTI et Aqualogic, 2004). Je na výběr i z několika typů proudění, v mém případě byl zvolen režim říční (*Subcritical flow regime*). Samotný výpočet byl zahájen potvrzením *Compute*. Pokud nejsou všechny výše zmíněné vstupní soubory správně zadané, program na ně automaticky upozorní po ukončení výpočtu.



Obr. č. 34: Dialogové okno pro výpočet proudění (Autor, 2013)

8. Výsledky

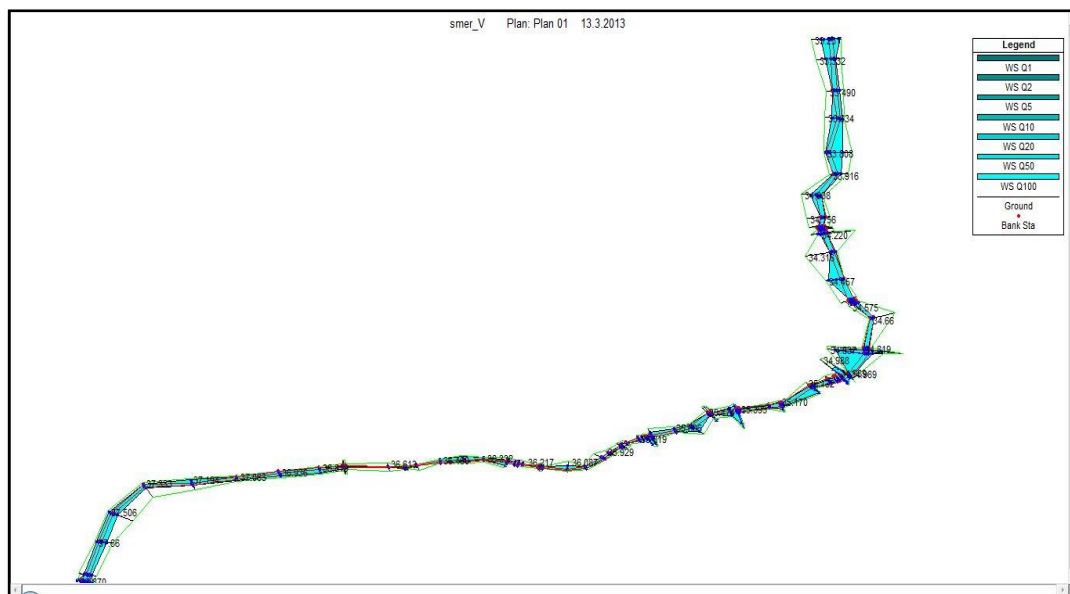
Program HEC-RAS umožňuje velké množství prezentace výsledků jak v grafické, tak v tabelární podobě. Výsledky je možno vyvolat přes *View* v hlavním menu nebo pomocí ikon v hlavním okně .

Jedná se např. o vykreslení příčných profilů, vykreslení podélného profilu, konsumpční křivky profilů, prostorové vykreslení koryta, podrobné výsledkové tabulky pro jednotlivé profily nebo zprávy o průběhu výpočtu a chybách. Program také umožňuje tisk a kopírování do programů jako je např. Microsoft Excel nebo Word.

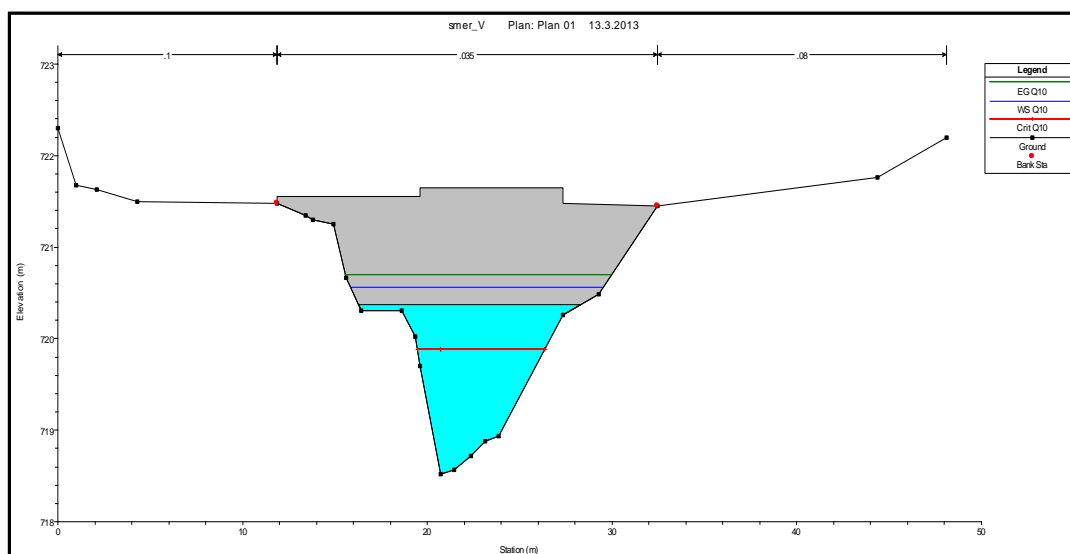
Výsledná simulace byla spuštěna z hlavního menu *View* → *X-Y-Z Perspective Plots* (Obr. č. až Obr).

Záplavová území byla zjištěna pro N-leté průtoky Q_1 , Q_2 , Q_5 , Q_{10} , Q_{20} , Q_{50} , Q_{100} (Obr. č. 37). Pro vykreslení záplavové čáry byly zvoleny průtoky Q_{20} a Q_{100} . Záplavové čáry byly vykresleny v programu AutoCAD 2010. Příčné profily a objekty v situaci mi byly poskytnuty Podnikem povodí Vltavy. Po nahrání podkladové mapy (ortofoto mapa dostupná z geoportal.gov.cz) byly z HEC-RASu odečteny vypočtené výšky hladiny (díky nadmořské výšce a známému staničení profilu) při jednotlivých průtocích v každém příčném profilu a zakresleny do příčných profilů v programu AutoCAD a následně propojeny. Zakreslení záplavových čar, zejména mimo zaměřené příčné profily, zahrnuje nepřesnosti a to zejména kvůli hustotě příčných profilů použitých k výpočtu. Celá řešená část toku se zakreslenými průtoky Q_{20} a Q_{100} je zobrazena v Příloze č. 9.

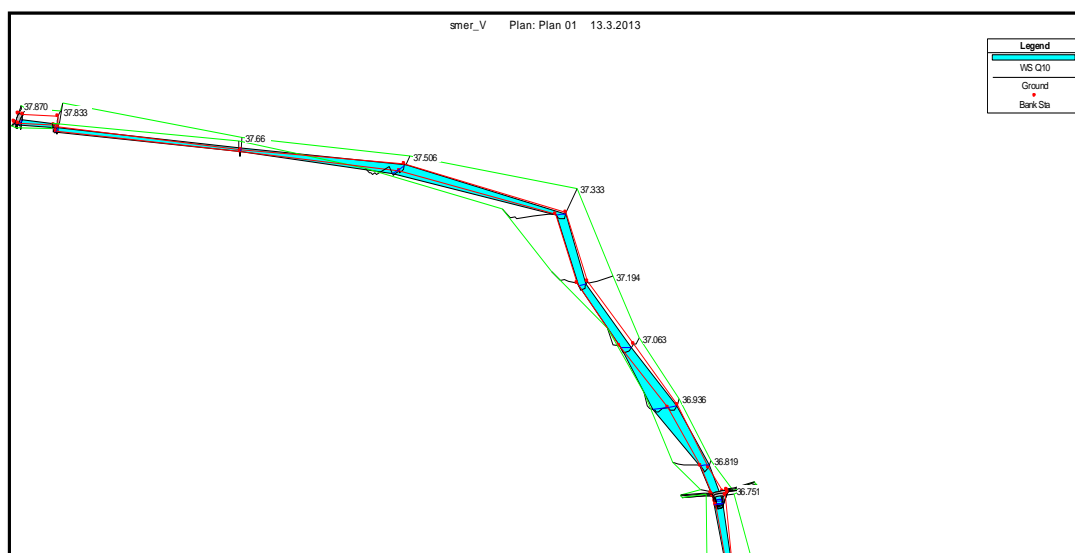
Čistírna odpadních vod, která se nachází v blízkosti řeky od ř. km 34.316 do 33.916 ř. km, není ohrožena při žádném ze zjišťovaných N-letých průtoků. Při vyhodnocení N-letých průtoků Q_1 , Q_2 , Q_5 nedošlo k vybřežení v žádném příčném profilu a ani k ohrožení objektů v extravilánu a v intravilánu. Již při průtoku Q_{10} došlo ke kontaktu průtoku a dřevěného mostku na cestě k úpravně vody - 37.866 ř. km (Obr. č. 38), ale k rozlivu nedošlo. Při průtoku Q_{10} došlo k nepatrnému vybřežení v horním úseku od 37.832 ř. km do 37.333 ř. km, od 37.063 do 36.819 ř. km (Obr. č. 39) a v dolním úseku od 33.634 ř. km do 33.232 ř. km. Louky v místech vybřežení v horním úseku jsou součástí rozlivné plochy, tudíž voda nenapáchá žádné škody. Intravilán, při průtoku Q_{10} , zůstane neohrožen. Pouze při vybřežení v dolní části voda slabě zasáhne zahrádkářskou kolonii, která se nachází v rozlivné ploše (Obr. č. 40).



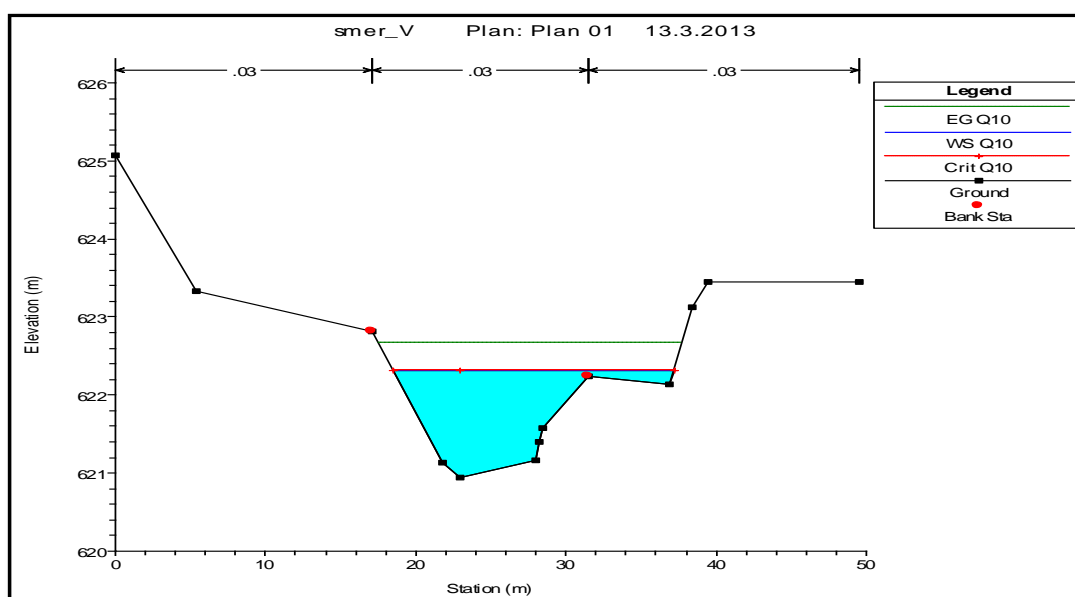
Obr. č. 35: Celkový pohled na řešenou část toku (Autor, 2013)



Obr. č. 36: Průtok Q_{10} v kontaktu s dřevěným mostkem (Autor, 2013)

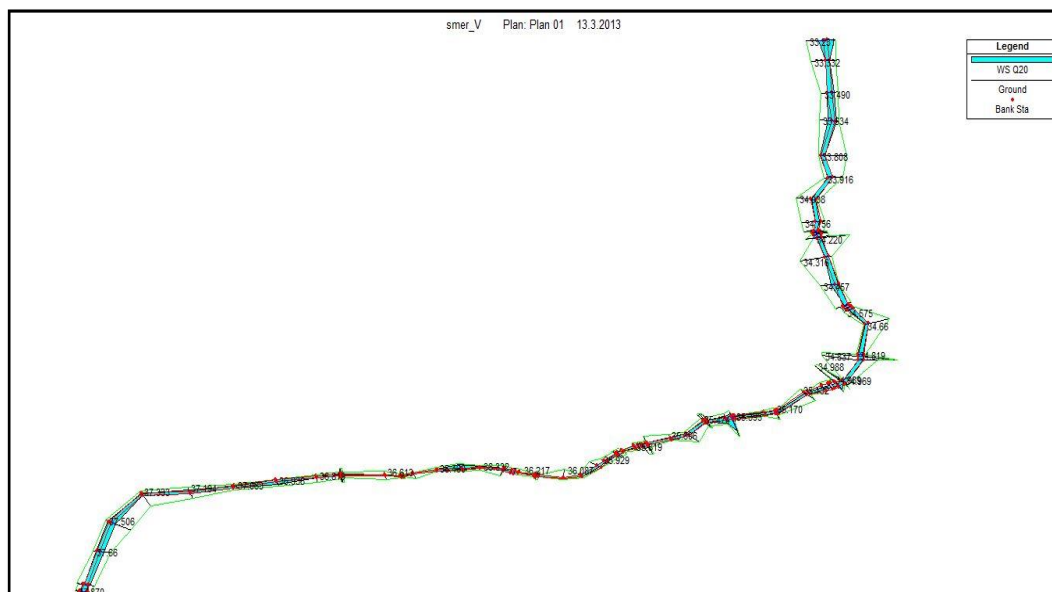


Obr. č. 37 Vybřežení při Q_{10} v úseku 37.87 ř. km do 37.333 ř. km a od 37.063 do 36.819 ř. km (Autor, 2013)

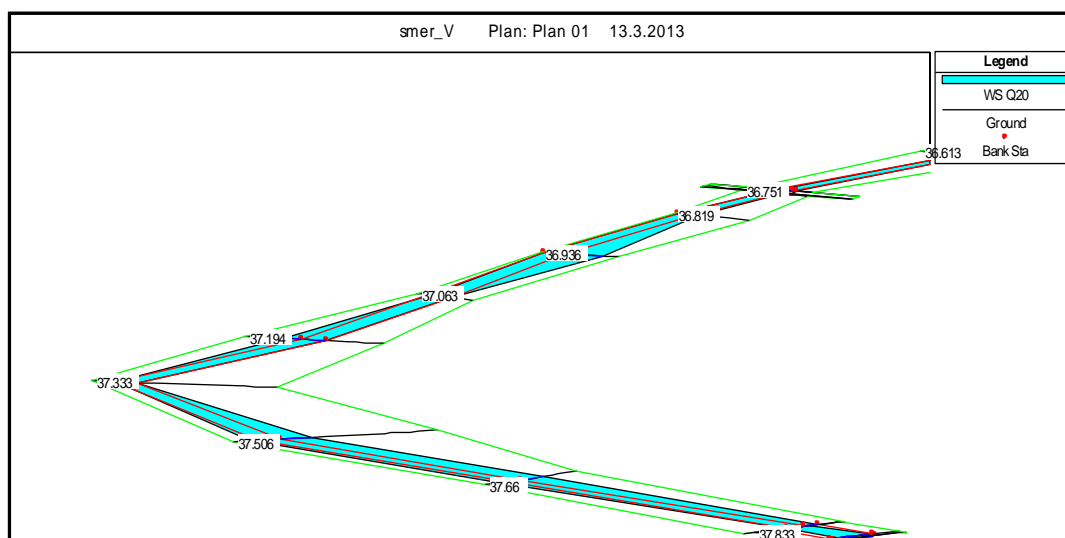


Obr. č. 38: Ukázka vybřežení při průtoku Q_{10} v 33.49 ř. km (Autor, 2013)

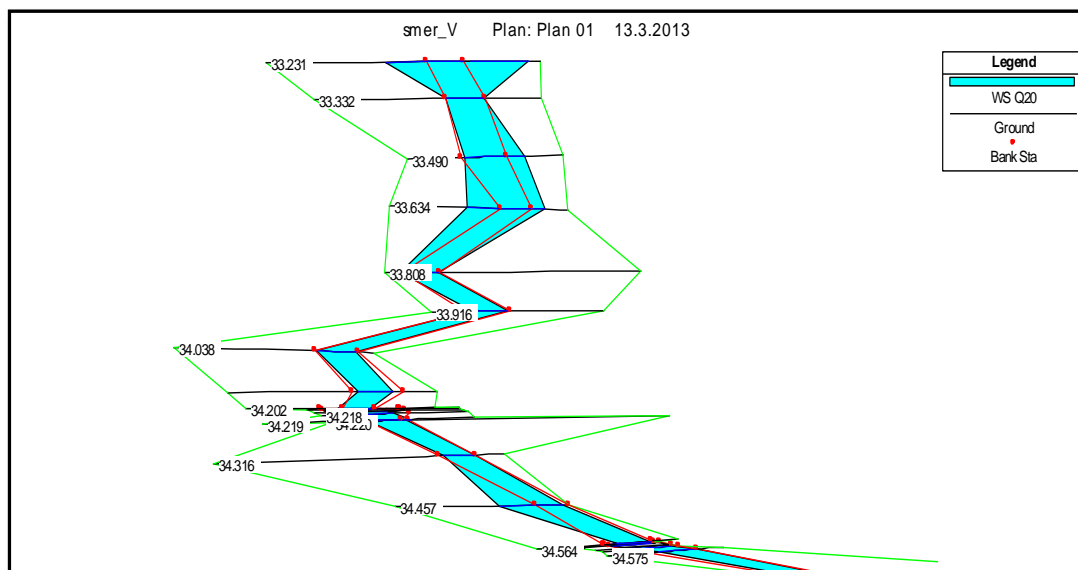
Při simulaci průtoku Q_{20} (Obr. č. 41) došlo taktéž k zaplavení luk ve větší míře na pravé břehu toku od 37,832 ř. km do 36,819 ř. km (Obr. č. 42) a dále od 36,742 ř. km do 36,613 a od 36,460 ř. km do 36,261 (Obr. č. 43). Tento rozliv nijak neohrozí intravilán, úsek je před intravilánem. Pokračováním simulace jsem zjistila, že od 34,988 ř. km do 34,974 ř. km došlo k ohrožení silnice vedoucí podél řeky (Obr. č. 44). Posledním místem, kde při Q_{20} došlo k rozlivu je úsek od 33,808 ř. km do 33,231 ř. km. Zde voda zčásti zasáhla zahrádkářskou kolonii, která je již ohrožena při Q_{10} (Obr. č. 46).



Obr. č. 39 Simulace průtoku Q_{20} v celém řešeném úseku (Autor, 2013)



Obr. č. 40: Vybřežení při Q_{20} od 37.832 ř. km do 36.819 ř. km (Autor, 2013)

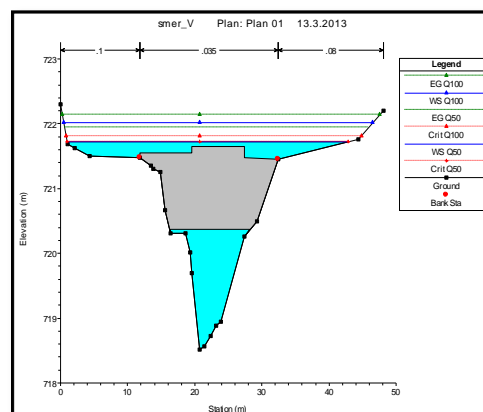


Obr. č. 44: Vybřežení při Q_{20} od 34.564 ř. km do 34.316 a od 33.808 ř. km do 33.231 ř. km (Autor, 2013)

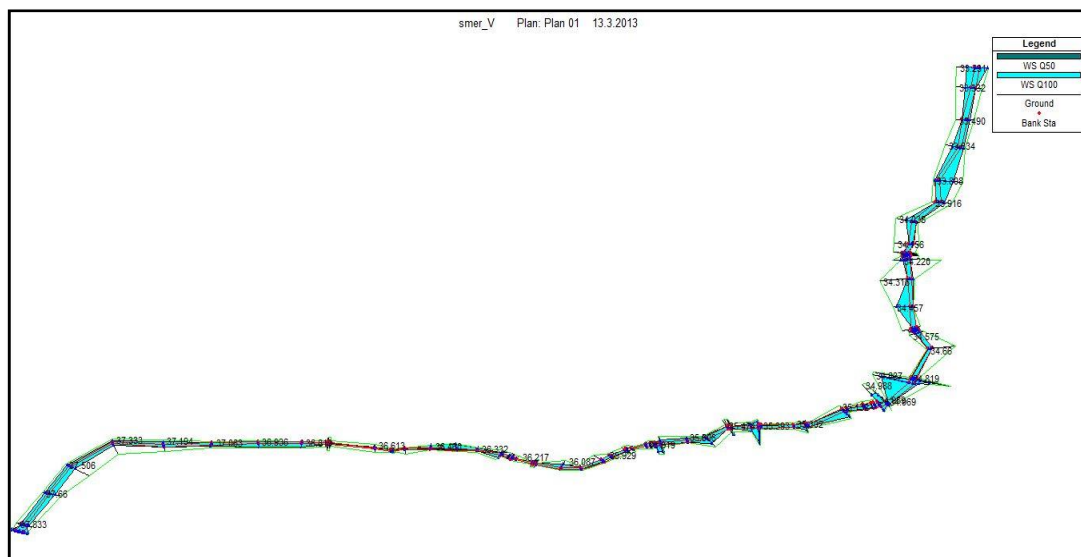
Pokud dojde ke zvýšení hladiny na úroveň Q_{50} nebo Q_{100} (Obr. č. 48) kapacita koryta pro místo, kde je zmiňovaný dřevěný mostek, (viz. výše) není dostatečná a voda se přes mostek přelije (Obr. č.47). Žádný další objekt nebude ohrožen.

V následujících řádcích jsou okomentovány výsledky pro Q_{50} a Q_{100} . Jak pro Q_{50} , tak pro Q_{100} v horním úseku – extravilánu nastalo vybřežení do inundací v podobě luk s doprovodnými porosty (Obr. č. 49). Před vstupem do intravilánu došlo k částečnému zaplavení skladu dřeva nacházející se na levém břehu (Obr 50).

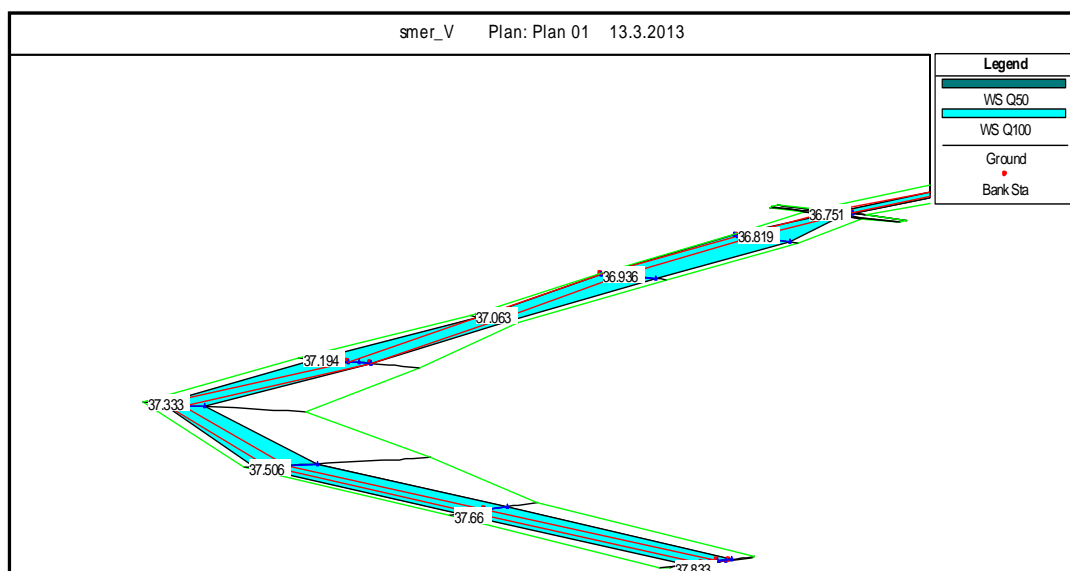
V intravilánu od 36.157 ř. km do 36.031 ř.km rozliv Q_{100} zasáhl obytné domy na levém břehu. Od 35.606 ř. km do 35.393 ř. km se voda dostala mimo koryto zaplavila na pravém břehu přilehlou louku a na břehu levém parkoviště s garážemi a část autoservisu (Obr. č. 51), platí pro průtok Q_{50} a Q_{100} . Další poměrně velké vybřežení pro Q_{100} bylo nalezeno od 34.988 ř. km do 34.66 ř. km., kde zátopa zalila bikekrosovou dráhu. Na pravém břehu je proudící voda zachycena rozlivným prostorem a nedojde k zatopení garáží, nacházejících se poblíž řeky. Platí i pro Q_{50} . V úseku od 34.457 ř. km do 34.219 ř. km došlo k vybřežení podél podniku Jitona. Tento objekt není ohrožen, protože z větší části docházelo k rozlivu na levém břehu, ale v inundaci se nalézá zahrádkářská osada (Obr. č. 54), která je při 50-ti a 100leté vodě zatopena (Obr. č. 53). Od 34.038 ř. km do 33.231 ř. km tok vybřežil na obě strany, byla zasažena zahrádkářská kolonie na pravém břehu toku, která je ve velké blízkosti Volyňky (Obr. č. 53).



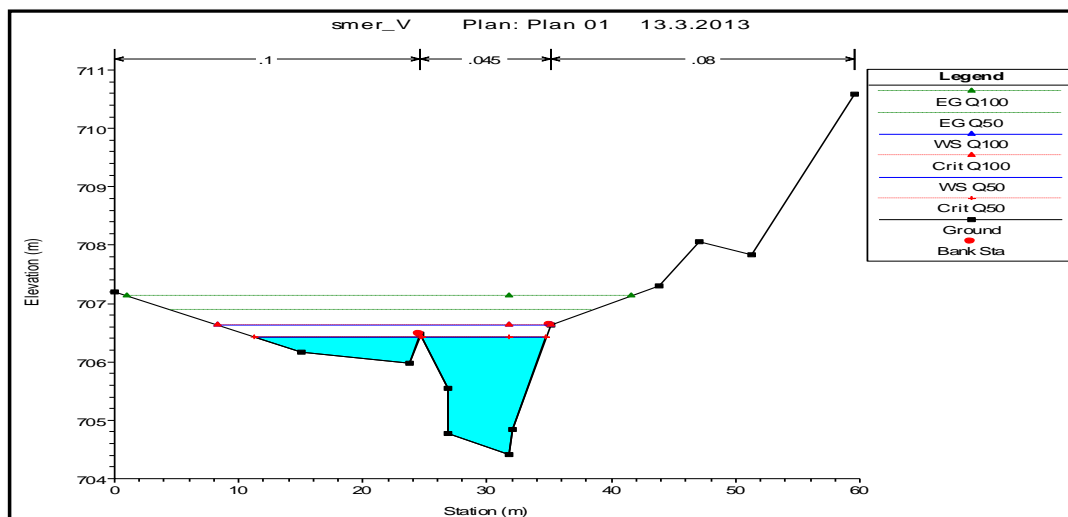
Obr. č. 45: Ohrožený dřevěný mostek 37.866 ř. km (Autor, 2013)



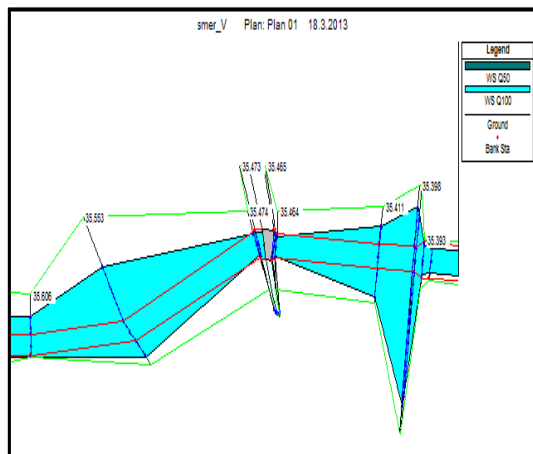
Obr. č. 46: Simulace průtoku Q_{50} a Q_{100} v celém řešeném úseku (Autor, 2013)



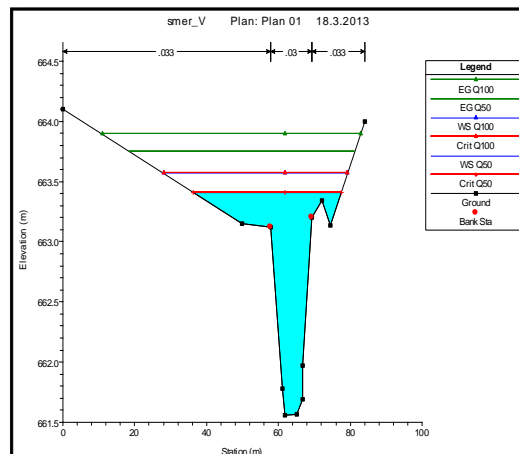
Obr. č. 47: Vybřezení při Q_{50} a Q_{100} v horním úseku – extravilán (Autor, 2013)



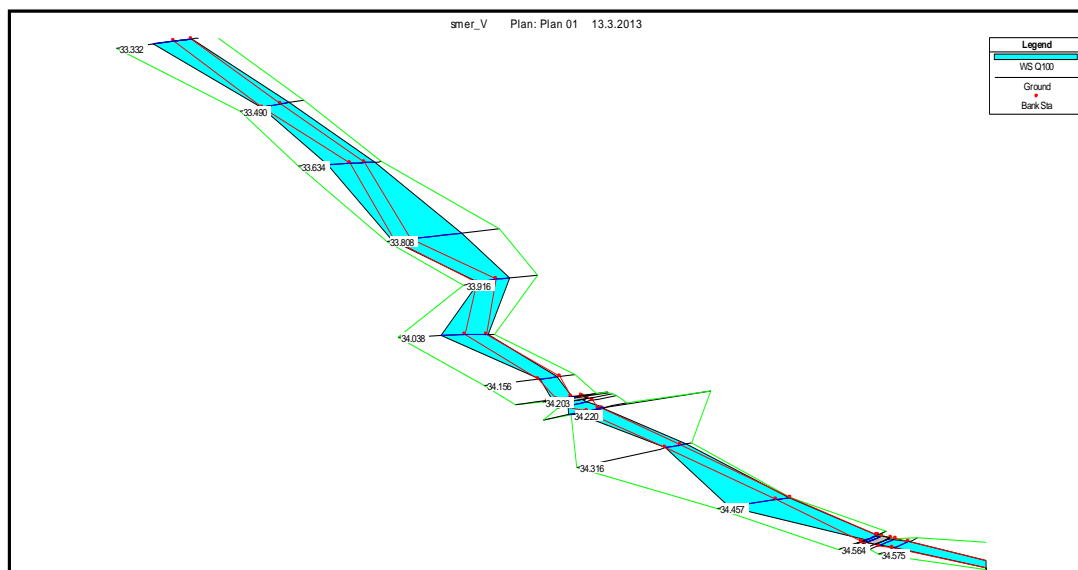
Obr. č. 48: Ohrožení skladu dřeva (Q_{50} a Q_{100}), (Autor, 2013)



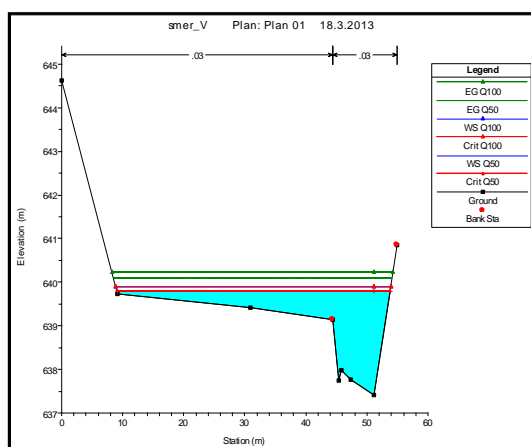
Obr. č. 49: Vybřežení při Q_{100} (50) od 35.606 ř. km do 35.393 ř. km – zasažení parkoviště a autoservisu (Autor, 2013)



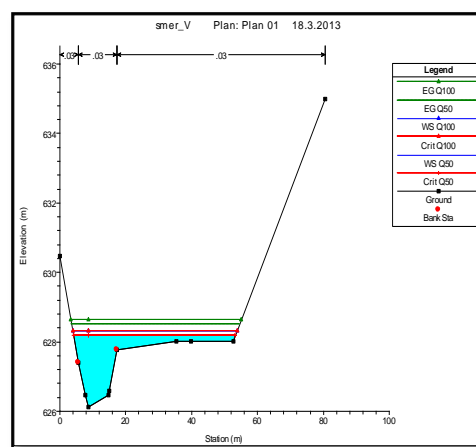
Obr. č. 50: Ukázka profilu 35.553 ř. km (Q_{100} , (50)) v místě vybřežení (parkoviště), (Autor, 2013)



Obr. č. 51: Vybřežení při Q_{100} od 34.457 ř. km do 34.219 ř. km Od 34.038 ř. km do 33.231 ř. km (Autor, 2013)



Obr. č. 52: Vybřežení při $Q_{100(50)}$ v profilu 34.457 ř. km - zasažení zahrádkářské osady (Autor, 2013)



Obr. č. 53 Vybřežení při $Q_{100(50)}$ v profilu 33.808 ř. km – zasažení zahrádkářské kolonie (Autor, 2013)

9. Možný návrh

V horním úseku toku, kde dochází k rozlivu do přilehlých luk, není potřeba koryto toku nijak upravovat a ani doplňovat břehovými porosty, které jsou v hojně míře zastoupeny (Příloha č. 1). Jestliže dojde ke zvýšení hladiny na 37.866 ř. km – dřevěný mostek – jediným reálným řešením je kontrola průtočnosti, aby nedocházelo k zanášení koryta naplaveninami a následnému zacpání a vybřežení. Pokud jde o ohrožení skladu dřeva na levém břehu (Příloha č. 2), naskýtá se zde možnost doplnit levý břeh břehovými dřevinami, které zajišťují zpomalení odtoku vody, brání vzniku eroze břehů nebo poskytují stinná místa pro vodní organismy. Z dřevin by byla vysazena např. *Alnus incana*, *Salix fragilis*, *Populus alba*, *Betula pendula*. Z keřů *Salix viminalis.*, *Sambucus nigra*, ap.

Po povodních 2002, kdy došlo k vybřežení v intravilánu od 36.157 ř. km do 36.031 ř.km, by zde bylo vhodné, aby došlo k navýšení nábřežní zdi o 0.5 m. Ve střední části (v místech městského parku) byla vybudována kamenná nábřežní zeď o délce 600 m a výšce 1.5 m (Příloha č. 3), která dle výsledné simulace ochrání park i při průtoku Q_{100} . Zeď je vedena i podél parkoviště, ale zde již je její kapacita nedostačující pro průtoky Q_{50} a Q_{100} . Zde by byla možná výsadba keřových porostů na levém břehu (*Salix viminalis.*, *Sambucus nigra*, *Corylus avellana*), která by sloužila ke zpomalení, zadržení průtoku a zvýšení retence půdy (Příloha 4).

V úseku od 34.988 ř. km rozliv zasáhne bikekrosovou dráhu (Příloha č. 5), dále zahrádkářskou kolonii (Příloha č. 6). Zde jsou břehy toku místy vydlážděny nebo zasypany balvany a nedostatečně osázeny dřevinami (Příloha č. 7). Proto by bylo vhodné břehy ozelenit výše zmiňovanými břehovými keřovými porosty popř. doplnit břehovými dřevinami a doprovodnými porosty.

10. Diskuze

Vytvoření 1D hydrodynamického modelu programem HEC-RAS bylo vhodnou volbou pro posouzení úseku řeky Volyňky protékající Vimperkem. A to zejména jeho dostupností (k dostání zdarma) a poměrně snadným ovládním. Především nabízí přehledné uživatelské rozhraní jak v podobě menu, tak i ovládacích ikon. Za velkou výhodu považuji okamžité vizualizace při zadávání příčných profilů nebo geometrie objektů. Díky jim, lze okamžitě vidět vzniklé chyby. Taktéž upozornění na chyby v podobě hodnot zadávaných při tvorbě objektů nebo profilů při spuštění výpočtu.

Výsledná simulace poskytuje reálný obraz situace při N-letých vodách, avšak nelze výsledek považovat za zcela přesný. To může být způsobeno nedostatečným zaměřením příčných profilů (jejich hustota a délka), jejich dodatečné prodloužení pokud nemají dostatečnou kapacitu. Prodloužení je provedeno na základě vrstevnic, leč jejich hustota je často nedostatečná a dochází k odhadům nadmořských výšek. Od toho se odvíjí i nepřesnost v zakreslení záplavových čar, i mimo příčné profily. Dalším odhadem je stanovení drsností hlavního koryta i inundace, které probíhá na základě terénního průzkumu. Program taktéž nezahrnuje překážky v blízkosti vodního toku nebo v jeho průtočném profilu, které mohou mít vliv na průběh povodně (ploty, předměty umístěny na břehu řeky, atd.).

Při povodni v roce 2002 byla ve Vimperku naměřena 100letá voda. Během této povodně rozliv v intravilánu zasáhl městský park, parkoviště, autoservis, benzínovou pumpu a zahrádkářskou kolonii. Na základě fotografií (Příloha č. 8) z centra města je možno porovnat záplavové území vymodelované programem HEC-RAS s reálnou situací, která nastala v roce 2002. Vybudováním protipovodňové zdi podél městského parku program vypočetl, že k rozlivu nedojde. Přičemž v r. 2002 byl park zcela zatopen. K velké shodě záplavových čar a dokumentace povodně dochází v místě parkoviště, autoservisu, bikekorsové dráhy a zahrádkářské kolonie. Větší rozdíl se projevuje v místech od autoservisu k benzínové pumpě, kde povodeň protékala skrz zástavbu (Příloha č. 8). Tam záplavové čáry oproti fotodokumentaci vůbec nezasahují. Nepřesnost může být způsobena nedostatečnou délkou příčných profilů, ale vzhledem k tomu, že se jedná o intravilán, podrobnější zaměření je problematické.

V r. 2002 došlo k podemletí komunikace u čistírny odpadních vod (příloha č. 9). V současnosti jsou břehy navýšeny a zpevněny balvany, podle programu by nemělo dojít k jakémukoliv ohrožení čistírny. Program taktéž potvrdil shodu v místech zatopení zahrádkářské kolonie, kde nejsou provedena výrazná opatření (příloha č. 10). Problém by byl vyřešen vybudováním ochranné zdi. Ale tuto volbu bych nedoporučovala, i když by bylo zabráněno jejímu zatopení, protože se kolonie nachází za městem v extravilánu a po estetické stránce by došlo k narušení přirozeného stavu, nehledě na finanční náklady spojené s technickými opatřeními. Proto bych volila již výše zmíněné vysázení břehových porostů, které by výrazně zlepšilo vodohospodářskou, biologickou a ekologickou funkci (zastínění hladiny, zdroj biodiverzity, útočiště pro živočichy).

11. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo seznámení s problematikou povodní, především jejich předcházení a opatřeními proti nim. Možnostmi včasného varování díky Hlásné a předpovědní službě zajišťovanou ČHMÚ, tyto informace jsou užitečné především pro rozhodování a koordinaci činnosti prováděné při povodních dle legislativních předpisů. Součástí práce bylo teoretické obeznámení se s používanými hydrologickými modely. Provedena byla charakteristika povodí Horní Vltava a řešeného území z hlediska přírodních, hydrologických a klimatických poměrů. Za zmínku stálo historické zkrácení toků v Povodí, kde nejvíce byla zmenšena délka Blanice o necelých 18 km.

Samotné hydrotechnické posouzení řešeného úseku toku Volyňka městem Vimperk bylo provedeno jednorozměrným hydrodynamickým modelem HEC-RAS. Tento se jeví jako poměrně přesný a potvrzuje mé přesvědčení o tom, že realizovaná protipovodňová opatření jsou vybudována na správných místech a splňují svojí funkci.

Na řešeném úseku se nachází celkem 12 vodohospodářských objektů, z toho pouze dřevěný mostek nesplňuje podmínku navrhovaného průtoku a to již při průtoku 20leté vody. Zbylé objekty dle návrhu mají kapacitu až pro průtok Q_{100} . Pro objasnění termínu N-letosti, která je v práci často zmiňována, je potřeba si uvědomit, že N-letý průtok vyjadřuje průměrnou dobu opakování daného hydrologického jevu, tzn., že 100letá voda se nerovná vodě přicházející 1 x za 100 let a to proto, že se jedná o porovnání extrémnosti kulminačního průtoku povodně. Vyhodnocení výsledků ukázalo několik rizikových míst, kde může dojít k povodňovému rozlivu. Při zvýšení hladiny v horním úseku není ohrožen žádný nemovitý majetek. V intravilánu došlo k vybudování nábrežní zdi, která ochrání městský park. Další provedené úpravy jako zpevnění břehů balvany, prohloubení koryta nejsou bohužel doplněny o jakoukoliv vegetaci, která by přispěla ke zlepšení vodohospodářské funkce. Tento stav lze přikládat k nedostatku finančních prostředků. Tudíž je možno se spoléhat pouze na náletové dřeviny, které budou představovat formu břehových porostů.

Je důležité si uvědomit, že povodně byly, jsou a budou. Extrémní povodně způsobené jak dlouhodobými srážkami, tak přivalovými dešti mohou poskytnout nové možnosti v dimenzování koryt toků nebo protipovodňových opatření. Bez vody by nebyl život, proto je nutno vážit si jí a to nejenom v podobě zdroje, ale vodu respektovat jako živel a to v podobě povodní. Z velké části si za extrémní rozlivy lidstvo může samo a to především díky napřimování toků, přeměňování údolních niv na zemědělské plochy nebo rozšiřování městských částí. Voda ztrácí přirozenou inundaci, průtok nabývá na rychlosti a to vede jak k velkým majetkovým ztrátám, tak i ztrátám na životech.

Diplomová práce by mohla sloužit k inventarizaci Volyňky protékající Vimperkem a to z hlediska stávající kapacity vodohospodářských objektů, břehových a doprovodných porostů a protipovodňových opatření. Taktéž i jako stručný návod pro základní práci s programem HEC-RAS.

12. Použitá literatura

- Balvín P., Gabriel P., Bouška P., Havlík A.**, 2009: Hydrotechnické posouzení mostních objektů na vodních tocích, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha, 91s.
- Bíza P., Boucný R., Gimun V., Tůma A.** 1997: Aplikace software Dánského hydraulického institutu na povodí Moravy. In *Konference vodní toky 1997*. Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Ostrava, 73 – 78s.
- Bolt B. A., Horn W. L., Mcdonald G. A., Scott R. F.**, 1975: Geological Hazards. Springer Verlag, Berlin – Heidelberg, 328 s.
- Cílek V. et. al.**, 2004: Voda v krajině. Consult Praha, Praha, 207s.
- Fictum V.**, 1980: Hydrologie a hydraulika. SNTL – nakladatelství technické literatury, Praha, 177 s.
- Daňhelka, J., Krejčí, J., Šálek, M., Šercl, P., Zezulák, J.** (2002): Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR. ČZÚ, Praha, 214 s.
- Erlich P., Ondr P. et Zámešková K.** 2003: Revitalizační úpravy a protipovodňová ochrana nového díla. In Šálek J., Tlapák V., Salašová A.[eds.]: *Protipovodňová prevence a krajinné plánování*. Sborník příspěvků z mezinárodní konference Protipovodňová prevence a krajinné plánování. Česká společnost krajinných inženýrů – ČSSI, Pardubice, s. 248-255
- Foltýn M** 1997: Břehové porosty z praktického pohledu správce vodního toku. In *Konference vodní toky 1997*. Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Ostrava, 261 – 266s.
- Hamill L.**, 2011: Understanding Hydraulics. School of Marine Science and Engineering, University of Plymouth, 631 s.
- Hanel M., Kašpárek L., Mrkvičková M. et al., 2011: Odhad dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha, 108 s.
- Havlík A.**, 2001: Funkce a možnosti vodních toků, vodních děl a vodohospodářských soustav při zvládnání extrémních povodňových situací. In Patera A., Váška J., Jakubíková A. [eds.]: *Extrémní hydrologické jevy v povodích*. Sborník příspěvků z Workshopu 2001. České vysoké učení technické v Praze a Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, 37 – 43s.
- Havlík A.** 1, 2001: Modelování šíření povodní v povodí Divoké Orlice. In Patera A., Váška J., Jakubíková A. [eds.]: *Extrémní hydrologické jevy v povodích*. Sborník příspěvků z Workshopu 2001. České vysoké učení technické v Praze a Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, 45 – 52s.
- Havlík A. et Šercl P.**, 2001: Testování nových matematických modelů. In Patera A., Váška J., Jakubíková A. [eds.]: *Extrémní hydrologické jevy v povodích*. Sborník příspěvků z Workshopu 2001. České vysoké učení technické v Praze a Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, 293 – 300 s.

- Hrádek F. et Kuřík P.**, 2008: Hydrologie. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 280 s.
- Hrnčíř V.**, 1997: Matematický model pro řešení protipovodňové ochrany Prahy. In *Konference vodní toky 1997*. Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Ostrava, 49 – 54 s.
- Hrádek F., Kuřík P., Pavlásek J.**, 2001: Využití hydrologického modelu DesQ pro výpočet maximálních průtoků na velmi malých povodích. In Patera A., Váška J., Jakubíková A. [eds.]: *Extrémní hydrologické jevy v povodích*. Sborník příspěvků z Workshopu 2001. České vysoké učení technické v Praze a Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, 183 – 191 s.
- Hudečková A.**, 2011: Protipovodňová opatření v ploše povodí a jejich efekt na snížení povodňových rizik. Bakalářská práce. Nepublikováno. Dep: KVHM FŽP ČZU, Praha
- Chábera S.**, 1985: Jihočeská vlastivěda, Neživá příroda. Jihočeské nakladatelství, České Budějovice, 269 s.
- Just T., Matoušek V., Dušek M. et al.** 2005: Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi. 3. ZO ČSOP Hořovicko, Praha, 359s.
- Kakos V.**, 1983: Hydrometeorologický rozbor povodní na Vltavě v Praze za období 1873-1982. Meteorologické zprávy 36/ 6: 171-181
- Konvička M. et al.**, 2002: Město a povodeň – strategie rozvoje měst po povodních. Vydavatelství ERA, Šlapanice, 219 s.
- Kovář P.**, 2001: Využití modelu hydrologické bilance k identifikaci extrémních hydrologických situací. In Patera A., Váška J., Jakubíková A. [eds.]: *Extrémní hydrologické jevy v povodích*. Sborník příspěvků z Workshopu 2001. České vysoké učení technické v Praze a Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, 173 – 182s.
- Křovák F.**, 2001: Revitalizace toků s ohledem na extrémní průtoky. In Patera A., Váška J., Jakubíková A. [eds.]: *Extrémní hydrologické jevy v povodích*. Sborník příspěvků z Workshopu 2001. České vysoké učení technické v Praze a Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, 173 – 182s.
- Kubát J.**, 2001: Pokroky v předpovídání povodní. In Patera A., Váška J., Jakubíková A. [eds.]: *Extrémní hydrologické jevy v povodích*. Sborník příspěvků z Workshopu 2001. České vysoké učení technické v Praze a Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, 263 – 272s.
- Munzar J.**, 2001: Protipovodňové instrukce v českých zemích do roku 1918. In Patera A., Váška J., Jakubíková A. [eds.]: *Extrémní hydrologické jevy v povodích*. Sborník příspěvků z Workshopu 2001. České vysoké učení technické v Praze a Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, 273 – 278s.
- Novák L., Ibllová M. et. Skopek V.**, 1986: Vegetace v úpravách vodních toků a nádrží. Nakladatelství technické literatury, Praha, 243s.
- Tremil V.**, 2004: Přeměny údolních niv a koryt vodních toků ve vztahu k povodím. *Ochrana přírody* 5: 131 – 135.

Slavíková L., Bareš V., Beneš R., Jílková J., Slavíková L., Stránský D., Valnetová M., 2007: Ochrana před povodněmi v urbanizovaných územích. IREAS, Institut pro strukturální politiku, o.p.s., Praha, 80s.

Váška J., 2001: Funkce a možnosti krajiny při zvládnání extrémních hydrologických situací – retenční potenciál krajiny. In Patera A., Váška J., Jakubíková A. [eds.]: *Extrémní hydrologické jevy v povodích*. Sborník příspěvků z Workshopu 2001. České vysoké učení technické v Praze a Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, 53 – 57s.

Vlček V., 1984: Zeměpisný lexikon ČSR. Vodní toky a nádrže. Academia, Praha, 132s

Veselý D., 2003: Údolní niva upravených toků. In Šálek J., Tlapák V., Salašová A. [eds.]: *Protipovodňová prevence a krajinné plánování*. Sborník příspěvků z mezinárodní konference Protipovodňová prevence a krajinné plánování. Česká společnost krajinných inženýrů – ČSSI, Pardubice, 87-89s.

KTI et Aqualogic, 2004: HEC-RAS stručný manuál, neuvedeno, neuvedeno, 21s

Internetové zdroje

Brunner G. W. et Ceivr-HEC, 2008: HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual: Version 4.0. US Army Corps of Engineers, Davis, Californina, 411 s., online: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/HEC-RAS_4.0_Reference_Manual.pdf, cit. 1.3.2013

Brunner G. W. et Ceivr-HEC, 2010: HEC-RAS, River Analysis Systém User's Manual: Version 4.1. US Army Corps of Engineers, Davis, Californina, 790 s., online: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/HEC-RAS_4.1_Users_Manual.pdf

Český hydrometeorologický ústav, neuvedeno: Hlásná a předpovědní povodňová služba, Praha, online: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/verejnost_povoden_definice.html, cit. 27.1.2013

Český hydrometeorologický ústav 1, neuvedeno: Hlásná a předpovědní povodňová služba, Praha, online: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/verejnost_hpps.html, cit. 27.1.2013

Český hydrometeorologický ústav, 2009: Vyhodnocení povodní v červnu a v červenci na území České republiky, Praha, online: <http://voda.chmi.cz/pov09/doc/03.pdf>, cit. 31.1.2013

Český hydrometeorologický ústav, 2013: Měsíční data za rok 2012, Praha, online: http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_9_Mesicni_data&nc=1&portal_lang=cs#PP_Mesicni_data, cit. 31.1.2013

- Český hydrometeorologický ústav**, 2006: Meteorologické a hydrologické vyhodnocení jarní povodně 2006 na území ČR, Praha, online: <http://voda.chmi.cz/pov06/pdf/c52.pdf>, cit. 25.1.2013
- DHI Hydroinform a.s.**, 2005: Metodika stanovení aktivní zóny záplavového území, Praha, online: http://eagri.cz/public/web/file/16381/Metodika_stanoveni_AZZU.pdf
- Hladný J.**, 2007: Fakta a mýty o povodních. In Langhammer J [ed.]: Povodně a změny v krajině. Přírodovědecká fakulta UK, Praha: 101 - 109 s., online: http://web.natur.cuni.cz/geografie/vzgr/monografie/povodne/povodne_hladny.pdf, cit. 31.1.2013
- Hydro.upol.cz**, 2009: DesQ – MaxQ, online: http://hydro.upol.cz/?page_id=17, cit. 3.2.2013
- Hydrosoft Veleislavím s.r.o.**, 2006: Studie záplavových území, Praha, online: http://www.hydrosoft.eu/html/sluzby/vh/studie_zapl_uzemi.shtml, cit. 28.1.2013
- Jeníček M.**, 2007: Modelování sražko-odtokových procesů na malých a středně velkých povodích. In Langhammer J [ed.]: Povodně a změny v krajině. Přírodovědecká fakulta UK, Praha: 101 – 109 s., online: http://web.natur.cuni.cz/geografie/vzgr/monografie/povodne/povodne_jenicek.pdf, cit. 15.2.2013
- Just T.**, 2010: Uplatnění revitalizačních opatření při protipovodňové ochraně. In Přírodě blízka protipovodňová ochrana: Prostor pro vodní toky a zapojení ekosystémů, Senát parlamentu ČR, Praha, online: <http://www.koaliceproreky.cz/wp-ulozto/sbornik-FIN.pdf>, cit. 28.1.2013
- Jeníček M.**, 2005: Možnosti využití srážko-odtokových modelů na malých a středně velkých povodích. In Langhammer J. (ed.): Vliv změn přírodního prostředí povodí a údolní nivy na povodňové riziko. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Praha: 112-126, online: <http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/profil.php?akce=publikace&lang=eng>, cit. 2.2.2013
- Křížek M. et Engel Z.**, 2007: Geomorfologické projevy povodní příkladová studie povodně 2002 v povodí Otavy. In Langhammer J [ed.]: Povodně a změny v krajině. Přírodovědecká fakulta UK, Praha: 231 – 243 s., online: http://web.natur.cuni.cz/geografie/vzgr/monografie/povodne/povodne_krizek_engel.pdf, cit. 2.2.2013
- Langhammer J. et Vajskebr V.**, 2004: Historické změny říční sítě v povodí Otavy. In Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní. Přírodovědecká fakulta UK, Praha, 150 – 169 s. online: http://hydro.natur.cuni.cz/zmeny_povodni/pdf/langhammerVA.pdf
- Město Vimperk**, 2009: Povodeň na Vimpersku, online: <http://www.vimperk.cz/774/cz/normal/povoden-na-vimpersku/#.UQ6s8B12SkO>, cit. 3.2.2013
- Povodí Vltavy**, 2009: Plán oblasti povodí Horní Vltavy, část A, popis oblasti povodí, Praha, online: http://www5.pvl.cz/portal/hydroprojekt/VH/web/A_popis_oblasti_povodi.htm, cit. 31.1.2013

Povodí Vltavy 1, 2009: Plán oblasti povodí Horní, část D, Ochrana před povodněmi a vodní režim krajiny, Praha, online:

http://www5.pvl.cz/portal/hydroprojekt/VH/web/D_ochrana_pred_povodnemi.html, cit. 2.2.2013

Program DesQ – MaxQ, 2000: Výpočet maximálních průtoků na malých povodích, on-line: <http://www.desq-maxq.cz/index.html>, cit. 3.2.2013

Unička J, 2009: Infrastruktura, která předpovídá poovdně. Computerworld 17: 28-29, online: http://www.it4i.cz/files/media_cw_0909.pdf, cit. 15.1.2013

Usnesení vlády ČR č. 382/2000, Strategie ochrany před povodněmi pro území ČR, 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), cit. 30.1.2013

Usnesení vlády ČR č. 496/2006, k financování protipovodňových opatření zajišťovaných ministerstvem zemědělství, online:

http://eagri.cz/public/web/file/16388/Usneseni_vlady_c._496.pdf, cit. 30.1.2013

Vyhláška č. 24/2011 Sb., o plánech povodí a plánech zvládnání povodňových rizik, v platném znění, online:

[http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/6A53F3FC298772DDC12578AA002E7AB7/\\$file/24-11.pdf](http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/6A53F3FC298772DDC12578AA002E7AB7/$file/24-11.pdf), cit. 30.1.2013

Vyhláška 236/2002 Sb., o způsobu a rozsahu zpracovávání návrhu a stanovování záplavových území, v platném znění, online:

http://eagri.cz/public/web/ws_content?contentKind=regulation§ion=1&id=53520&name=236/2002, cit. 30.1.2013

Vašků Z., 1998: Povodeň a krajina. Vesmír 77: 578, online:

www.vesmir.cz/files/file/fid/676/aid/1888, cit. 28.1.2013

Vlasák T., 2004: Přehled a klasifikace historických povodní v povodí Otavy. In Langhammer J [ed.]: Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní. Přírodovědecká fakulta UK, Praha, 227 – 238 s., online:

http://hydro.natur.cuni.cz/zmeny_povodni/pdf/vlasak.pdf, cit. 2.2.2013

Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, 2006: Vyhodnocení jarní povodně 2006 na území České republiky, Praha, online:

http://www.vuv.cz/fileadmin/user_upload/pdf/Povodne/Povoden-2006_Souhrnna_zprava.pdf, cit. 30.1.2013

Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, 2009: Charakteristiky toků a povodí ČR Dibavod, online: <http://www.dibavod.cz/24/charakteristiky-toku-a-povodi-cr.html>, cit. 2.2.2013

Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, neuvedeno, Mapy povodňového nebezpečí, online:

http://www.dibavod.cz/data/poster_mapy_nebezpeci.pdf?PHPSESSID=b32f83c256d387bb29c, cit. 3.2.2013

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách, v platném znění, online:

<http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/2a434831dcbe8c3fc12564e900675b1b/20f9c15060cad3aec1256ae30038d05c?OpenDocument>, cit. 30.1.2013

US Army Corps pf Engineers, nevedeno. online:
<http://www.hec.usace.army.mil/whoweare/history.html>, cit. 19.2.2013

US Army Corps pf Engineers 1, nevedeno. online:
<http://www.hec.usace.army.mil/>, cit. 5.1. 2013

Seznam obrázků

Obr. č. 1: Typický průběh povodně při povodni z tání sněhu.....	16
Obr. č. 2: Typický průběh povodně při ledové povodni	17
Obr. č. 3: Typický průběh povodně při dešťové povodni	17
Obr. č. 4: Ovlivnění meandrující řeky regulací	21
Obr. č. 5: Umístění hlavních druhů dřevin	23
Obr. č. 6: Schéma rozmístění břehové vegetace	23
Obr. č. 7: Grafické znázornění metodiky	28
Obr. č. 8: Obecná struktura hydrologického modelu	36
Obr. č. 9: Struktura modelu MIKE – SHE	40
Obr. č. 10: Schéma modelu SAC – SMA	43
Obr. č. 11: Vymezení povodí Horní Vltavy	46
Obr. č. 12: Celková délka říční sítě v povodí Otavy od 2. voj. mapování po současnost	56
Obr. č. 13: Mapa povodí Volyňky	56
Obr. č. 14: Technický výkres – dřevěný mostek	58
Obr. č. 15: Technický výkres – betonový most pod školou.....	58
Obr. č. 16: Technický výkres – Kamenný jez	59
Obr. č. 17: Technický výkres – most Vimperk, ul. Pasovská	59
Obr. č. 18 Technický výkres - most u parkoviště.....	59
Obr. č. 19: Technický výkres – silniční most u hotelu Amber	60
Obr. č. 20: Technický výkres – ocelová lávka	60
Obr. č. 21: Technický výkres – silniční most	60
Obr. č. 22: Technický výkres - silniční most silnice I.třídy	61
Obr. č. 23: Technický výkres - silniční most II. třídy	61
Obr. č. 24: Technický výkres - silniční most u podniku Jitona.....	61
Obr. č. 26: Technický výkres - most u teplárny	62
Obr. č. 27: základní okno programu HEC-RAS	65
Obr. č. 28: Základní okno pro práci s geometrickými daty	66
Obr. č. 29: Dialogové okno pro zadávání příčných profilů	67
Obr. č. 30: Hodnoty dle Manninga	67
Obr. č. 31: Zadávání geometrie mostu.....	68
Obr. č. 32 Ukázka vykresleného mostu u hotelu Amber - 35.807 ř. km	69
Obr. č. 34: Dialogová okna pro zadávání jezu.....	70

Obr. č. 35: Dialogové okno pro zadávání okrajových podmínek.....	71
Obr. č. 36: Dialogové okno pro výpočet proudění	71
Obr. č. 37: Celkový pohled na řešenou část toku.....	73
Obr. č. 38: Průtok Q_{10} v kontaktu s dřevěným mostkem.....	73
Obr. č. 39 Vybřežení při Q_{10} v úseku 37.87 ř. km do 37.333 ř. km a od 37.063 do 36.819 ř. km	74
Obr. č. 40: Ukázka vybřežení při průtoku Q_{10} v 33.49 ř. km	74
Obr. č. 41 Simulace průtoku Q_{20} v celém řešeném úseku	75
Obr. č. 42: Vybřežení při Q_{20} od 37.832 ř. km do 36.819 ř. km	75
Obr. č. 43: Vybřežení při Q_{20} od 36.742 ř. km do 36.613 a 36.460 ř. km do 36.261 76	
Obr. č. 44: Vybřežení při Q_{20} od 34.988 ř. km do 34.974 ř. km	76
Obr. č. 45: Ukázka profilu 34.988 ř. km v místě vybřežení	76
Obr. č. 46: Vybřežení při Q_{20} od 34.564 ř. km do 34.316 a od 33.808 ř. km do 33.231 ř. km	77
Obr. č. 47: Ohrožený dřevěný mostek 37.866 ř. km	77
Obr. č. 48: Simulace průtoku Q_{50} a Q_{100} v celém řešeném úseku.....	78
Obr. č. 49: Vybřežení při Q_{50} a Q_{100} v horním úseku – extravilán	78
Obr. č. 50: Ohrožení skladu dřeva (Q_{50} a Q_{100})	79
Obr. č. 51: Vybřežení při $Q_{100(50)}$ od 35.606 ř. km do 35.393 ř. km – zasažení parkoviště a autoservisu	79
Obr. č. 52: Ukázka profilu 35.553 ř. km ($Q_{100(50)}$) v místě vybřežení (parkoviště)....	79
Obr. č. 53: Vybřežení při Q_{100} od 34.457 ř. km do 34.219 ř. km Od 34.038 ř. km do 33.231 ř. km	80
Obr. č. 54: Vybřežení při $Q_{100(50)}$ v profilu 34.457 ř. km - zasažení zahrádkářské osady.....	80
Obr. č. 55 Vybřežení při $Q_{100(50)}$ v profilu 33.808 ř. km – zasažení zahrádkářské kolonie.....	80

Seznam tabulek

Tab. č. 1: Vymezení oblasti povodí Horní Vltavy vůči krajům.....	45
Tab. č. 2: Základní hydrologické údaje.....	52
Tab. č. 3: Průměrné teploty vzduchu.....	53
Tab. č. 4 Úhrny srážek.....	53
Tab. č. 5: Průměrné teploty vzduchu 2012.....	53
Tab. č. 6: Úhrny srážek 2012.....	53

Seznam fotografií

Foto č. 1: Skutečnost – dřevěný mostek	58
Foto č. 2: Skutečnost – betonový most pod školou	58
Foto č. 3: Skutečnost – Kamenný jez Vimperk	59
Foto č. 4: Skutečnost – most Vimperk, ul. Pasovská	59
Foto č. 5: Skutečnost – most u parkoviště	59
Foto č. 6: Skutečnost – silniční most u hotelu Amber.....	60
Foto č. 7: Skutečnost – ocelová lávka	60
Foto č. 8: Skutečnost – silniční most	60
Foto č. 9: Skutečnost – silniční most silnice I. třídy 4.....	61
Foto č. 10: Skutečnost - silniční most II. třídy	61
Foto č. 11: Skutečnost - silniční most u podniku Jitona.....	61
Foto č. 12: Skutečnost – most u teplárny.....	62
Foto č. 13: Vykreslený objekt ve skutečnosti	69
Foto č. 14: Zaplavený městský park	98
Foto č. 15: Zaplavené parkoviště	98
Foto č. 16: Voda valící se skrz zástavbu.....	99
Foto č. 17: Zatopená benzinová pumpa	99
Foto č. 18: Zaplavená zahrádkářská kolonie	100

Seznam příloh

Příloha č. 1: Přirozená inundace

Příloha č. 2: Sklad dřeva

Příloha č. 3: Kamenná nábrežní zeď

Příloha č. 4: Autoservis – nedostatek břehové zeleně

Příloha č. 5: Bikekrosová dráha

Příloha č. 6: Zahrádkářská kolonie

Příloha č. 7: Vydlážděné a nedostatečně osázené koryto toku Volyřka

Příloha č. 8: Historické fotografie povodně 2002

Příloha č. 9: Záplavové území

Příloha č. 10: Riziková místa

Příloha č. 11: Souhrnná výsledková tabulka pro Q_{100}



Příloha č. 1: Přirozená inundace (Autor, 2013)



Příloha č. 2: Sklad dřeva (Autor, 2013)



Příloha č. 3: Kamenná nábrežní zed' (Autor, 2013)



Příloha č. 4: Autoservis – nedostatek břehové zeleně (Autor, 2013)



Příloha č. 5: Bikekrosová dráha (Autor, 2013)



Příloha č. 6: Zahrádkářská kolonie (Autor, 2013)



Příloha č. 7: Vydlážděné a nedostatečně osázené koryto toku Volyňka (Autor, 2013)

Příloha č. 8: Historické fotografie povodně 2002



Foto č. 14: Zaplavený městský park (Kubašta, 2002)



Foto č. 15: Zaplavené parkoviště (Kubašta, 2002)



Foto č. 16: Voda valící se skrz zástavbu (Kubašta, 2002)



Foto č. 17: Zatopená benzinová pumpa (Kubašta, 2002)



Foto č. 18: Zaplavená zahrádkářská kolonie (Uhříčková, 2002)