VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

ÚPRAVA TOKU NA VYBRANÉM ÚSEKU S PŘIHLÉDNUTÍM K PROTIPOVODŇOVÉ OCHRANĚ A REVITALIZACI

RIVER MANAGEMENT WITH REGARDS TO FLOOD PROTECTION AND REVITALISATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE Nikola Pastorková
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. DAVID DUCHAN, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2020

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Nikola Pastorková
Název	Úprava toku na vybraném úseku s přihlédnutím k protipovodňové ochraně a revitalizaci
Vedoucí práce	Ing. David Duchan, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Podklady:
1) Příčné a podélné profily úseku toku
2) Situace a digitální model terénu
3) Hydrologické podklady

Literatura:
1) Ven Te Chow, Open-Channel Hydraulics, 1959
2) Studijní opora "Proudění v systémech říčních koryt" a "Projekt vodní stavby".
3) ES 2007. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES ze dne 23. října o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik.
4) MŽP ČR 2009. Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. VÚV T.G. Masaryka v.v.i, Brno. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha.
5) Zákon 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Na vybrané lokalitě bude provedeno ověření kapacity koryta. Na základě hydraulických výpočtů bude proveden návrh úpravy toku a protipovodňové ochrany směrem k revitalizaci toku.

Výstupy:
1) Textová část
2) Mapové výstupy

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:
1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. David Duchan, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je hydraulické posouzení kapacity vodního toku, v říčním kilometru 12,227 – 17,979, při průtocích Q_5, Q_{20} a Q_{100} pomocí 1D a 2D modelu v programu HEC – RAS 5.0.7. Z výsledků rozlivů byla navrhnuta protipovodňová opatření, a to na dvou místech v intravilánu, a dále byla navrhnuta revitalizace toku. Dále pak proběhlo hydraulické ověření protipovodňového návrhu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Litava, HEC – RAS, 1D, 2D, rozlivy, protipovodňová ochrana, revitalizace, zemní val

ABSTRACT

The theme of this bachelor thesis is the hydraulic assessment of water flow capacity in the river kilometer 12,227 – 17,979, at flows Q_5, Q_{20} and Q_{100} using 1D and 2D model in the program HEC-RAS 5.0.7. From the results of the overflows, flood protection measures have been proposed at two locations in the urban area, and the revitalization of the stream has been also proposed. Furthermore, a hydraulic verification of the flood protection design took place.

KEYWORDS

Litava, HEC-RAS, 1D, 2D, flood areas, flood protection, revitalization, dike

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Nikola Pastorková *Úprava toku na vybraném úseku s přihlédnutím k protipovodňové ochraně a revitalizaci.* Brno, 2020. 56 s., 7 s. příloh. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. David Duchan, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Úprava toku na vybraném úseku s přihlédnutím k protipovodňové ochraně a revitalizaci* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 25. 5. 2020

Nikola Pastorková
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Úprava toku na vybraném úseku s přihlédnutím k protipovodňové ochraně a revitalizaci* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2020

Nikola Pastorková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Davidu Duchanovi, Ph.D., za ochotu, trpělivost a dobu se mnou strávenou. Za mnoho užitečných rad, poznatků a materiálů, které pro mě byly pomocí při tvorbě bakalářské práce.

OBSAH

1. Úvod ... 10
2. Cíle práce ... 11
3. Metody řešení ... 12
3.1. Proudění v korytě ... 12
3.2. Ustálené rovnoměrné proudění ... 12
3.2.1. Rovnice kontinuity, rychlost proudění v korytě ... 12
3.2.2. Rychlostní vztah dle Pavlovského ... 13
3.2.3. Rychlostní vztah dle Manninga ... 13
3.2.4. Rychlostní vztah dle Sticklera ... 14
3.2.5. Drsnost koryta ... 14
3.3. Neustálené nerovnoměrné proudění ... 14
3.3.1. Metoda po úsecích ... 15
3.3.2. Říční a bystřinné proudění ... 16
4. Revitalizace ... 18
4.1. Revitalizační opatření ... 18
4.2. Revitalizovaná koryta ... 19
4.2.1. Trasa vodního toku ... 20
4.2.2. Příčný profil koryta ... 20
5. Ochrana před velkými vodami ... 21
5.1. Ochranná opatření ... 21
5.2. Povodňové plány ... 21
5.3. Opatření na ochranu před velkými vodami ... 23
5.3.1. Biologická opatření ... 23
5.3.2. Technická opatření ... 23
5.3.3. Organizační opatření ... 26
6. Přírodě blízká PPO ... 27
6.1. Stabilizační prvky blízké přírodě ... 27
6.1.1. Nevegetační opevnění ... 27
6.1.2. Vegetační opevnění ... 31
7. Zájmová lokalita ... 33
7.1. Údaje o povodí ... 33
7.2. Využití území ... 34
7.3. Hydrologické poměry ... 34

7.4. Hydrogeologické poměry ... 35
7.5. Klimatické poměry ... 35
7.6. Pedologie ... 36
8. Charakteristika toku ... 38
8.1. Objekty na dané lokalitě ... 38
8.2. Vegetace ... 40
8.3. Opevnění ... 40
9. Použité programy ... 43
9.1. HEC-RAS ... 43
9.2. QGIS ... 43
9.3. AutoCAD ... 43
10. Postup řešení ... 44
11. Ověření kapacity koryta v 1D modelu ... 45
12. Hydraulický výpočet rozlivů ... 47
12.1. Postup vytvoření hydraulického modelu ... 47
12.2. Výsledky 2D modelu ... 48
13. Návrh úpravy a PPO ... 51
13.1. Návrh PPO ... 51
13.2. Hydraulické ověření návrhu PPO ... 53
13.3. Revitalizace toku ... 53
14. Závěr ... 55
15. Seznam literatury ... 56
16. Seznam obrázků ... 58
17. Seznam tabulek ... 60
18. Seznam zkratek a veličin ... 61
19. Seznam příloh ... 63

1. Úvod

Povodeň je přirozený jev, který nastane velice rychle a rychle se rozptýlí po velké oblasti. Příčiny jsou velká intenzita srážek, doba trvání deště a tání sněhové pokrývky. Mohou být i zvláštní povodně, které vznikají v důsledku poruchy (protržení) vodních děl. Největší přírodní katastrofy tohoto typu byly zaznamenány v České republice v roce 1997 a 2002, kdy způsobily velké škody na majetku a poškodily krajinný ráz. Proto je velice důležité, se před povodněmi chránit a realizovat protipovodňová opatření. Stavbou takovýchto opatření dojde k odstranění hrozby povodně nebo alespoň k jejímu snížení. V současnosti je snaha o začlenění PPO do krajiny s využitím přírodních materiálů - přírodě blízká PPO.

Řeka Litava byla v minulosti známá pod názvem Cézava. Podle dějin má Litava název Cézeva pod soutokem s Dunávkou. Jméno Cézeva je také spojeno s pravěkým sídlištěm v obci Blučina. Přes toto sídliště vedla jantarová cesta až k Baltu. Na sídlišti byl nalezen jantar.

Řeka Litava je významným levostranným přítokem Svratky a pramení ve Zlínském kraji na úpatí vrchoviny Chřiby. Mezi lety 1912 a 1920 byla provedena regulace koryta řeky mezi Židlochovicemi a Slavkovem u Brna.

2. Cíle práce

Cílem bakalářské práce je zjištění hydraulických poměrů při povodňových průtocích a navržení úpravy toku společně s návrhem PPO, v říčním kilometru 12,227 – 17,979. Na řece Litavě bude navržena protipovodňová ochrana.

Cílem tedy je:

- zjištění hydraulických poměrů při povodňových průtocích Q_5, Q_{20} a Q_{100},
- návrh PPO,
- hydraulické ověření návrhu PPO.

Bakalářská práce je rozdělena na část teoretickou a praktickou. V teoretické části budou popsány metody výpočtu, informace o revitalizaci a PPO. Déle pak bude popsána samotná zájmová lokalita a její klimatické, geologické a hydrologické poměry. V praktické části budou shrnuty hydrotechnické výpočty z programu HEC-RAS a pak samotný návrh úpravy a protipovodňového opatření.

3. Metody řešení

V následujících kapitolách jsou popsány typy proudění, základní hydraulické rovnice, které byly využity v rámci práce. K hydraulickým výpočtům byl použit software HEC-RAS 5.0.7, který tyto rovnice využívá. Text v následujících kapitolách vychází z [2], [3].

3.1. Proudění v korytě

Proudění v toku dělíme na:

- **Ustálené** – při ustáleném (stacionárním) proudění se hydraulické veličiny, jakou jsou průřezová rychlost, průtok a průtočná plocha, nemění a závisí jen na poloze.
- **Neustálené** – při neustáleném (nestacionárním) proudění jsou hydraulické velečiny funkcí času i polohy.
- **Rovnoměrné** – rovnoměrné proudění patří do zvláštního případu pohybu ustáleného, při kterém jsou průtočné průřezy na celém úseku konstantní. Průtok je konstantní a tím pádem tedy i rychlost se stává konstantní.
- **Nerovnoměrné** – při nerovnoměrném ustáleném proudění jsou hydraulické veličiny konstantní v čase, ale průřezová rychlost a průtočná plocha se mění po délce proudu, což může být způsobeno proměnným sklonem dna.

3.2. Ustálené rovnoměrné proudění

Hladina je při tomto proudění rovnoběžná se dnem. Vyskytuje se v umělých kanálech s neproměnným korytem. Jedná se většinou o upravené toky nebo umělé náhony stálého průřezu (příčného profilu) a konstantního sklonu dna koryta.

3.2.1. Rovnice kontinuity, rychlost proudění v korytě

Rovnice kontinuity vychází ze zákona o zachování hmotnosti (obr. 1). Rovnice spojitosti (kontinuity) v ustáleném proudění má tvar:

$$Q = Av \tag{3.1}$$

Kde Q je průtočné množství (m^3/s), A je průtočná plocha profilu (m^2) a v je rychlost proudění vody v korytě (m/s).

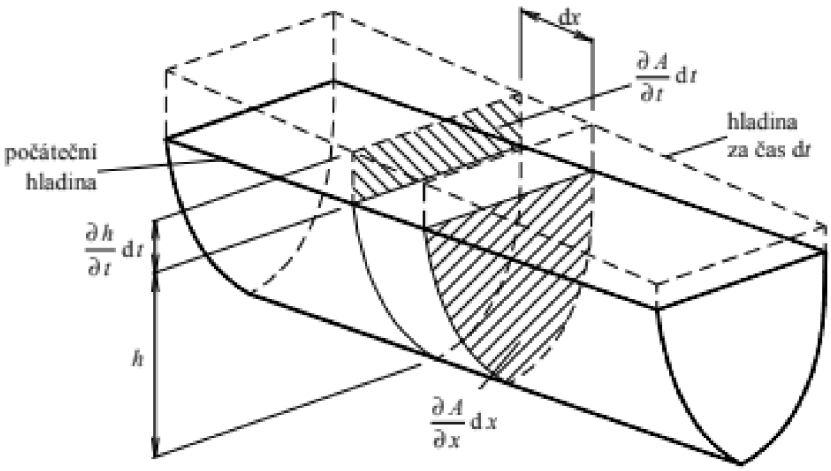
Rychlost proudění vody v korytě se vypočítá pomocí Chézyho rovnice.

$$v = C\sqrt{Ri}$$

$$R = \frac{A}{O} \tag{3.2}$$

Kde C je rychlostní součinitel ($m^{0,5}/s$), R je hydraulický poloměr (m) a i je sklon dna (-), A je průtočná plocha (m^2) a O je omočený obvod. Omočený obvod je v průtočném průřezu délkou styku kapaliny s pevnými stěnami. Do omočeného obvodu se nepočítá volná hladina.

Rychlostní součinitel není konstantní. Závisí na tvaru průtočného průřezu a drsnosti stěn.



Obr. 1) Kontinuita neustáleného proudu v 1D [2]

3.2.2. Rychlostní vztah dle Pavlovského

$$C = \frac{1}{n} R^y$$

$$y = 2{,}5\sqrt{n} - 0{,}13 - 0{,}75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0{,}1) \tag{3.3}$$

Kde n je drsnostní součinitel a R hydraulický poloměr.

3.2.3. Rychlostní vztah dle Manninga

Exponent y ve vzorci Pavlovského v nejčastějších případech praxe nekolísá v příliš širokých mezích. Vezmeme-li tedy střední hodnotu $y = 1/6$:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \tag{3.4}$$

3.2.4. Rychlostní vztah dle Sticklera

Stickler doplnil Manningův vzorec předpokladem, že stupeň drsnosti musí být závislý na zrnitosti materiálu koryta. Obměnil tedy Chézyho rovnici na tvar:

$$v = k_s R^{2/3} i^{1/2}$$

$$k_s = \frac{21{,}1}{\sqrt[6]{d_s}} \tag{3.5}$$

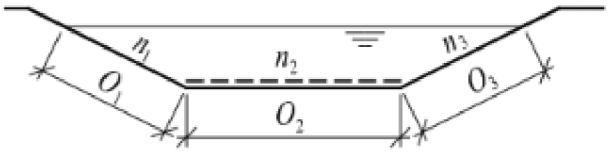
Kde d_s je možné uvažovat jako 55% hodnota zrna z křivky zrnitosti krycí vrstvy v korytě.

3.2.5. Drsnost koryta

Máme-li složené koryto s několika různými drsnostmi, lze výsledný drsnostní součinitel *n* určit jako vážený průměr (obr. 2):

$$n = \frac{n_x O_x + n_{x+1} O_{x+1} + \cdots n_n O_n}{O_x + O_{x+1} \ldots O_n} \tag{3.6}$$

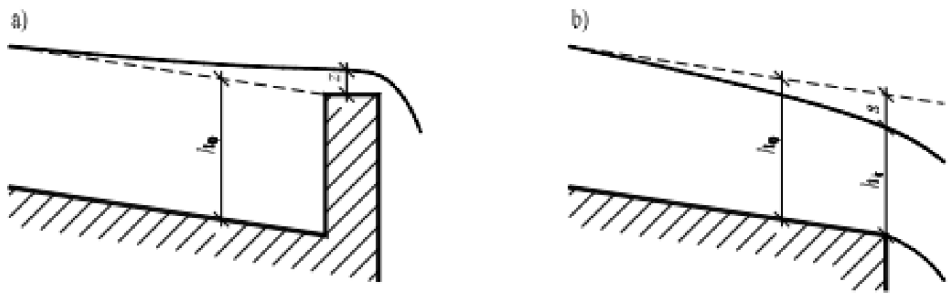
Drsnost koryta můžeme také určit z katalogových či tabulkových hodnot podle dané lokality a charakteru koryta.



Obr. 2) Profil koryta o různých drsnostech [3]

3.3. Neustálené nerovnoměrné proudění

U neustáleného nerovnoměrného proudění je koryto řeky neupravené s přirozeným charakterem. Vzniká zde křivka vzdutí (v místě kde je koryto zúženo, například jezem) nebo snížení (rozšíření koryta), tak jak je zobrazeno na obr. 3. Sklon dna není rovnoběžný se sklonem hladiny a sklony dna i hladiny nejsou konstantní.



Obr. 3) Křivky a) vzdutí, b) snížení [3]

Při proudění v korytě vznikají ztráty:

- Ztráty místní – vznikají změnami průtočných průřezů.
- Ztráty třením (po délce) – vznikají třením o smáčený povrch koryta a vnitřního tření mezi jednotlivými proudovými vlákny.

3.3.1. Metoda po úsecích

Tato metoda je založená na postupném řešení a vychází z Bernoulliho rovnice. Obecné koryto nestálého příčného profilu se rozdělí na úseky o délkách ΔL_j. V jednotlivých úsecích míníme, že průtočné profily a zároveň rychlosti se mění spojitě, a to z hodnot A_i, v_i v horním profilu na hodnoty A_{i+1}, v_{i+1} v dolním profilu. Podélný sklon koryta daného úseku se značí i_{oj} a celková ztráta energie je h_{zj}. Z Bernoulliho rovnice plyne (obr. 4):

$$i_{oj}\Delta L_j + h_i + \frac{\alpha {v_i}^2}{2g} = h_{i+1} + \frac{\alpha {v^2}_{i+1}}{2g} + h_{zj} \tag{3.7}$$

Jestliže označíme rozdíl hladin na úseku j Δh_j obdržíme po úpravě

$$\Delta h_j = \frac{\alpha({v^2}_{i+1} - {v^2}_i)}{2g} + h_{zj} \tag{3.8}$$

Kde α je Coriosovo číslo, které je konstantní pro celý úsek a g je tíhové zrychlení.

Celkovou ztrátovou výšku h_{zj} spočítáme sečtením ztrát třením h_{tj} a ztrát místních h_{mj}.

$$h_{zj} = h_{tj} + h_{mj} \tag{3.9}$$

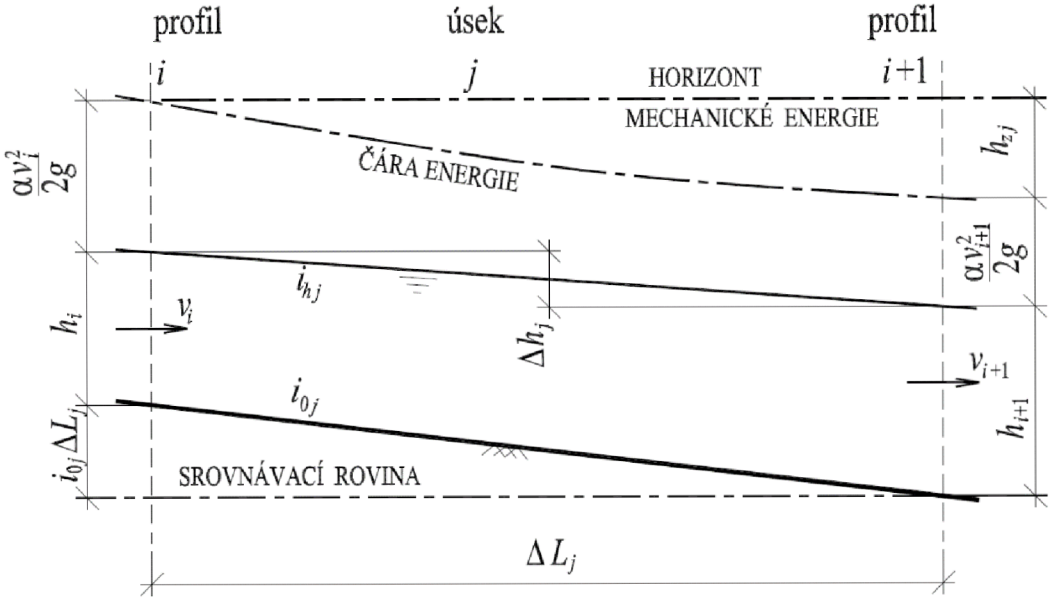
Ztráty třením vyjádříme z Chézyho rovnice pro úsek j, který je ohraničen profily i a $i+1$.

$$h_{tj} = i_{pj} * \Delta L_j \tag{3.10}$$

Kde i_{pj} je průměrný sklon čáry energie.

Ztráty místní jsou ovlivněny tvarovými rozdíly mezi profily. Vyjádříme je jako absolutní hodnotu rozdílu rychlostních výšek.

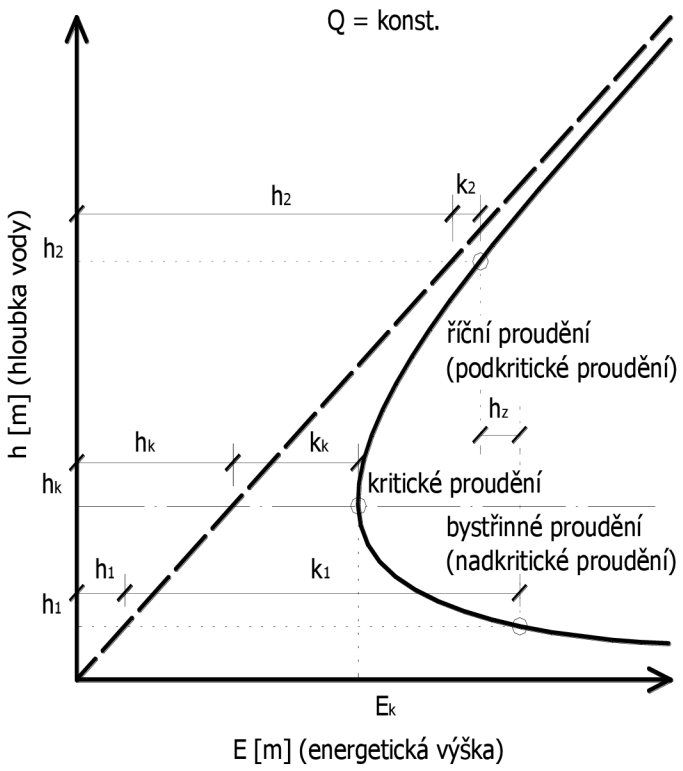
$$h_{mj} = \varepsilon \left| \frac{\alpha v^2{}_{i+1} - \alpha v^2{}_i}{2g} \right| \tag{3.11}$$



Obr. 4) Schéma metody po úsecích [3]

3.3.2. Říční a bystřinné proudění

Přechod mezi říčním a bystřinným prouděním nám určuje kritická výška (obr. 5).



Obr. 5) Energetická výška průřezu [2]

Při porovnání hloubky vody a kritické hloubky lze rozlišit tyto druhy proudění:

- $h > h_k$ – říční proudění
- $h < h_k$ – bystřinné proudění

Kritické proudění je v rozhraní těchto dvou proudění. Rychlost při kritickém proudění se nazývá kritická rychlost. Při říčním proudění je rychlost vody menší než kritická, tím pádem je povrch vody při proudu zvlněný, kdežto při bystřinném proudění je povrch hladký, protože rychlost proudění je větší než rychlost kritická.

4. Revitalizace

Revitalizace je soubor opatření sloužící k obnovení nebo nápravě přirozených funkcí člověkem poškozených ekosystémů, společenstev, krajinných celků apod. Hlavními úkoly úpravy toku je ochrana před povodněmi, úprava odtokových poměrů a splavenin, stabilizace dna a břehů koryta, zvýšení estetické funkce v krajině a jiné. Mezi revitalizační opatření nepatří jen úpravy toků (vytváření meandrů) a zemní práce (geomorfologické zásahy), ale také odstranění míst se splavy, odstranění nevhodné vegetace a vysazení vhodného vegetačního doprovodu. Cílem revitalizace je podpořit retenční schopnost krajiny, napravit dříve nevhodně provedené meliorační zásahy a obnovit přirozený ráz koryta řek. Při návrhu dané úpravy se musí brát ohled na přírodní charakter území, územnímu plánování, ochraně přírody a životnímu prostředí [5].

Revitalizované koryto vodního toku by mělo mít přiměřeně malou kapacitu (velké vody se rozlévají do nivy), mírný podélný sklon, rozvlněnou trasu (meandrování) a větší drsnost (členitý profil). Revitalizace toku může mít velký vliv v oblasti protipovodňové ochrany, posoudí-li se vymezení dostatečně širokého nivního pásu pro přirozený rozliv povodňových průtoků (např. ve volné krajině nad povodněmi ohroženou obcí). Umožnění neškodného přirozeného rozlivu, který zpomaluje rychlost proudění a podporuje akumulaci vody, povede ke zmírnění kulminace povodňových vln v níže položených místech. Retenční a akumulační schopnost nivy lze podpořit tvorbou přírodě blízkých prvků v rámci revitalizace, kterými jsou – obnova říčních ramen, tvorba přírodě blízkých paralelních koryt, vytváření tůní v nivě toku a výsadbou stanovištně vhodných doprovodných dřevin. Dalším významným efektem, který může přinést vhodně provedená revitalizace je obnova ekosystémů, vázaných na přirozené vodní toky a údolní nivy, podpora procesu samočištění (zlepšování kvality vody v toku) a obnova kontinuity říčního prostředí, zejména pak s ohledem na migrační prostupnost vodních toků. [4]

4.1. Revitalizační opatření

Mezi revitalizační opatření se řadí [6]:

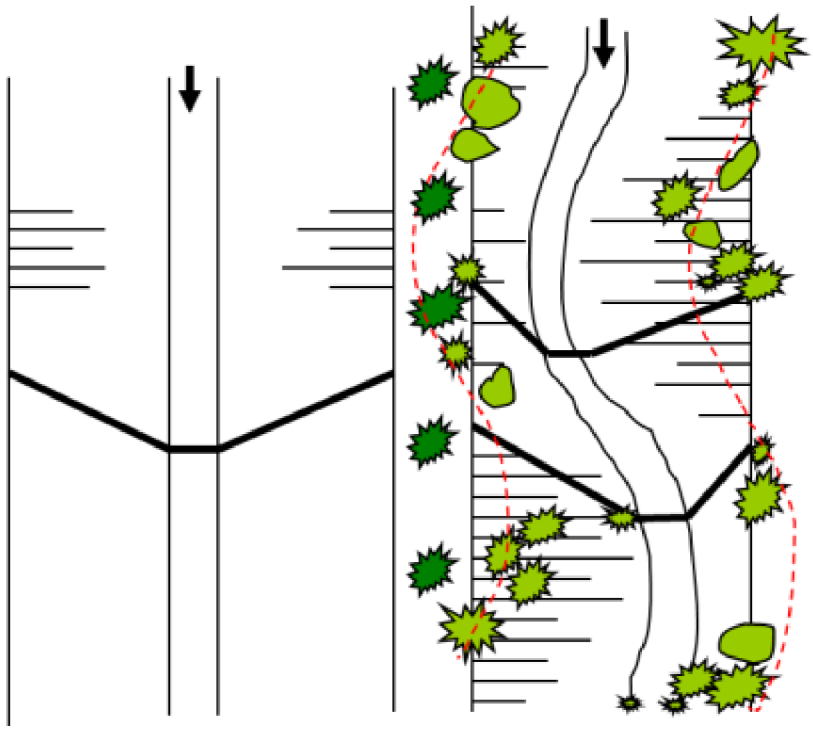
- Morfologická členitost toků.
- Meandrování.
- Vegetační doprovod.

- Ochrana toku před erozními smyvy.
- Vegetační a přírodě blízké opevnění koryta.
- Vytváření prohlubní v konkávních březích.

4.2. Revitalizovaná koryta

Samotná revitalizace se řeší buď v částečných, nebo úplných revitalizacích:

- **Revitalizace částečná** – revitalizace se realizuje pouze v korytě po břehovou hranu. Nejčastěji zde dochází k odstranění nevhodných objektů, špatného opevnění nebo špatně zvolené vegetace. Dochází k zásahům u pat svahů tvořících břehy toku a dna říčního koryta. [6]
- **Revitalizace úplná** – typ revitalizace, kde dochází k úpravě celého vodního toku či povodí. Mimo úpravy ve vlastním korytě a jeho břehové hraně, se zde také řeší širší část nivy (obr. 6). Vodní tok má ochranné pásmo 50 m, což lze plně využít pro potřebu revitalizace. [6]



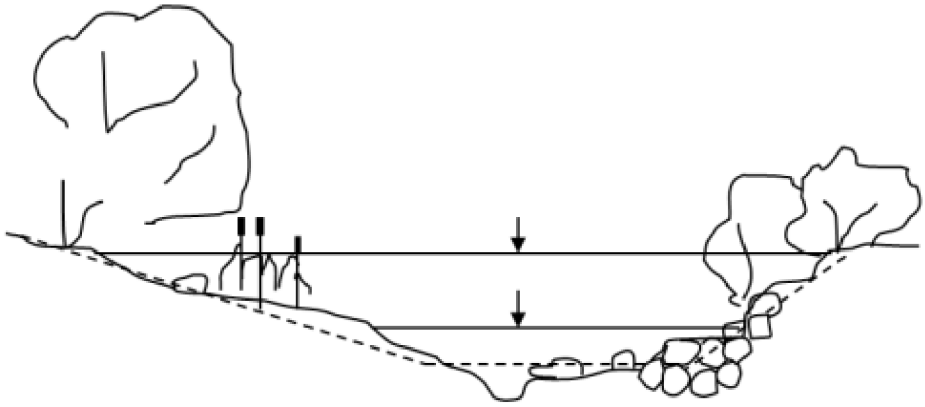
Obr. 6) Revitalizovaný vodní tok [6]

4.2.1. Trasa vodního toku

Trasa vodního toku má za úkol bezpečně a plynule přepravit odtok vody. Úhel křížení vodního toku se stavbami, jako jsou například železnice, silnice, cesty atd., by neměl být menší jak 60°. Koryto by mělo být přirozené, meandrovité. Šířka koryta je v místech přechodů oblouků širší a ve vrcholech oblouků užší. Poloměry oblouků jsou závislé na šířce hladiny. Na toku mohou být navrženy ostrůvky, případně v nižších místech se mohou objevit tůně, které by se nejspíše časem vytvořily přirozeně. Objekty na toku se navrhují v přímých úsecích. [5]

4.2.2. Příčný profil koryta

Příčný profil koryta se stanoví z poměru malých a velkých průtoků (obr. 7). Důležitým faktorem je také prostředí, kde se koryto bude nacházet, to znamená, jestli jde o intravilán nebo volnou plochu bez zastavěných míst. Sklon svahů se určuje ze stability zemních materiálů. Příčný profil se navrhuje lichoběžníkový. Pro lepší stabilitu koryta se navrhuje opevnění.



Obr. 7) Revitalizované koryto [6]

5. Ochrana před velkými vodami

Povodní se podle zákona č. 254/2001 sb. O vodách rozumí výrazné zvýšení hladiny vodního toku nebo jiných povrchových vod, při kterém hrozí vylití vody z koryta, nebo voda již zaplavuje území a může způsobit škody. Příčinami povodní mohou být přírodní nebo umělé jevy. Mezi přírodní jevy patří vydatné dlouhotrvající deště, náhlé tání sněhové pokrývky, ledochody. Umělé jevy jsou vyvolané například špatnou manipulací nebo poškozením vodního díla. [7]

5.1. Ochranná opatření

Opatření na ochranu před povodněmi se dělí do tří skupin [7]:

- **Preventivní opatření** – povodňové plány, povodňové prohlídky, organizační a technická příprava povodňové ochrany, příprava předpovědní a hlásné povodňové služby, stanovení záplavových území, vyklízení zátopových území.
- **Opatření při nebezpečí povodně a v době povodně** – činnost předpovědní povodňové služby, činnost hlásné povodňové služby, varování při nebezpečí povodně, řízení ovlivňování odtokových poměrů, povodňové zabezpečovací a záchranné práce, evidenční a dokumentační práce, zřízení činnosti hlídkové služby.
- **Opatření po povodni** – obnovení povodni narušených funkcí v zasaženém území, zjišťování a oceňování škod po povodni, odstraňování povodňových škod, zjištění příčin ovlivňujících průběh povodně a řešení jejich nápravy, vyhodnocení povodňové situace.

5.2. Povodňové plány

Povodňový plán je přehled organizačních a technických opatření. V technických opatřeních jsou mapové podklady, popis zaplavovaného území a objektů. Do organizačních opatření patří organizace povodňových služeb a související povodňové plány. Tyto opatření jsou potřebné k odvrácení nebo zmírnění škod při povodních na životech, majetku a životním prostředí. Povodňový plán se zabývá ochranou konkrétního území obce, okresů, povodí a České republiky. V povodňovém plánu se určují tři stupně povodňové aktivity [7]:

- **První stupeň** (stav bdělosti) – nastává při dlouhotrvajícím a intenzivním dešti, tání sněhu.

- **Druhý stupeň** (stav pohotovosti) – dochází při přechodném vzestupu hladiny, kdy nastává vylití vody z koryta, při vzniku ledových bariér.
- **Třetí stupeň** (stav ohrožení) – nastává při ohrožení majetku a životů, při kritické situaci na vodním díle, která hrozí havárií.

Nezbytnou součástí povodňového plánu je určení stupňů povodňové aktivity a způsob jejího vyhlašování, organizace dopravy. Důležitými podklady pro návrh povodňového plánu jsou hydrologické a hydraulické údaje jako jsou například průběh hladin, čára zatopených území, průtočná kapacita vodních toků, transformace povodňových vln atd. [7]

5.3. Opatření na ochranu před velkými vodami

Opatření se dělí na tři skupiny a každá skupina má své specifika:

- Biologická.
- Technická.
- Organizační.

5.3.1. Biologická opatření

Základem biologických opatření je zvýšená retenční schopnosti krajiny, úprava a využití retenční a odvodňovací schopnosti údolí podél vodních toků. Je to komplex opatření skládající se ze změn v osevních postupech s předností plodin zlepšujících půdní strukturu, využívání všech protierozních opatření, návrhu pozemkových úprav, využívání retenční schopnosti rašelinišť a mokřadů, revitalizace vodních toků. [7]

5.3.2. Technická opatření

Do technických opatření patří úprava a údržba vodního toku. Příkladem lze zmínit:

- **Kanály** – vodohospodářské stavby sloužící pro převedení určitého množství vody. Navrhují se převážně s gravitačním vyústěním. [7]
- **Záchytné kanály** – zachycují přítok vnějších vod na zájmovou plochu. Nejčastěji se navrhují po obvodu chráněného území. [7]
- **Protierozní záchytné příkopy** – slouží k zachycení menšího množství vody přitékající po svahu. Úkolem záchytných příkopů je zadržení povrchového odtoku. [7]
- **Odlehčovací kanály** – snižují průtok vodním tokem odvedením části průtoku mimo chráněné území. [7]
- **Ochranné hráze** – mají za úkol zamezit vniknutí povrchových vod na chráněné zájmové území. Slouží tedy k ochraně intravilánu v inundačním území. Ochranné hráze se nejčastěji umísťují podél vodních toků. V intravilánu, kde jsou stísněné prostory, se používají protipovodňové zdi. Při návrhu ochranných hrází se musí dbát na stávající vodní díla, co se v dané lokalitě nacházejí, a také na navazující úseky

toku. Na vzdušní straně hráze se může objevit odvodňovací příkop sloužící k zachycení prosáklé vody. Hráze se většinou staví ze zemních materiálů (obr. 8). Sklony svahů jsou maximálně 1:2. Hrázové výpustě jsou nejdůležitějším objektem hrází. Slouží pro volný odtok vody z chráněného území. Šířka koruny hráze by měla být minimálně 2 m, pokud jde o nepojízdnou hráz. Pokud slouží koruna hráze pro komunikační účely, volí se šířka hráze podle šířky komunikace, obvykle minimálně 3 m. [7]

Obr. 8) Ochranná hráz [12]

- **Ochranné nádrže** – Jejich funkce je ochránit níže ležící území před zaplavením. V ochranné nádrži se kromě vody zadrží i splaveniny. Ochranné nádrže mohou být suché určené ke krátkodobé akumulaci vod. Slouží pro zachycení povodňových odtoků. Příkladem suché nádrže je poldr (obr. 9). Poldr na rozdíl od přehrady má vyšší retenční kapacitu. Poldr má spodní výpusti, zde je počítáno s tím, že se část vody vsákne do povrchu, a bezpečnostní přeliv. Ve většině případů jsou poldry zatravněné a tvoří součást biokoridorů. Poldry dělíme na suché a polosuché. Suché poldry nemají žádný objem stálého nadržení, polosuché poldry ano. [7]

Obr. 9) Poldr [13]

- **Protipovodňové zdi** – používají se hlavně v obcích a městech, kde je málo prostoru a nelze zde použít jiná protipovodňová opatření. Účel protipovodňových zdí je stejný jako u ochranných hrází, a to soustředění průtoku vody mezi zdmi. Součástí stěn jsou pevně zabudované základy. Základem je podzemní stěna, která chrání území proti spodní vodě. Hloubka uložení stěny je závislá na podloží a na celkové velikosti hrazení. [14]

- **Mobilní hrazení** – mobilní hrazení je určené pro zadržení a odklonění povodňové vlny. Mobilní protipovodňové hrazení se používá zejména v historických částech měst a obcí a všude tam, kde nelze vybudovat stálou ochranu proti povodni. Výhodou mobilního hrazení je, že toto opatření nám nijak nastálo nezmění podobu okolí. Příkladem mohou být pytle s pískem nebo hradidlové hrazení (obr. 10). Hradidlové hrazení se skládá ze slupic, do kterých se zasouvají hradidla. Povrh je opatřen ochranný nátěrem (pozinkování). [14]

Obr. 10) Hradidlové hrazení [14]

5.3.3. Organizační opatření

Zahrnuje komplex biologických a technických opatření. Jedná se o zhodnocení povodňové situace a protipovodňových situací v podrobně zpracovaném plánu protipovodňových opatření. V rámci organizačního opatření dochází k zpracování manipulačních a provozních řádů. Je zde zahrnutá informovanost obyvatelstva o povodňové situaci a o možném způsobu ochrany před velkými vodami. V inundačním území by se neměly stavět nové výstavby. [7]

6. Přírodě blízká PPO

Prvním principem přírodně blízké PPO je ochrana a podpora přirozeného zadržování vody v krajině, zpomalování odtoků vody z krajiny, a tím zmenšování postupových rychlostí a kulminačních úrovní povodní. Podporuje rozlivy do nezastavěných území v zájmu mírnějších rozlivů do zastavěných částí obcí a měst. Pokud se má voda zadržovat v retenčních prostorech nebo převádět kapacitními koryty, potom nechť jsou tyto prostory a tato koryta přírodě blízkého charakteru. [9] [10]

6.1. Stabilizační prvky blízké přírodě

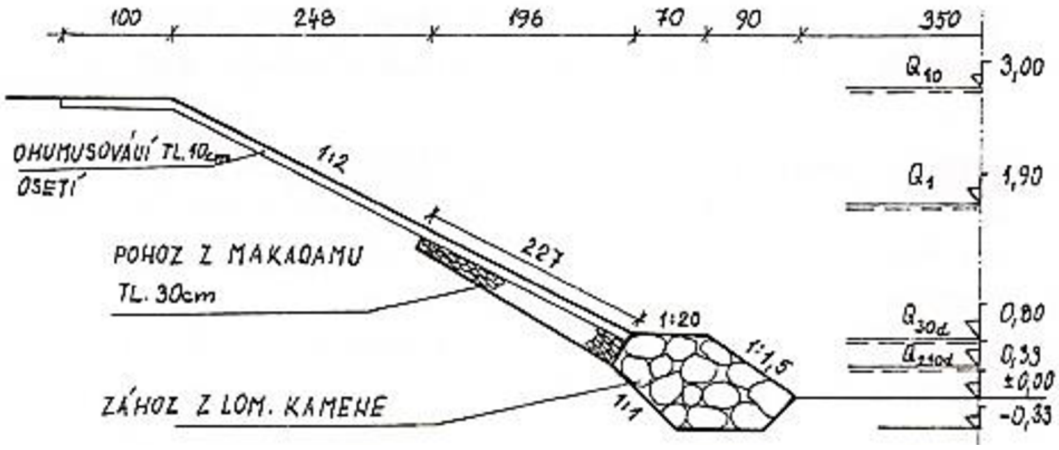
Nejvhodnějším způsobem je přirozená stabilizace toku bez zásahu člověka, ale to není vždy možné. Pomocí břehových a doprovodných porostů je zajištěna stabilizace břehu. V rámci úprav by měl být zachován vegetační doprovod nebo by měl být obnoven. Pokud je to možné, navrhuje se nejprve vegetační opevnění a až poté nevegetační. Přechod mezi vegetačním a nevegetačním opevněním je tzv. polovegetační doprovod, což je kombinace obou metod. Mohou to být například polovegetační tvárnice nebo trávobetonové dlažby. [10]

6.1.1. Nevegetační opevnění

- **Kamenný pohoz** – jedná se o nevegetační opevnění sloužící pro opevnění břehových svahů o sklonu maximálně 1:2 (obr. 11). Kamenný pohoz se skládá z kamenů do 200 kg. [9]

Obr. 11) Kamenný pohoz [9]

- **Kamenný zához** – jedná se o nejodolnější typ opevnění. Opevnění se skládá z lomového kamene a někdy dochází i k proštěrkování. Využívá se například pro stabilizaci paty břehového svahu. Dochází k úplnému zapuštění kamene nebo částečně vystupujícímu ze břehu nebo dna koryta. Výhodou je, že při vhodném navržení chrání svah i při značných deformacích svého tvaru. Nevýhodou je rozměr jednotlivých prvků a strmý sklon, který znesnadňuje přístup k hladině. [9], [10]



Obr. 12) Kamenný zához [9]

- **Kamenná rovnanina** – skládá se z neopracovaných kamenů kladených nasucho (obr. 13). Dutiny mezi kameny jsou prokládány menšími kameny. [9]

Obr. 13) Kamenná rovnanina [9]

- **Kamenná dlažba** – jedná se o velmi bezpečné a odolné opevnění (obr. 14). Používají se 4 druhy dlažebního opevnění: [9]
    - Dlažba nasucho, jejímž podkladem je silná podsypná vrstva. Dlažební spáry mohou být zalité cementovou maltou. [10]
    - Dlažba se zalitím spar cementovou maltou. Používá se při větších rychlostech vody v korytě. [10]
    - Dlažba na cementovou maltu s vyspárováním. Používají se v úsecích, kde by mohlo dojít k porušení části objektů, kvůli porušení dlažebního opevnění. [10]
    - Dlažba do betonové lože. Používá se tam, kde dochází k velkým rychlostem vody. [10]

Obr. 14) Kamenná dlažba [foto autor]

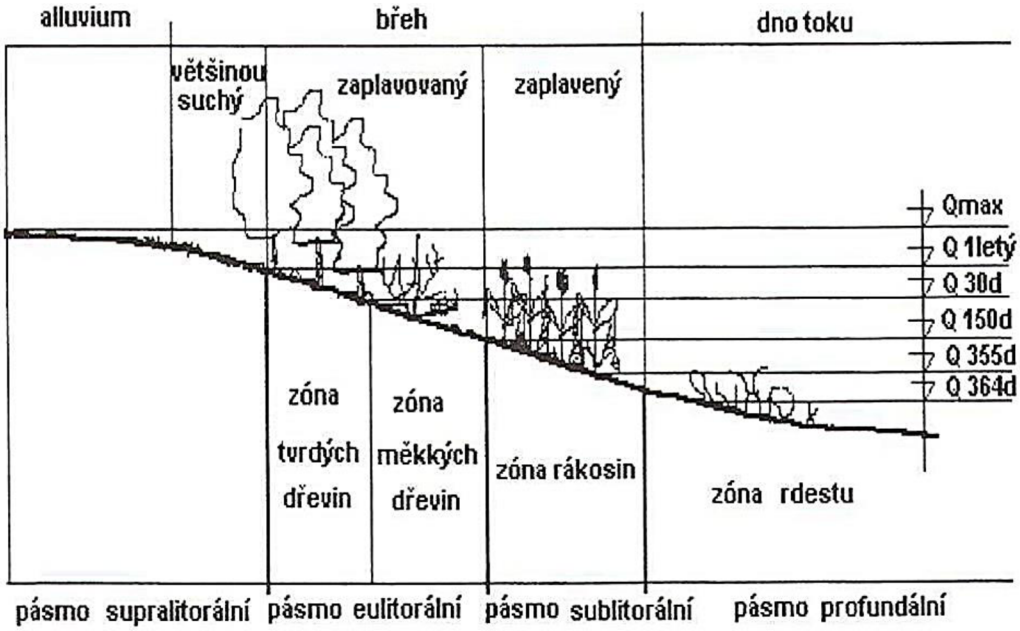
- **Svislé opěrné zdi** – používají se v intravilánu měst a obcí, kde jsou omezené prostory. Konstrukční provedení může být betonové, zděné a dále jde o drátokamenné matrace (obr. 15). [9]

Obr. 15) Opevnění pomocí drátokamenné matrace [10]

6.1.2. Vegetační opevnění

Vegetační doprovod je hlavním faktorem pro územní systém ekologické stability. Je součástí ekologicky vyvážené krajiny. Břehová vegetace je tvořena dřevinami a bylinami. Vegetační opevnění je také důležitým prvkem protierozního opatření. Stabilizací břehů pomocí vegetace zabráníme rozrušování břehů koryta erozními rýhami. [8]

U vegetačního opevnění je důležitá správná volba druhu vegetace pro určité části profilu. Výhodou vegetace je zapojení do krajiny a regenerační schopnost. Vegetace slouží také jako útočiště pro různé druhy živočichů. [8]



Obr. 16) Schéma výškového umístění vegetace [8]

Pásma dělíme na [8]:

- **Pásmo supralitorální** – nachází se nad úrovní návrhové hladiny, oblast doprovodných porostů jako jsou dub letní, jasan, javor atd. Pásmo je zřídka zaplavované.
- **Pásmo eulitorální** – zde se vyskytují měkké dřeviny, jako jsou vrby, olše a topoly a tvrdé dřeviny, což může být rákos. Pásmo může být zaplavované.
- **Pásmo sublitorální** – pásmo je často zaplavované a je nazýváno jako pásmo rákosin.
- **Pásmo profundální** – zatopená část břehů. Jsou zde vodní rostliny volně plovoucí nebo zakořeněné, například okřehek.

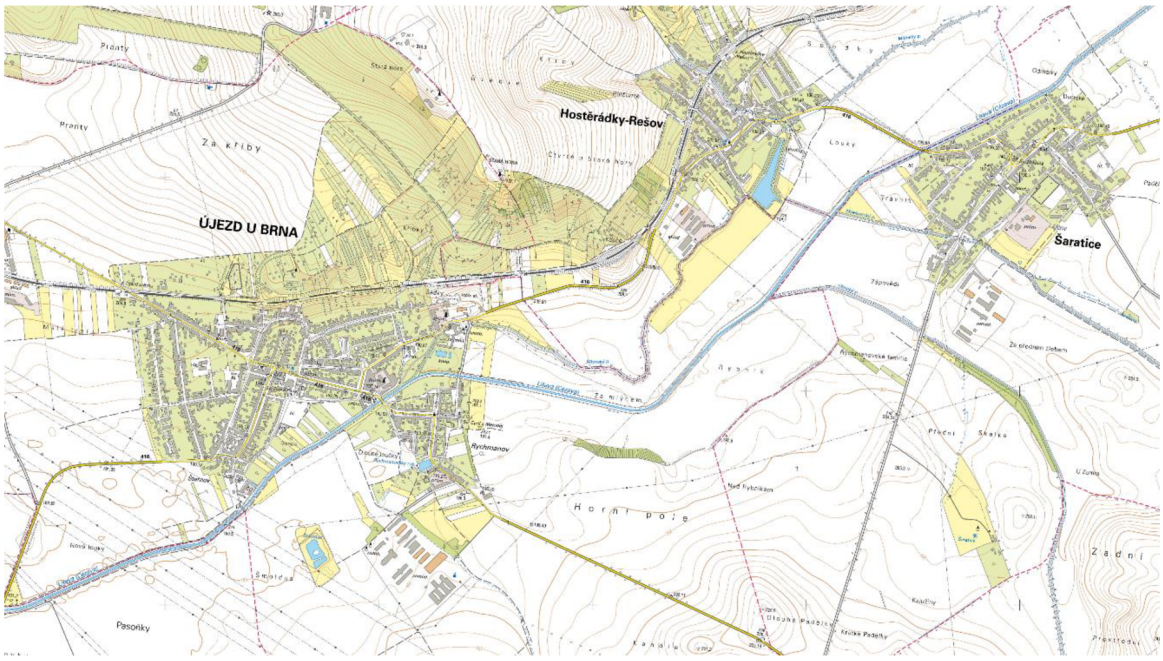
Opevnění travním porostem – krátkodobě odolává rychlosti v = 4 m/s, ale dlouhodobě spíše v = 2 m/s. Opevnění spíše na střední a horní části koryta. [9]

Opevnění vrbovým porostem – Vrby se snadno zakořeňují a vytvářejí bohatý kořenový systém. Vodní prostředí je pro ně přirozené. Vrby se mohou použít jako zápletové plůtky, břehy se mohou osázet vrbovými řízky. [9]

7. Zájmová lokalita

Celá Česká republika, se svou složitou geologickou stavbou a různorodým reliéfem na pomezí dvou velkých geologických jednotek, představuje z hydrografického hlediska významnou pramennou oblast evropského kontinentu. Nachází se na hlavním evropském rozvodí. Řeky z celého území ČR odvádějí vodu do tří moří – patří tedy do úmoří Baltského (povodí Odry), Severního (povodí Labe) a Černého moře (povodí Dunaje) [15]. Jihomoravský kraj patří k úmoří Černého moře.

Řešený úsek vodního toku Litava je součástí Jihomoravského kraje v okrese Brno – venkov. Větší část řešeného úseku se nachází kolem města Újezd u Brna (obr. 17). Vodní tok je pod správou Povodí Moravy, s.p. a jeho hydrologické pořadí je 4-15-03-089. Řešený úsek se nachází v oblast mezi 12,227 – 17,979 km a je dlouhý 5,8 km.



Obr. 17) Situace území

7.1. Údaje o povodí

Řeka Litava patří do povodí Moravy, tvoří levostranný přítok řeky Svratky. Litava pramení ve Zlínském kraji, a to na úpatí Chřibů ve výšce kolem 495 m. n. m. Levými přítoky Litavy jsou Milešovický a Hranečnický potok. Pravými přítoky jsou Litavka, Hvězdlička, Rakovec, Dunávka, Žlebový potok a Litenčický potok. Teče nejprve západním směrem a od Slavkova u Brna se točí na jihozápad až k ústí. Řeka Litava má délku 53,8 km a její povodí zabírá 789,8 km^2. Průměrný průtok v ústní dosahuje 1,62 m^3/s. [15]

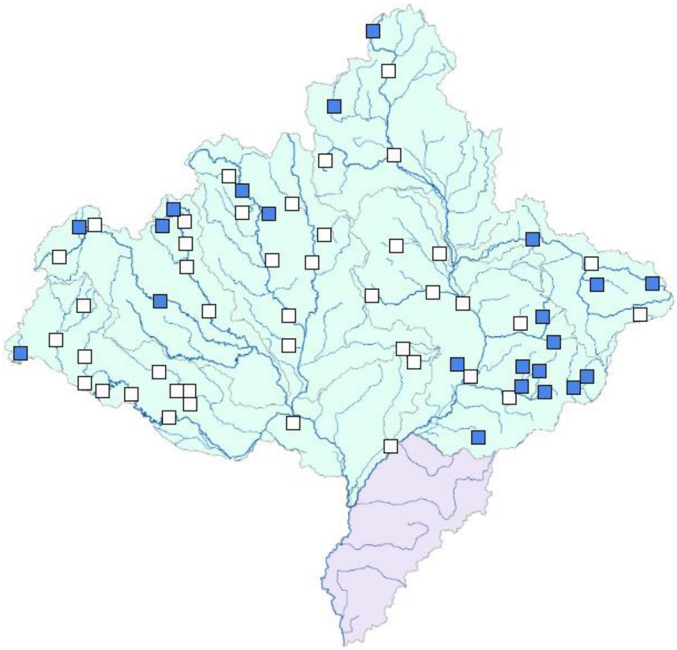
7.2. Využití území

V oblasti města Újezd u Brna se nachází nesouvislá městská zástavba, průmyslové a obchodní areály, sportovní a rekreační plochy. V okolí řeky jsou převážně rodinné domy. V extravilánu úseku jsou plochy přírodní a zemědělské. Velkou část zde tvoří orná půda a dále směsi polí, luk a trvalých plodin. [16]

7.3. Hydrologické poměry

Řeka Litava odvodňuje západní část Chřibů a přilehlé části Bučovické pahorkatiny, Dambořické vrchoviny, Pracké pahorkatiny a jižní část Drahanské vrchoviny. Území Jihomoravského kraje spadá do oblasti povodí Dyje a Moravy. Hustota říční sítě je přibližně 0,8 km/km^2. Hustota vodních toků ovlivňuje odtokový proces, erozní činnosti vody a ekologickou stabilitu krajiny. Jelikož do naší republiky nepřitéká žádná voda, ale veškerá voda z vodních toků se odvádí do sousedních států, tak hydrologické poměry jsou ovlivněny srážkami, geomorfologii, geologickou skladbou a půdním pokryvem. Nejvyšší měsíční úhrn srážek připadá na květen až srpen a nejméně srážek se objevuje v únoru až březnu. [16]

Jsou zde umístěny dvě hydrologické stanice, a to v obci Brankovice a Rychmanov. Provozovatelem obou stanic je ČHMU Brno. Řešený úsek spadá pod stanici Rychmanov. Číslo hydrologického pořadí je 4-15-03-089. [15]



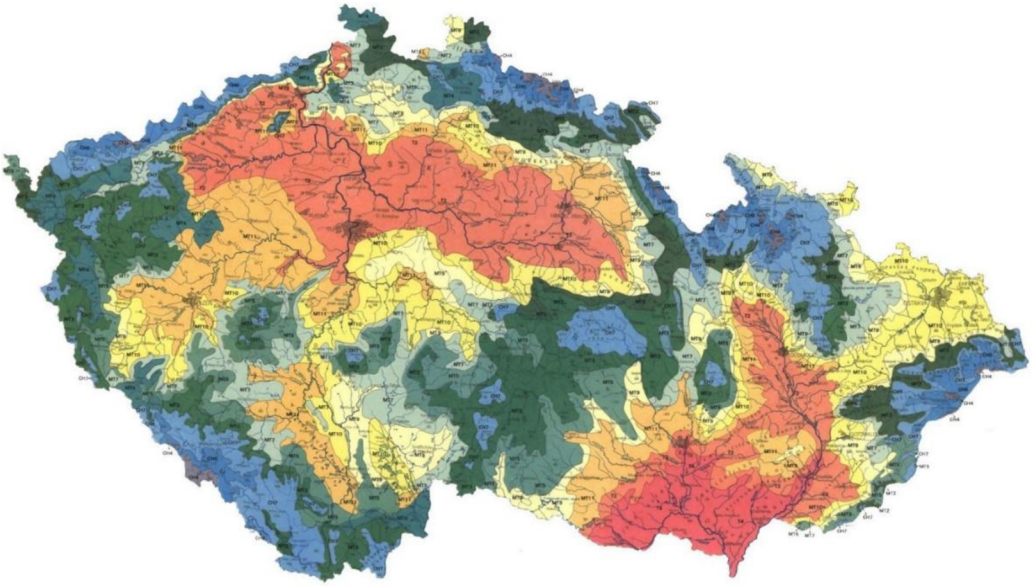
Obr. 18) Srážkoměrné stanice [17]

7.4. Hydrogeologické poměry

Měřený úsek se nachází v Dyjsko – svrateckém úvalu. Na území se nachází smíšený sediment, převážně s jemnozrnnou zeminou. Mezi významné geologické lokality patří Zbýšov, který se nachází 4 km od města Újezd u Brna. Vyskytují se zde unikátní sedimenty karpatu, jako jsou například polymiktní slepence, vápenec, křemenný písek. Jsou zde také úlomky měkkýšů a schránky plžů. Na měřeném území je převažující půdní typ černice fluvická karbonátová. [18]

7.5. Klimatické poměry

Oblast se nachází v teplé oblasti, klimatická jednotka T2. Klimatická jednotka T2 se charakterizuje poměrně krátkým a teplým obdobím jara, dlouhým, suchým a teplým létem, krátkým a teplým podzimem a mírně teplou, krátkou a suchou zimou. Podrobnější informace jsou uvedeny v tab. 1, kde hodnoty vycházejí z Quitt, 1971. Klasifikace podnebí je uvedena na obr. 19.



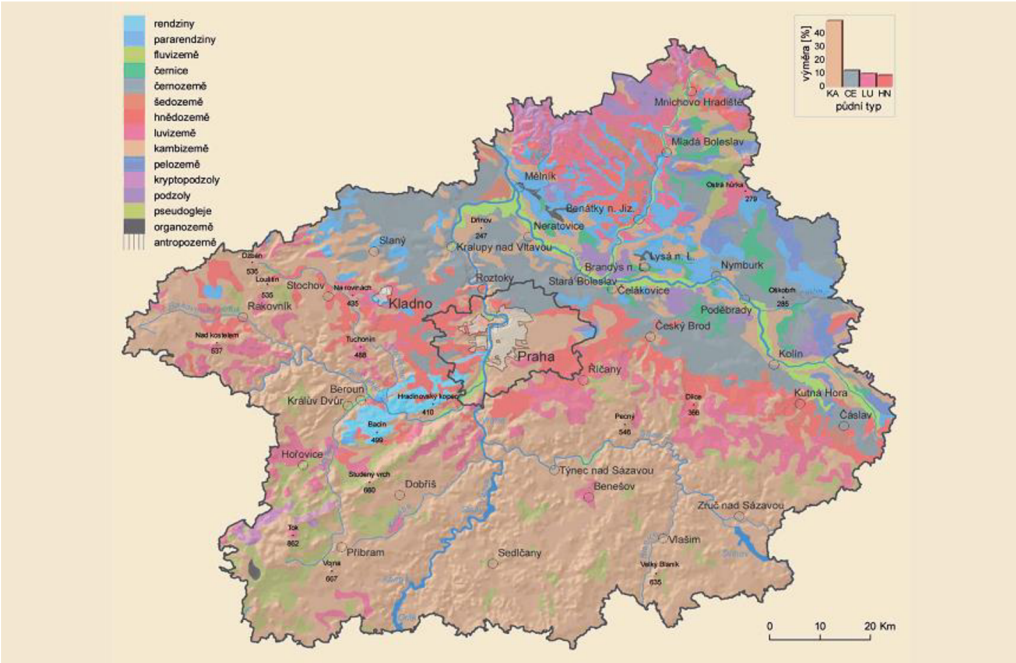
Obr. 19) Klasifikace podnebí [15]

Tab. 1. Klimatická charakteristika teplé oblasti T2

Počet letních dní	50-60
Počet dní s prům. teplotou 10 °C a více	160–170
Počet dní s mrazem	100–110
Počet ledových dní	30–40
Prům. lednová teplota	-2 až -3
Prům. červencová teplota	18–19
Prům. dubnová teplota	8–9
Prům. říjnová teplota	7–9
Prům. počet dní se srážkami 1 mm a více	90–100
Suma srážek ve vegetačním období	350–400
Suma srážek v zimním období	200–300
Suma srážek celkem	550–700
Počet dní se sněhovou pokrývkou	40–50
Počet zatažených dní	120–140
Počet jasných dní	40–50

7.6. Pedologie

Území se nachází na Šlapanické pahorkatině. Jedná se o pahorkatinu nížinnou, jejíž nadmořská výška se pohybuje okolo 220 m nad mořem. Je tvořena neogenními usazeninami. V půdním pokryvu zde převažují převážně černozemě (obr. 20). Ty zaujímají přibližně 50 % ploch s rovnoměrným rozložením podél řeky Litavy. V podloží se zde vyskytují částečně vrstevnaté vápnité jíly, písky, pískovce, štěrky a také spraše a písčito hlinité sedimenty. [18]



Obr. 20) Půdní mapa [19]

8. Charakteristika toku

V rámci kapitoly jsou popsány objekty na toku, vegetační doprovod a opevnění koryta.

8.1. Objekty na dané lokalitě

Řeka Litava ve vybraném měřeném úseku protéká nejprve městem Újezd u Brna, kde je po dvou stranách obklopena zástavbou. Dále řeka protéká spíše mezi poli a loukami. Ke konci úseku je lokalita zakončena obcí Šaratice.

Objekty na daném úseku:

- Silniční most Újezd u Brna, km 12,780.
- Silniční most Újezd u Brna, km 13,613.
- Hospodářský most Újezd u Brna, km 14,009.
- Silniční most Šaratice, km 16,705.

Obr. 21) Silniční most - Újezd u Brna [foto autor]

Obr. 22) Hospodářský most – Újezd u Brna [foto autor]

Obr. 23) Silniční most – Šaratice [foto autor]

8.2. Vegetace

Vegetace daného úseku je jiná v intravilánu a v extravilánu. V intravilánu je koryto řeky více upravené a čisté. Ve dně koryta nejsou žádné větve, neroste zde tráva nebo nějaké jiné rostlinky. Svahy koryta jsou také upravené a neobjevují se zde žádné zarostlé keře. Občas jsou na březích ojedinělé stromy a keře, ale spíše se všude vyskytuje travní osetí. V extravilánu jsou svahy koryta více zarostlé a stromy více zasahují do vodní plochy. Ve dně toku se občas objevují větve a klacky.

Obr. 24) Vegetace na začátku obce Šaratice [foto autor]

8.3. Opevnění

Ve větší části toku, koryto není nijak opevněno (obr. 26). Ve většině úseku se nachází pouze travní osetí a ohumusování. Svahy toku v extravilánu jsou velice poškozeny erozí. Uvolněné částice jsou unášeny po proudu a v místech s nižší rychlostí se usazují.

U mostního objektu v Újezdě U Brna a v Šaraticích se nachází monolitické betonové prvky s kamenným obkladem.

Obr. 25) *Svah toku [foto autor]*

Obr. 26) Opevnění koryta [foto autor]

9. Použité programy

V rámci bakalářské práce byly použity programy jako HEC-RAS, QGIS a AutoCad, které sloužily pro zpracování výsledků, výpočtů a mapových podkladů.

9.1. HEC-RAS

Zkratka HEC-RAS znamená Hydrologic Engineering Center – River Analysis System. Program byl vyvinut armádou Spojených států amerických v roce 1964. Tento program je volně přístupný a používá se k programování 1D a později i 2D modelů proudění o volné hladině v síti říčních koryt. HEC-RAS používá při výpočtech Manningova součinitele drsnosti. Výhodou programu je také, že nabízí možnost importu vygenerovaných profilů toku do programu AutoCAD. [20]

Program HEC-RAS obsahuje čtyři základní modely: proudění ustálené, proudění neustálené, transport sedimentů, kvalita a jakost vody.

Verze 5.0.7. obsahuje aplikaci RAS Map, která slouží hlavně pro 2D model pro simulaci proudění mimo koryto toku.

9.2. QGIS

QGIS (Quantum Geografic Information Systom) je volně stažitelný program pro zpracování mapových podkladů a výstupů. Byl vyvinut v roce 2002, avšak první verze, označená jako 1.0, byla spuštěna v roce 2009. Program nabízí velkou škálu nástrojů, ať už se jedná o import, export, analýzu, prohlížení, a mnoho dalších funkcí související s úpravou mapových podkladů. Výhodou programu je jeho rychlý vývoj a komerční používání softwaru. Je také propojený s mapovými servery (WMS služby). Výstupem může být mapa, 3D model území nebo animace konkrétního jevu. [21]

9.3. AutoCAD

AutoCAD patří do softwaru CAD (Computer – Aided Design). Program umožňuje návrh a úpravy 2D geometrie a 3D modelů s tělesy, povrchy a objekty sítě. AutoCad nyní obsahuje specifické funkce pro různá odvětví například pro architekty, strojírenské výkresy a elektroinstalace. Mezi specifické funkce patří vytváření půdorysů, řezů, rychlé kreslení potrubí, vedení a obvodů. Standartní formáty souborů jsou DWG a DXF. AutoCAD je volně stažitelný program, ale je placený. [22]

10. Postup řešení

Postup řešené práce byl následující:

- Vytvoření digitálního modelu terénu a následně vložení DMT do programu HEC-RAS.
- Vytvoření osy toku z podkladů od Povodí Moravy do programu HEC-RAS.
- Vypsání bodů příčných profilů, z podkladů Povodí Moravy, do programu Excel. Vytvoření souboru .csv a poté načtení do programu HEC-RAS.
- Nastavení drsností u příčných profilů.
- Zadání mostních profilů do programu HEC-RAS a následná interpolace mezi zadanými příčnými profily.
- Nastavení okrajových podmínek pro 1D modelování a spuštění výpočtu.
- Kontrola výsledků, hlavně výška hadiny na začátku a na konci úseku.
- Vytváření 2D oblasti v Ras Mapu za pomocí break lines.
- Vytvoření laterárních struktur, následná úprava a kontrola.
- Vložení souboru .shp do HEC-RASU s Manningovými součiniteli pro budovy, pole, cesty, atd.
- Zadání okrajových podmínek pro 2D oblast.
- Spuštění výpočtu pro 2D model.
- Kontrola výsledků a ověření kapacity daného úseku. Kontrola s výsledky od Povodí Moravy.
- Návrh PPO.
- Zadání PPO do modelu v programu HECRAS.
- Hydraulické ověření navrženého PPO.

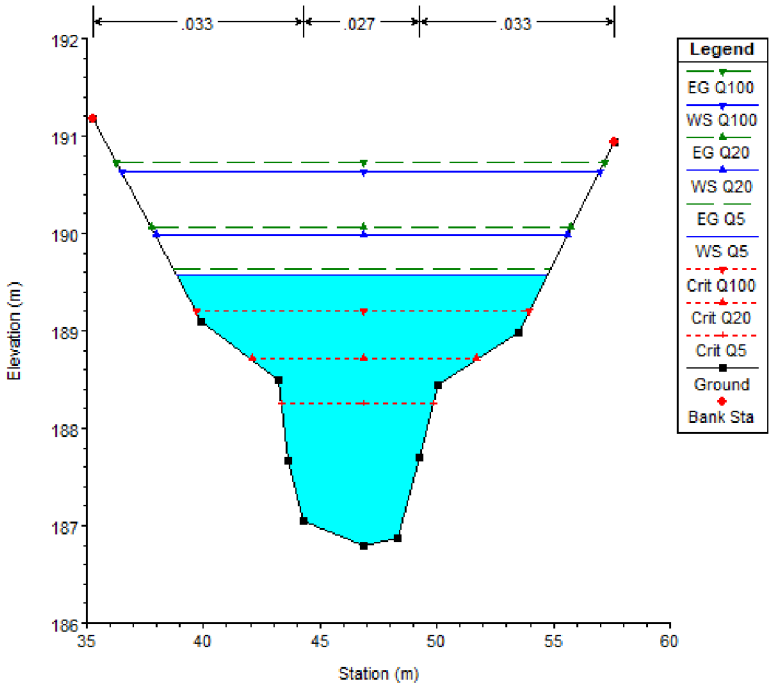
11. Ověření kapacity koryta v 1D modelu

Do programu HEC-RAS byl nejdříve přidán digitální model terénu (DMR5G). Následně byl zadán měřený úsek, který se nachází v říčním kilometru 12,227 – 17,979 km, je dlouhý 5,8 km a skládá z 52 příčných profilů. Každý profil musel být upraven dle skutečného zaměření a musely být upraveny břehové linie. Dále byla nastavena drsnost. Nastavení drsnosti vycházelo z fotek z internetu a také ze samotné návštěvy daného úseku. Samotná drsnost podle Manninga byla určena z dostupných katalogů. Pro dno koryta byla určena na základě pochůzky drsnost 0,027 a pro svahy koryta byla drsnost určena na 0,033. Poté byly do programu zadány mostní objekty (obr. 28).

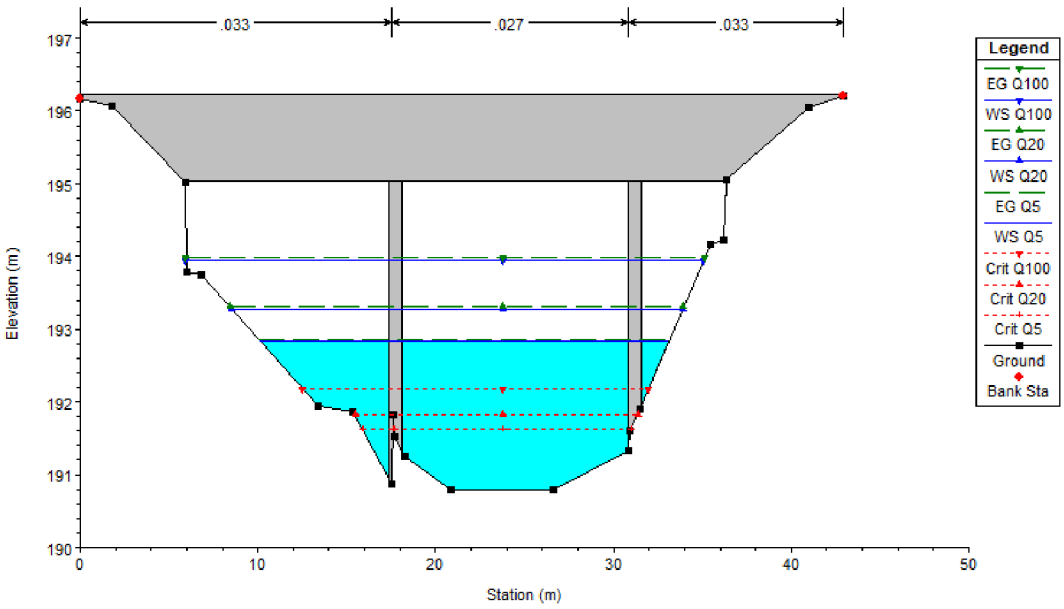
Pro výpočet 1D modelu byly zvoleny pro N-leté průtoky z hlásných profilů ČHMU. Celkem bylo zadáno pět průtoku: Q_1, Q_5, Q_{10}, Q_{50}, Q_{100}. Okrajová podmínka byla zadaná pomocí sklonu, a to hodnotou i = 0,0009. Hodnota sklonu vychází z podélného profilu z pokladů od Povodí Moravy.

Tab. 2. N-leté průtoky

Q	Q_1	Q_5	Q_{10}	Q_{50}	Q_{100}
[m³/s]	11	24	31	49	57



Obr. 27) Příčný profil 13,310



Obr. 28) Most v Šaraticích

Většina úseku toku je kapacitní a mostní objekty jsou kapacitní všechny. Ukázka kapacitního mostního objektu, který bez problému převede Q_{100}, je vidět na obr. 28. Dále byla vytvořena interpolace mezi jednotlivými profily, aby byly výpočty přesnější.

Pro lepší a přesnější určení záplavových území bylo použito 2D modelování. Z následných výsledků bude navrhnuta protipovodňová ochrana a revitalizace.

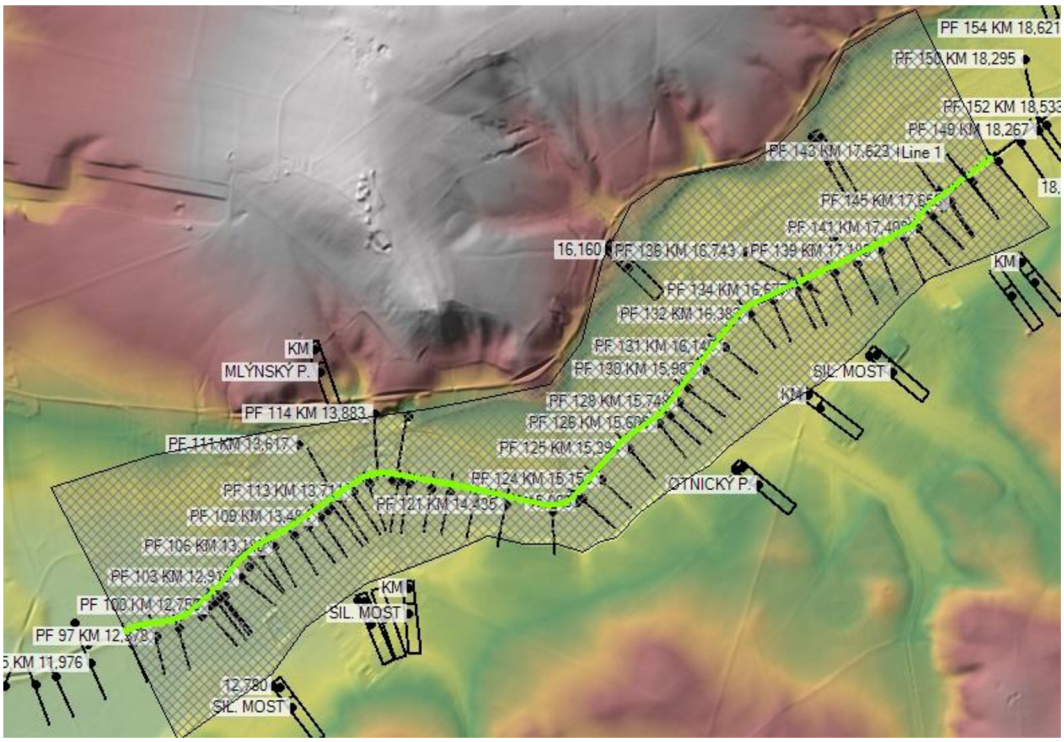
12. Hydraulický výpočet rozlivů

V rámci kapitoly je popsán:

- postup vytvoření modelu,
- výsledky hydraulického modelu.

12.1. Postup vytvoření hydraulického modelu

Nejprve bylo nezbytné si vytvořit 2D oblast v programu HEC-RAS. Break-lines a 2D oblast byla vytvořena v programu QGIS a poté byl soubor .shp importován do HEC-RASu (obr. 29). 2D oblast byla navržena podle rozlivů z DIBAVODu a zároveň těsně přiléhala 1D profilům. Oblast byla rozdělena na horní (levý břeh) a dolní část (u pravého břehu). Následně byly oblasti vyplněny výpočtovými buňkami, kdy byla zvolená velikost buňky byla 10x10. V místě breakline byla výpočtová síť zhuštěna na 2x2 m. Po vytvoření výpočtové sítě se mohlo přejít k vytváření laterárních struktur. Každá laterární struktura musí mít nastaveny parametry výšky po celé jeho délce. DMR5G je odlišný od zaměřených profilů, chyba u DMR5G je +- 15 až 30 cm, u geodetického měření je chyba +- 1 až 2 cm. Byly tedy vybrány hodnoty z profilů s přihlédnutím k DMR5G. Výpočtová síť byla napojena na laterární strukturu a tím pádem byl propojen 1D a 2D model.



Obr. 29) Vytvoření 2D oblasti

Aby byl výpočet přesný, muselo se uvažovat i s okolním prostředím a jeho vlivem na výsledky rozlivů. V programu QGIS byl vytvořen soubor s mapou měřeného úseku a hodnotami drsností okolí, což jsou budovy, intravilán, cesty, louky, orná půda, železniční přejezdy další tab. 3. Tento soubor SHP byl importován do programu HEC-RAS.

Tab. 3. Hodnoty drsností

Plocha	**Zvolená drsnost**
Budova	0,500
Cesta	0,020
Intravilán	0,040
Lesní půda se stromy	0,035
Lesní půda s křovinatým porostem	0,040
Louka, pastvina	0,040
Okrasná zahrada	0,035
Orná půda	0,035
Ovocný sad	0,035
Silnice	0,015
Ulice	0,018
Vodní plocha	0,030
Zástavba	0,100
Železnice	0,025

Před samotným spuštěním výpočtu byly nastaveny okrajové podmínky. Výpočet probíhá jako neustálené proudění. Pro horní profil byla zvolena podmínka Flow hydrograph, kde se nastavuje velikost průtoku pro daný čas výpočtu. Pro dolní profil bylo nastaveno Normal Depth, což vychází z okrajových podmínek z 1D modelování. Simulační čas byl nejprve nastaven na 10 hodin.

12.2. Výsledky 2D modelu

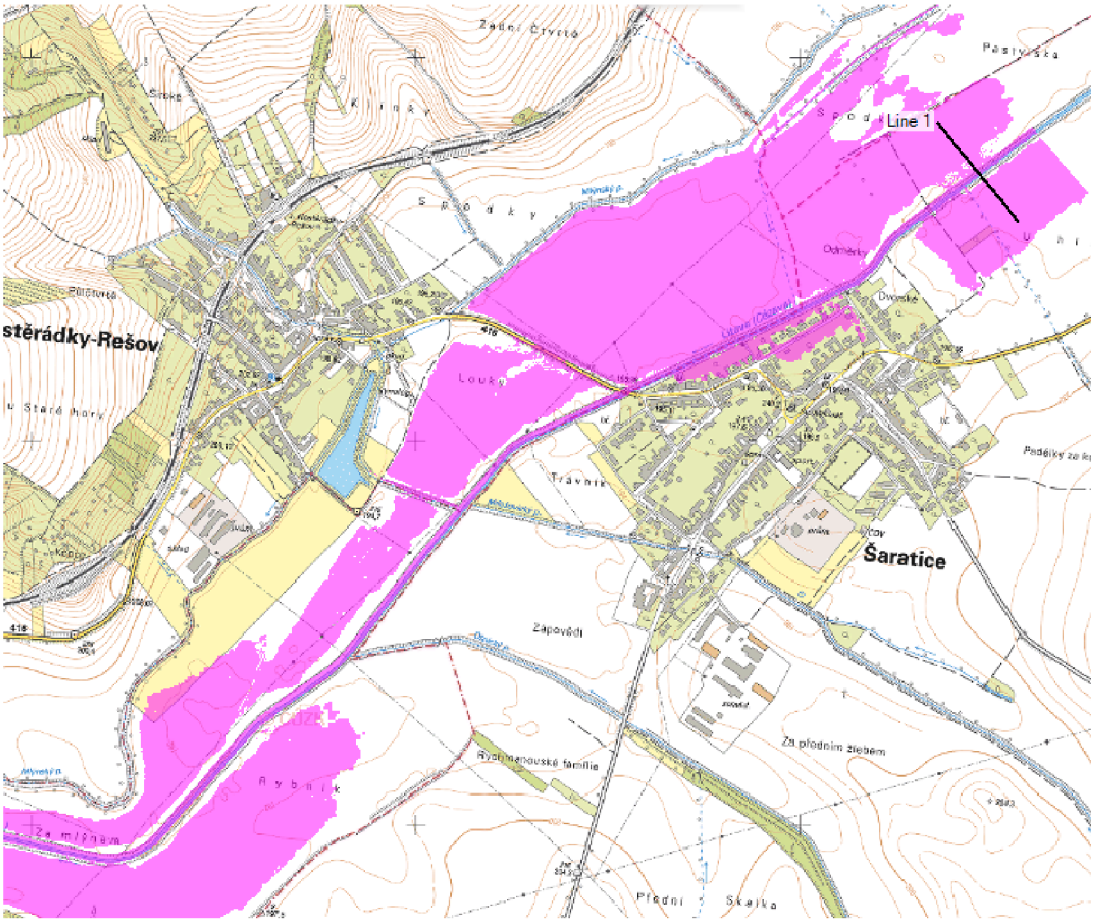
Kontrola výsledků probíhala srovnáním rozlivů z DIBAVODu a také z podkladů od Povodí Moravy. Výpočet byl použit pro průtoky Q_{100}, Q_{20}, Q_5.

Při nastaveném času 10 hodin rozlivy nebyly všude ustálené, tím pádem byl čas výpočtu párkrát prodloužen, až při čase 22 hodin byly průtoky ustálené. Záplavové území při průtoku

Q_{100} vycházelo velice obdobně jako rozlivy z podkladů. V dolním profilu docházelo k potížím, jelikož tam se žádné rozlivy netvořily. Proto byly hodnoty drsnosti koryta zvednuty. Hodnota dna koryta byla změněna na 0,033 a hodnota svahů koryta byla změněna na 0,040. Při této změně a následnému výpočtu neustáleného proudění se rozlivy přiblížily s podklady z DIBAVODu a s podklady z Povodí Moravy. K tomuto kroku bylo přistoupeno na základě nejistot v zaměření profilů, hydrologických dat a nejistot v DMR5G.

K největším rozlivům docházelo v horní části měřeného úseku na pravé straně toku (obr. 30). Zde se nachází převážně louky a pole. Rozlivy jsou zde velké a pokračují dále po směru toku. Obec Šaratice je na levé straně a její intravilán rozlivy příliš neovlivní. Za Otnickým potokem až k městu Újezd U Brna dochází také k velkým rozlivům, naštěstí se to zase týká extravilánu.

Intravilán je nejvíce poškozen v městě Újezd u Brna.



Obr. 30) Plocha rozlivů Q_{100}

Z výsledků výpočtů pro Q_{20}, jde vidět, že rozlivy jsou opravu malé a objevují se jen na začátku měřeného úseku, a to před obcí Šaratice. Zasahuje tedy do extravilánu (obr. 31).

Byly provedeny výpočty rozlivů i pro Q_5, ale zde se žádné rozlivy nevyskytují.

Obr. 31) Plocha rozlivů Q_{20}

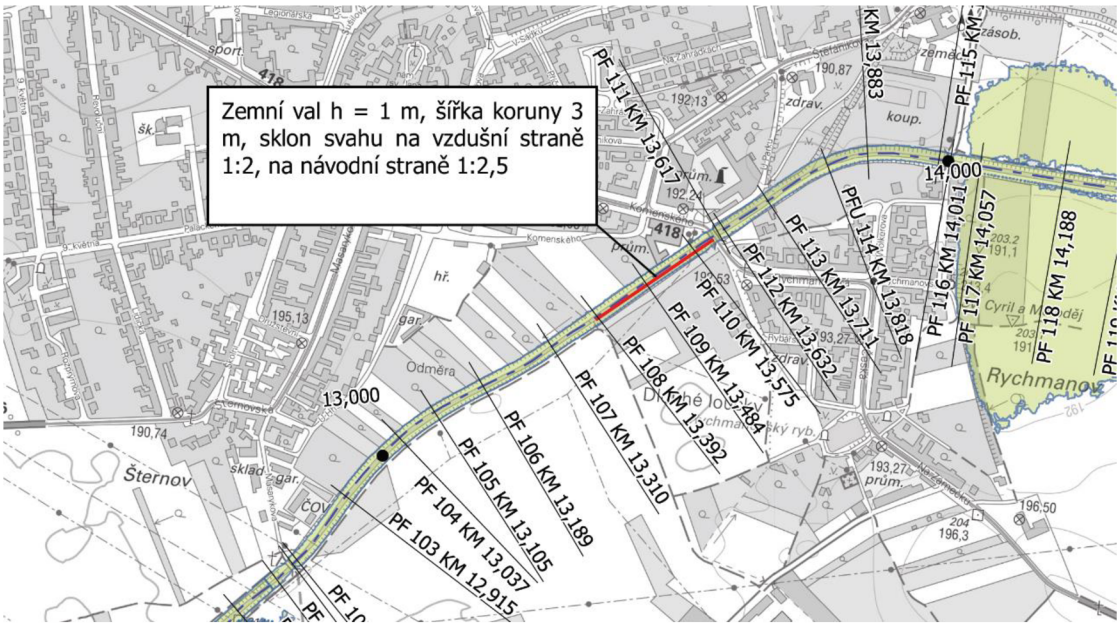
13. Návrh úpravy a PPO

Na stávajícím toku dochází v mnoha částech k vybřežení a zaplavení okolí. Většina záplavového území se nachází v extravilánu, avšak jsou zde místa, kde dojde k zaplavení i v intravilánu. Týká se to například části Dolní Loučky v městě Újezd u Brna, kde se nachází domov pro seniory a také obce Šaratice. V rámci protipovodňového opatření zde bude navrhnut zemní val.

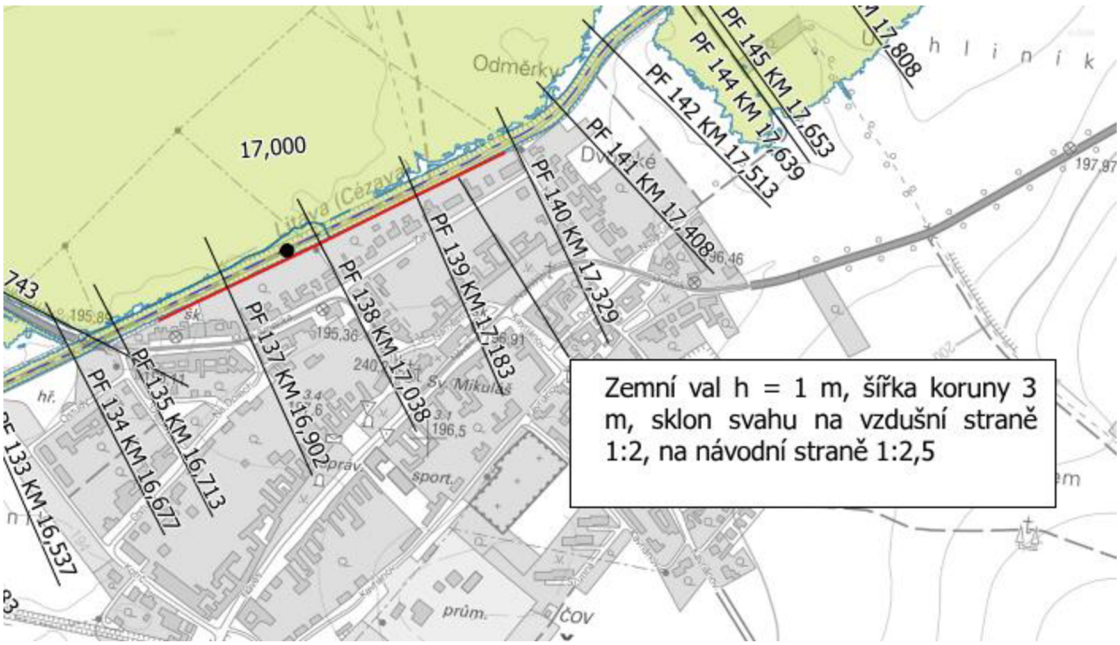
Protože záplavové území se týká především extravilánu, bude zde navržena revitalizace toku. A to v místě pod Otnickým potokem.

13.1. Návrh PPO

Samotný návrh PPO je navržen na dvou místech. Z mapy rozlivů jde vidět, že extravilán je ohrožen ve dvou oblastech, a to na začátku obce Šaratice a začátku města Újezd u Brna. Pro samotný návrh opatření bylo vybráno místo v městě Újezd u Brna v části Dolní Loučky na levé straně toku (km 13,392 – km 13,617) a začátek obce Šaratice v kilometru 16,713 – 17,329. Jelikož od břehu nenavazuje hned zástavba, je zde místo pro navržení přírodě bližšího opatření, což bude zemní val.



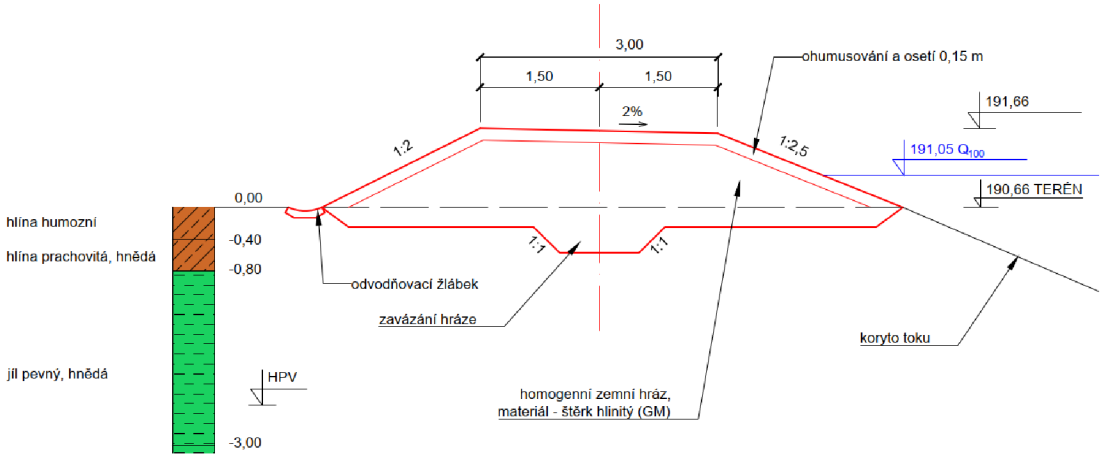
Obr. 32) Návrh PPO v místě Dolní Loučky



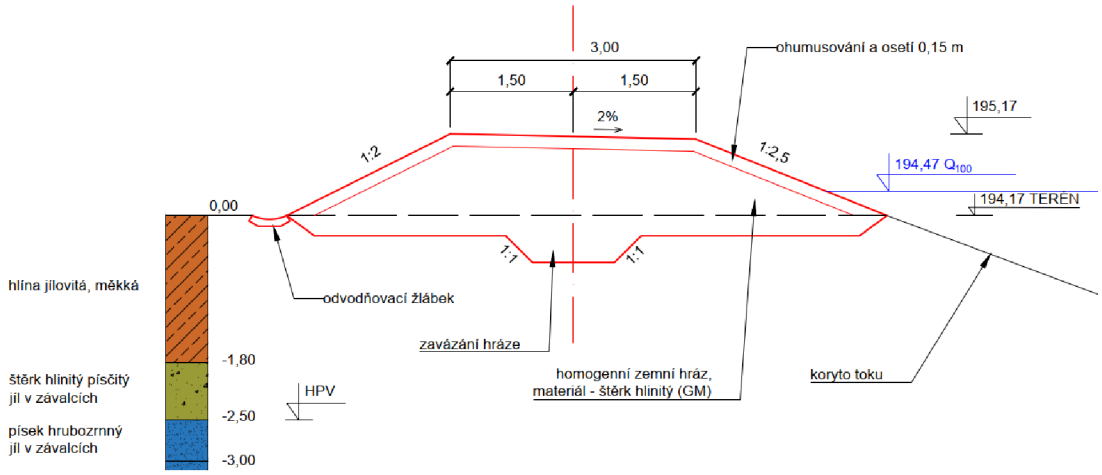
Obr. 33) Návrh PPO v obci Šaratice

Zemní val bude homogenní a vysoký 1,00 m. Svah na vzdušní straně hráze je pod sklonem 1:2,5 a na návodní straně 1:2. Koruna hráze bude pojízdná, kvůli údržbě hráze. Její šířka bude 3.00 m pod spádem 2 % k návodní straně. Založení bude provedeno zámkem se sklonem svahů 1:1. Zemní val bude ohumusován a oset s mocností 0,15 m.

Od České geologické služby byla získána data o přesné geologii v místě navržených opatření. V oblasti Dolní Loučky se nachází hlína, jíl, písek a jílovec. Jejich přesné umístění je vidět v příloze č. 7. V obci Šaratice se nachází hlína, štěrk, písek, jíl a prachovec.



Obr. 34) Zemní val Dolní Loučky



Obr. 35) Zemní val Šaratice

13.2. Hydraulické ověření návrhu PPO

Ověření návrhu proběhlo v programu HEC-RAS. V QGISu byly vytvořeny osy opatření a tyto osy pak byly vloženy do programu HEC-RAS. Poté se znovu spustil výpočet pro průtoky Q_{100} a Q_{20} a byla vytvořena mapa rozlivů. Po porovnání rozlivů bylo vidět, že navržené osy byly úspěšné. Došlo k ochraně intravilánu na začátku obce Šaratice a také v oblasti Dolní Loučky. Porovnání je vidět na mapě rozlivů před PPO (příloha č. 3) a na mapě rozlivů po PPO (příloha č. 4).

Navržené opatření je vyhovující, protože se podařilo ochránit zastavěné území.

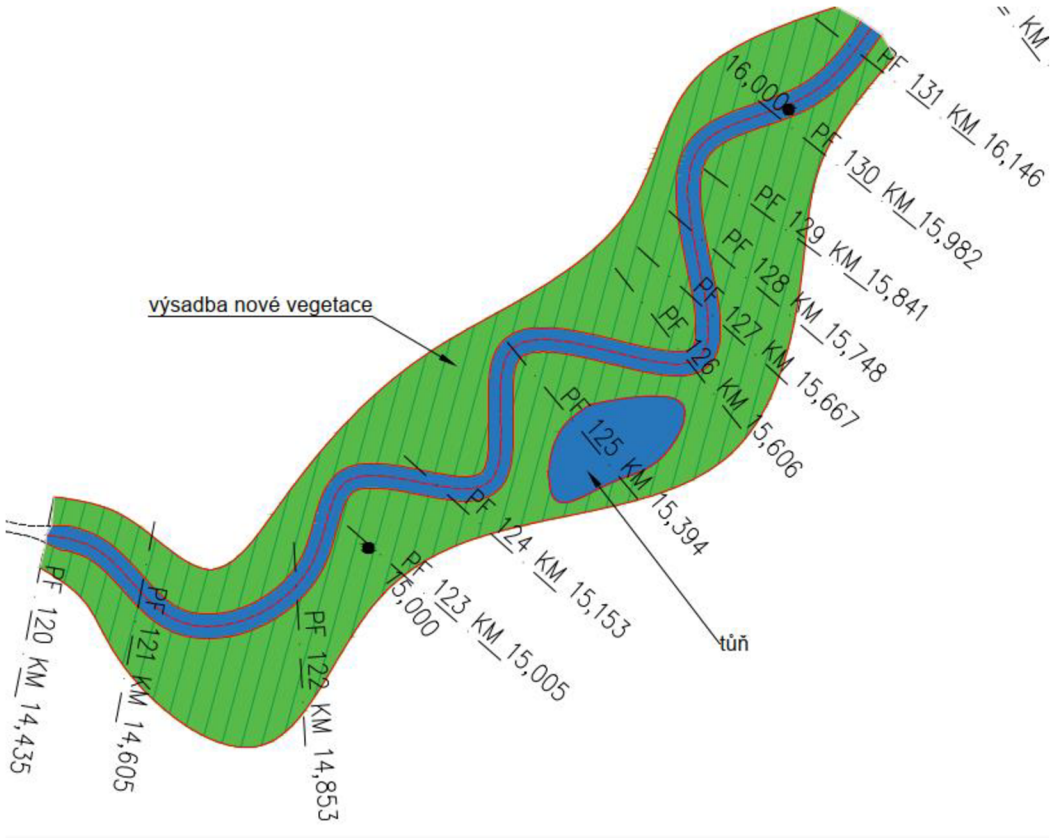
13.3. Revitalizace toku

Revitalizace bude provedena jako studie a jako možný návrh opatření. Nebylo zde provedeno hydraulické ověření návrhu v programu HEC-RAS v rámci ověření záplavového území.

V současném stavu je vodní tok přímý a vegetační opevnění zde není dobře upravené. V řešeném úseku se nachází z obou části pole a orná půda.

Revitalizace se bude nacházet na km 14,435 – 16,146. Koryto vodního toku bude rozšířeno, aby bylo více kapacitní a nedocházelo k vybřežení. Zároveň bude tok více meandrovitý. Na dně koryta budou umístěny kameny a balvany. Bude zde vysazena nová vegetace. Na svazích budou vysazeny keřové vrby a rákosí a na březích budou vysazeny jasany. Původní trasa koryta bylo dlouhá 1,535 km. Nově navržené koryto je dlouhé 2,292 km a je rozděleno na 11 profilů.

Na trase nebudou přidány žádné nové objekty, ani opevnění. Trasa toku bude více začleněna do tamější krajiny, oproti původnímu korytu.



Obr. 36) Revitalizace toku

14. Závěr

Bakalářská práce se zabývala návrhem protipovodňového opatření a revitalizace na vodním toku Litava, která protéká městem Újezd u Brna a obcí Šaratice.

V teoretické části bakalářské práce byly popsány typy proudění, revitalizace a její druhy, ochrana před velkými vodami a druhy přírodě blízkých protipovodňových opatření.

Praktická část se skládá z popisu zájmové lokality, hydrotechnických výpočtů a samotného návrhu protipovodňového opatření a úpravy vodního toku.

Ze získaných podkladů a také ze samotné obchůzky byla vytvořena geometrie pro 1D model v programu HEC-RAS 5.0.7. Drsnosti byly nastaveny podle příslušných katalogů a prohlídky úseku. Upravená geometrická data byla podložena digitálním modelem terénu 5. generace.

Pro výpočet rozlivů byl vytvořen 2D model. Byly vytvořeny 2D oblasti s využitím laterárních struktur a příslušná okrajová podmínka. 1D model byl zkalibrován s lokální odchylkou -+ 0,5 m, tak aby co nejvíce vyhovoval podkladům z povodí Moravy. Kalibrace proběhla navýšením drsností v příčných profilech. Poté byl proveden výpočet a vyhodnocení rozlivů Q_{100}, Q_{20} a Q_5.

Z výsledků byl vytvořen ideový návrh PPO ve dvou variantách a v dalším úseku byla navržena revitalizace toku. První část protipovodňového opatření se týkala města Újezd u Brna v oblasti Dolní Loučky (km 13,392 – 13,617). Druhá část se týkala obce Šaratice v zastavěném území na kilometru 16,713 – 17,329 toku. Jako protipovodňové opatření byl zvolen homogenní štěrko – hlinitý zemní val výšky 1,00 m se sklonem svahů 1:2 na vzdušní straně a sklonem 1:2,5 na návodní straně. Šířka koruny je 3 m, jelikož bude pojízdná, kvůli údržbě hráze a koryta toku.

V rámci revitalizace dojde k meandrování koryta, jeho rozšíření a bude zde navržena nová vegetační výsadba.

Na závěr proběhlo hydraulické ověření návrhu PPO a výsledky byly zpracovány formou map rozlivů. Při porovnání výsledků před PPO a po opatření, vlastní návrh protipovodňové ochrany vyhověl.

15. Seznam literatury

[1] Litava. *Moravské Karpaty.cz* [online]. 2017 [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: http://moravske-karpaty.cz/prirodni-pomery/hydrografie/litava/

[2] JANDORA, Jan a Jan ŠULC. *Hydraulika: modul 01*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 178 s. : il. ISBN 978-80-7204-512-9.

[3] JANDORA, Jan a Hana UHMANNOVÁ. *Proudění v systémech říčních koryt*. Brno, Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2006, 119 s.

[4] Dotační programy podporující péči o přírodu a krajinu. *Dotace.nature.cz* [online]. [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: http://www.dotace.nature.cz/voda-opatreni/revitalizace-vodnich-toku.html

[5] VESELÝ, Jaroslav. *Vodohospodářské stavby: Modul 03, Vodní stavby*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta Stavební, 2004.

[6] *Revitalizace vodního toku* [online]. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=53217. Mendelova univerzita v Brně.

[7] MILERSKI, Rudolf. *Vodohospodářské stavby. Modul 04, [BS01-M04]: Meliorační stavby*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2006, 57 s. : il.

[8] ŠLEZINGR, Miloslav a Luboš ÚRADNÍČEK. *Vegetační doprovod vodních toků a nádrží*. Druhé, doplněné. Vysoké učení technické v Brně, 2002.

[9] HAVLÍK, Aleš. *Vodní toky* [online]. Fakulta stavební ČVUT v Praze, Katedra hydrauliky a hydrologie [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Vin/ke_stazeni/Vodni_toky.pdf

[10] *Úpravy vodních toků* [online]. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: http://hgf10.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/cviceni/cviceni_loticky/upravy_vod_toku.htm. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.

[11] ŘÍHA, Jaromír. *Ochranné hráze na vodních tocích*. Praha: Grada Publishing, 2010, s. 224. ISBN 978-80-247-3570-2.

[12] Možnosti řešení povodňových situací v Česko - Slovenském příhraničí. *Www.cs-povodne.eu* [online]. [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: http://www.cs-povodne.eu/Protipovodnova-ochrana-a-povodne/Protipovodnova-opatreni

[13] Revitalizace suchého poldru Čihadla. Pražská příroda [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: http://www.praha-priroda.cz/vodni-plochy-a-potoky/vodni-toky/rokytka/revitalizace-a-opravy-na-rokytce/revitalizace-sucheho-poldru-cihadla/

[14] Protipovodňové zábrany, stěny a mobilní hrazení. *Www.eko-system.cz* [online]. [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: https://www.eko-system.cz/protipovodnove-steny-a-mobilni-hrazeni/

[15] Litava. *Moravské-Karpaty.cz* [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: http://moravske-karpaty.cz/prirodni-pomery/hydrografie/litava/

[16] *Studie protipovodňových* opatření *na území Jihomoravského kraje* [online]. Pöyry Environment, 2007 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: https://www.kr-jihomoravsky.cz/archiv/ozp/protipovodnova_opatreni_jmk_2007/1_cast/Kapitola_1.pdf

[17] Projekt *AVD – informační portál pro veřejnost* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: http://spolecnamorava.cz/content/vip/app/home.html#?filterTypObjektId=1

[18] Geologie, radon a geologická mapa Újezd u Brna. *Geologické a geovědní mapy* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: http://www.geologicke-mapy.cz/regiony/ku-773905/#mapy-online

[19] Půdní mapy. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/pudni_mapy

[20] BRUNNER, W. Gary. *HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual* [online]. US Army Corps of engineers, Hydrologic Engineering Center, 2010 [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_4.1_Reference_Manual.pdf

[21] Esri. *What is GIS?* [online]. [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview

[22] AUTODESK. *Co je AutoCAD?* [online]. [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: https://www.autodesk.cz/products/autocad/overview

16. Seznam obrázků

Obr. 1) Kontinuita neustáleného proudu v 1D [2] ... 13
Obr. 2) Profil koryta o různých drsnostech [3] ... 14
Obr. 3) Křivky a) vzdutí, b) snížení [3] ... 15
Obr. 4) Schéma metody po úsecích [3] ... 16
Obr. 5) Energetická výška průřezu [2] ... 17
Obr. 6) Revitalizovaný vodní tok [6] ... 19
Obr. 7) Revitalizované koryto [6] ... 20
Obr. 8) Ochranná hráz [12] ... 24
Obr. 9) Poldr [13] ... 25
Obr. 10) Hradidlové hrazení [14] ... 26
Obr. 11) Kamenný pohoz [9] ... 28
Obr. 12) Kamenný zához [9] ... 28
Obr. 13) Kamenná rovnanina [9] ... 29
Obr. 14) Kamenná dlažba [foto autor] ... 30
Obr. 15) Opevnění pomocí drátokamenné matrace [10] ... 30
Obr. 16) Schéma výškového umístění vegetace [8] ... 31
Obr. 17) Situace území ... 33
Obr. 18) Srážkoměrné stanice [17] ... 34
Obr. 19) Klasifikace podnebí [15] ... 35
Obr. 20) Půdní mapa [19] ... 37
Obr. 21) Silniční most - Újezd u Brna [foto autor] ... 38
Obr. 22) Hospodářský most – Újezd u Brna [foto autor] ... 39
Obr. 23) Silniční most – Šaratice [foto autor] ... 39
Obr. 24) Vegetace na začátku obce Šaratice [foto autor] ... 40
Obr. 25) Svah toku [foto autor] ... 41
Obr. 26) Opevnění koryta [foto autor] ... 42
Obr. 27) Příčný profil 13,310 ... 45
Obr. 28) Most v Šaraticích ... 46
Obr. 29) Vytvoření 2D oblasti ... 47
Obr. 30) Plocha rozlivů Q_{100} ... 49
Obr. 31) Plocha rozlivů Q_{20} ... 50

Obr. 32) Návrh PPO v místě Dolní Loučky 51
Obr. 33) Návrh PPO v obci Šaratice 52
Obr. 34) Zemní val Dolní Loučky 52
Obr. 35) Zemní val Šaratice 53
Obr. 36) Revitalizace toku 54

17. Seznam tabulek

Tab. 1. Klimatická charakteristika teplé oblasti T2 36
Tab. 2. N-leté průtoky 45
Tab. 3. Hodnoty drsností 48

18. Seznam zkratek a veličin

°C	Stupeň Celsia
1D	Jednodimenzionální model
2D	Dvoudimenzionální model
CSV	Textový soubor
ČHMU	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
DMR 5G	Digitální model reliéfu 5. generace
GIS	Geografický informační systém
PPO	Protipovodňová ochrana
SHP	Formát souboru (shapefile)
WMS	Webová mapová služba

Δh	[m]	Rozdíl výšek hladiny vody
A	[m^2]	Plocha
C	[$m^{0,5}/s$]	Rychlostní součinitel
ds	[m]	*55%* hodnota zrna z křivky zrnitosti krycí vrstvy v korytě
g	[m/s^2]	Tíhové zrychlení
h	[m]	Výška hladiny vody
h_k	[m]	Kritická výška
h_{mj}	[m]	Ztráty místní
h_{tj}	[m]	Ztráty třením po délce
h_{zj}	[m]	Celková ztrátová výška
i_{oj}	[-]	Sklon dna

i_{pj}	[-]	Průměrný sklon čáry energie
ks	[-]	Součinitel závislý na zrnu
L	[m]	Délka úseku
n	[-]	Drsnostní součinitel
O	[m]	Omočený obvod
Q	[m^3/s]	Průtok
Q_{100}	[m^3/s]	100letý průtok
Q_{20}	[m^3/s]	20letý průtok
Q_5	[m^3/s]	5letý průtok
Q_N	[m^3/s]	N-letý průtok
R	[m]	Hydraulický poloměr
v	[m/s]	Rychlost
y	[-]	Člen rychlostního vztahu dle Pavlovského
α	[-]	Coriolisovo číslo

19. Seznam příloh

Příloha č. 1 – Situace širších vztahů	1:30 000
Příloha č. 2 – Situace zájmové lokality	1:15 000
Příloha č. 3 – Situace rozlivů Q_{100} a Q_{20}	1:10 000
Příloha č. 4 – Situace rozlivů Q_{100} po návrhu opatření	1:10 000
Příloha č. 5 – Situace revitalizace toku	1:10 000
Příloha č. 6 – Vzorový příčný řez	1:50
Příloha č. 7 – Vzorový řez zemního valu	1:50