

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 VYBRANÉ LOKALITĚ

RIVER REGULATION WITH REGARD TO THE FLOOD PROTECTION AND
REVITALIZATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Simona Vojtasová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DAVID DUCHAN, Ph.D.

BRNO 2021



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	Simona Vojtasová
Název	Úprava toku na vybrané lokalitě
Vedoucí práce	Ing. David Duchan, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

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 zvládnutí 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 s přihlédnutím k revitalizaci a přírodě blízké protipovodňové ochrany.

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

Tato bakalářská práce se zabývá posouzením kapacity stávajícího koryta řeky Svatky v zájmovém území mezi Rajhradem a Židlochovicemi v ř. km 28,927 až ř. km 34,942. Posouzení proběhlo na základě hydraulického 1D modelu ve výpočtovém programu HEC-RAS. Dle zjištěných výsledků bylo dále navrženo zkapacitnění koryta a protipovodňové opatření, které má ochránit blízké intravilány před nebezpečnými škodami povodní.

KLÍČOVÁ SLOVA

Rajhrad, kapacita koryta, Svatka, HEC-RAS, úprava toku, protipovodňová ochrana

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the assessment of the capacity of the existing river Svatka in the area of interest between Rajhrad and Židlochovice at km 28,927 to km 34,942. The assessment was performed based on a hydraulic 1D model in the HEC - RAS calculation program. According to the results, improvement of the capacity of the river channel and flood control measures were proposed to protect nearby urban areas from dangerous flood damage.

KEYWORDS

Rajhrad, capacity of channel, Svatka, HEC-RAS, channel adjustment, flood protection

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Simona Vojtasová *Úprava toku na vybrané lokalitě*. Brno, 2021. 47 s., 9 s. příl.
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 vybrané lokalitě* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 28. 5. 2021

Simona Vojtasová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Úprava toku na vybrané lokalitě* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 28. 5. 2021

Simona Vojtasová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych ráda poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce, Ing. Davidu Duchanovi, Ph.D. za ochotu, čas, poskytování užitečných rad a informací a za věcné připomínky. Dále bych také chtěla poděkovat své rodině za podporu během tvorby této práce.

OBSAH:

1. Úvod	3
2. Cíle práce	4
3. Vstupní podklady	5
4. Teorie	6
4.1. Proudění v korytě	6
4.1.1. Ustálené nerovnoměrné proudění	6
4.1.2. Ustálené rovnoměrné proudění	8
5. Popis povodí	10
5.1. Správní údaje	10
5.2. Údaje o toku	10
5.3. Geologické poměry	11
5.4. Geomorfologické poměry	12
5.5. Pedologické poměry	12
5.6. Klimatické poměry	13
5.6.1. Srážkové poměry	14
5.6.2. Teplotní poměry	14
5.6.3. Větrné poměry	15
5.6.4. Souhrnná tabulka klimatických poměrů	16
5.7. Hydrogeologické poměry	16
5.8. Hydrologické údaje	17
5.8.1. N-leté průtoky	17
6. Charakteristika zájmového úseku toku	18
6.1. Využití území	18
6.2. Objekty na toku	18
6.2.1. Silniční most Rajhradice	18
6.2.2. Silniční most Vojkovice	19
6.3. Opevnění	20
6.4. Vegetace	21
6.5. Popis příčného řezu	21
6.6. Popis podélného řezu	22
7. Hydrotechnické výpočty	23
7.1. Program HEC-RAS	23
7.1.1. Postup řešení	23
7.1.2. Stanovení hodnot drsnostního součinitele n	24
7.1.3. Okrajové podmínky	24
7.2. Kapacita stávajícího koryta toku a objektů	25
7.2.1. Posouzení kapacity toku pro $Q_5=188,5 \text{ m}^3/\text{s}$	25

7.2.2.	Posouzení kapacity toku pro $Q_{20}=273,5 \text{ m}^3/\text{s}$	26
7.2.3.	Posouzení kapacity toku pro $Q_{100}=382 \text{ m}^3/\text{s}$	27
7.2.4.	Posouzení kapacity mostních objektů	27
8.	Návrh úpravy	28
8.1.	Navržené úpravy na toku	28
8.1.1.	Profil PF 75 – PF 79	29
8.1.2.	Profil PF 79 – PF 83	29
8.1.3.	Profil PF 83 – PF 86	30
8.1.4.	Profil PF 86 – PF 90	30
8.1.5.	Profil PF 90 – PF 93	31
8.2.	Protipovodňové opatření	32
8.2.1.	Návrh PPO	32
9.	Hydraulické ověření návrhu	36
9.1.	Změny v hydraulickém modelu	36
9.1.1.	Příčný a podélný profil	36
9.1.2.	Drsnostní součinitel n	36
9.1.3.	Okrajové podmínky	37
9.2.	Ověření kapacity koryta po úpravě	37
9.2.1.	Ověření kapacity toku pro $Q_5=188,5 \text{ m}^3/\text{s}$	37
9.2.2.	Posouzení kapacity toku pro $Q_{20}=273,5 \text{ m}^3/\text{s}$	38
9.2.3.	Ověření kapacity toku pro $Q_{100}=382 \text{ m}^3/\text{s}$	39
9.2.4.	Ověření kapacity mostních objektů	39
9.3.	Stabilita dna a svahů koryta	39
9.3.1.	Posouzení stability v přímé části	40
9.3.2.	Posouzení stability v oblouku	40
9.3.3.	Opevnění dna a svahů koryta	41
10.	Závěr	42
11.	Seznam použitých zdrojů	43
12.	Seznam použitých zkratk a symbolů	44
13.	Seznam obrázků	45
14.	Seznam tabulek	46
15.	Seznam příloh	47

1. Úvod

Při zvýšení vodních hladin v toku může docházet při nedostatečné kapacitě koryta k vybřežení a značným rozlivům vod do okolí. Povodňové průtoky tak mohou způsobit nejen škody na majetku, ale v nejhorším případě také újmu na životě.

Okolí v úseku mezi Rajhradem a Židlochovicemi je neustále ohrožováno vyššími průtoky řeky Svratky, Litavy a Vojkovického náhonu (viz. příloha č. 2). V rámci bakalářské práce je ověřena kapacita stávajícího koryta pomocí hydraulického výpočtu, na základě kterého, je proveden návrh úpravy toku s přihlédnutím k revitalizaci a protipovodňové ochrany. Práce je rozdělena do několika kapitol, zabývající se teorií proudění v korytech, popisem základních informací o zájmovém území, posouzením současného stavu a návrhem úprav koryta a protipovodňové ochrany v okolí obce Vojkovic, města Rajhradu a Židlochovic.

2. Cíle práce

Cílem bakalářské práce je především posouzení kapacity stávajícího koryta řeky Svratky v úseku mezi městem Rajhradem a Židlochovicemi a nutnosti navržení protipovodňového opatření (PPO) chránícího blízké intravilány. Současný stav při povodni bude hydraulicky ověřen v modelovacím programu HEC-RAS a na základě zjištěných výsledků bude proveden návrh úpravy koryta vedoucí k jeho zkapacitnění. Součástí bakalářské práce je také návrh potřebných protipovodňových opatření v blízkosti zastavěných území. Posledním cílem je ověření a zhodnocení účinnosti navržených úprav a PPO pomocí hydraulického výpočtu.

3. Vstupní podklady

- [A] Povodí Moravy, s. p. - příčné profily, ř. km 8,758 – 39,455, formát DWG
- [B] Povodí Moravy, s. p. - podélný profil, ř. km 8,758 – 39,455, formát DWG
- [C] Povodí Moravy, s. p. - situace osy toku se zaměřenými profily, ř. km 8,758 – 35,010, formát DGN
- [D] Databáze DIBAVOD, rozlivy Q₅, Q₂₀, Q₁₀₀, formát SHP
- [E] RÚIAN – registr územní identifikace, adres a nemovitostí, ČUZK, www.cuzk.cz
- [F] DMR5G, ČUZK, www.cuzk.cz

4. Teorie

V následujících kapitolách jsou popsány jednotlivé typy proudění kapaliny, princip metody po úsecích a základní hydraulické rovnice, sloužící k výpočtu průtoku, rychlosti a dalších charakteristik. Následující text vychází z [1].

4.1. Proudění v korytě

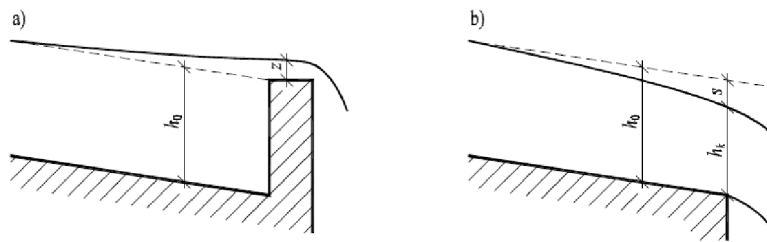
V říčních korytech se vyskytují více typů proudění. Proudění lze dělit například na proudění bystřinné (nadkritické) a říční (podkritické). U bystřinného proudění dosahuje hloubka proudící kapaliny menších hodnot než hloubka kritická. Froudovo bezrozměrné kritérium Fr nabývá hodnot $Fr > 1$. U říčního proudění je tomu naopak. Hloubka proudění je větší než hloubka kritická a Froudovo kritérium dosahuje hodnot $Fr < 1$. Dále se proudění může dělit na laminární a turbulentní. Při laminárním proudění jsou dráhy jednotlivých částic kapalin navzájem rovnoběžné, nedochází k jejich mísení. Naopak u turbulentního proudění částice kapaliny přecházejí mezi jednotlivými vrstvami, čímž dochází k jejich promíchávání. Proudění v korytech se dá také dělit na:

- **Ustálené (stacionární) proudění** – při tomto druhu proudění jsou hydraulické veličiny kapaliny (průtočná plocha, průřezová rychlost, průtok atd.) v daném místě časově neměnné.
- **Neustálené (nestacionární) proudění** – při neustáleném proudění jsou hydraulické veličiny kapaliny v daném místě časově závislé, jsou funkcí času i polohy.
- **Rovnoměrné proudění** – je zvláštním případem ustáleného proudění, kde všechny parametry proudění (průtočná plocha A , omočený obvod O , sklon i_0 , průřezová rychlost v , průtok Q) jsou po délce proudu konstantní.
- **Nerovnoměrné proudění** – při nerovnoměrném proudění zůstává konstantním pouze průtok Q , po délce koryta dochází ke změně průtočné plochy A a rychlosti v . [1]

4.1.1. Ustálené nerovnoměrné proudění

V přirozených korytech se nejčastěji lze setkat s ustáleným nerovnoměrným prouděním. Tento druh proudění se vyskytuje také v upravených korytech, jejichž průtočný průřez a sklony dna se mění po délce toku. Při ustáleném nerovnoměrném proudění zůstává průtok vody Q konstantní. Časově nezávislé jsou také hydraulické charakteristiky – průtočná plocha A , rychlost v , drsnost n apod., které se ale mění v prostoru (po délce). V důsledku tření proudových vláken o stěny koryta a změnami průtočných průřezů, dochází ke ztrátám třením i ztrátám místním.

Pokud do otevřeného koryta se sklonem i_0 , konstantním průtokem Q a konstantní hloubkou h_0 , postavíme do proudu překážku (např. jez), vznikne v korytě tzv. křivka vzduť, kdy sklon hladiny bude rozdílný od sklonu dna. Při rozšíření koryta může naopak vzniknout křivka snížení, kde sklon hladiny bude vždy větší než sklon dna (Obr. 1).



Obr. 1) a) křivka vzduťi, b) křivka snižení [1]

Metoda po úsecích

Úlohy s ustáleným nerovnoměrným prouděním se řeší pomocí metody po úsecích. Řešená část koryta, o různých příčných profilech, se rozdělí na úseky o délkách ΔL_j . Při výpočtu se vyjde z Bernoulliho rovnice, která má tvar:

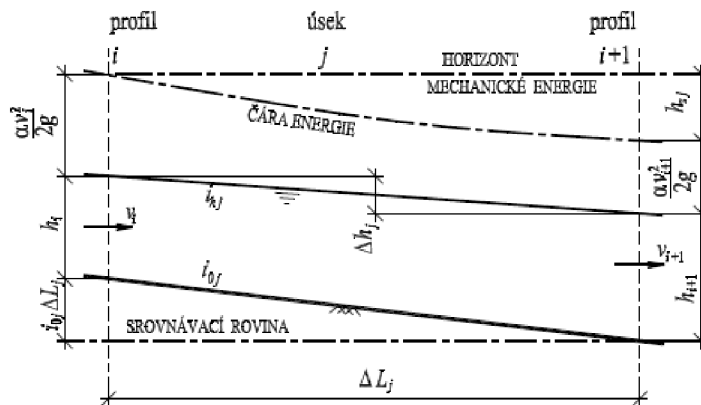
$$i_{0j}\Delta L_j + h_i + \frac{\alpha v_i^2}{2g} = h_{i+1} + \frac{\alpha v_{i+1}^2}{2g} + h_{zj} \quad (4.1)$$

kde rychlost v_i v horním profilu mění na hodnoty rychlost v_{i+1} , i_{0j} je průměrný podélný sklon koryta, a h_{zj} je celková ztrátová výška mechanické energie daného úseku. Tato ztrátová výška se vypočítá součtem ztrát třením a ztrát místních.

Po úpravě získáme vzorec

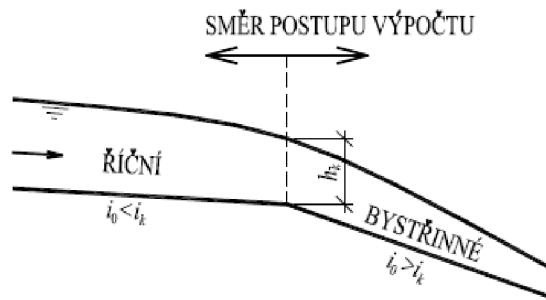
$$\Delta h_j = \frac{\alpha(v_{i+1}^2 - v_i^2)}{2g} + h_{zj} \quad (4.2)$$

kde Δh_j je rozdíl hladin na úseku, α je konstantní Coriolisovo číslo a g je tíhové zrychlení.



Obr. 2) Schéma pro výpočet nerovnoměrného proudění [1]

Výpočet lze provést z dolního do horního profilu nebo naopak. Postup závisí na režimu proudění v toku. Při říčním proudění se postupuje směrem proti proudu ze zadané hloubky v dolním profilu. Při bystřinném proudění výpočet probíhá z výšky hladiny v horním profilu směrem po proudu (Obr. 3). [1]



Obr. 3) Směr postupu výpočtu [1]

4.1.2. Ustálené rovnoměrné proudění

Jelikož při ustáleném rovnoměrném proudění nedochází ke změně hydraulických veličin ani parametrů koryta, objevuje se toto proudění v přirozených korytech jen velmi zřídka. Setkat se s tímto prouděním lze u upravených tocích, kde koryto má stálý průřez a konstantní sklon dna.

Při řešení úloh s ustáleným rovnoměrným prouděním se vychází z rovnice kontinuity a Chézyho rovnice.

Rovnice kontinuity se používá k výpočtu průtoku a má tvar

$$Q = Av \quad [m^3/s] \quad (4.3)$$

kde Q je průtok v m^3/s , A je průtočná plocha v m^2 a v je průřezová rychlost proudění v m/s .

Chézyho rovnicí se vypočítá průřezová rychlost vody v korytě.

$$v = C\sqrt{Ri} \quad [m/s] \quad (4.4)$$

$$R = \frac{A}{O} \quad [m]$$

kde C je rychlostní součinitel v $m^{0.5}/s$, R je hydraulický poloměr v m , i je sklon čáry energie, A průtočná plocha v m^2 a O je omočený obvod v m . Jelikož je tření vody o vzduch v hladině nepatrné, do omočeného obvodu se započítávají pouze dno a stěny koryta.

Velikost rychlostního součinitele C závisí hlavně na tvaru průtočného průřezu a drsnosti stěn koryta, tudíž není konstantní. Součinitel C lze určit pomocí různých empirických vzorců. Nejčastěji se pro určení rychlostního součinitele používají vztahy podle Pavlovského, Manninga, případně podle Stricklera. [1]

Rychlostní vztah podle Pavlovského

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1) \quad (4.5)$$

kde výsledná hodnota rychlostního součinitele C závisí na drsnosti stěn koryta n a hydraulickém poloměru R v m .

Manningův rychlostní součinitel

Při výpočtech rychlostního součinitele v praxi se exponent y nepohybuje v příliš širokých mezích. Manning proto tento exponent nahradil střední hodnotou $y = 1/6$. Po dosažení této hodnoty do vzorce se získá vzorec Manningův, který má tvar:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6} \quad [\text{m}^{0,5}/\text{s}] \quad (4.6)$$

kde R je hydraulický poloměr v metrech a n bezrozměrný drsnostní součinitel.

Rychlostní vztah Stricklerův

Strickler předpokládá, že drsnost dna a stěn koryta závisí také na zrnitosti materiálu v korytě. Chézyho rovnici změnil na tvar:

$$v = k_s R^{2/3} i^{1/2}, \quad k_s = \frac{21,1}{\sqrt[6]{d_s}} \quad (4.7)$$

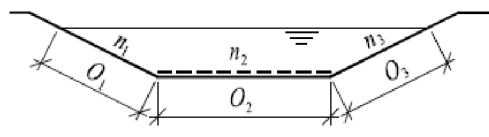
kde d_s se uvažuje jako 55% hodnota zrna z křivky zrnitosti krycí vrstvy v korytě.

Upravená koryta mají často tvar složeného profilu. Skládají se z mělčí bermy a hlubší kynety. Jelikož v obou částech jsou rozdílné rychlosti proudění, musí se průtok počítat v každé části zvlášť. Na konci lze průtoky sečíst a získat tak výsledný průtok v profilu.

$$Q = Q_{kyneta} + Q_{berma} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (4.8)$$

Většina přirozených koryt se skládá z různých omočených obvodů O s různými drsnostmi (Obr. 4). Výslednou hodnotu drsnostního součinitele lze získat váženým průměrem, vzorec pak může mít tvar: [1]

$$n = \frac{n_1 O_1 + n_2 O_2 + n_3 O_3}{O_1 + O_2 + O_3} \quad [-] \quad (4.9)$$



Obr. 4) Profil o různých drsnostech [1]

5. Popis povodí

Řeka Svratka spadá pod dílčí povodí Dyje, které je velkou součástí oblasti povodí Dunaje.

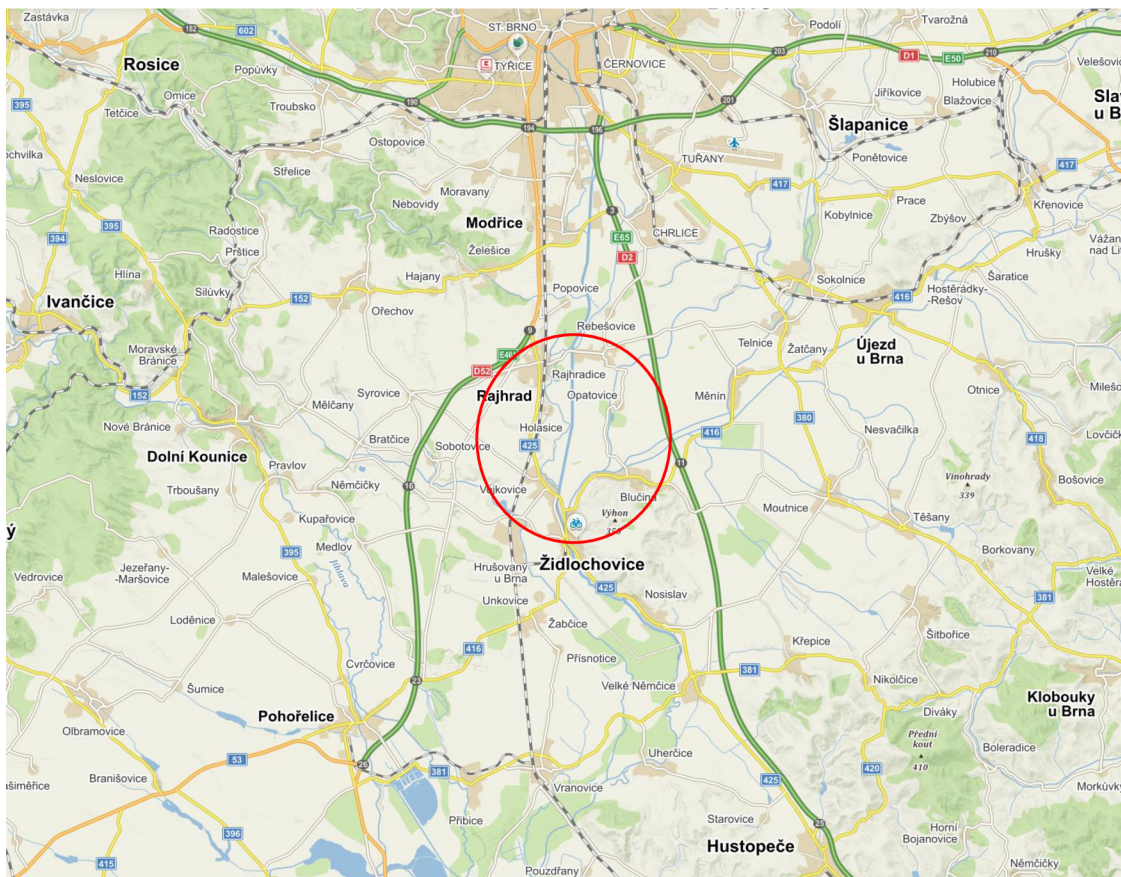
5.1. Správní údaje

- Název vodního toku: Svratka
- Kraj: Vysočina, Jihomoravský
- Povodí: Dyje
- Správce toku: Povodí Moravy, s. p.
- Číslo hydrologického pořadí: 4-15-03-0271
4-15-03-0273
- Název recipientu: Dyje
- Délka toku: 168,000 km
- Plocha: 7118,7 km²

5.2. Údaje o toku

Řeka Svratka pramení v Chráněné krajinné oblasti Žďárské vrchy přibližně 10 km severovýchodně od města Žďár nad Sázavou. Tento pramen se nachází v nadmořské výšce 781 m. n. m. v blízkosti Prostředního a Frýšavského kopce. Trasa řeky dále pokračuje severozápadně přes Herálec až do města Svratka, kde se tok stáčí a dále pokračuje jihovýchodně k městu Brno. Svratka se vlévá do střední vodní nádrže Nové mlýny ležící na Jižní Moravě. Mezi známé vodní díla nacházející se na řece Svratce patří například přehrada Vír, či Brněnská přehrada. Celková délka toku činí 168,000 km a plocha povodí 7118,7 km². Významnými pravostrannými přítoky jsou například tok Frýšavka, Nedvědička, Bílý potok, Bystřice, Bobrava a Jihlava. Mezi levostranné přítoky patří řeka Svitava, Litava, Kuřimka, Starovický potok a další.

Zájmové území toku se nachází v Jihomoravském kraji přibližně 15 km jižně od města Brna a 18 km severně od zaústění řeky Svratky do povodí Dyje (Obr. 5). Zvolený upravovaný úsek leží na říčním kilometru 28,927 – ř. km 34,942. Délka úpravy toku tedy bude probíhat na celkového délce 6,015 km. Úsek začíná v obci Rajhradice, ležící východně od města Rajhrad, a končí v městě Židlochovice. V této části řeka Svratka protéká katastrálními územími Blučina (605808), Holasice (640778), Opatovice u Rajhradu (711527), Rajhrad (738921), Rajhradice (738956), Vojkovice u Židlochovic (784567) a Židlochovice (796701). Řešený úsek spadá pod povodí Dyje, jeho číslo hydrologické pořadí je 4-15-03-0271 a 4-15-03-0273.

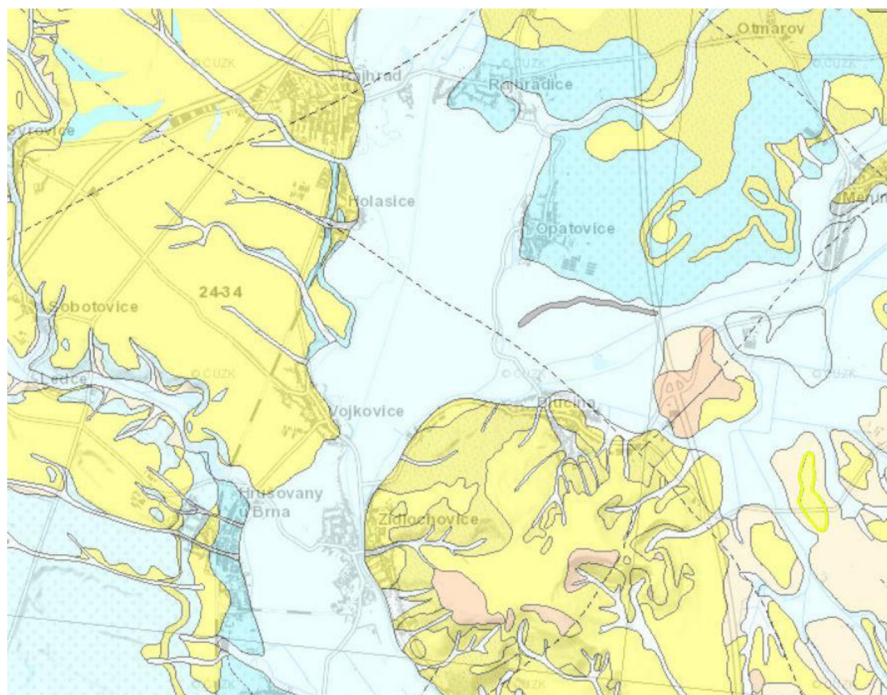


Obr. 5) Zájmové území toku [12]

5.3. Geologické poměry

V České republice se vyskytují dvě základní geologické soustavy, a to Český masiv a karpatská soustava. Na území dílčího povodí Dyje se nacházejí obě tyto soustavy. Český masiv se rozprostírá na severní, západní a střední části povodí. Na jihovýchodní se nachází hranice Vnějších Západních Karpat, jež jsou součástí karpatské soustavy. [2]

Zájmové území je součástí tzv. karpatské předhlubně. V oblasti toku se z velké části vyskytuje nivní sediment. Jedná se o fluviální sediment, který vzniká postupnou sedimentací materiálu během povodní. Průměrná zrnitost této horniny se pohybuje mezi 0,005 až 0,06 mm. Z více než 50 % je složen z jílu, své zastoupení zde má také silt nebo písek. V blízkém okolí lze ve velkém poměru najít také spraše, písky a štěrky. Spraš je sedimentem eolického původu a jeho velikost půdních částic se pohybuje v rozmezí 0,03 až 0,06 mm. [6]



Obr. 6) Mapa geologický poměrů [3]

5.4. Geomorfologické poměry

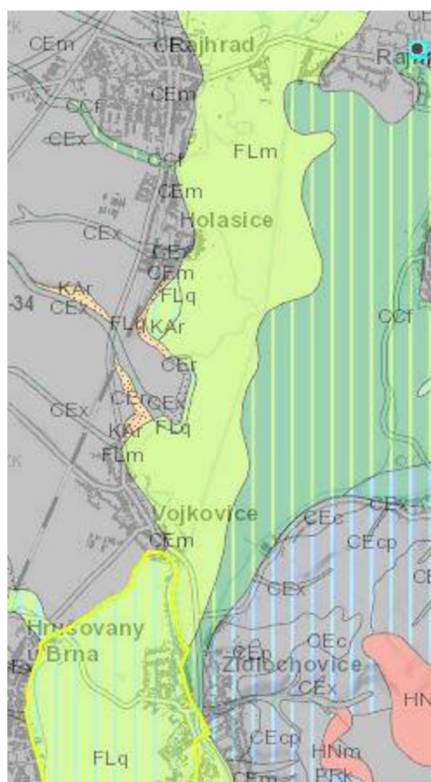
Řeka Svatka pramení v Herálecké sníženině, jež je součástí geomorfologické jednotky Devítiskalské vrchoviny. Dále protéká Boskovickou brázdou, Bobravskou vrchovinou a zaústíje na Jižní Moravě v Dyjsko-svrateckém úvalu. Upravovaný úsek protéká tzv. Svrateckou nivou. Na západní straně Svrateckou nivu obklopuje Ivaňská plošina a Syrovická pahorkatina. Na východě se nachází Tuřanská plošina a nejvyšší vrchol Dyjsko-svrateckého úvalu Výhon, který leží v nadmořské výšce 355 m. n. m. [3]

5.5. Pedologické poměry

Nejčastěji vyskytovaným půdním typem v dílčím povodí Dyje je kambizem. Ve velké míře lze v této oblasti nalézt také fluvizemě, černozemě nebo hnědozemě. V blízkém okolí řešeného úseku se vyskytuje převážně fluvizem modální (FLm), fluvizem glejová (CCq) a černice fluvická (CCf).

Fluvizemě (FL)

Tento typ půdy má hlinitopísčité až jílovitohlinitý charakter. Fluvizemě se nejčastěji vyskytují v okolí říčního reliéfu. Vznikají tedy v nivách potoků a řek, kde často dochází k zaplavení blízkého okolí povodňovou vodou a následnému usazování říčních sedimentů. Tyto půdy obsahují velké množství organických živin, což přispívá k dobré úrodnosti. Z tohoto důvodu jsou fluvizemě v České republice v nižších rovinatých polohách zorněny, a dále využívány k pěstování plodin. [2], [3]

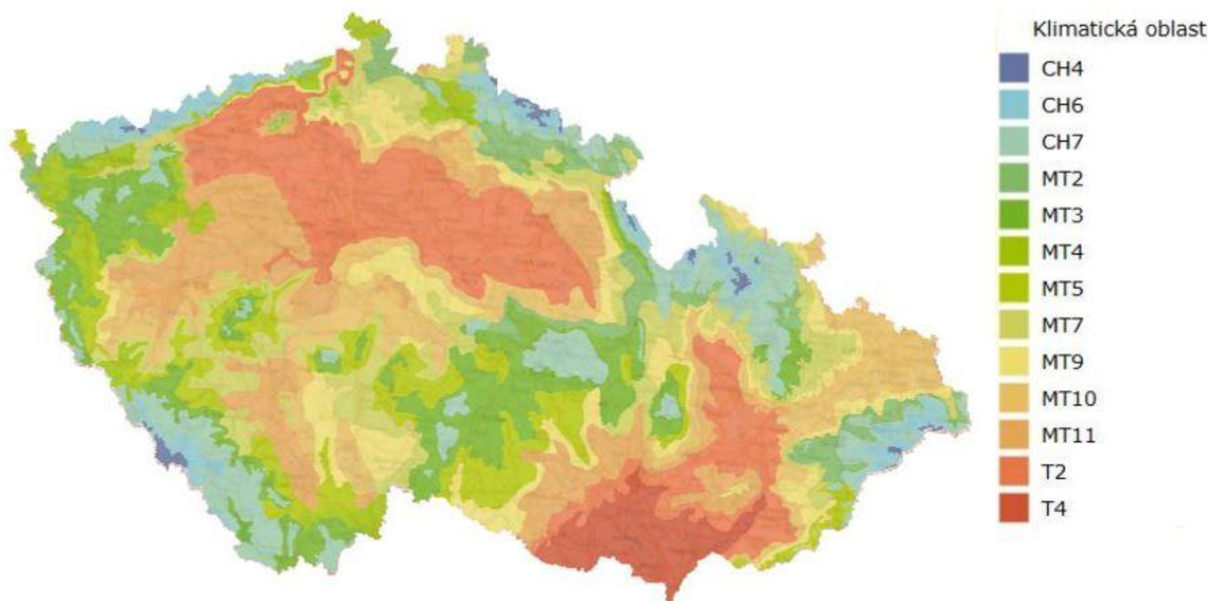


Obr. 7) Půdní mapa zájmového území [3]

5.6. Klimatické poměry

Českou republiku lze rozdělit do třech klimatických oblastí. Tyto oblasti se skládají ze třinácti klimatických regionů (Obr. 8). Jednotlivé regiony se vyznačují s téměř shodnými klimatickými podmínkami, jakými jsou například průměrné teploty v jednotlivých měsících, počet letních dní, počet dní s průměrnou teplotou 10 °C a více, průměrné srážkové úhrny, nebo počet zatažených, či jasných dní apod. Teplá klimatická oblast (T) se skládá ze dvou klimatických regionů – T2 a T4, do Mírně teplé klimatické oblasti (MT) spadá osm klimatických regionů. Zbývající tři regiony se nacházejí v Chladné klimatické oblasti (CH). Toto rozdělení sestavil v roce 1971 český geograf a klimatolog Evžen Quitt. [5]

Zájmová oblast byla dle klasifikace dle Quitta zařazena do Teplé klimatické oblasti, do klimatického regionu T4. Jedná se o nejteplejší a nejsušší region na území ČR. Na obrázku č. 8 lze vidět, že tento klimatický region se nachází pouze na Jižní Moravě. Tato oblast je charakteristická svým dlouhým, velmi suchým a teplým létem.



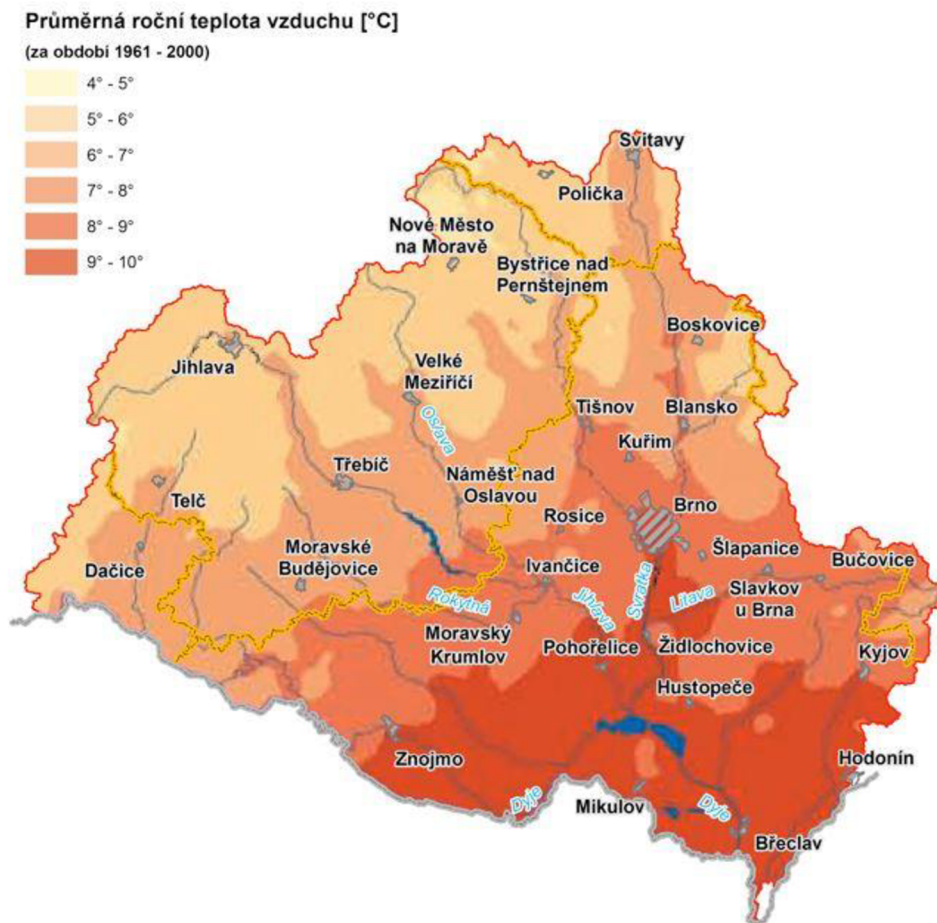
Obr. 8) Klimatické regiony ČR (Quitt, 1971) [13]

5.6.1. Srážkové poměry

Průměrný roční úhrn srážek se pohybuje od 400 do 500 mm. Množství spadlých srážek závisí na mnoha faktorech, patří mezi ně například zrovna probíhající roční období. Průměrný sezónní úhrn srážek na jaře je 120-160 mm, v létě se úhrn navýší a v průměru spadne 160-200 mm. Na podzim dopadne 80-120 mm a v zimních měsících pouze 60-100 mm. Průměrné množství spadlých srážek v zimním období je pouze 200–300 mm. Ve vegetačním období se tato hodnota mírně zvedne, a to na 300–350 mm. V zimních měsících se v regionu T4 udrží sněhová pokrývka pouze 40–50 dní. [4], [5]

5.6.2. Teplotní poměry

Teplotní poměry v České republice znovu závisí, tak jako srážkové poměry, na ročních obdobích. V zimních měsících se teploty pohybují od -1 do 5 °C. Nejchladnějším měsícem bývá leden, kdy průměrná teplota vzduchu je -2,8 °C. Na jaře se teplota zvedne na 9-10 °C. V letních měsících dochází k výraznému oteplení, teploty se pohybují od 19,1 do 21 °C. Na podzim opět dochází k poklesnutí na 9-10 °C. Průměrná roční teplota vzduchu nabývá hodnot 9,1-10 °C (Obr. 9). [4], [5]



Obr. 9) Průměrná roční teplota vzduchu (1961-2000) [2]

5.6.3. Větrné poměry

Vítr ve výšce 10 m nad zemí dosahuje průměrných rychlostí 3 až 3,5 m/s. Ve výšce 100 m se rychlost zvedne na hodnotu 55-60 m/s. [4]

5.6.4. Souhrnná tabulka klimatických poměrů

V následující tabulce (Tabulka č. 1) jsou sepsány souhrnné údaje klimatických poměrů v zájmovém území.

Tabulka č. 1 – Souhrnná tabulka klimatických poměrů

Charakteristika		Hodnota
Klimatický region		T4-teplá klimatická oblast
Průměrný roční úhrn srážek		400–500 mm
Průměrný sezonní úhrn srážek	na jaře	120–160 mm
	v létě	160–200 mm
	na podzim	80–120 mm
	v zimě	60–100 mm
Počet ledových dní		30–40
Počet letních dní		60–70
Počet dní se sněhovou pokrývkou		40–50
Průměrná roční teplota vzduchu		9,1–10 °C
Průměrná teplota	na jaře	9–10 °C
	v létě	19,1–21 °C
	na podzim	9–10 °C
	v zimě	-1–5 °C
Počet dní s prům. teplotou 10 °C a více		170–180
Rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí		3–3,5 m/s
Rychlost větru ve výšce 100 m nad zemí		55–60 m/s

5.7. Hydrogeologické poměry

Řešený úsek Svratky se řadí v základní v základní vrstvě k hydrogeologickému rajonu č. 2241 Dyjsko-svrateckému úvalu. V svrchní vrstvě se pak řadí k hydrogeologickému rajonu č. 1643 – Kvartér Svratky. Jedná se o vymezené území s podobnými hydrogeologickými charakteristikami. Horninové vrstvy nacházející se v těchto rajonech mají většinou stejnou hodnotu propustnosti a umožňují stejnou akumulaci podzemní vody. Oblast v okolí řeky Svratky je velmi bohatá na zásobu podzemní vody. Ta roste především v chladných měsících, kdy dochází k většímu vsakování vody v důsledku snižování schopnosti evapotranspirace. V okolí se nacházejí ve velké míře velmi úrodné a propustné kvartérní fluviální sedimenty. Jsou bohaté na organické živiny, a proto je v těchto oblastech často provozována zemědělská činnost, při které může dojít k snadné kontaminaci podzemní vody. [2], [7]

5.8. Hydrologické údaje

Řeka Svatka spadá pod správu Povodí Moravy, s. p. Číslo hydrologického pořadí zájmového úseku je 4-15-03-0271 a 4-15-03-0273.

Celková plocha povodí:	7118,7 km ²
Plocha dílčího povodí (dle ČHP)	3,55 km ² 0,22 km ²
Celková délka toku:	168 km
Délka upravovaného úseku:	6,015 km
Průměrný roční stav:	87 cm
Průměrný roční průtok:	15,1 m ³ /s

5.8.1. N-leté průtoky

N-leté průtoky zjištěné z poskytnutých vstupních podkladů [B]

Tabulka č. 2 – N-leté průtoky

N-leté průtoky [m ³ /s]						
Q ₁	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
101,5	137,5	188,5	230	273,5	324	382

N-leté průtoky zjištěné z Českého hydrometeorologického ústavu [4]

Tabulka č. 3 – N-leté průtoky

N-leté průtoky [m ³ /s]				
Q ₁	Q ₅	Q ₁₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
85	165	210	330	400

Při výpočtech byly uvažovány N-leté průtoky ze vstupních podkladů [B].

6. Charakteristika zájmového úseku toku

Zájmový úsek řeky Svratky protéká na začátku obcí Rajhradice. Větší část je pak dále obklopena zemědělskou půdou. V 30,183 říčním kilometru Svratka vtéká do intravilánu obce Vojkovice, kde dále pokračuje a protéká centrem Židlochovic. Situace úseku je patrná z přílohy č. 1.

Koryto řeky v řešeném úseku má nepravidelný tvar. Od ř. km 28,927 do ř. km 30,022 má koryto tvar nepravidelného jednoduchého lichoběžníku. Průměrná šířka dna činí 23,5 m. Od ř. km 30,022 až do konce úseku prošlo koryto již úpravou, po které bylo upraveno do tvaru složeného lichoběžníku. Šířka kynety ve dně se pohybuje od 14,5 m do 20,8 m. Šířka levostranné bermy se přibližně pohybuje okolo 9 m.

6.1. Využití území

Přibližně 800 m upravovaného toku protéká intravilánem. Přesněji se jedná o část mezi říčním kilometrem 34,203 – 34,942. Zde po pravé straně po směru toku je postaven Benediktinský klášter Rajhrad. Po levé straně se nacházejí ovocné sady a zahrady. Od 34 km se pak podél toku rozprostírá především zemědělská půda a ostatní přírodní plochy. Jedná se především o ornou půdu, louky, a pole. Mezi kilometrem 28,927 a 30,183 se po pravé straně ve směru proudu rozléhá intravilán obce Vojkovice. Po levé straně toku se nachází opět orná půda, přes kterou vede silnice II. třídy II/425. Přibližně 100 metrů od osy toku se v blízkosti silnice nachází čerpací stanice EuroOil. Během vyšších průtoků dochází po celé délce k značně velkým rozlivům, proto je také nutné navrhnout ochranu nejvíce ohrožených míst.

6.2. Objekty na toku

Mezi říčním kilometrem 28,927 a ř. km 34,942 se nacházejí dva objekty. Jedná se o silniční most v Rajhradcích a silniční most ve Vojkovicích.

6.2.1. Silniční most Rajhradice

Silniční most Rajhradice propojuje město Rajhrad a obec Rajhradice. Most je umístěn v 34,876 km. Jeho šířka činí 8 m a tloušťka 1,4 m. Horní okraj mostovky leží v nadmořské výšce 189,12 m. n. m. Dolní okraj mostovky je pak umístěn v nadmořské výšce 187,72 m. n. m. č. Přes most prochází silnice III. třídy III/41617. Konstrukce mostu je dostatečně široká pro současný průjezd dvou vozidel. Po obou krajích je postaven úzký chodník, umožňující bezpečný průchod chodců. Z mostu lze na severu, proti proudu toku, vidět jezová konstrukce.



Obr. 10) Pohled na silniční most Rajhradice



Obr. 11) Silniční most Rajhradice [12]

6.2.2. Silniční most Vojkovice

Na jihu řešeného úseku v říčním km 29,970 je postaven druhý silniční most Vojkovice, který spojuje Vojkovice s Židlochovicemi. Tyto obce jsou propojeny silnicí II/425 s dvěma jízdními pruhy. Silnice II. třídy má celkovou délku 57 km a prochází od slovenských hranic přes město Břeclav, Vojkovice, Rajhrad až k okresu Brno-venkov, kde se napojuje na dálnici D52. Mostní konstrukce je 12 metrů široká. Po obou krajích jsou vedeny dostatečně široké chodníky určené pro pěší komunikaci. Na vnějších okrajích je postaveno ochranné kovové zábradlí. Na jedné straně mostu začínají v těsné blízkosti hranice intravilánu obce Vojkovice. Za mostní konstrukcí z druhé strany se po levé straně nachází odbočka na polní vedlejší cestu, která poté dále vede podél řeky Svratky směrem k Rajhradícím.



Obr. 12) Boční pohled na most ve Vojkovicích

6.3. Opevnění

Koryto a svahy řeky Svatky je v některých částech již opevněno drobným lomovým kamenem. To se týká především u části toku v okolí silničního mostu Rajhradice. Opevněno je zde přibližně 50 m toku. U zbylé části toku zpevňují svahy pouze vegetační porosty. Břehy jsou osety travním porostem, ojediněle jsou zde vysazeny stromy a větší keře.



Obr. 13) Opevnění břehu v okolí silničního mostu Rajhradice

6.4. Vegetace

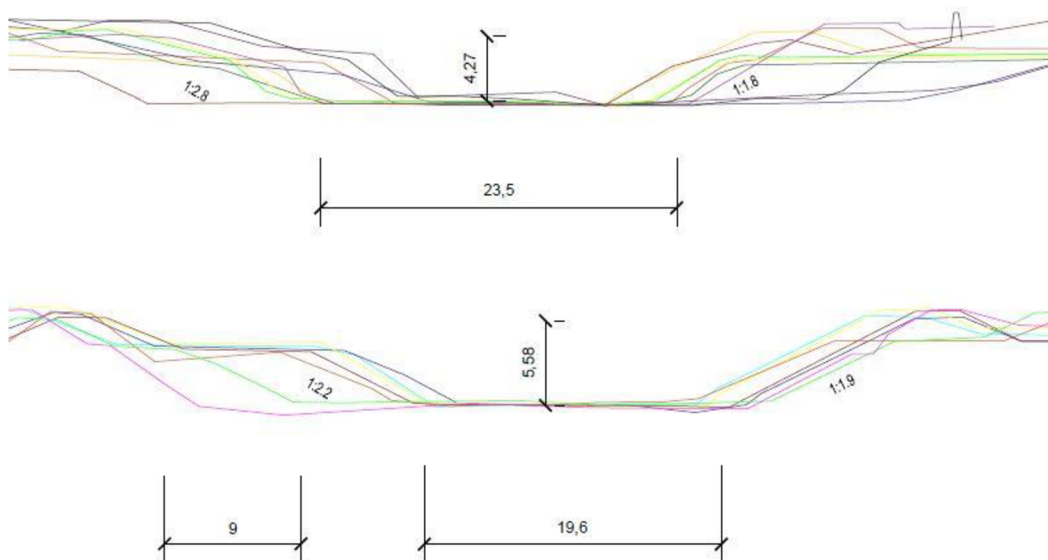
Oba svahy podél upravované části toku jsou zatravněné. Podél je také vysázena větší vegeta. Jedná se o menší stromy a keře, které občas zasahují svými listy do vodní hladiny. Vegetace je vysázena nepravidelně a neumožňuje dostatečné zastínění a ochranu toku. Po celé délce toku je pravidelně udržována.



Obr. 14) Vegetace podél toku

6.5. Popis příčného řezu

Na ose toku vybraného úseky bylo zaměřeno celkem 18 příčných profilu. Z těchto řezů je patrné, že koryto má nepravidelný tvar. Část toku má tvar jednoduchého nepravidelného lichoběžníku, druhá větší část má tvar složeného lichoběžníku s jednou levostrannou bermou. Průměrná hloubka koryta činí 4,93 m. Šířka koryta se pohybuje od 14,5 m do 24 m. Sklony svahů jsou v rozmezí od 1:1,8 do 1:2,8. Všechny hodnoty jsou zjištěny ze synoptických řezů (Obr. 15).



Obr. 15) Synoptické řezy jednoduchého a složeného koryta toku

6.6. Popis podélného řezu

Ze vstupních podkladů [B] byly zjištěny následující hodnoty minimálního, maximálního a průměrného sklonu nivelety dna koryta toku:

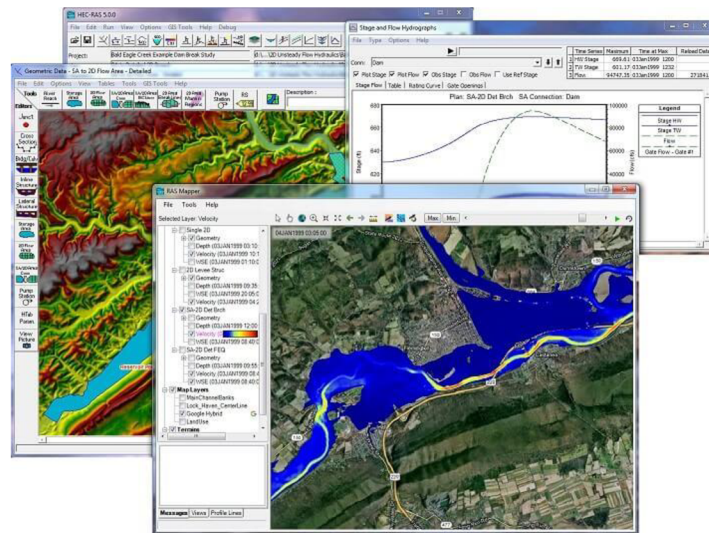
- minimální sklon: 0,149‰,
- maximální sklon: 1,51‰,
- průměrný sklon: 0,476‰.

7. Hydrotechnické výpočty

7.1. Program HEC-RAS

Program HEC-RAS je počítačový program, který byl v roce 1964 vyvinut armádním sborem inženýrů Spojených států amerických. Veřejnosti však byl zpřístupněn o 31 let později, a to v roce 1995. Zkratka HEC-RAS vychází z názvu Hydrologic Engineering Center - River Analysis System. [8]

Program HEC-RAS se používá k modelování jednorozměrných a dvourozměrných hydraulických modelů pro sítě přirozených koryt a jiných kanálů. Systém programu se zabývá především říční analýzou. Software lze použít k simulaci 1D (Obr. 16) a 2D modelů a následnému výpočtu hladin při ustáleném a neustáleném proudění v říčním korytě. Umožňuje také výpočet transportu pohyblivých sedimentů, nebo analýzu kvality vody. [8]



Obr. 16) Prostředí programu HEC-RAS [8]

7.1.1. Postup řešení

Postup vytváření hydraulického modelu v programu HEC-RAS byl následující:

- Vytvoření a následné vložení osy toku do programu.
- Připojení pomocných podkladových map. Přesněji se jedná o základní mapu ZM10 a ortofoto. Dále byly vloženy data záplavových území pětileté, dvacetileté a stoleté vody. [D]
- Vložení geometrických dat. Jednotlivé body příčných profilů (PF 75 – PF 94) ze vstupních podkladů [A] byly přepsány do tabulek do programu MsExcel a následně vloženy do programu HEC-RAS.
- Vložení objektů na toku. Jedná se o silniční most Rajhradice a silniční most Vojkovice.
- Zadání počátečních hodnot drsnosti koryta n .

- Zadání okrajových podmínek (průtoková řada N-letých průtoků, podélný sklon dna koryta).
- Pro zpřesnění výpočtu kapacity koryta byly přidány úseky o délce 500 m nad začátkem a pod koncem zájmového úseku.
- Spuštění výpočtu.
- Porovnání vypočtených hodnot hladin se skutečným stavem, následně případné upravení hodnot drsností dna a svahů koryta.

7.1.2. Stanovení hodnot drsnostního součinitele n

Při prvním zadání hodnot drsnostního součinitele n , byly tyto hodnoty odhadnuty dle tabulek součinitelů drsností a fotografického katalogu drsností. V těchto volně přístupných podkladech jsou vždy stanoveny doporučené minimální, maximální a optimální hodnoty součinitelů drsnosti pro různé typy koryt. Pro dno koryta byl drsnostní součinitel stanoven na hodnotu 0,042, pro břehy koryta 0,044. Po provedení výpočtu a následné kontrole výsledků byly tyto hodnoty drsnostní dále upraveny, a to tak, aby se vypočtený průběh hladin co nejvíce rovnal skutečnému stavu. Výsledné hodnoty drsnosti tak byly upraveny na hodnoty 0,045 pro dno koryta a 0,047 pro břehy koryta.

7.1.3. Okrajové podmínky

Pro správné spuštění výpočtu a simulaci nerovnoměrného proudění je nutné zadání okrajových podmínek. Tyto podmínky mohou být zadány na horním, dolním okraji nebo na obou okrajích výpočtového úseku. To záleží na následném zadání předpokládaného charakteru proudění. V programu HEC-RAS je možné počítat s prouděním říčním, bystřinným nebo smíšeným. Podmínkou pro horní okraj jsou vždy průtokové řady známých N-letých průtoků. Pro dolní okraj je možné zadat tři typy okrajových podmínek:

- 1.) Zadání sklonu hladiny, na základě, kterého bude vypočtena za rovnoměrného proudění měrná křivka profilu.
- 2.) Zadání kritické hloubky v dolním profilu.
- 3.) Zadání známé úrovně hladiny v dolním profilu. Při výpočtu s více hodnotami průtoků, je nutné tuto informaci zadat pro každý řešený průtok. [9]

V rámci simulace řešeného úseku byly vloženy jako okrajové podmínky N-leté průtoky (viz. Tabulka č. 2, kapitola 5.8.1) a známé výšky hladiny v dolním příčném profilu (Tabulka č. 4), zjištěné ze vstupních podkladů A, B.

Tabulka č. 4 – Známé výšky hladin v dolním příčném profilu

Průtok Q	Q ₁	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
[m ³ /s]	101,5	188,5	230	273,5	324	382
Výška hladiny H	181,49	182,76	183,16	183,27	183,37	183,59
[m .n .m.]						

7.2. Kapacita stávajícího koryta toku a objektů

Po vložení potřebných dat a následném upravení, byl spuštěn výpočet. Program HEC-RAS uvažovat při výpočtu ustálené nerovnoměrné proudění s říčním prouděním. Vypočtené hodnoty byly vloženy do tabulky (Tabulka č. 5–8) a bylo posouzeno vybřežení.

7.2.1. Posouzení kapacity toku pro $Q_5=188,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Při výpočtu se vycházelo ze známe úrovně hladiny v dolním profilu. Z větší části je stávající koryto v řešeném úseku dostatečně kapacitní pro průtok Q_5 . K vybřežení dochází v kilometrovém úseku mezi profily PF 77 a PF 83.

Tabulka č. 5 – Posouzení kapacity toku pro $Q_5=188,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Průtok	Označení profilu	Staničení	Levý břeh	Pravý břeh	Hladina	Vybřežení	
		[km]	[m.n.m.]	[m.n.m.]	[m.n.m.]	LB	PB
Q_5	PF 75	28,927	184,49	184,19	182,93	NE	NE
	PF 76	29,002	183,60	184,25	182,96	NE	NE
	PF 77	29,172	183,04	183,74	183,06	ANO	NE
	PF 78	29,366	183,34	181,65	183,17	NE	ANO
	PF 79	29,576	183,48	181,48	183,26	NE	ANO
	PF 80	29,751	183,60	183,41	183,34	NE	NE
	PF 81	29,895	184,37	184,01	183,39	NE	NE
	PF 82	30,022	183,67	184,45	183,47	NE	NE
	PF 83	30,183	183,31	183,71	183,51	ANO	NE
	PF 84	30,879	184,60	184,18	183,94	NE	NE
	PF 85	31,446	184,91	184,53	184,38	NE	NE
	PF 86	32,011	186,16	185,26	184,84	NE	NE
	PF 87	32,665	186,57	186,11	185,38	NE	NE
	PF 88	33,152	186,94	186,63	185,74	NE	NE
	PF 89	33,655	187,20	187,07	186,08	NE	NE
	PF 90	34,203	187,24	187,66	186,40	NE	NE
	PF 91	34,528	187,45	187,40	186,59	NE	NE
PF 92	34,862	188,08	188,52	186,74	NE	NE	
PF 93	34,942	188,34	188,33	186,81	NE	NE	

7.2.2. Posouzení kapacity toku pro $Q_{20}=273,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Pro průtok Q_{20} zůstává nadále kapacitním přibližně tři kilometrový úseku v okolí Rajhradic. V tomto úseku dojde k vybřežení pravého břehu pouze v profile PF 90 ve staničení 34,203 km. Nekapacitnost v úseku mezi PF 77 až PF 85 se zvětšila.

Tabulka č. 6 – Posouzení kapacity toku pro $Q_{20}=273,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Průtok	Označení profilu	Staničení [km]	Levý břeh [m.n.m.]	Pravý břeh [m.n.m.]	Hladina [m.n.m.]	Vybřežení	
						LB	PB
Q_{20}	PF 75	28,927	184,49	184,19	183,51	NE	NE
	PF 76	29,002	183,60	184,25	183,55	NE	NE
	PF 77	29,172	183,04	183,74	183,69	ANO	NE
	PF 78	29,366	183,34	181,65	183,82	ANO	ANO
	PF 79	29,576	183,48	181,48	183,89	ANO	ANO
	PF 80	29,751	183,60	183,41	183,96	ANO	ANO
	PF 81	29,895	184,37	184,01	184,01	NE	ANO
	PF 82	30,022	183,67	184,45	184,12	ANO	NE
	PF 83	30,183	183,31	183,71	184,17	ANO	ANO
	PF 84	30,879	184,60	184,18	184,51	NE	ANO
	PF 85	31,446	184,91	184,53	184,82	NE	ANO
	PF 86	32,011	186,16	185,26	185,20	NE	NE
	PF 87	32,665	186,57	186,11	185,97	NE	NE
	PF 88	33,152	186,94	186,63	186,41	NE	NE
	PF 89	33,655	187,20	187,07	186,80	NE	NE
	PF 90	34,203	187,24	187,66	187,18	NE	NE
	PF 91	34,528	187,45	187,40	187,38	NE	NE
PF 92	34,862	188,08	188,52	187,50	NE	NE	
PF 93	34,942	188,34	188,33	187,59	NE	NE	

7.2.3. Posouzení kapacity toku pro $Q_{100}=382 \text{ m}^3/\text{s}$

Pro průtok Q_{100} zůstávají pouze profil PF 75, 92 a 93. V ostatních profilech vždy dojde k vybřežení.

Tabulka č. 7 – Posouzení kapacity toku pro $Q_{100}=382 \text{ m}^3/\text{s}$

Průtok	Označení profilu	Staničení	Levý břeh	Pravý břeh	Hladina	Vybřežení	
		[km]	[m.n.m.]	[m.n.m.]	[m.n.m.]	LB	PB
Q_{100}	PF 75	28,927	184,49	184,19	184,00	NE	NE
	PF 76	29,002	183,60	184,25	184,06	ANO	NE
	PF 77	29,172	183,04	183,74	184,27	ANO	ANO
	PF 78	29,366	183,34	181,65	184,41	ANO	ANO
	PF 79	29,576	183,48	181,48	184,48	ANO	ANO
	PF 80	29,751	183,60	183,41	184,56	ANO	ANO
	PF 81	29,895	184,37	184,01	184,60	ANO	ANO
	PF 82	30,022	183,67	182,01	184,75	ANO	ANO
	PF 83	30,183	183,31	183,71	184,80	ANO	ANO
	PF 84	30,879	184,60	184,18	185,08	ANO	ANO
	PF 85	31,446	184,91	184,53	185,26	ANO	ANO
	PF 86	32,011	186,16	185,26	185,51	NE	ANO
	PF 87	32,665	186,57	186,11	186,21	NE	ANO
	PF 88	33,152	186,94	186,63	186,71	NE	ANO
	PF 89	33,655	187,20	187,07	187,14	NE	ANO
	PF 90	34,203	187,24	187,66	187,54	ANO	NE
	PF 91	34,528	187,45	187,40	187,72	ANO	ANO
PF 92	34,862	188,08	188,52	187,84	NE	NE	
PF 93	34,942	188,34	188,33	188,00	NE	NE	

7.2.4. Posouzení kapacity mostních objektů

Silniční most Vojkovice je dostatečně kapacitní pro všechny N-leté průtoky. Silniční most Rajhradice je kapacitní pro průtoky Q_5 a Q_{20} . Při Q_{100} sice nenastane vybřežení, ovšem dojde k zahlcení objektu.

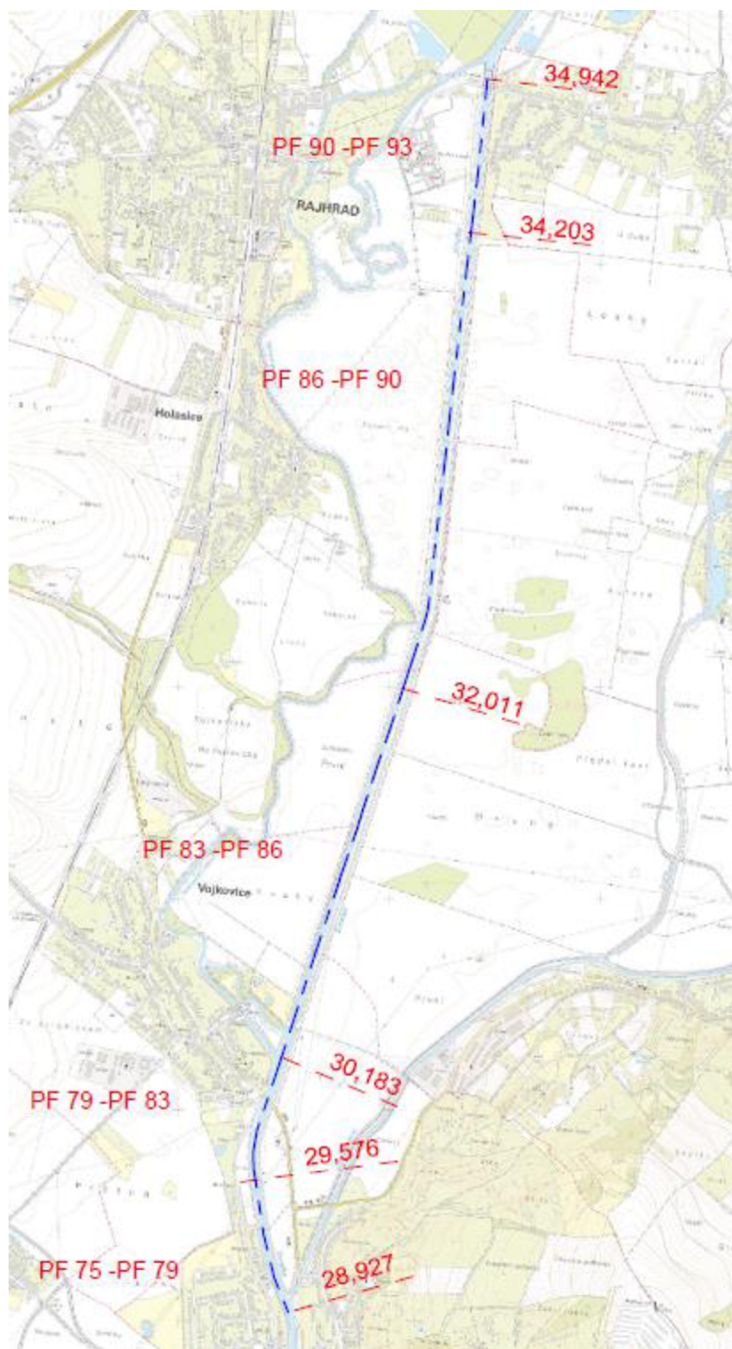
Tabulka č. 8 – Posouzení kapacity mostních objektů

Objekt	Průtok	Staničení	Levý břeh	Pravý břeh	Dolní okraj	Hladina	Vybřežení		Zahlčení
		[km]	[m.n.m.]	[m.n.m.]	[m.n.m.]	[m.n.m.]	LB	PB	
Most Vojkovice	Q_5	29,97	185,59	185,59	184,69	183,40	NE	NE	NE
	Q_{20}					184,01	NE	NE	NE
	Q_{100}					184,58	NE	NE	NE
Most Rajhradice	Q_5	34,876	188,67	189,12	187,72	186,74	NE	NE	NE
	Q_{20}					187,50	NE	NE	NE
	Q_{100}					187,85	NE	NE	ANO

8. Návrh úpravy

8.1. Navržené úpravy na toku

Jelikož trasa stávajícího koryta přechází z velké části také intravilánem a není možné provést jednotnou úpravu, byla úprava koryta rozdělena na pět částí (Obr. 17). V části trasy je navržena revitalizace a změna trasy, dále je navrženo zkapacitnění koryta a prvky protipovodňové ochrany.



Obr. 17) Schématické rozdělení úprav koryta

8.1.1. Profil PF 75 – PF 79

V úseku ve staničení 28,927 až 29,576 byla již, dle poskytnutých podkladů z Povodí Moravy [A], roku 2000 provedena protipovodňová ochrana pravého břehu a zastavěného území města Židlochovice. Jelikož úsek vede přes intravilán města, nebylo kvůli nedostatku volného prostoru možné zde rozšířit a zkapacitnit původní koryto. Mezi kilometrem 28,927 a 29,366 se na pravé straně v blízkosti toku nacházejí rodinné domy, a proto zde byla vystavena skoro dvoumetrová tížní betonová zeď, která chrání intravilán před stoletým průtokem Q_{100} (Obr. 18). Ochranná stěna je dnes z části zarostlá vegetací. Ve staničení 29,366 až 29,576 je zastavěné území chráněno sypanou hrází, doplněna mobilním hrazením.

V rámci současné úpravy se do této části úseku nebude nijak zasahovat.

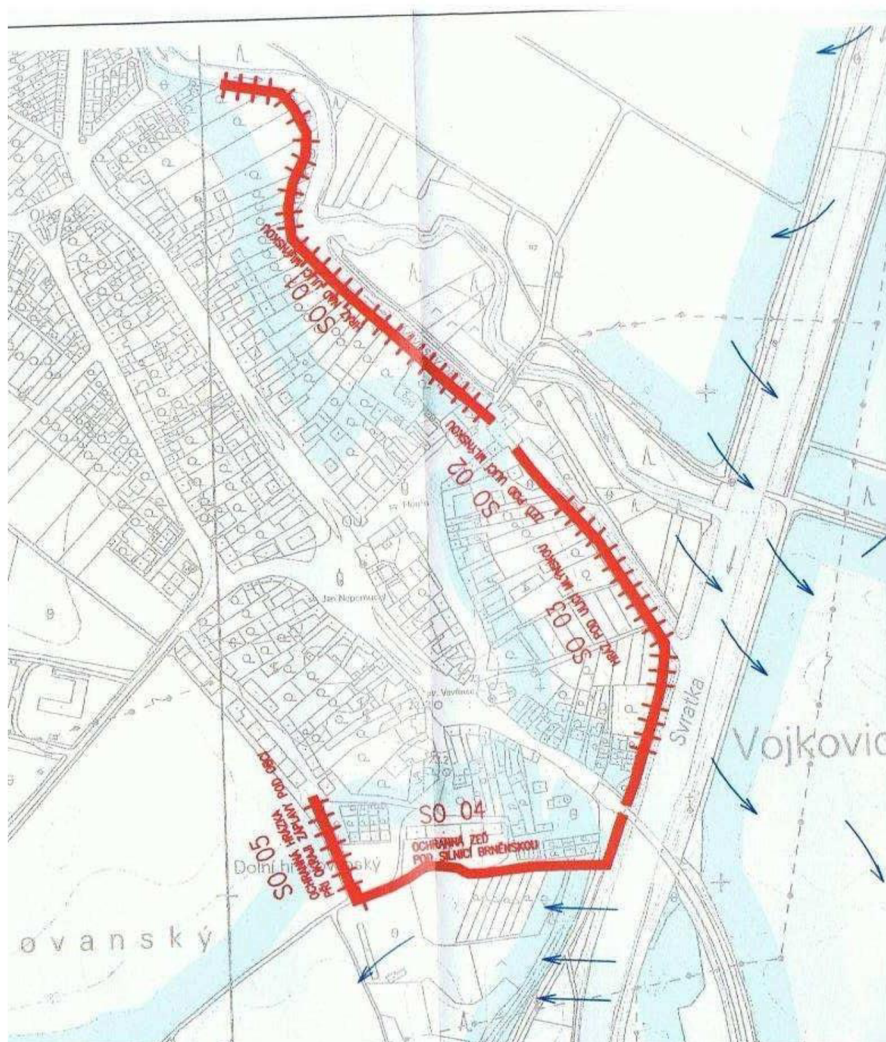


Obr. 18) PPO provedena v roce 2000 [12]

8.1.2. Profil PF 79 – PF 83

Stávající koryto mezi říčním kilometrem 29,576 až 30,183 je schopno převést nanejvýš průtok Q_5 . Celý úsek opět vede přes intravilány obcí Vojkovice a Židlochovice. Ve staničení 29,576 až 29,895 je na pravém břehu snížena ochranná hráz a je zde tak vytvořen nátok do pravobřežní inundace. V blízkosti levého břehu je postavena silnice II/425 a čerpací stanice EuroOil. Oba objekty jsou již chráněny na stoletý průtok Q_{100} . Při povodňovém stavu se počítá s odlehčením vyšších jak dvacetiletých průtoků do inundačního území. Před nástupem vody z inundačního území je město Židlochovice již chráněno.

Mezi kilometrem 29,895 až 30,183 se na pravé straně nachází zastavěná část obce Vojkovice, která je chráněna pouze na průtok Q_{10} . V rámci oprav je zde navrženo také protipovodňové opatření, které ochrání blízký intravilán před stoletým průtokem Q_{100} . Na březích budou vystavěny, v některých částech navýšeny, tížní betonové zdi. Návrh protipovodňových opatření byl proveden s ohledem na již plánovanou výstavbu ochranných zdí a hrází dle povodňového plánu Vojkovic (Obr. 19)



Obr. 19) Plánované PPO dle povodňového plánu obce Vojkovic [14]

8.1.3. Profil PF 83 – PF 86

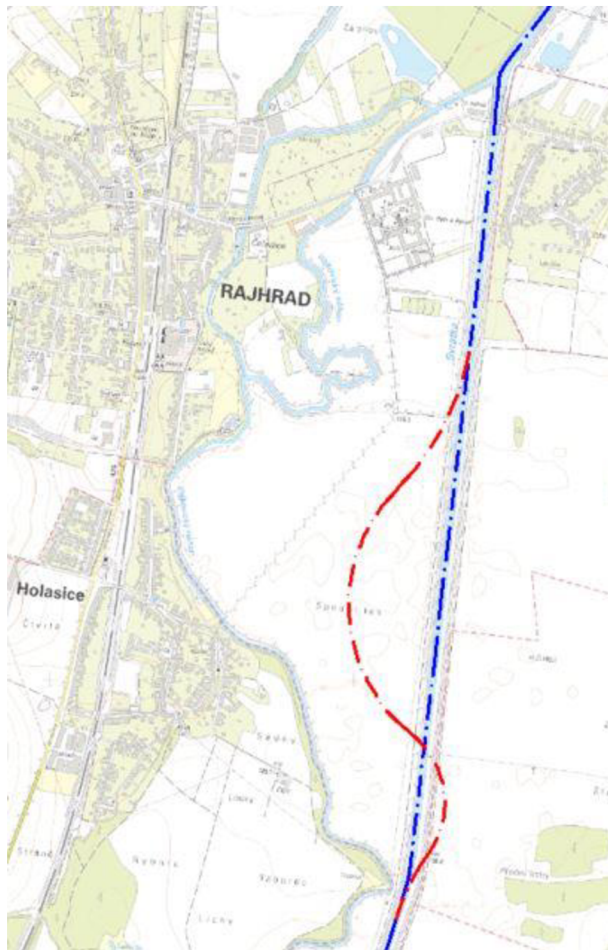
Trasa toku mezi profily PF 83 a PF 85 vede přes extravilán. Stávající koryto v tomto úseku je převážně kapacitní na průtok Q_5 . V rámci úpravy je navrženo zkapacitnění koryta na průtok Q_{20} . Trasu toku obklopuje mnoho zemědělských pozemků s ornou půdou. Mezi nejreálnější proveditelné úpravy se jeví zkapacitnění průtoku mírným rozšířením berem a navýšením ochranných hrázek, přibližně o 0,3 m, které zajistí bezpečný průchod průtoku Q_{20} .

8.1.4. Profil PF 86 – PF 90

Mezi profily PF 86 – PF 90, přesněji mezi staničením 32,239 až 34,119 km, se využilo rozsáhlého území extravilánu a došlo k návrhu nové trasy toku (Obr. 20). Jedná se o zcela přímý úsek toku, a proto je zde vhodné trasu toku rozvlnit a přiblížit se tak přirozenému proudění v krajině. V okolí nové trasy vzniknout tak místa ideální na výstavbu rozsáhlé vegetace, která umožní rozvoj fauny a flóry. Nová trasa se skládá ze čtyř protisměrných oblouků, jejichž poloměry se pohybují od 285 m do 900 m. Mezi staničením 32,816 a 34,119 dojde k vybočení původní osy koryta na pravý břeh. V tomto úseku dojde k největšímu vybočení. Osa nového

koryta se od původní trasy odkloní až o 300 m. V úseku mezi kilometrem 32,239 až 32,816 se úpravou vytvoří na levé straně protisměrný oblouk, který se poté napojí na původní koryto.

Stávající rozměry koryta v profilu PF 88 až PF 90 umožňují bezpečný průtok Q_{50} . Úsek mezi PF 88 až PF 86 ztrácí postupně svou kapacitu, schopen je převést pouze průtok Q_{20} . V rámci výstavby nové trasy dojde k odklonění koryta toku, přičemž ochranné hráze na levém břehu se ponechají na původním umístění, neboť tyto hráze jsou již dostačující pro průtok Q_{100} . Dojde tak k vytvoření velmi širokých berem. V těchto místech budou vysázeny především menší keře a travní porosty, které nijak neovlivní proudění vody. V profilu PF 87, v km 32,665, kde se nová trasa vyklání na levou stranu, bude postaveno nové koryto se šířkou kynety 20 m a šířkou levostranné bermy 15 m. Obě strany toku budou chráněny ochrannou hrází, zabezpečující bezpečný průtok Q_{100} .



Obr. 20) Schéma nově navržené trasy toku

8.1.5. Profil PF 90 – PF 93

V poslední části řešeného území, mezi říčním kilometrem 34,203 až 34,892, řeka Svatka protéká mezi intravilány města Rajhrad a obce Rajhradice. Koryto toku je zde dostatečně kapacitní pro průtok Q_{20} , levý břeh je chráněn na průtok Q_{100} . Při zvětšování průtoku zde ovšem dochází ke značným rozlivům, které ohrožují především intravilán města Rajhrad. Nejvíce ohrožena je významná kulturní historická památka, Benediktinský klášter Rajhrad, z 11. století, která se nachází na pravém břehu toku mezi Vojkovicým náhonem a

řekou Svratkou. Je zde navržena PPO, které ochrání samotný klášter a jeho okolí před stoletým průtokem Q_{100} . Budou zde postaveny betonové zdi doplněné mobilním hrazením. Okolo zastavěných ohrožených pozemků budou také postaveny metrové stěny a sypané hráze, které lehce odolají nebezpečným průtokům při rozsáhlých povodních.

8.2. Protipovodňové opatření

Realizací různých protipovodňových opatření nikdy zcela nedojde k zamezení vzniku povodní, avšak vhodným návrhem PPO lze zachytit část povodňového průtoku a zmírnit tak negativní účinky povodně na okolí.

Obecně lze protipovodňová opatření rozdělit na netechnické a technické. Mezi netechnická opatření patří například definování a právní zajištění záplavových území, předpovědní a varovné systémy nebo poučení veřejnosti o chování při povodňových situacích. [11]

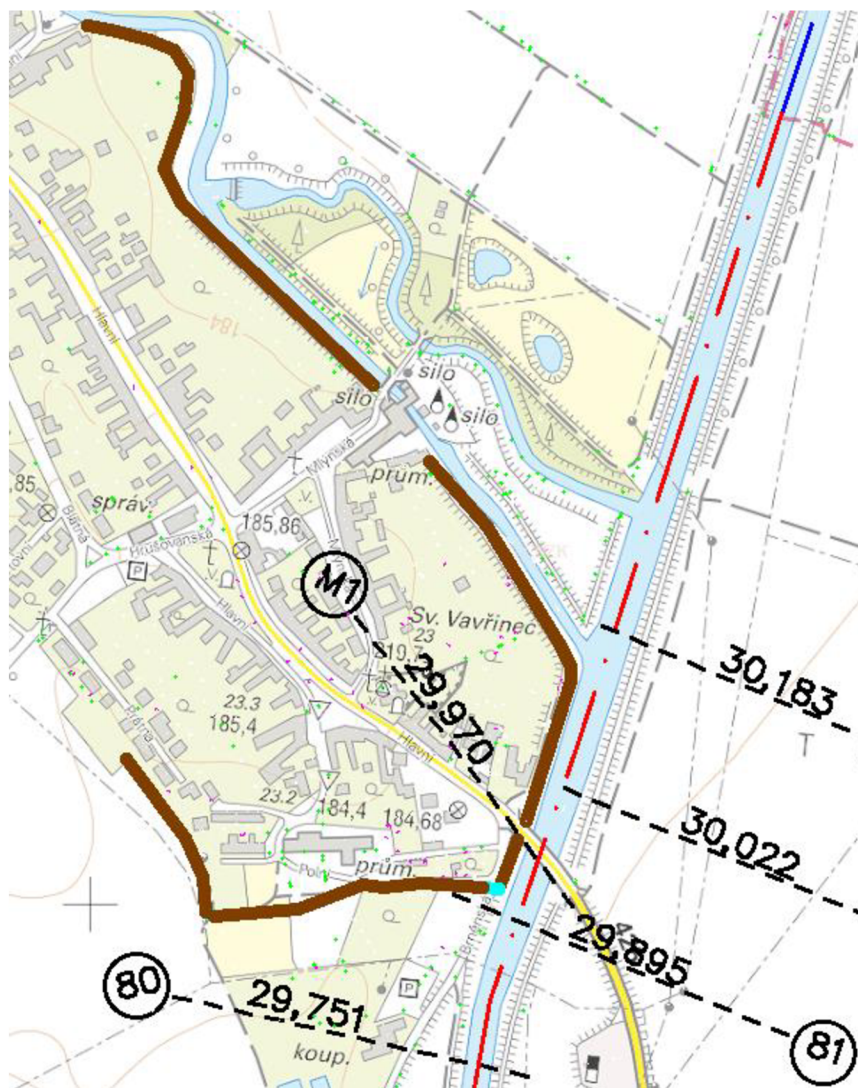
Technická opatření se dělí do dvou skupin – opatření v ploše povodí a opatření přímo na vodních tocích. Mezi opatření v ploše povodí patří regulace zemědělské činnosti, regulace lesního hospodářství nebo budování retenčních opatření. K opatřením přímo na vodních tocích se řadí výstavba retenčního prostoru v podobě nádrže, zkapacitnění koryta toků nebo výstavba zemních hrází, povodňových zdí a mobilního hrazení. [11]

8.2.1. Návrh PPO

Po výpočtu a posouzení stávajícího stavu byly navrženy potřebné prvky protipovodňové ochrany, a to především v obci Vojkovice a v okolí města Rajhrad. Následně byly navržené PPO rozděleny do třech stavebních objektů.

Stavební objekt SO1, ř. km 29,816 – ř. km 30,441

V úseku ve staničení 29,816 až 30,441 se na pravé straně toku nalézá obec Vojkovice. V tomto místě je navržena výstavba betonových zdí, které ochrání zastavěné území před povodňovými průtoky stoleté vody Q_{100} (viz. kapitola 8.1.2). Krátká zeď na západě bude dosahovat délky 160 m a výšky 1,20 m. Tato zeď chrání především obytné zastavěné území. Jižní stranu obce bude chránit zeď o délce 260 m. Přístup na polní cestu a na ulici Brněnskou bude zajištěn mobilním hrazením. Na východě obce bude na pravém břehu Svratky vystavena zeď o výšce 1,30 m. Tato zeď bude dále pokračovat na sever kolem Vojkovického náhonu až k mlýnu Vojkovice. Za peším mostem přes Vojkovický náhon, bude betonová zeď ještě 250 m pokračovat. Celková délka všech navržených zdí činí 1115,2 m. Výšky zdi byly zvoleny s ohledem na požadovanou rezervu 0,15 m, při průtoku stoleté vody.

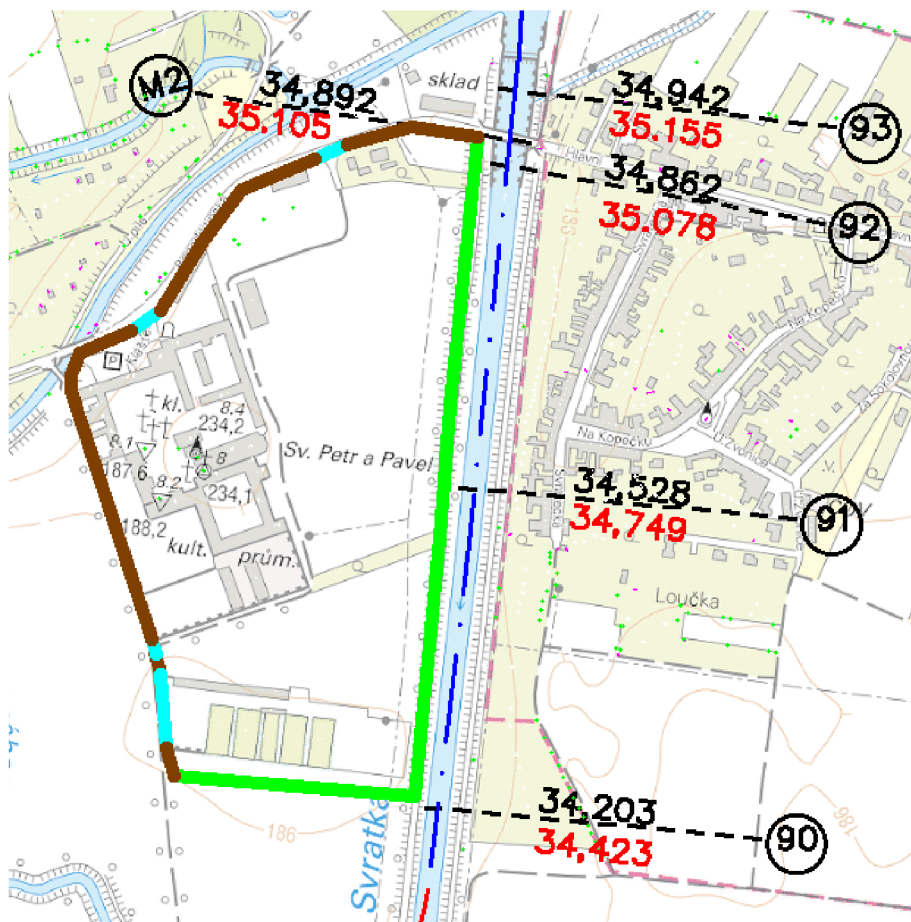


Obr. 21) Schéma PPO ve Vojkovicích (hnědě – betonové zdi, světle modře – mobilní hrazení)

Stavební objekt SO2, ř. km 34,203 – ř. km 34,875

Druhým stavebním objektem jsou navržené PPO okolí areálu Benediktinského kláštera, ležícího na východ od města Rajhrad mezi Vojkovickým náhonem a Svratkou, a autoservisu Auto Centro, ležícího přibližně 30 m jižně od kláštera. Jelikož zdejší Benediktinský klášter je považován za historickou památku je nutné, aby navržená PPO byla schopná odolávat účinkům stoleté vody. Na pravém břehu Svratky jsou již v tomto úseku vystaveny ochranné hráze, které budou v rámci úprav navýšeny, a to tak, aby koruna hráze dosahovala výšky 187,7 m.n.m. Na jihu se na tuto hráz napojuje nově vystavěná zemní hráz o délce 245 m, která bude chránit areál autoservisu. Tato hráz, se šířkou v koruně 3 m, se sklony svahů 1:2,5, bude vysoká 1,5 m. Na zemní hráz se dále napojuje betonová stěna vedena podél příjezdové cesty až k hlavní ulici Na aleji. Na severní straně bude ochranná zeď dále pokračovat podél ulice Benediktinská, dokud se opět nepřipojí na zemní hráz u silničního mostu Rajhradice. Výška ochranné zdi je stanovena na 1,3 m, tloušťka 0,25 m. Celková délka zemní hráze činí 916,18 m a délka betonových zdí 775,18 m. V místech potřebných pro vstup do areálů budou vybudovány mobilní hrazení. Tyto mobilní hrazení budou zajišťovat stálý přístup k obytnému domu, ke vstupu do areálu kláštera,

k polní cestě vedoucích do zahrad kláštera a ke vstupu do autoservisu. Při návrhu výšek se opět počítá s rezervou 0,15 m. Podrobnější zobrazení navržených protipovodňových opatření lze nalézt v příloze č. 5.



Obr. 22) Schéma PPO v areálu kláštera (hnědě – betonové zdi, světle modře – mobilní hrazení, zeleně – zemní hráze)

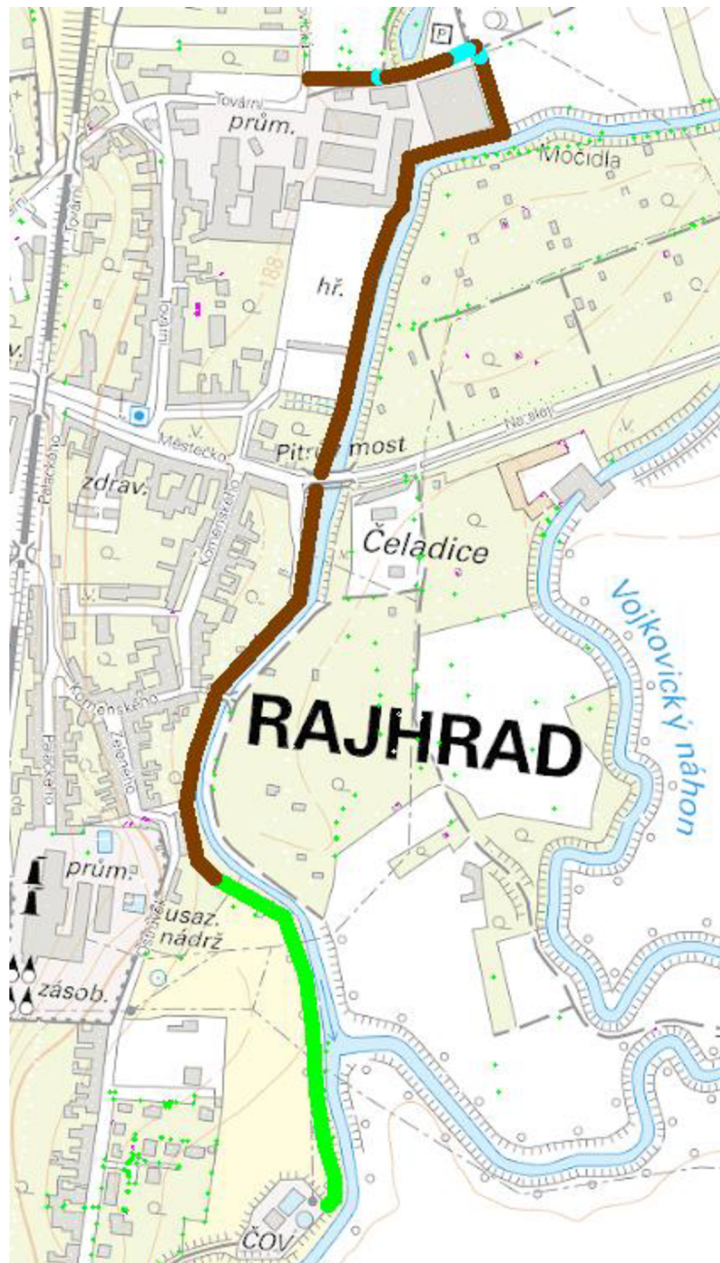
Stavební objekt SO3, ř. km 33,815 – ř. km. 34,892

Město Rajhrad je nutné z jižní strany ochránit před rozlivy způsobovány dvacetiletým a stoletým průtokem. Rozlivy Q_{20} zde nezpůsobuje řešený úsek Svratky, nýbrž Vojkovický náhon, který leží v těsné blízkosti zastavěného území. Vojkovický náhon nebyl v rámci této bakalářské práce řešen, tato informace byla zjištěna ze vstupních podkladů D. Jelikož zastavěné území města Rajhrad leží v těsné blízkosti Vojkovického náhonu, je zde nutná ochrana pomocí ochranných zdí. Betonová zeď, dosahující výšky 0,9 m, bude vystavena na jihu v blízkosti průmyslové zóny, ležící při vlakovém nádraží Rajhrad. Dále bude pokračovat po pravém břehu Vojkovického náhonu na sever až k Pitrovu mostu, kde bude zakotvena.

Další ochranná zeď je navržena na severu města. Zeď je zde navržena za účelem ochrany velkého sportovního hřiště a areálu firmy Bode-Panzer s.r.o. zabývající se výrobou a montáží trezorů a pevnostních skříní. Zeď je dlouhá 563,24 m a vysoká 1,1 m. Všechny potřebné

přístupové cesty ke vstupům a po níh cestám jsou zajištěny mobilním hrazením. Celková délka všech vystavených zdí činí 913,17 m.

Na jižní straně je možné díky rozšířenému prostoru navrhnout sypanou zemní hráz, která se napojuje na betonovou ochrannou zeď. Hráz bude postavena podél Vojkovického náhonu, kde bude zakončena u areálu místní čistírny odpadních vod. Areál ČOV je dostatečně vyvýšen, a tudíž již chráněn na stoletý průtok. Je navržena zemní hráz se šířkou koruny 2 m, nacházející se v 187,9 m. n. m. Sklony svahu jsou navrženy 1:2.



Obr. 23) Schéma PPO v Rajhradu (hnědě – betonové zdi, světle modře – mobilní hrazení, zeleně – zemní hráze)

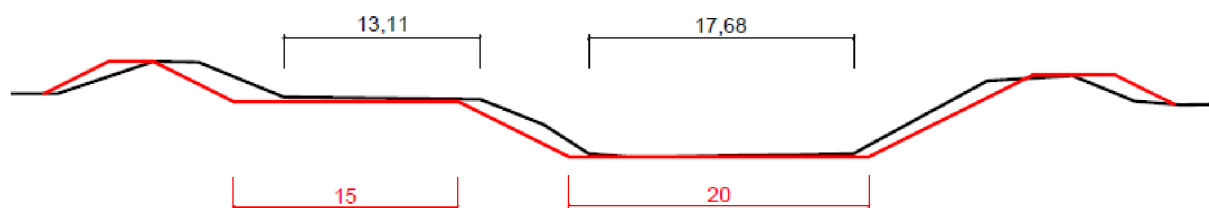
9. Hydraulické ověření návrhu

9.1. Změny v hydraulickém modelu

Po navržení všech potřebných úprav na toku byly změny nasimulovány v původním hydraulickém modelu v programu HEC-RAS. Výpočet tedy vycházel z původního modelu, pouze v úseku mezi staničením 30,022 až 34,203 byly provedeny změny příčného profilu a drsnostní koryta (viz. kapitola 8.1). Po provedení všech změn byl opět proveden výpočet a následně byla posouzena účinnost navržených opatření.

9.1.1. Příčný a podélný profil

Ke změně příčného profilu došlo v úseku mezi říčním kilometrem 30,022 až 34,203. V místě mezi 32,239 km až 34,119 km byla původní osa posunuta tak, aby co nejvíce odpovídala návrhu nové trasy z programu Autodesk Civil 3D. Původní šířka dna kynety se pohybovala od 14,5 do 24 m a šířka berem od 8,5 do 17 m (viz. kapitola 6.5). V rozsahu úprav je navrženo rozšíření dna kynety na minimálně na 20 m, a rozšíření levostranné bermy na 15 m (viz. příloha č. 3).



Obr. 24) Změna příčného profilu – rozšíření bermy a kynety

Maximální, minimální a průměrný sklon nivelety původního dna toku byl zjištěn z podélného profilu ze vstupních podkladů B (viz. kapitola 6.6). V rámci úprav budou původní sklony zachovány.

9.1.2. Drsnostní součinitel n

Povrchové drsnosti koryta původního toku se pohybovaly od 0,4 do 0,47. Takovéto hodnoty drsnostního součinitele jsou příliš vysoké. Běžně se drsnost pohybuje od 0,28 do 0,38. Vzhledem k tomu, že se v km 30,022 až 34,203 bude provádět úprava koryta, počítá se zároveň s odtěhováním usazených sedimentů a kompletním vyčištěním. Z tohoto důvodu je v tomto úseku drsnostní součinitel změněn a ponížěn na hodnotu 0,4. Snížení drsnosti přispívá ke snížení povrchového odporu, a tudíž také k poklesu hladiny.

9.1.3. Okrajové podmínky

Jako okrajové podmínky se v původním hydraulickém modelu uvažovaly N-leté průtoky a výšky hladin v dolním profilu (viz. kapitola 7.1.3). Při spuštění výpočtu modelu s provedenými úpravami se uvažují stejné okrajové podmínky.

9.2. Ověření kapacity koryta po úpravě

Kapacita koryta se všemi navrženými úpravami byla vypočtena pomocí programu HEC-RAS. Výšky hladin N-letých průtoků v upravovaném úseku se vždy snížili oproti hladinám N-letých průtoků v původním stavu.

9.2.1. Ověření kapacity toku pro $Q_5=188,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Úpravou koryta toku se docílilo zkapacitnění profilu PF 82 a PF 83 na průtok Q_5 . Mezi profilem PF 77 až PF 79 se jsou na pravé straně vystaveny ochranné hráze a stěny, a proto ani při vyběžení nedojde k žádným škodám. V profilu PF 79 je uvažováno, stejně jako v původním stavu, s přelivem do pravobřežního inundačního území. V inundaci jsou kolem zástavby navrženy zemní hrázky.

Tabulka č. 9 – Ověření kapacity toku po návrhu pro $Q_5=188,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Průtok	Označení profilu	Staničení	Levý břeh	Pravý břeh	Hladina	Vybřežení		Rozdíl hladin
		[km]	[m.n.m.]	[m.n.m.]	[m.n.m.]	LB	PB	[m]
Q_5	PF 75	28,927	184,49	184,19	182,93	NE	NE	0,00
	PF 76	29,002	183,60	184,25	182,96	NE	NE	0,00
	PF 77	29,172	183,04	183,74	183,06	ANO	NE	0,00
	PF 78	29,366	183,34	181,65	183,17	NE	ANO	0,00
	PF 79	29,576	183,48	181,48	183,26	NE	ANO	0,00
	PF 80	29,751	183,60	183,41	183,34	NE	NE	0,00
	PF 81	29,895	184,37	184,01	183,39	NE	NE	0,00
	PF 82	30,022	184,37	184,41	183,46	NE	NE	-0,01
	PF 83	30,183	184,35	183,71	183,50	NE	NE	-0,01
	PF 84	30,879	184,62	184,60	183,81	NE	NE	-0,13
	PF 85	31,446	185,01	185,00	184,16	NE	NE	-0,22
	PF 86	32,011	186,16	185,30	184,60	NE	NE	-0,24
	PF 87	32,665	186,57	186,11	185,11	NE	NE	-0,27
	PF 88	33,152	186,94	186,63	185,35	NE	NE	-0,39
	PF 89	33,655	187,20	187,07	185,50	NE	NE	-0,58
	PF 90	34,203	187,24	187,66	185,75	NE	NE	-0,65
	PF 91	34,528	187,45	187,40	186,05	NE	NE	-0,54
	PF 92	34,862	188,08	188,52	186,28	NE	NE	-0,46
PF 93	34,942	188,34	188,33	186,38	NE	NE	-0,43	

9.2.2. Posouzení kapacity toku pro $Q_{20}=273,5 \text{ m}^3/\text{s}$

V profilech PF 77 – PF 83 dochází k vybřežení dvacetiletého průtoku Q_{20} . Všechny zastavěné území jsou však chráněny protipovodňovým opatřením. V profilu PF 79 se počítá s nátokem povodňových průtoků do pravobřežního inundačního území. V upraveném úseku došlo ke zkapacitnění koryta pro průtok Q_{20} .

Tabulka č. 10 – Ověření kapacity toku po návrhu pro $Q_{20}=273,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Průtok	Označení profilu	Staničení	Levý břeh	Pravý břeh	Hladina	Vybřežení		Rozdíl hladin
		[km]	[m.n.m.]	[m.n.m.]	[m.n.m.]	LB	PB	[m]
Q_{20}	PF 75	28,927	184,49	184,19	183,51	NE	NE	0,00
	PF 76	29,002	183,60	184,25	183,55	NE	NE	0,00
	PF 77	29,172	183,04	183,74	183,69	ANO	NE	0,00
	PF 78	29,366	183,34	181,65	183,82	ANO	ANO	0,00
	PF 79	29,576	183,48	181,48	183,89	ANO	ANO	0,00
	PF 80	29,751	183,60	183,41	183,96	ANO	ANO	0,00
	PF 81	29,895	184,37	184,01	184,01	NE	ANO	0,00
	PF 82	30,022	184,37	184,41	184,13	NE	NE	0,01
	PF 83	30,183	184,35	183,71	184,16	NE	ANO	-0,01
	PF 84	30,879	184,62	184,60	184,46	NE	NE	-0,05
	PF 85	31,446	185,01	185,00	184,84	NE	NE	0,02
	PF 86	32,011	186,16	185,30	185,13	NE	NE	-0,07
	PF 87	32,665	186,57	186,11	185,75	NE	NE	-0,22
	PF 88	33,152	186,94	186,63	186,00	NE	NE	-0,41
	PF 89	33,655	187,20	187,07	186,10	NE	NE	-0,70
	PF 90	34,203	187,24	187,17	186,30	NE	NE	-0,88
	PF 91	34,528	187,45	187,40	186,64	NE	NE	-0,74
	PF 92	34,862	188,08	188,52	186,92	NE	NE	-0,58
	PF 93	34,942	188,34	188,33	187,05	NE	NE	-0,54

9.2.3. Ověření kapacity toku pro $Q_{100}=382 \text{ m}^3/\text{s}$

Cílem navržených úprav bylo zkapacitnění koryta na Q_{20} , avšak navrženými úpravami se docílilo v některých místech koryto zkapacitnit také na průtok Q_{100} . Zastavěné území jsou však již nadále ohrožovány možnými rozlivy z Vojkovického náhonu, či z úseku nad zájmovým územím, proto byly v rizikových oblastech navrženy PPO (viz. kapitola 8.2.1)

Tabulka č. 11 – Ověření kapacity toku po návrhu pro $Q_{100}=382 \text{ m}^3/\text{s}$

Průtok	Označení profilu	Staničení	Levý břeh	Pravý břeh	Hladina	Vybřežení		Rozdíl hladin
		[km]	[m.n.m.]	[m.n.m.]	[m.n.m.]	LB	PB	[m]
Q_{100}	PF 75	28,927	184,49	184,19	184,00	NE	NE	0,00
	PF 76	29,002	183,60	184,25	184,06	ANO	NE	0,00
	PF 77	29,172	183,04	183,74	184,27	ANO	ANO	0,00
	PF 78	29,366	183,34	181,65	184,41	ANO	ANO	0,00
	PF 79	29,576	183,48	181,48	184,48	ANO	ANO	0,00
	PF 80	29,751	183,60	183,41	184,56	ANO	ANO	0,00
	PF 81	29,895	184,37	184,01	184,60	ANO	ANO	0,00
	PF 82	30,022	184,37	184,41	184,76	ANO	ANO	0,01
	PF 83	30,183	184,35	183,71	184,79	ANO	ANO	-0,01
	PF 84	30,879	184,62	184,60	185,02	ANO	ANO	-0,06
	PF 85	31,446	185,01	185,00	185,18	ANO	ANO	-0,08
	PF 86	32,011	186,16	185,30	185,41	NE	ANO	-0,10
	PF 87	32,665	186,57	186,11	186,04	NE	NE	-0,17
	PF 88	33,152	186,94	186,63	186,39	NE	NE	-0,32
	PF 89	33,655	187,20	187,07	186,50	NE	NE	-0,64
	PF 90	34,203	187,24	187,66	186,70	NE	NE	-0,84
	PF 91	34,528	187,45	187,40	187,16	NE	NE	-0,56
	PF 92	34,862	188,08	188,52	187,49	NE	NE	-0,35
PF 93	34,942	188,34	188,33	187,66	NE	NE	-0,34	

9.2.4. Ověření kapacity mostních objektů

Při N-letých průtocích původním korytem zůstávaly oba mostní objekty dostatečně kapacitní, avšak při stoletém průtoku docházelo ve stávajícím stavu k zahlcení mostního objektu v Rajhradu. Zahlcení může způsobovat nejen vzduší hladiny před objektem, ale může také poškozovat samotnou konstrukci silničního mostu. Úpravou koryta se však jednotlivé hladiny N-letých průtoků snížily, tudíž již zahlcení silničního mostu Rajhrad nenastane.

9.3. Stabilita dna a svahů koryta

Po návrhu úprav parametrů koryta, bylo nutné u nového koryto posoudit také jeho stabilitu dna a svahů. Úprava koryta toku musí být vždy navržena tak, aby na svazích a dně koryta nedocházelo k deformacím za proudění návrhových průtoků, a koryto zůstalo stabilní.

Nejpoužívanějšími metodami pro posouzení odolnosti koryta patří porovnání skutečných hodnot tangenciálního napětí nebo porovnání střední průřezové rychlosti v korytě s kritickými hodnotami. [11]

Pro výpočet stability se použila druhá metoda porovnávání průřezových rychlostí s vymílací rychlostí. Výpočet proběhl dle vzorců z literatury Hydrotechnické stavby I, M. Šlezinger. Výsledkem je posouzení stability koryta toku v oblouku a v přímé části. Detailnější výpočet stability je zobrazen v příloze č. 7.

9.3.1. Posouzení stability v přímé části

Na stabilitu je nutné posoudit dno koryta toku, patu svahu a samotný svah. Dno koryta bylo posouzeno na průtok Q_1 , pata svahu na průtok Q_5 a svah na průtok Q_{100} . Po výpočtu vymílacích rychlostí hloubek výmolu bylo navrženo potřebné opevnění. Výsledky byly zpracovány do tabulky níže.

Tabulka č. 12 – Posouzení stability v přímé části

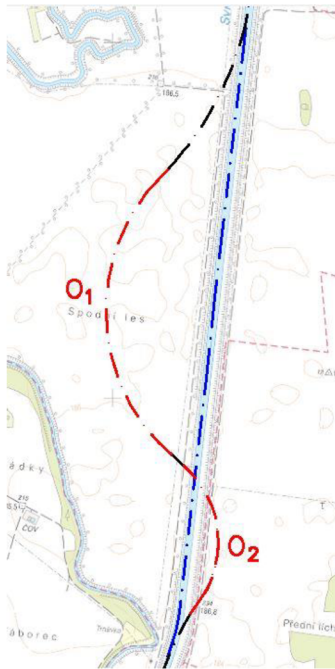
Přímá část					
dno	pata svahu	výpočet	návrh	výpočet	návrh
		hloubka výmolu Δh [m]	hloubky opevnění paty svahu [m]	výška opevnění svahu h_{op} [m]	výška opevnění svahu h_{op} [m]
STABILNÍ	NESTABILNÍ	0,24	0,6	3,56	3,6

9.3.2. Posouzení stability v oblouku

Stabilita koryta v oblouku se opět počítá ve dně, patě svahu a svahu. Pro výpočet je zapotřebí znát například poloměr oblouku či středový úhel oblouku. Stabilita byla vypočtena ve dvou nejvíce kritických obloucích (viz. Obr.25), výsledky byly opět zpracovány do tabulky.

Tabulka č. 13 – Posouzení stability v oblouku

Oblouky						
Označení	dno	pata svahu	výpočet	návrh	výpočet	návrh
			hloubka výmolu Δh [m]	hloubky opevnění paty svahu [m]	výška opevnění svahu h_{op} [m]	výška opevnění svahu h_{op} [m]
O ₁	STABILNÍ	NESTABILNÍ	0,61	0,8	4,20	4,3
O ₂	STABILNÍ	NESTABILNÍ	0,61	0,8	4,51	4,6



Obr. 25) Posuzované oblouky na stabilitu

9.3.3. Opevnění dna a svahů koryta

Jelikož dno navrženého koryta toku je v přímé části i v obloucích stále stabilní, není nutné zde navrhovat žádné opevnění. Dle výsledků posouzení stability koryta (viz. kapitola 9.3.1 a 9.3.2) je ale zřejmé, že je potřebné navržení opevnění paty svahů i samotného svahu. Již při průtoku Q_5 se v patě svahu vytvoří výmol hloubky 0,24 m, v oblouku až 0,61 m. Pata svahu tedy bude posilněna výstavbou kamenné záhozové patky s velikostí kamene 0,2 – 0,3 m (viz. příloha č. 3) Svah bude v přímé části opevněn do výšky 3,6 m oživenou kamennou rovnalinou v minimální tloušťce 0,3 m. Jedná se o kamennou rovnalinu, jejichž spáry budou vyplněny hlínou a propíchnána vrbovými řízký. Zbytek svahu bude ohumusován a oset travním porostem.

V nekritičtější oblouku, kde levostranná berma dosahuje maximální šířky 15 m, je zapotřebí opevnění navýšit. Opět se bude jednat o kamennou rovnalinu, tentokrát se však výška bude pohybovat do 4,6 m. V druhém oblouku, kde dochází k největšímu odklonu nové trasy od původní osy, je možné navrhnout opevnění menší výšky. Na základě výpočtu (viz. tabulka č. 13) je zde možné navrhnout kamennou rovnalinu výšky 4,3 m.

10. Závěr

Bakalářská práce se zabývala úpravou toku na vybrané lokalitě. Cílem této práce bylo posoudit kapacitu stávajícího koryta řeky Svatky, mezi městem Rajhradem a Židlochovicemi, v říčním kilometru 28,927 až 34,942, na N-leté průtoky, zjištěné z dat poskytnutých z povodí Moravy. Na základě těchto dat bylo již také možné sestavit a nasimulovat hydraulický model toku. Po prozkoumání výsledků a prohlídnutí dat z DIBAVODU, bylo zřejmé, že v celém úseku dochází ke značným rozlivům, které ohrožují blízké zastavěné území. Proto byla v nejvíce kritických místech navržena protipovodňová opatření, které chrání intravilány před působením extrémních průtoků.

Jelikož okolí Židlochovic je již chráněno fungující protipovodňovou ochranou, nedošlo v tomto úseku k žádným změnám. Obec Vojkovice byla ohrožována již průtoky Q_{20} . Byly zde tedy navrženy betonové zdi a mobilní hrazení, které ochrání zastavěná území před průtoky stoleté vody. Na severu zájmového území bylo kritické ochránit historickou a kulturní památku z 11. století – Benediktinský klášter. Jelikož se v jeho blízkosti nachází také autoservis, byly tyto dva areály spojeny a ochráněny pomocí zemních hrází a betonových zdí. Východní strana města Rajhrad byla ohrožována rozlivy způsobené Vojkovických náhonem a řeky Svatky. I zde byly vytipovány nejohroženější místa a navržena nízká betonová zeď a zemní hráz. V rámci úprav došlo také v úseku mezi ř. km 30,022 až 32,239 ke zkapacitnění koryta, a to rozšířením kynety a bermy (viz. kapitola 3.1.1). Mezi ř. km 32,239 až 34,119 bylo využito rozlehlého území a byla zde navržena nová trasa koryta, která se skládá z několika protisměrných oblouků (viz. kapitola 1.8.4). Rozvlněním stávající trasy, bylo docíleno prodloužením původního úseku o 213 m. Při úpravě bude stávající koryto pořádně vyčištěno od existujících usazených sedimentů a nánosů. Docílí se tím tak nejen snížení drsnosti dna a svahů, ale také k upravení podélného sklonu. Po následné opravě původního hydraulického modelu a po provedení výpočtu stability a hydraulického výpočtu, bylo zjištěno, že nově navržené koryto zůstane dále stabilní a zlepší celkovou situaci na toku.

Vzhledem k tomu, že daný současný stav, co se týče existujících rozlivů a morfologie zájmového území, je poměrně složitý, narazilo se na omezení použití jednorozměrného modelu v programu HEC-RAS. Pro tuto situaci by bylo vhodné použití rozšířeného 1D modelu o 2D model, nebo použití 2D modelu samotného. V rámci komplexních úprav by bylo nutné vyřešit také rozlivy vznikající nad zájmovým úsekem, posoudit stávající stav Vojkovického náhonu a vyřešit situaci vznikající na soutoku Litavy a Svatky.

11. Seznam použitých zdrojů

- [1] JANDORA, Jan a Jan ŠULC. *Hydraulika: modul 1*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-7204-512-9
- [2] *Plán dílčího povodí Dyje* [online]. Povodí Moravy, s. p., 2009 [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: http://pop.pmo.cz/download/web_PDP_Dyje_kraje/kapitola-i/kapitola-i.htm
- [3] *Mapová aplikace* [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/mapove-aplikace>
- [4] *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/#!>
- [5] Klimatické oblasti dle Evžena Quitta (1971). *Moravské-Karpaty.cz* [online]. [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: <http://moravske-karpaty.cz/prirodni-pomery/klima/klimaticke-oblasti-dle-e-quitta-1971/>
- [6] *Fluviální sedimentace nivy Moravy v Litovelském pomoraví..* [online]. Olomouc, 2012 [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: https://theses.cz/id/oot7my/Lepaov_Hana_-_Fluviln_sedimentace_nivy_Moravy_v_Litovelskm.pdf. Diplomová práce. Univerzita Paláckého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta
- [7] Mapa VH a ochrana vod. *HYDROEKOLOGICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM VÚV TGM* [online]. [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: https://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&TMPL=HVMAP_MAIN&FRAME=0&lon=16.1914871&lat=49.5582902&scale=483840
- [8] *HEC-RAS* [online]. U.S. Army [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- [9] BRUNNER, Gary W. *HEC-RAS River Analysis System: User's Manual* [online]. Davis, CA: US Army Corps of Engineers, 2020 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_6.0_UsersManual.pdf
- [10] Co je povodeň a protipovodňová opatření. *Zeměpisec.cz* [online]. 2021 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://zemepisec.cz/hydrologie/protipovodnova-opatreni/>
- [11] ŠLEZINGR, Miroslav. *Hydrotechnické stavby I: Modul 1: Návrh říčního koryta*. Brno: VUT, 2006.
- [12] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2021-5-24]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=18.6129000&y=49.7031000&z=11>
- [13] *MapoMat* [online]. [cit. 2021-5-24]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=18.6129000&y=49.7031000&z=11>
- [14] Odtokové poměry. *Vojkovice: Povodňový plán obce* [online]. 2010 - 2021 [cit. 2021-5-24]. Dostupné z: https://www.edpp.cz/voj_odtokove-pomery/

12. Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratky

DMR5G	digitální model terénu páté generace
ČUZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
ČHMU	Český hydrometeorologický ústav
ZM 10	Základní mapa České republiky 1:10 000
PF	příčný profil
LB	levý břeh
PB	pravý břeh
PPO	protipovodňová ochrana

Symboly

Q	[m ³ /s]	průtok
v	[m/s]	průřezová rychlost
A	[m ²]	průtočná plocha
O	[m]	omočený obvod
i_0	[-]	sklon
C	[m ^{0,5} /s]	rychlostní součinitel
R	[m]	hydraulický poloměr
Fr	[-]	Froudovo kritérium
g	[m/s ²]	tíhové zrychlení
α	[-]	Coriolisovo číslo
n	[-]	drsnostní součinitel

13. Seznam obrázků

Obr. 1)	a) křivka vzduší, b) křivka snížení [1]	7
Obr. 2)	Schéma pro výpočet nerovnoměrného proudění [1].....	7
Obr. 3)	Směr postupu výpočtu [1]	8
Obr. 4)	Profil o různých drsnostech [1]	9
Obr. 5)	Zájmové území toku [12].....	11
Obr. 6)	Mapa geologický poměrů [3]	12
Obr. 7)	Půdní mapa zájmového území [3].....	13
Obr. 8)	Klimatické regiony ČR (Quitt, 1971) [13].....	14
Obr. 9)	Průměrná roční teplota vzduchu (1961-2000) [2]	15
Obr. 10)	Pohled na silniční most Rajhradice	19
Obr. 11)	Silniční most Rajhradice [12]	19
Obr. 12)	Boční pohled na most ve Vojkovicích	20
Obr. 13)	Opevnění břehu v okolí silničního mostu Rajhradice	20
Obr. 14)	Vegetace podél toku	21
Obr. 15)	Synoptické řezy jednoduchého a složeného koryta toku.....	22
Obr. 16)	Prostředí programu HEC-RAS [8]	23
Obr. 17)	Schématické rozdělení úprav koryta	28
Obr. 18)	PPO provedena v roce 2000 [12].....	29
Obr. 19)	Plánované PPO dle povodňového plánu obce Vojkovice [14].....	30
Obr. 20)	Schéma nově navržené trasy toku	31
Obr. 21)	Schéma PPO ve Vojkovicích (hnědě – betonové zdi, světle modře – mobilní hrazení)	33
Obr. 22)	Schéma PPO v areálu kláštera (hnědě – betonové zdi, světle modře – mobilní hrazení, zeleně – zemní hráze).....	34
Obr. 23)	Schéma PPO v Rajhradu (hnědě – betonové zdi, světle modře – mobilní hrazení, zeleně – zemní hráze).....	35
Obr. 24)	Změna příčného profilu – rozšíření bermy a kynety.....	36
Obr. 25)	Posuzované oblouky na stabilitu	41

14. Seznam tabulek

Tabulka č. 1 – Souhrnná tabulka klimatických poměrů

Tabulka č. 2 – N-leté průtoky

Tabulka č. 3 – N-leté průtoky

Tabulka č. 4 – Známé výšky hladin v dolním příčném profilu

Tabulka č. 5 – Posouzení kapacity toku pro $Q_5=188,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabulka č. 6 – Posouzení kapacity toku pro $Q_{20}=273,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabulka č. 7 – Posouzení kapacity toku pro $Q_{100}=382 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabulka č. 8 – Posouzení kapacity mostních objektů

Tabulka č. 9 – Ověření kapacity toku po návrhu pro $Q_5=188,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabulka č. 10 – Ověření kapacity toku po návrhu pro $Q_{20}=273,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabulka č. 11 – Ověření kapacity toku po návrhu pro $Q_{100}=382 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabulka č. 12 – Posouzení stability v přímé části

Tabulka č. 13 – Posouzení stability v oblouku

15. Seznam příloh

Příloha č. 1 Situace širších vztahů

Příloha č. 2 Situace rozlivů

Příloha č. 3 Vzorové příčné řezy

Příloha č. 4 Podélný profil

Příloha č. 5 Situace úpravy toku

Příloha č. 6 Situace rozlivů s PPO

Příloha č. 7 Výpočet stability