



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

POSOUZENÍ STAVU MALÉHO VODNÍHO TOKU V POVODÍ ŘEKY MORAVY

RIVER TRAINING OF A SMALL WATERCOURSE IN THE MORAVA RIVER BASIN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Josef Filipi

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. HANA UHMANNOVÁ, CSc.

BRNO 2015



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	Josef Filipi
Název	Posouzení stavu malého vodního toku v povodí řeky Moravy
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Hana Uhmánová, CSc.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2014
Datum odevzdání bakalářské práce	29. 5. 2015

V Brně dne 30. 11. 2014

.....
prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MB.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Raplík M., Výbora P., Mareš K.: Úprava tokov, Alfa, Bratislava. 1989.
Mareš K.: Úpravy toků, ČVUT, Praha. 1997.
Chow, Ven Te.: Open Channel Flow. Mc Graw Hill Book Company. 1959.
<http://www.hec.usace.army.mil>
Kolář, V., Patočka, C., Bém, J.: Hydraulika. SNTL/ALFA. Praha. 1983
Geodetické podklady – zaměření toku z roku 1991, 2011, 2012.

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Na začátku 70 let minulého století byla v k.ú. obce Herálec provedena úprava řeky Svratky. Z prostorových důvodů bylo koryto Svratky v intravilánu obce upraveno do obdélníkového profilu s kamennými opěrnými zídками a s šířkou dna cca 7 – 8 m. Koryto toku se od začátku provedené úpravy soustavně zanáší. Cílem bakalářské práce je:

- posouzení stavu vodního toku v zájmové lokalitě,
- posouzení kapacity toku a návrhových parametrů původní provedené úpravy toku,
- posouzení kapacity toku před pročištěním koryta v roce 1992, 2001, 2009,
- posouzení příčin zanášení koryta toku,
- ideový návrh úpravy koryta toku a opatření, která omezí zanášení toku, podložený hydrotechnickými výpočty.

Bakalářská práce bude obsahovat:

Textovou část cca 30 stran:

A. Úvodní část, popis zájmové lokality, popis stávajícího stavu toku, hydrotechnické výpočty, popis navrhovaných opatření, závěrečné zhodnocení.

B. Výkresovou část:

Situace zájmového území, podélný profil stávajícího koryta, příčné řezy.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....

Ing. Hana Uhmánová, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt (CZ)

Cílem bakalářské práce je zhodnotit možná řešení zanášení řeky Svratky podle historického vývoje od 70. let minulého století po současnost. Součástí práce je posouzení stavu vodního toku v zájmové lokalitě, posouzení kapacity toku a návrhových parametrů, které byly použity pro původní úpravy toku.

Výsledkem práce je rozpoznat příčiny zanášení koryta, vytvořit ideový návrh úpravy koryta toku a opatření, která omezí rychlost zanášení toku. Vlastní návrh je podložen hydrotechnickými výpočty.

Abstrakt (AJ)

The aim of this thesis is to evaluate possible solutions of the river Svratka silting by the historical development from the 70s to the present. Part of this thesis is devoted to assessing the state of the watercourse in the area of interest, the assessment of flow capacity and design parameters that were used for the initial treatment course.

The outcome of this thesis is to identify the causes of riverbed silting, creation of a conceptual design modification of the streambed and measures to limit the rate of canal silting. Custom design is supported by the hydrotechnical calculations.

Klíčová slova

Vodní tok Svratka, upravené koryto, zanášení toku, úprava toku, kapacitní průtok, HEC-RAS, kapacita toku, plůtek laťový.

Keywords

Water flow Svratka, trained river, silting, river training, designed channel capacity, HEC-RAS, capacity channel, fence of laths.

Bibliografická citace VŠKP

FILIPÍ, Josef. *Posouzení stavu malého vodního toku v povodí řeky Moravy*. Brno, 2015. 57 s., 8 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce: Ing. Hana Uhmánová, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci „*Posouzení stavu malého vodního toku v povodí řeky Moravy*“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu použité literatury, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Podpis bakaláře

.....

Josef Filipi

Poděkování

Chtěl bych poděkovat paní Ing. Haně Uhmánové, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se bakalářské práce a především za trpělivost, ochotu, lidskou shovívavost a také za to neuvěřitelné množství energie, které do mne vložila.

Také bych chtěl poděkovat své milující rodině za to, že mi jsou oporou a můžu se na ně vždy spolehnout.

Obsah

Obsah.....	8
1. Úvod.....	10
2. Základní informace	11
2.1. Správní údaje.....	11
2.2. Údaje o povodí	11
2.3. Údaje o řešeném úseku povodí	12
2.4. Geologické poměry	12
2.5. Hydrologické poměry.....	12
2.6. Energetické využití toku	13
2.7. Pedologie.....	13
2.8. Lesnictví	13
2.9. Klimatické poměry	14
2.10. Údaje o povodních.....	15
2.11. Zemědělství	15
2.12. Průmysl.....	16
2.13. Čistota vod.....	16
2.14. Chráněná krajinná oblast a ochranná pásma	17
2.14.1. CHKO Žďárské vrchy	17
3. Popis stávající stavu toku	18
3.1. Historie úprav.....	18
3.2. Objekty na toku - přítoky	21
3.3. Příčný profil	23
4. Hydrotechnické výpočty	26
4.1. Průtoky	26
4.1.1. Metoda podle Čerkašina	26
4.1.2. Intenzitní vzorec	28
4.2. Srovnání vývoje kapacity příčných profilů	29
4.2.1. Rok 1972.....	30
4.2.2. Rok 1990.....	32
4.2.3. Rok 2011.....	33

4.2.4.	Rok 2012 stávající stav	35
4.2.5.	Srovnání kapacit koryta	36
4.3.	Posouzení stability dna	37
4.3.1.	Rok 1972	38
4.3.2.	Rok 2012 - současný stav	41
4.3.3.	Srovnání stability dna mezi rokem 1972 a 2012	44
4.4.	Program HEC-RAS 4.1.0	45
5.	Ideový návrh stabilizace koryta	46
6.	Závěrečné hodnocení	49
6.1.	Závěrečné zhodnocení průtoků	49
6.2.	Závěrečné zhodnocení stability	49
7.	Závěr	50
8.	Seznam použitých zdrojů	52
9.	Seznam použitých zkratk a symbolů	54
10.	Seznam příloh	57

1. Úvod

Řeka Svratka ve svém horním toku byla upravena v 70. letech minulého století. Úprava toku Svratky v katastrálním území obce Herálec byla provedena v souladu s tehdejšími platnými předpisy v celkové délce 3300 m. Provedená soustavná úprava byla realizována ve třech etapách podle projektu, vypracovaným podnikem Hydroprojekt Brno.

Úsek toku, řešený bakalářskou prací, byl realizován jako druhá etapa prováděných úprav. Tok v intravilánu obce byl upraven do obdélníkového profilu o šířce dna 9,4 až 12,5 m, s podélným sklonem dna 2,1 ‰. Výška koryta se pohybovala v rozmezí 1,3 až 1,5 m. Kapacita takto navrženého profilu se pak pohybovala dle hydrotechnických výpočtů kolem $17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Koryto toku se v průběhu let zanášelo, a tak v roce 1992 bylo přistoupeno správcem vodního toku k první prohrábce. V rámci prohrábkyně byla v ose toku vytvořena kyneta o šířce dna 7,0 až 7,5 m a o šířce berem 0,5 až 0,7 m. Průtočný profil se změnil z jednoduchého obdélníkového profilu na složený průtočný profil. V rámci provedené prohrábkyně nebyla bohužel respektována šířka kynety, vytvořené v období let 1972 až 1997. V následujících letech došlo opět k deformaci průtočného profilu a k následnému vytvoření kynety s menší šířkou dna. Trasa kynety koryta se opět změnila. V roce 2009 správce vodního toku Povodí Moravy, s. p. opět realizoval prohrábkyně toku Svratky v intravilánu obce Herálec. Ani v tomto případě nebyla dodržena šířka kynety, která se vytvořila od poslední prohrábkyně. Kyneta byla vrácena do osy toku a byla vzhledem k předcházející prohrábce ještě rozšířena. Koryto toku se od této události opět mění a znovu dochází k zanášení a ke změně trasy kynety.

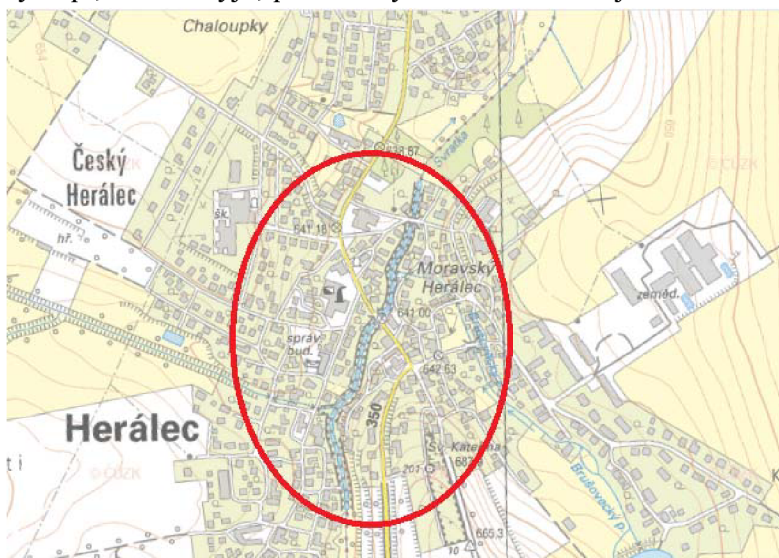
Cílem bakalářské práce je posouzení stavu vodního toku Svratky v řešené lokalitě a ideový návrh opatření, který zahrnuje následující dílčí cíle:

- posouzení stavu vodního toku v zájmové lokalitě,
- posouzení kapacity toku před pročištěním koryta v roce 1992, 2001, 2009,
- posouzení příčin zanášení koryta toku,
- ideový návrh úpravy koryta toku a opatření, která omezi zanášení toku.

2. Základní informace

2.1. Správní údaje

Řešená část řeky Svratky se nachází v obci Herálec, ten leží 15 km na sever od města Žďár nad Sázavou. Zkoumaný úsek se nachází v katastrálním území Český Herálec 595594, okres Žďár nad Sázavou, kraj Vysočina. Číslo vodohospodářské mapy 23-22, číslo hydrologického pořadí je 4-15-01-003-0-00. Správcem vodního toku je Povodí Moravy s. p., závod Dyje, provoz Bystřice na Pernštejnem.



Obrázek 1: Řešený úsek řeky Svratky v obci Herálec[23]

2.2. Údaje o povodí

- Povodí Moravy,
- úmoří Černé moře,
- pramení na severním úbočí Žákovy hory 808 m n. m.,
- plocha povodí činí 7 118,7 km²,
- historická délka toku je 173,9 km,
- aktuální délka toku je 168,49 km dle *heis.vuv.cz*,
- průtok v ústí činí 27,24 m³·s⁻¹.

Směr toku je zprvu severovýchodní až po obec Borovnice, následně jihovýchodní až k soutoku s řekou Dyje.

Aktuální délka toku je oproti historické délce kratší, tato změna kilometráže vodního toku je způsobena úpravami řeky Svratky. Moderní úprava toku spočívala v napřimění toku a rychlém odvedení vody z krajiny. Napřimily se přirozeně meandrující úseky řeky, a tím se vodní tok zkrátil o 5,4 km. Staničení řešené lokality je ponecháno v historické verzi staničení a to z důvodu zaměření vodního toku, které také odpovídá historickým datům.

2.3. Údaje o řešeném úseku povodí

- Povodí Moravy,
- pramen severního úbočí Žákovy hory 808 m n. m.,
- plocha pozorovaného povodí 9,33 km²,
- číslo hydrologického pořadí řešeného úseku 4-15-01-003-0-00.

Posuzovaný úsek se konkrétně nachází na říčním kilometru, dále ř. km, 167,123 až 166,585 historického staničení.

2.4. Geologické poměry

Zařazení řešeného úseku do geologického systému: [23]

- systém Hercynský,
- provincie Česká vysočina,
- subprovincie Českomoravská vrchovina (II),
- oblast Českomoravská vrchovina (IIC),
- celek Železné hory (IIC-3),
- podcelek Sečská vrchovina (IIC-3B),
- okrsek Kameničská vrchovina (IIC-3B-a).

Geologické poměry v povodí řeky Svatky jsou velmi pestré a zahrnují v sobě jak nejstarší, tak i nejmladší geologické útvary. Pramen Svatky vyvěrá v dvojslidných rulách. Řeka i její přítoky dále od pramene protékají horninami, které jsou z krystalika. (Čermák 1950).

2.5. Hydrologické poměry

Hydrologická data byla převzata z údajů vycházejících z výstavby čistírny odpadních vod (ČOV) v obci Herálec z roku 2002. Po přezkoumání těchto údajů bylo zjištěno, že data jsou shodná s daty poskytnutými ČHMÚ z roku 1991, stanovenými pro řešený úsek toku v intravilánu obce. Data jsou zaznamenány v následujících tabulkách a jsou IV. třídy přesnosti.

Tabulka 1: Q_m - m-denní průtoky [18]

Počet dní	30	90	180	270	355	364
Q_m – m-denní průtoky [m ³ ·s ⁻¹]	0,9	0,45	0,25	0,14	0,05	0,033

Tabulka 2: Q_N - N-leté průtoky [18]

Počet let	1	5	20	50	100
Q_N – N-leté průtoky [m ³ ·s ⁻¹]	12,0	25,0	39,0	45,0	50,0

Vzhledem k třídě přesnosti uvedených dat je v následující tabulce uvedena orientační hodnota směrodatné odchylky dle normy.

Tabulka 3: Orientační hodnoty směrodatné chyby dle ČSN 75 1400 pro N -leté průtoky[15]

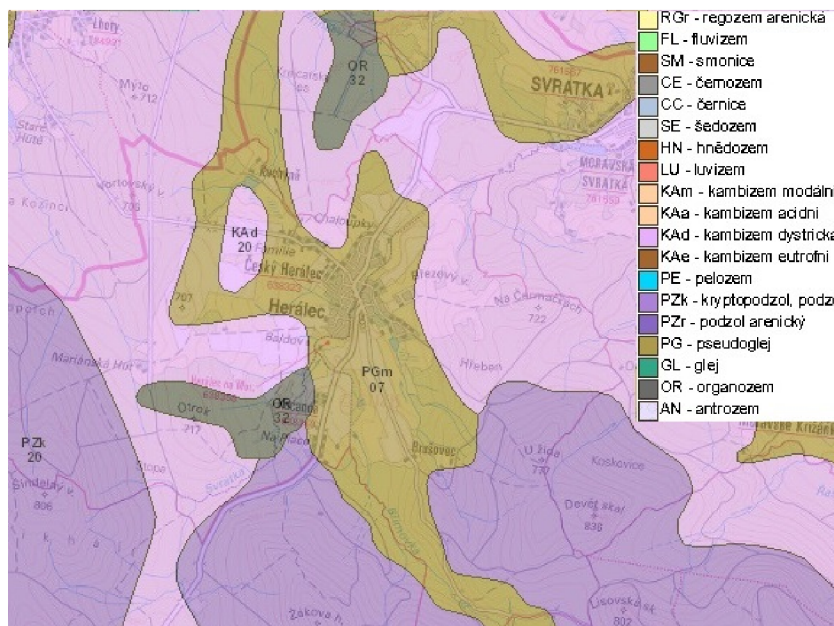
Hydrologický údaj	Třída přesnosti			
	I	II	III	IV
	Směrodatná chyba v [%]			
Dlouhodobý průměrný průtok (Q_a) [$m^3 \cdot s^{-1}$]	8	12	20	30
N -leté průtoky (Q_1 až Q_{10}) [$m^3 \cdot s^{-1}$]	10	20	30	40
N -leté průtoky (Q_{20} až Q_{100}) [$m^3 \cdot s^{-1}$]	15	30	40	60

2.6. Energetické využití toku

V dané lokalitě není tok energeticky využíván.

2.7. Pedologie

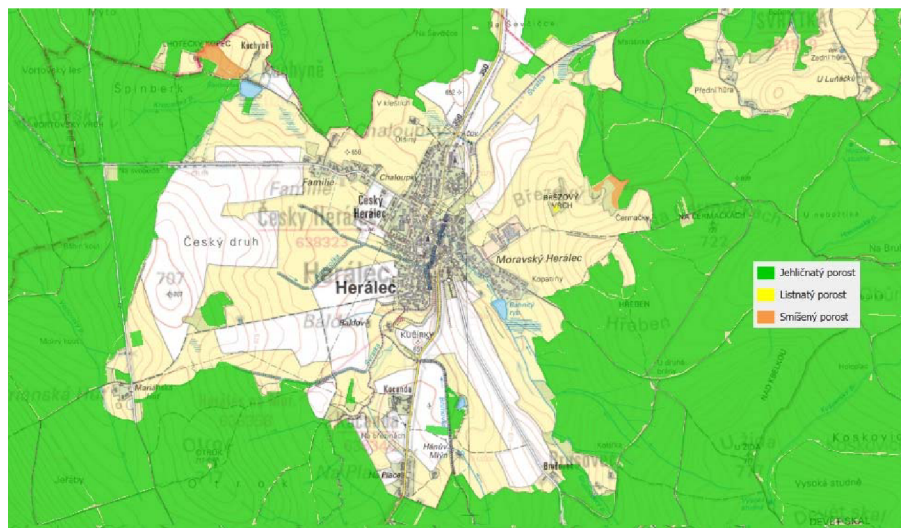
V okolí zájmové oblasti jsou mělké a kamenité půdy. Říční sedimenty se nachází v blízkém okolí toku.



Obrázek 2: Geomorfologie[23]

2.8. Lesnictví

Řešené území je začleněno do regionu Českomoravské vrchoviny s celkovou rozlohou 782 368 ha. Lesnatost v tomto regionu je 33,7 %. Lesní plochy zabírají na území okresu Žďár nad Sázavou 54 641 ha. [19]



Obrázek 3: Lesnické poměry[23]

2.9. Klimatické poměry

Horní tok řeky Svratky se nachází ve Žďárských vrších, které jsou charakteristické chladnějším podnebím oproti zbylému kraji Vysočiny. Průměrná roční teplota se pohybuje okolo 5°C. Srážkové úhrny se pohybují od 500 mm do 800 mm. Žďárské vrchy, díky své poloze na návětrných svazích Vysočiny, patří do nejdeštivější oblasti Vysočiny. [20]

Tabulka 4: Klimatické hodnoty naměřené v meteorologické stanici Svratouch[18]

Stanice	Měsíc												Rok celkem
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	
Průměrná teplota vzduchu (°C)													
Svratouch (737 m n.m.)													
H	-5,2	-3,0	0,8	10,9	11,5	12,8	16,5	17,0	13,9	5,4	4,1	-2,6	6,8
N	-4,4	-2,9	0,5	5,2	10,3	13,4	15,0	14,8	11,4	6,8	1,0	-2,7	5,7
Úhrn srážek (mm)													
Svratouch (737 m n.m.)													
H	13,3	55,1	89,2	7,9	89,7	123,5	117,7	93,5	18,9	74,2	26,7	62,3	772,0
N	43,7	40,3	41,1	54,2	86,7	97,5	91,4	97,4	60,9	44,8	51,3	52,1	761,5
Sr	30,4	136,7	217,0	14,6	103,5	126,7	128,8	96,0	31,0	165,6	52,0	119,6	101,4
Trvání slunečního svitu (h)													
Svratouch (737 m n.m.)													
H	49,0	14,3	47,2	281,5	198,8	141,8	221,6	256,0	180,7	54,1	75,9	33,4	1 554,3
N	47,8	64,8	108,6	150,0	195,7	199,7	209,6	203,3	151,0	126,8	50,5	41,1	1 548,9
Sv	102,5	22,1	43,5	187,7	101,6	71,0	105,7	125,9	119,7	42,7	150,3	81,3	100,3

H - klimatické hodnoty naměřené v roce 2009

Sv - průměrná doba trvání slunečního svitu v roce 2009
v % průměrného normálu

N - normály klimat. hodnot za obd. 1961 až 1990

Sr - průměrný úhrn srážek v roce 2009 v % průměrného
srážkového normálu

2.10. Údaje o povodních

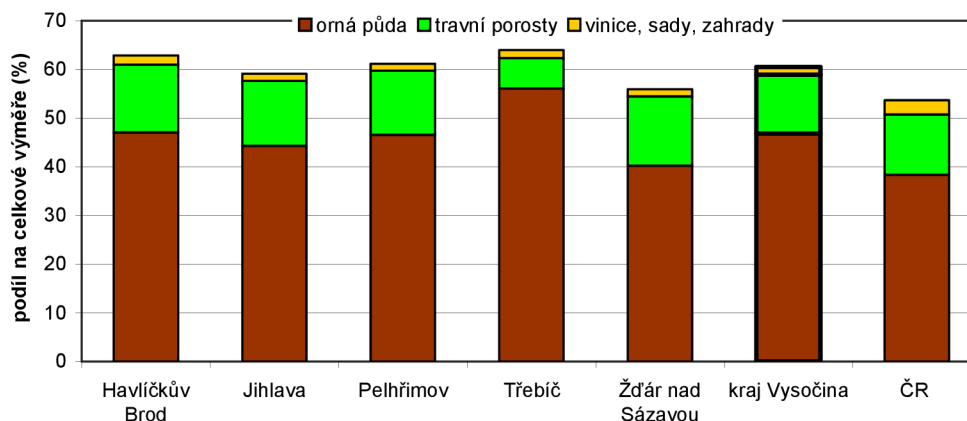
V roce 1997 zde prošla jedna z větších povodní, kdy podle místních obyvatel došlo k vybřežení řeky Svratky a zaplavení přilehlých zahrad a blízkých domů. Od této doby dochází průměrně jednou za 5 až 7 let k malému vybřežení.

2.11. Zemědělství

Půdy v zájmové lokalitě jsou šedozemě až hnědozemě. Procentuální zastoupení orné půdy v okrese Žďár nad Sázavou je 40,23 % a lesního porostu 34,61 %. Jelikož se zájmová lokalita nachází v typickém rázu Českomoravské vrchoviny, je zde zemědělství zaměřeno spíše na bramborářský průmysl, který zaujímá 81,7 % osetí. [25]

Tabulka 5: Struktura půdního fondu v obcích SO ORP Žďár nad Sázavou 2013[22]

Lokalita	Orná půda	Travní porost	Lesní půda	Zastavěná plocha	Vodní plocha	Plocha území
	%					ha
Herálec	12,5	15,0	66,5	6,0	0,0	2 385
Chlumětín	11,0	23,0	56,0	9,0	1,0	664
Cíkháj	4,0	2,0	92,5	1,5	0,0	2 134



Obrázek 4: Struktura zemědělské půdy na celkové výměře okresů kraje Vysočina k 31. 12. 2008[25]

V řešené lokalitě se nachází menší zemědělská výroba zaměřená na chov skotu s pastvinami a menší zemědělsky obhospodařovaná pole. V blízkosti toku se zpravidla nachází louky a pastviny, při větších deštích nedochází k většímu odnosu zeminy do toku.

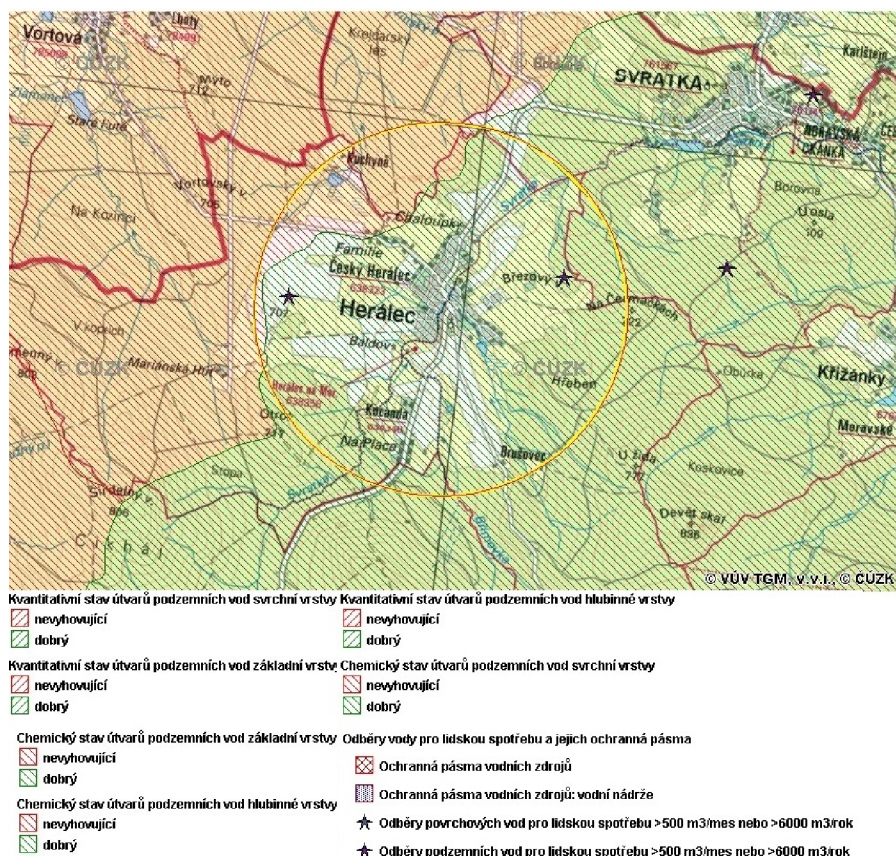
2.12. Průmysl

V obci Herálec se nachází středně velké firmy a malé firmy. K středně velkým firmám patří výroba spodního prádla Anita firma zaměřená na výrobu nábytku – Domestav. K malým firmám pak patří Autoservis Josef Filipi. [24]

2.13. Čistota vod

Řešený úsek je cca 7,3 km od pramene, teče z velké části lesem (cca 6 km), kde není očekáváno velké znečištění. Na úseku mezi lesem a řešeným úsekem protéká řeka loukou, na které se nenachází žádný velký zdroj znečištění.

V okruhu dvou kilometrů se nachází dva podpovrchové zdroje pitné vody. Vydatnost těchto zdrojů je více jak 500 m³/měsíc, respektive více jak 6 000 m³/měsíc. Kvantitativní stav podzemních vod ve střední vrstvě je dobrý, chemický stav je taktéž dobrý s neměnicím se nebo s klesajícím trendem znečištění. [17]



Obrázek 5: Vodní zdroje a kvalita vodních zdrojů [17]

2.14. Chráněná krajinná oblast a ochranná pásma

K určení způsobu ochrany přírody a chráněných krajinných oblastí jsou zpravidla 4, nejméně však 3 zóny odstupňované ochrany. První zóna má nejprísnejší režimy ochrany. Tyto režimy upravuje zákon 114/1992 Sb. o ochraně přírody. Vymezení a změny jednotlivých změn určuje Ministerstvo životního prostředí vyhláškou. (Zákon 114/1992 Sb.)

Vodní tok se nachází ve III. stupni ochranného pásma vodního zdroje - nádrže Vír.

2.14.1. CHKO Žďárské vrchy

Řešená část toku protéká CHKO Žďárské vrchy a nachází se ve 3. zóně CHKO Žďárské vrchy. Ve 3. zóně je zakázáno stavět plavební kanály, zneškodňovat odpady nebo provádět chemický posyp cest. Zásahy do koryta nebo povodí je potřeba schválit orgány ve znění zákona 114/1992 Sb. [15]

3. Popis stávající stavu toku

Řešený úsek začíná 30 m nad levobřežním přítokem místního potoka, v ř. km 167,123. Současný stav toku je výsledkem úprav ze 70. let minulého století, kdy bylo provedeno vyzdění obdélníkového koryta z kamene. Tento tvar koryta je po celé délce řešeného úseku stejný. Šířka koryta ve dně se pohybuje od 6 m do 13 m. Z důvodu širokého dna a malého sklonu dochází k zanášení koryta a vytváření meandrujícího toku v obdélníkovém korytě.

3.1. Historie úprav

Úprava toku byla navržena do tří etap, tyto etapy však nebyly dodrženy chronologicky po sobě.

První etapa byla provedena v letech 1983 – 1984 nad obcí Herálec, v délce 4 km. Navržený profil je lichoběžníkový s proměnlivou šířkou dna 1,2 - 1,5 m, svahy byly opevněny vegetačními tvárnice se sklonem 1:1,5.

Druhá etapa byla provedena v letech 1972 - 1973 a řešila soustavnou úpravu toku v intravilánu obce. Navržená trasa byla tvořena dlouhými přímými úseky a kruhovými oblouky. Koryto toku bylo upraveno do obdélníkového profilu s vyzděními kamennými zdmi, s proměnlivou šířkou dna 9,4 - 10,5 m a průměrnou výškou koryta 1,5 m. Celková délka provedené úpravy byla 540 m, podélný sklon nivelety byl 2,1 ‰. Koryto bylo navrženo tak, aby převedlo průtok $Q = 17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Důsledkem mírného sklonu dna toku a nízkých rychlostí proudění docházelo a stále dochází k zanášení koryta jemnými splaveninami z horní části toku. Koryto se začalo zanášet a zarůstat vegetací a vytvořila se stěhovavá kyneta. V důsledku změn příčného profilu došlo ke snížení kapacity koryta toku a k občasnému vybřežení. V roce 1992 správce toku provedl prohrábku koryta a v ose toku vytvořil kynetu se šířkou dna 7,0 - 7,5 m. O devět let později, v roce 2001, bylo koryto znovu zaneseno a kapacita znovu snížena. Opět došlo k pročištění a byla provedena kyneta v ose s přibližně stejnou šířkou pohybující se okolo 7,5 m.

V říjnu 2009 bylo opět naznáno, že splaveniny a jejich usazování snížily kapacitu koryta. Po prohrábce byly částečně zachovány vzniklé kynety se šířkou cca 8,5 m a bermy byly výrazně užší, po této prohrábce s proměnlivou šířkou bermy 0,5 - 0,7 m.



Obrázek 6: Pohled po proudu v létě 2009 před prohrábkou (foto Uhmánová)



Obrázek 7: Pohled po proudu na provedenou prohrábkou v říjnu 2009 (foto Uhmánová)



Obrázek 8: Stav zanesení v roce 2015, ř. km 166,951

Třetí, poslední, etapa byla vybudována v roce 1974 pod obcí Herálec. Došlo zde k napřímení meandrujícího toku v rámci pozemkových úprav, tím se koryto vyčlenilo ze svého přirozeného rázu.

Tvar koryta je lichoběžníkový s proměnlivou šířkou dna 1,5 - 2,5 m i s proměnlivým sklonem svahu 1:2 až 1:3.

3.2. Objekty na toku - přítoky

V ř. km 166,997 je levobřežní přítok potoka Ambrožka, který je na soutoku opatřen kamenným záhozem. Druhým přítokem řeky Svratky je v ř. km 166,739 Brušovecký potok.



Obrázek 9: Levobřežní přítok potoka Ambrožka, ř. km 166,997



Obrázek 10: Pravobřežní přítok Brušoveckého potoka, ř. km 166,739

Na řešeném úseku toku se nachází několik objektů, patří mezi ně lávka pro pěší v ř. km 166,651, silniční historický most pro silnici II. třídy, č. 350, postaven na dvou pilířích, v ř. km 166,825 a lávka v ř. km 166,953.



Obrázek 11: Lávka pro pěší - pohled po proudu, ř. km 166,953



Obrázek 12: Silniční most - pohled po proudu, ř. km 166,826



Obrázek 13: Lávka pro pěší - pohled po proudu, ř. km 166,651

3.3. Příčný profil

V současné době je dno koryta opět zaneseno splaveninami a je patrná, přirozeně vzniklá, kyneta s bermou. Šířka dna se pohybuje od 7 do 8,5 m.

Dno je i na jaře pokryto řasou a to přesto, že voda není prohřátá a protéká zde větší průtok než v letních měsících.

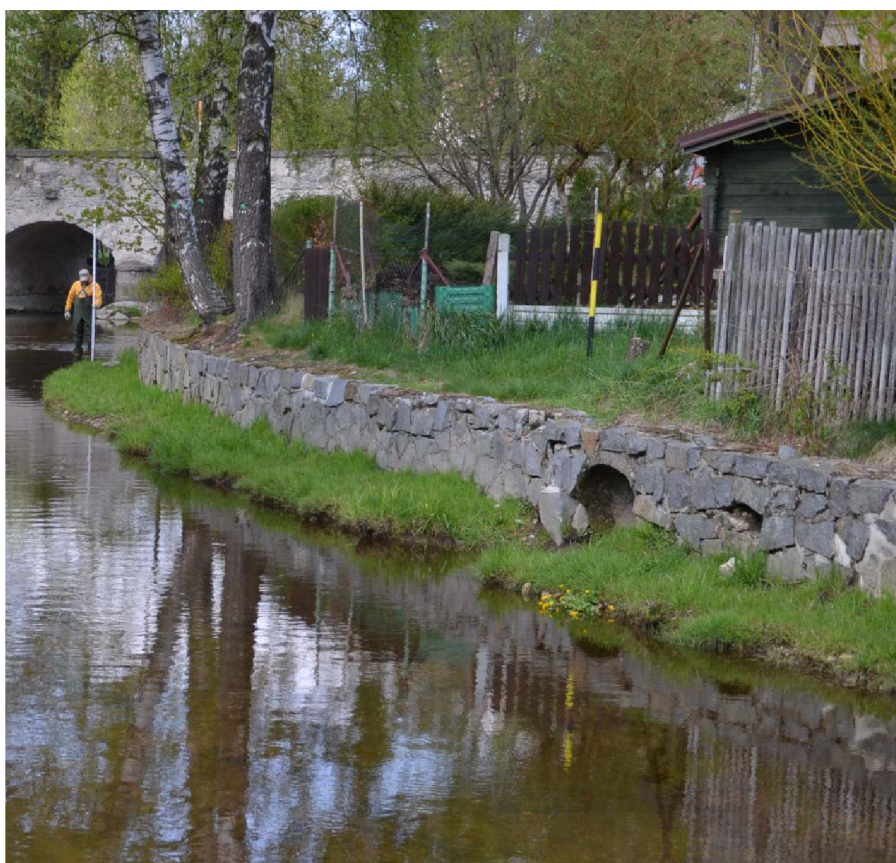
U kamenných zídek došlo, vlivem času, k jejich poklesu a místy jsou kameny zídky uvolněny. Na dvou místech dolní části řešeného úseku byla zídka poškozena natolik, že muselo dojít k opravě. Tato místa byla zasypana lomovým kamenem. Avšak i na mnoha dalších místech došlo k vypadnutí jednotlivých kamenů ze zídky nebo k popraskání kamene.

Břehové porosty se podél toku nevyskytují, příčin je hned několik. Hlavním důvodem je nedostatek prostoru v blízkosti koryta. Řeka protéká intravilánem a v těsné blízkosti jsou zahrady. Výjimkou je část toku nad silničním mostem na pravém břehu, kde se břehové porosty vyskytují, ovšem negativem je, že zde rozrušují kamennou zídku.

Koryto toku po provedení soustavné úpravy v 70. letech minulého století bezpečně převedlo průtok $Q = 17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Průtok byl spočítán pomocí programu HEC-RAS a kapacita koryta se tedy pohybovala v rozmezí N-letých průtoků $Q_1 - Q_5$. Stávající příčný profil však bezpečně převede pouze průtok $Q = 10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. K mírnému vybřežení dojde při průtoku $Q = 12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, kdy se řeka rozlije, ve vzdálenosti cca 3 m od toku, do přilehlých zahrad právě v místech, kde došlo k poklesům zídky, konkrétně v ř. km 166,967, 166,915 a 167,000. Hloubka vylité vody je do 0,15 m. Menší kapacita profilu je způsobena usazeninami.



Obrázek 14: Řasa a růst vegetace v ř. km 167,074



Obrázek 15: Uvolnění kamene, porušení zidky okolo vyústění bet. trubky, rok 2011, ř. km166,879 (foto Uhmánová)



Obrázek 16: Rozpraskání zidky a prorůstání vegetace, rok 2015, ř. km 166,897



Obrázek 17: Oprava pravého břehu, pohled proti proudu, rok 2015, ř. km 166,678



Obrázek 18: Oprava pravého břehu v roce 2015, pohled proti proudu, ř. km 166,607

4. Hydrotechnické výpočty

4.1. Průtoky

Hydrologická data, charakterizující N-leté a m-denní průtoky (viz Tabulka 1, Tabulka 2), jsou již přes 20 let starými údaji. Z tohoto důvodu byly provedeny kontrolní výpočty odtoku z dílčích povodí pomocí několika různých metod.

Informace o průtocích lze získat z pravidelných měření, která provádí ČHMÚ nebo je lze vypočítat pomocí níže použitých metod. Metody jsou založeny na předpovědi chování dešťových srážek v povodí. Řešená lokalita se skládá z dílčích povodí, která jsou z víc než 90 % zalesněna.

Při řešení musíme zohlednit několik po sobě jdoucích bodů, přítoků, které nám tok ovlivňují. Před obcí Herálec se stýkají dílčí povodí řeky Svratky, přesněji dvě rozvodnice 4. řádu. Povodí číslo 4-15-01-010-0-0, je povodí od pramene řeky Svratky po ř. km 167,774, s rozlohou 1085 ha, a povodí potoku Břimovka, číslo 4-15-01-0020-0-00, od pramene potoka Břimovka po soutok s řekou Svratkou v ř. km 167,774, o rozloze 1063 ha.

Přesnost níže vypočtených hodnot spadá do IV. kategorie, tzn. možná odchylka je až 60 %.

4.1.1. Metoda podle Čerkašina

Metoda dle Čerkašina nám dává návrhový diagram povodně. Jak již bylo výše zmíněno, jedná se o dvě dílčí povodí, která mají závěrný profil ve stejném místě. Výpočet byl tedy proveden pro každé povodí zvlášť, výsledný průtok je pak součtem průtoků z dílčích povodí.

Dílčí povodí 1: Výpočet pro řeku Svratku od pramene k soutoku s řekou Břimovkou.

Průměrný sklon toku v povodí:

$$J = \frac{\Delta H}{L} = \frac{773-641,8}{6530} = 2,01\%, \quad (1)$$

kde ΔH je převýšení od pramene po ř. km 167,774 v metrech a L délka toku v metrech.

Objemový součinitel odtoku je podíl mezi spadlým a skutečně odečteným objemem z povodí. Určuje se z mapy izolinií pro ČR, námi zkoumaná lokalita se nachází na izolinii s objemovým součinitelem: $C_{obj} = 0,8 [-]$.

Střední rychlost doběhu v_s se určí podle sklonu a procenta zalesnění. Zalesněná část zakrývá 92 % plochy povodí, $v_s = 0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Doba trvání kritického deště t' je doba doběhu kapky deště z hydraulicky nejvzdálenějšího profilu

$$t = t' = \frac{L}{v_s} = \frac{6530}{0,8} = 8162,5 \text{ s} = 136,04 \text{ min} = 2,27 \text{ hod}, \quad (2)$$

kde t je doba odtoku v minutách.

Srážkový úhrn během doby trvání kritického deště je určený z Truplovy přibližné závislosti pro opakování $N = 100$ let.

$$h = 14,5 \cdot \sqrt[3]{t'} = 14,5 \cdot \sqrt[3]{136,04} = 74,57 \text{ mm}. \quad (3)$$

Maximální povodňový průtok Q_{100} závisí na ploše povodí P v km^2 , na koeficientu tvaru povodí p , který se odečítá z grafu, rychlosti doběhu v_s v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ a délce údolnice L v km.

$$Q_{S100} = \frac{24,7 \cdot C_{obj} \cdot P \cdot v_s^2}{p \cdot \sqrt[3]{L^2}} = \frac{24,7 \cdot 0,6 \cdot 10,85 \cdot 0,8^2}{1 \cdot \sqrt[3]{6,53^2}} = 39,66 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Dílčí povodí 2: Výpočet pro Břimovku

$$J = \frac{\Delta H}{L} = \frac{758-641,8}{6217} = 1,87\% \quad (5)$$

kde ΔH je převýšení od pramene po ř. km 167,774 v metrech a L délka toku v metrech. $C_{obj} = 0,6 [-]$, $v_s = 0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

$$t = t' = \frac{L}{v_s} = \frac{6217}{0,6} = 12434 \text{ s} = 207,23 \text{ min} = 3,45 \text{ hod} \quad (6)$$

$$h = 14,5 \cdot \sqrt[3]{t'} = 14,5 \cdot \sqrt[3]{207,23} = 85,81 \text{ mm} \quad (7)$$

$$Q_{B100} = \frac{24,7 \cdot C_{obj} \cdot P \cdot v^{\frac{2}{3}}}{p \cdot \sqrt[3]{L^2}} = \frac{24,7 \cdot 0,6 \cdot 10,63 \cdot 0,6^{\frac{2}{3}}}{1 \cdot \sqrt[3]{6,217^2}} = 29,36 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (8)$$

Součtem průtoků z jednotlivých povodí dostáváme průtok celkový.

$$Q_{100} = Q_{S100} + Q_{B100} = 39,66 + 29,36 = 69,02 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (9)$$

Výpočet čáry opakování je podle vztahu

$$Q_N = Q_{100} \cdot \alpha_N, \quad (10)$$

kde α_N je součinitel závislý na sklonu a lesnatosti povodí.

Tabulka 6: N-leté průtoky pro zalesněná svažítá povodí

N/rok	1	2	5	10	20	50	100
α_N	0,12	0,18	0,28	0,39	0,53	0,7	1
$Q_n [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	8,28	12,42	19,32	26,92	36,58	48,31	69,02

4.1.2. Intenzitní vzorec

Postup je závislý na určení intenzity srážek a odtokového součinitele ϕ , který redukuje množství vody odtékajícího z povrchu do vodního toku podle sklonu a druhu povrchu.

Tabulka 7: Druhy ploch a jejich součinitelé odtoku

Druh povrchu	Odtokový součinitel [-]	Plocha [ha]	% plochy
Lesy	0,05	1975,57	91,97%
Louky, pole	0,05	145,6	6,78%
Hřiště	0,1	1,13	0,05%
Zastavěná plocha	0,9	5,8	0,27%
Silnice	0,8	19,9	0,93%
	Celkem	2148	

Tabulka 8: Intezity deště dle Josefa Trupla, stanice Seč[26]

Trvání deště t [min]	Vydatnost deště i [$l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$] za dobu t při periodicitě n						
	5	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05
5	137	205	268	330	415	480	543
10	85	137	183	232	299	349	398
15	63,9	104	139	177	229	269	308
20	50,8	83,3	113	143	185	218	249
30	37,5	61,2	82,8	105	136	160	183
40	30,2	49,2	66,2	84,3	109	128	147
60	21,7	35,6	47,8	60,9	78,9	82,8	107
90	15,6	25,7	34,4	43,7	56,7	66,8	76,8
120	12,3	20,2	27,2	34,3	44,9	52,8	60,8

Průtok se pak určí jako součin: $Q = \sum S \cdot \varphi \cdot i = 39,21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,

kde: S plocha povodí [ha];
 φ odtokový součinitel [-];
i intenzita srážek [$l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$].

4.2. Srovnání vývoje kapacity příčných profilů

Kapacita koryta toku byla stanovena pomocí programu HEC-RAS v různých variantách výpočtu, pro jednotlivá období v roce 1972, 1992, 2011 a 2012.

Proudění v řešeném úseku toku Svratky je charakterizováno jako proudění říční. Z toho vyplývá, že okrajová podmínka pro výpočet průběhů hladin byla zasazena do dolního profilu, v ř. km 166,563. Potřebná hloubka vody v dolním profilu byla vypočítána za předpokladu ustáleného rovnoměrného proudění při podélném sklonu dna 2,1 ‰.

Nezbytná geometrická data řešeného úseku byla získána ze zaměření řešeného úseku z let 1990, 2011, 2012. Podstatnou informaci nám poskytl návrh z roku 1972.

Drsnost dna koryta je určena z křivky zrnitosti, která byla převzata z podkladů jiné bakalářské práce, kdy zorek zeminy pro určení drsnosti byl odebrán během výuky v terénu v roce 2011. Velikost efektivního zrna je $d_{ef} = 20,03 \text{ mm}$ a 90% propad zrna je $d_{90} = 39,95 \text{ mm}$. Výpočet drsnosti dna je dle vztahů:

$$n_1 = \frac{d_{ef}^{\frac{1}{6}}}{21,1} = \frac{0,02003}{21,1} = 0,025 \quad (11)$$

$$n_2 = \frac{d_{90}^{\frac{1}{6}}}{26} = \frac{0,03995}{26} = 0,023 \quad (12)$$

$$n_d = \frac{n_1 + n_2}{2} = \frac{0,025 + 0,023}{2} = 0,024 \quad (13)$$

K určení drsnosti kamenných zídek byly použity tabulky drsností povrchů.

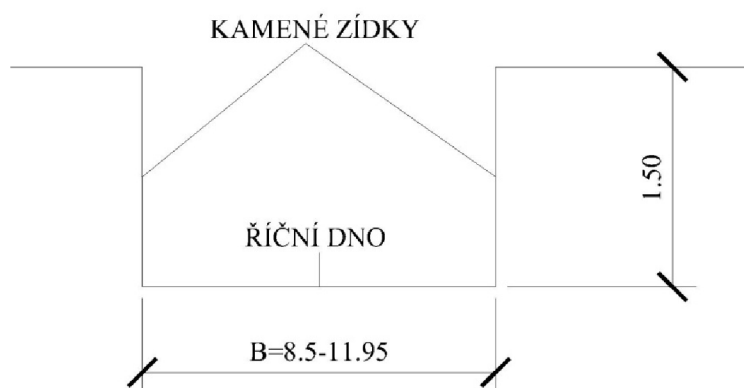
Tabulka 9: Hodnoty Manningova drsnostního součinitele n pro otevřená koryta a trubní profily [15]

Druh koryta a jeho popis	Drsnostní součinitel n		
	minimální	střední	maximální
Kamenné opevnění			
Dlažby s vylitím spár cementovou maltou	0,017	0,025	0,03
Dlažby na sucho	0,023	0,032	0,035

K výpočtu průtoku pro rok 1972 byl zvolen, pro nově provedenou kamennou zídku, drsnostní součinitel $n = 0,02$, povrch byl charakterizován jako kamenná dlažba do betonu bez velkých nerovností.

K výpočtům z pozdějších let (1990 až 2012) je použito součinitele $n = 0,025$. Důvodem zvýšení součinitele je, že během let se ze zídky začali uvolňovat kameny, je prorůstána porosty a vzniklé praskliny ve spárách zídky jsou bez cementové malty. Bermy vzniklé z usazení mají drsnost $n = 0,035$.

4.2.1. Rok 1972



Obrázek 19: Schématický řez korytem z roku 1972

Z důvodu nedostupnosti hydrologických dat z realizace úpravy řeky Svratky, bylo použito hydrologických dat z roku 1991. Vzhledem k charakteru geologického podloží a pedologie je uvažováno s tím, že drsnost dna koryta je totožná s aktuální drsností, tedy $n_d = 0,025$. Drsnost kamenných zídek je $n = 0,02$.

Tabulka 10: Výpočet kapacity koryta pro rok 1972

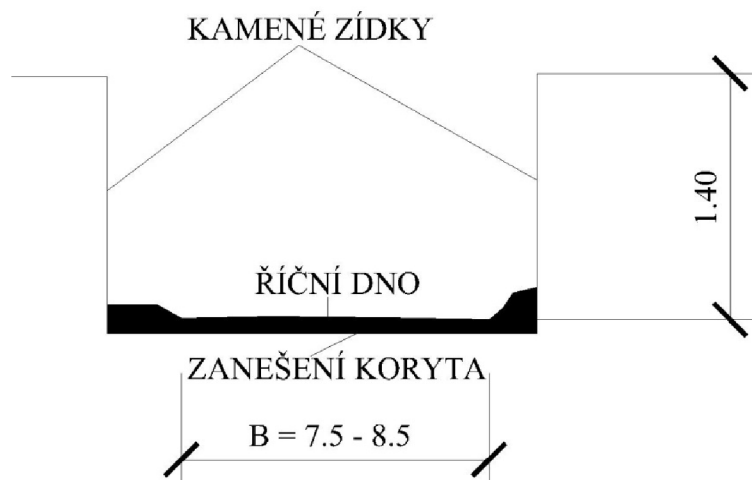
Říční staniční	Celkový průtok Q (m ³ .s ⁻¹)	Dno (m)	Hadina (m)	Průtočná plocha (m ²)	Levý břeh (m)	Pravý břeh (m)	Vybřežení	
							L. břeh (m)	P. břeh (m)
167,073	17,00	637,88	638,89	10,42	638,98	638,98	0,09	0,09
167,028	17,00	637,78	638,79	9,47	638,92	638,89	0,13	0,10
166,997	17,00	637,71	638,74	9,69	638,78	638,77	0,04	0,03
166,976	17,00	637,65	638,70	9,97	638,70	638,77	0,00	0,07
166,954	17,00	637,65	638,63	9,21	638,82	638,82	0,19	0,19
166,950	17,00	637,65	638,61	9,05	638,82	638,82	0,21	0,21
166,897	17,00	637,50	638,46	8,27	638,59	638,71	0,13	0,25
166,860	17,00	637,42	638,36	8,87	638,72	638,72	0,36	0,36
166,830	17,00	637,34	638,41	15,28	638,77	638,76	0,36	0,35
166,820	17,00	637,34	638,40	15,14	638,77	638,76	0,37	0,36
166,795	17,00	637,29	638,31	10,97	638,68	638,67	0,37	0,36
166,748	17,00	637,19	638,21	10,64	638,68	638,52	0,47	0,31
166,712	17,00	637,12	638,15	10,68	638,60	638,60	0,45	0,45
166,678	17,00	637,05	638,08	10,49	638,56	638,49	0,48	0,41
166,653	17,00	637,00	638,03	10,53	638,51	638,51	0,48	0,48
166,648	17,00	637,00	638,02	10,40	638,51	638,51	0,49	0,49
166,607	17,00	636,91	637,93	10,24	638,39	638,50	0,46	0,57

Vysvětlivky:

Průtok: 12,0 m³.s⁻¹ je Q₁ - jednoletý průtok;
 17,0 10 m³.s⁻¹ je kapacitní průtok, který je příčný profil schopen bezpečně převést.

Ve sloupcích „Vybřežení“ se nachází hodnoty, které udávají výšku hladiny od břehové čáry. Pokud je hodnota kladná, např. 0,30, znamená to, že k vybřežení nedojde, hladina vody je 0,30 m pod břehovou čarou. Naopak v případě záporné hodnoty, např. - 0,30, je hladina vody 0,30 m nad břehovou čarou a dojde k vybřežení.

4.2.2. Rok 1990



Obrázek 20: Schematický řez příčným profilem z roku 1990

Pro rok 1990 byla k výpočtům průtoku určena drsnost zídky $n = 0,025$, hodnota drsnosti dna řeky byla zachována jako pro výpočet z roku 1972, $n_d = 0,025$, drsnost bermy $n_{db} = 0,035$. Pro průtok byly použity hydrologická data z roku 1991.

Tabulka 11: Výpočet kapacity koryta pro rok 1990

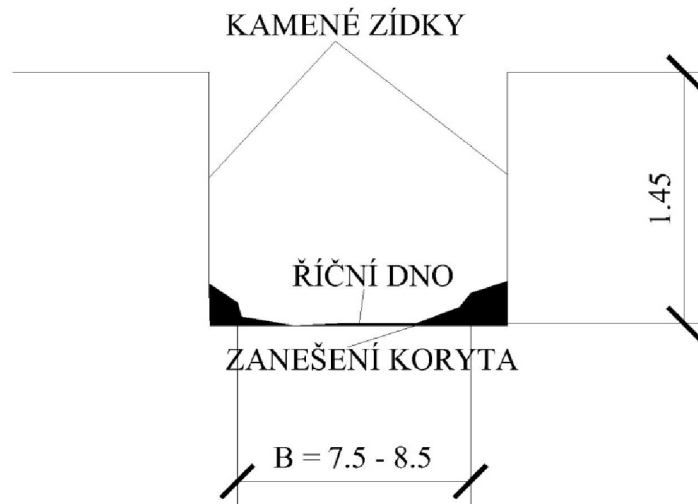
Říční staničení	Celkový průtok Q ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Dno (m)	Hadina (m)	Průtočná plocha (m^2)	Levý břeh (m)	Pravý břeh (m)	Vyběžení	
							L. břeh (m)	P. břeh (m)
167,073	11,60	637,88	638,75	6,99	638,98	638,60	0,23	-0,15
167,028	11,60	637,79	638,68	9,02	638,92	638,69	0,24	0,01
166,967	11,60	637,64	638,63	11,20	638,70	638,64	0,07	0,01
166,897	11,60	637,51	638,54	9,55	638,59	638,71	0,05	0,17
166,860	11,60	637,49	638,50	10,09	638,72	638,70	0,22	0,20
166,820	11,60	637,65	638,48	12,54	638,77	638,76	0,29	0,28
166,748	11,60	637,35	638,42	12,42	638,68	638,85	0,26	0,43
166,712	11,60	637,27	638,39	12,01	638,60	638,48	0,21	0,09
166,678	11,60	637,28	638,36	11,45	638,56	638,49	0,20	0,13
166,653	11,60	637,52	638,31	9,42	638,46	638,46	0,15	0,15
166,607	11,60	637,16	638,21	8,58	638,39	638,45	0,18	0,24

Vysvětlivky:

Průtok: $12,0 m^3 \cdot s^{-1}$ je Q_1 - jednoletý průtok;
 $11,60 m^3 \cdot s^{-1}$ je kapacitní průtok, který je příčný profil schopen bezpečně převést.

Ve sloupcích „Vybřežení“ se nachází hodnoty, které udávají výšku hladiny od břehové čáry. Tedy pokud je hodnota kladná, např. 0,17, znamená to, že k vybřežení nedojde, hladina vody je 0,17 m pod břehovou čarou. Naopak v případě záporné hodnoty, např. - 0,17, je hladina vody 0,17 m nad břehovou čarou a dojde k vybřežení.

4.2.3. Rok 2011



Obrázek 21: Schematický řez příčným profilem z roku 2011

Pro rok 2011 byla k výpočtům průtoků určena drsnost zídky $n = 0,025$, hodnota drsnosti dna řeky byla zachována jako pro výpočet z roku 1972 a 1990, $n_d = 0,025$, drsnost bermy $n_{db} = 0,035$. Pro průtok byly použity hydrologická data z roku 1991.

Tabulka 12: Výpočet kapacity koryta pro rok 2011

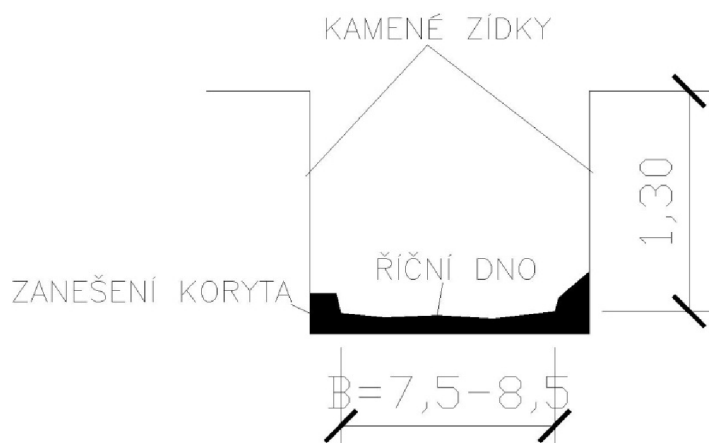
Říční staniční	Celkový průtok Q (m ³ .s ⁻¹)	Dno (m)	Hadina (m)	Průtočná plocha (m ²)	Levý břeh (m)	Pravý břeh (m)	Vybřežení	
							L. břeh (m)	P. břeh (m)
167,074	10,00	637,36	638,48	7,14	637,82	638,28	-0,66	-0,20
167,065	10,00	637,37	638,48	7,88	638,61	638,54	0,13	0,06
167,047	10,00	637,31	638,45	7,66	638,58	638,58	0,13	0,13
167,028	10,00	637,31	638,43	7,60	638,54	638,42	0,11	0,00
167,000	10,00	637,24	638,39	7,85	638,52	638,35	0,13	0,04
166,994	10,00	636,99	638,40	9,09	638,36	638,33	0,04	0,07
166,968	10,00	637,15	638,37	8,71	638,37	638,39	0,01	0,02
166,951	10,00	637,00	638,36	9,21	638,43	638,35	0,07	-0,01
166,930	10,00	636,74	638,35	10,10	638,32	638,32	0,03	0,03
166,915	10,00	637,01	638,33	9,76	638,31	638,34	-0,02	0,01
166,897	10,00	637,07	638,32	9,55	638,29	638,36	0,03	0,04
166,879	10,00	636,95	638,30	9,20	638,38	638,47	0,08	0,17
166,861	10,00	636,81	638,28	9,23	638,43	638,47	0,15	0,19
166,846	10,00	637,16	638,21	7,02	638,41	638,47	0,20	0,26
166,829	10,00	637,31	638,24	11,62	638,48	638,47	0,24	0,23
166,820	10,00	637,14	638,23	12,69	638,44	638,53	0,21	0,30
166,797	10,00	636,98	638,17	8,72	638,43	638,42	0,26	0,25
166,769	10,00	637,01	638,09	7,13	638,41	638,44	0,32	0,35
166,754	10,00	637,03	638,08	7,55	638,44	638,33	0,36	0,25
166,739	10,00	636,98	638,04	7,11	638,35	638,30	0,31	0,26
166,726	10,00	637,08	638,00	6,98	638,37	638,48	0,37	0,48
166,712	10,00	637,04	637,97	6,76	638,36	638,48	0,39	0,51
166,695	10,00	636,96	637,94	7,29	638,27	638,48	0,33	0,54
166,678	10,00	636,90	637,92	7,61	638,26	638,45	0,34	0,53
166,633	10,00	636,82	637,82	6,98	638,22	638,22	0,40	0,40

Vysvětlivky:

Průtok: 12,0 m³.s⁻¹ je Q₁ - jednoletý průtok;
10,0 m³.s⁻¹ je kapacitní průtok, který je příčný profil schopen bezpečně převést.

Ve sloupcích „Vybřežení“ se nachází hodnoty, které udávají výšku hladiny od břehové čáry. Tedy pokud je hodnota kladná, např. 0,11, znamená to, že k vybřežení nedojde, hladina vody je 0,11 m pod břehovou čarou. Naopak v případě záporné hodnoty, např. - 0,05, je hladina vody 0,05 m nad břehovou čarou a dojde k vybřežení.

4.2.4. Rok 2012 stávající stav



Obrázek 22: Schematický řez příčným profilem z roku 2012

Pro rok 2012 byla k výpočtům průtoku určena drsnost zídky $n = 0,025$, hodnota drsnosti dna řeky byla zachována jako pro výpočet z roku 1972, 1990 a 2011, $n_d = 0,025$. Pro průtok byly použity hydrologická data z roku 1991.

Tabulka 13: Výpočet kapacity koryta pro rok 2012

Říční staničení	Celkový průtok Q ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Dno (m)	Hadina (m)	Průtočná plocha (m^2)	Levý břeh (m)	Pravý břeh (m)	Vyběření	
							L. břeh (m)	P. břeh (m)
167,074	10	637,31	638,45	9,81	638,57	638,67	0,12	0,22
167,065	10	637,3	638,44	9,98	638,57	638,59	0,12	0,14
167,047	10	637,44	638,37	7,01	638,67	638,7	0,31	0,33
167,028	10	637,3	638,34	7,38	638,68	638,54	0,34	0,2
167,000	10	637,14	638,33	9,54	638,44	638,39	0,11	0,06
166,994	10	636,93	638,32	9,22	638,4	638,52	0,08	0,2
166,968	10	637,2	638,29	8,69	638,45	638,46	0,16	0,17
166,951	10	637,13	638,27	8,49	638,55	638,47	0,28	0,2
166,93	10	637,02	638,23	7,88	638,37	638,42	0,14	0,19
166,915	10	637,09	638,23	9,13	638,27	638,4	0,04	0,17
166,897	10	637,09	638,2	8,61	638,25	638,36	0,05	0,16
166,879	10	637,12	638,15	7,54	638,41	638,5	0,25	0,34
166,861	10	637,12	638,13	8,07	638,49	638,48	0,36	0,35
166,846	10	637,23	638,11	8,1	638,42	638,45	0,31	0,34
166,829	10	637,28	638,1	9,25	638,49	638,47	0,39	0,37
166,82	10	637,16	638,08	11,16	638,52	638,45	0,44	0,37
166,797	10	637,09	638,03	8,86	638,49	638,5	0,46	0,47
166,769	10	637,05	637,98	8,27	638,43	638,47	0,45	0,48

Pokračování tabulky 13

Říční staničení	Celkový průtok Q (m ³ .s ⁻¹)	Dno (m)	Hadina (m)	Průtočná plocha (m ²)	Levý břeh (m)	Pravý břeh (m)	Vybřežení	
							L. břeh (m)	P. břeh (m)
166,754	10	637,03	637,96	8,1	638,47	638,39	0,51	0,43
166,739	10	637,05	637,92	7,41	638,37	638,38	0,46	0,46
166,726	10	637,07	637,89	7,57	638,37	638,35	0,48	0,46
166,712	10	637,02	637,87	7,84	638,36	638,26	0,49	0,39
166,695	10	637	637,84	7,75	638,29	638,38	0,44	0,54
166,678	10	636,94	637,82	7,98	638,27	638,34	0,45	0,52
166,654	10	636,97	637,75	7,32	638,26	638,33	0,51	0,58
166,633	10	636,84	637,71	7,16	638,2	638,22	0,49	0,45

Vysvětlivky:

Průtok: 12,0 m³.s⁻¹ je Q₁ - jednoletý průtok;
10,0 m³.s⁻¹ je kapacitní průtok, který je příčný profil schopen bezpečně převést.

Ve sloupcích „Vybřežení“ se nachází hodnoty, které udávají výšku hladiny od břehové čáry. Tedy pokud je hodnota kladná, např. 0,11, znamená to, že k vybřežení nedojde, hladina vody je 0,11 m pod břehovou čarou. Naopak v případě záporné hodnoty, např. - 0,05, je hladina vody 0,05 m nad břehovou čarou a dojde k vybřežení.

4.2.5. Srovnání kapacit koryta

Porovnáním vypočtených dat pro jednotlivá období zjistíme, že jako nejkapacitnější příčný profil byl profil z roku 1972 s celkový kapacitním průtokem Q = 17,0 m³.s⁻¹. Postupem času dochází ke snížení kapacity koryta vlivem zanášení dna splaveninami. Kapacita toku pro zaměření z roku 1990 je 11,6 m³.s⁻¹. Kapacita řešeného úseku pro roky 2011 a 2012 je 10,0 m³.s⁻¹.

Porovnáním výškových kót dna se zjistilo, že např. dno, které mělo v roce 1972, v ř. km 166,653, nadmořskou výšku 637,00 m, bylo do roku 1992 zaneseno natolik, že se výška dna zvedla o 0,18 m, tedy na nadmořskou výšku 637,18 m. Hodnota 0,18 m je průměr výšky splavenin po celé délce posuzovaného úseku řeky.

Po prohrábkách v roce 1992, 2001 a 2009 bylo dno prohloubeno o cca 0,2 m oproti stavu z 1972, tedy v ř. km 166,653 byla nadmořská výška dna koryta v 636,98 m. Současný tok je tedy hlubší než tok v roce 1972, nicméně stále se v toku usazují splaveniny, které zanáší příčný profil od kamenných zídek směrem k ose toku. Takto vznikají bermy, které zmenšují příčný profil a tím i kapacitní průtok.

Hydrologická data byla ověřena výpočty z kapitoly 4.1 Průtoky.

4.3. Posouzení stability dna

Průzkumem řešeného úseku nebyly zjištěny žádné deformace v blízkosti paty kamenných zídek, bylo tedy provedeno pouze posouzení stability dna, respektive byl zjištěn průtok, při kterém dojde k porušení stability dna.

Pro posouzení stability dna koryta potřebujeme znát Chézyho rychlostní součinitel a velikost efektivního zrna.

Pro získání hodnoty rychlostního součinitele, je třeba dopočítat jednotlivé veličiny.

Plocha průtočného profilu S obdélníkového koryta v m^2 .

$$S = b \cdot h \quad (14)$$

Omočený obvod O v metrech.

$$O = b + 2 \cdot h \quad (15)$$

Hydraulický poloměr R v metrech.

$$R = \frac{S}{O} \quad (16)$$

Drsnost omočeného obvodu určíme váženým průměrem jednotlivých drsností a k nim náležejících délek omočeného povrchu.

$$n = \frac{n_1 \cdot O_1 + n_2 \cdot O_2 + \dots + n_i \cdot O_i}{\Sigma O} \quad [-] \quad (17)$$

Chézyho rychlostní součinitel C v $m^{0,5} \cdot s^{-1}$.

$$C = \frac{1}{n} \cdot \sqrt{R} \quad (18)$$

Rychlost proudění v v $m \cdot s^{-1}$.

$$v = c \cdot \sqrt{R \cdot i} \quad (19)$$

Průtok Q v příčném profilu, v $m^3 \cdot s^{-1}$.

$$Q = S \cdot v \quad (20)$$

Vymílací rychlost v_v v $m \cdot s^{-1}$.

$$v_v = C \cdot \sqrt{0,047 \cdot 1,65 \cdot d_{ef}} \quad (21)$$

Rozdílem vymílací rychlosti a rychlosti proudění vody získáme hodnotu, z které lze posoudit stabilitu dna koryta. Pokud je tato hodnota záporná, koryto je stabilní, kladná hodnota ukazuje na koryto nestabilní. Pokud je tento rozdíl rychlostí roven nule, pro stabilní dno odečteme kapacitní průtok z grafu průtočného profilu a rychlostí, či z tabulky s výpočtem stability dna koryta.

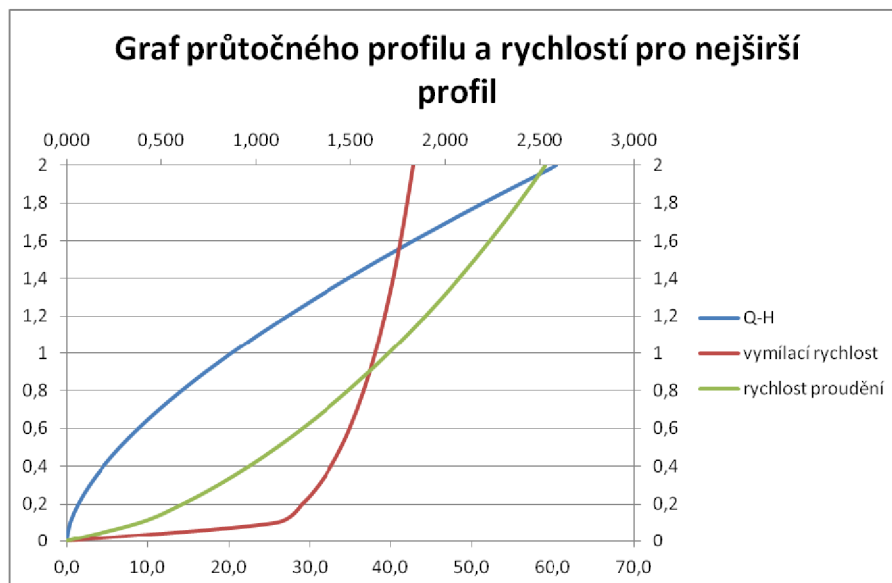
4.3.1. Rok 1972

Stabilita dna koryta byla počítána pro nejširší a nejužší profil v řešeném úseku. Navrhovaný stav z roku 1972 je stabilní až do průtoku $Q = 17,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a výšky hladiny $h = 0,90 \text{ m}$. Stabilita dna byla navržena na jednoletý povodňový průtok.

Výpočet stability dna pro nejširší profil, rok 1972

Tabulka 14: Porušení stability dna při platnosti $v = v_v$

n_d	0,025	(-)	i	0,0021	(-)				
n_s	0,02	(-)							
b	11,95	(m)							
h	S	O	R	n	C	v	Q	v_v	$v - v_v$
(m)	(m^2)	(m)	(m)	(-)	($\text{m}^{0,5} \cdot \text{s}^{-1}$)	($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
0	0	11,95	0,000	0,025	0,000	0,000	0,0	0,000	0,000
0,1	1,195	12,15	0,098	0,025	27,266	0,392	0,5	1,107	-0,715
0,2	2,39	12,35	0,194	0,025	30,620	0,617	1,5	1,243	-0,626
0,3	3,585	12,55	0,286	0,025	32,775	0,803	2,9	1,331	-0,528
0,4	4,78	12,75	0,375	0,025	34,398	0,965	4,6	1,397	-0,431
0,5	5,975	12,95	0,461	0,025	35,713	1,112	6,6	1,450	-0,338
0,6	7,17	13,15	0,545	0,025	36,826	1,246	8,9	1,495	-0,249
0,7	8,365	13,35	0,627	0,024	37,795	1,371	11,5	1,534	-0,163
0,8	9,56	13,55	0,706	0,024	38,654	1,488	14,2	1,569	-0,081
0,9	10,755	13,75	0,782	0,024	39,428	1,598	17,2	1,601	-0,003
1	11,95	13,95	0,857	0,024	40,132	1,702	20,3	1,629	0,073
1,1	13,145	14,15	0,929	0,024	40,780	1,801	23,7	1,656	0,146
1,2	14,34	14,35	0,999	0,024	41,379	1,896	27,2	1,680	0,216
1,3	15,535	14,55	1,068	0,024	41,938	1,986	30,8	1,703	0,283
1,4	16,73	14,75	1,134	0,024	42,461	2,072	34,7	1,724	0,348
1,5	17,925	14,95	1,199	0,024	42,952	2,155	38,6	1,744	0,411

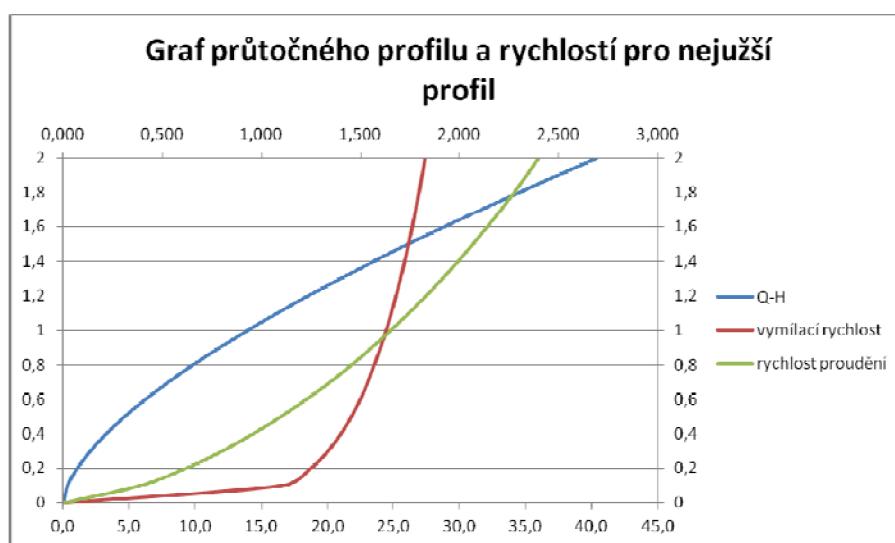


Obrázek 23: Graf průtočného profilu a rychlostí pro nejširší profil

Výpočet stability dna pro nejužší profil, rok 1972

Tabulka 15: Porušení stability dna při platnosti $v = v_v$

n_d	0,025	(-)	i	0,0021	(-)				
n_s	0,02	(-)							
b	8,41	(m)							
h	S	O	R	n	C	v	Q	v_v	$v - v_v$
(m)	(m^2)	(m)	(m)	(-)	($m^{0,5} \cdot s^{-1}$)	($m \cdot s^{-1}$)	($m^3 \cdot s^{-1}$)	($m \cdot s^{-1}$)	($m \cdot s^{-1}$)
0	0	8,41	0,000	0,025	0,000	0,000	0,0	0,000	0,000
0,1	0,841	8,61	0,098	0,025	27,272	0,391	0,3	1,107	-0,717
0,2	1,682	8,81	0,191	0,025	30,631	0,613	1,0	1,244	-0,630
0,3	2,523	9,01	0,280	0,025	32,791	0,795	2,0	1,331	-0,536
0,4	3,364	9,21	0,365	0,025	34,417	0,953	3,2	1,397	-0,444
0,5	4,205	9,41	0,447	0,024	35,734	1,095	4,6	1,451	-0,356
0,6	5,046	9,61	0,525	0,024	36,848	1,224	6,2	1,496	-0,272
0,7	5,887	9,81	0,600	0,024	37,816	1,342	7,9	1,535	-0,193
0,8	6,728	10,01	0,672	0,024	38,673	1,453	9,8	1,570	-0,117
0,9	7,569	10,21	0,741	0,024	39,444	1,556	11,8	1,601	-0,045
1	8,41	10,41	0,808	0,024	40,145	1,654	13,9	1,630	0,024
1,1	9,251	10,61	0,872	0,024	40,788	1,745	16,1	1,656	0,089
1,2	10,092	10,81	0,934	0,024	41,382	1,832	18,5	1,680	0,152
1,3	10,933	11,01	0,993	0,024	41,934	1,915	20,9	1,702	0,212
1,4	11,774	11,21	1,050	0,024	42,449	1,994	23,5	1,723	0,270
1,5	12,615	11,41	1,106	0,024	42,933	2,069	26,1	1,743	0,326



Obrázek 24: Graf průtočného profilu a rychlostí pro nejužší profil

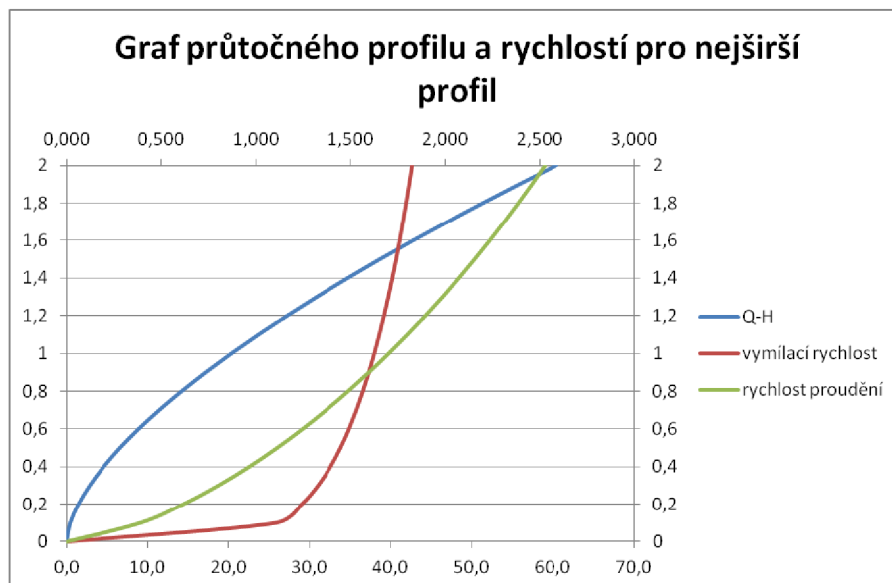
4.3.2. Rok 2012 - současný stav

Stabilita dna koryta byla počítána pro nejširší a nejužší profil v řešeném úseku. Současný stav koryta vykazuje stabilitu dna až do průtoku $Q = 14,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ s výškou hladiny $h = 1,0 \text{ m}$. Aktuální stav dna vyhovuje na požadavky stability při jednoletém povodňovém průtoku.

Výpočet stability dna pro nejširší profil, rok 2012

Tabulka 16: Porušení stability dna při platnosti $v = v_v$

n_d	0,025	(-)	b_k	5,9	(m)				
n_s	0,025	(-)	h_k	0,17	(m)				
n_b	0,035	(-)	b_{berm}	3,03	(m)	i	0,0021	(-)	
h	S	O	R	n	C	v	Q	v_v	$v - v_v$
(m)	(m^2)	(m)	(m)	(-)	($\text{m}^{0,5} \cdot \text{s}^{-1}$)	($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
0	0	5,9	0,000	0,025	0,000	0,000	0,0	0,000	0,000
0,1	0,59	6,1	0,097	0,025	27,101	0,386	0,2	1,100	-0,714
0,17	1,003	6,24	0,161	0,025	29,495	0,542	0,5	1,197	-0,656
0,2	1,3615	12,35	0,110	0,030	23,160	0,352	0,5	0,940	-0,588
0,3	2,5565	12,55	0,204	0,030	25,723	0,532	1,4	1,044	-0,512
0,4	3,7515	12,75	0,294	0,030	27,418	0,682	2,6	1,113	-0,432
0,5	4,9465	12,95	0,382	0,030	28,707	0,813	4,0	1,165	-0,352
0,6	6,1415	13,15	0,467	0,030	29,757	0,932	5,7	1,208	-0,276
0,7	7,3365	13,35	0,550	0,030	30,646	1,041	7,6	1,244	-0,203
0,8	8,5315	13,55	0,630	0,029	31,420	1,143	9,7	1,276	-0,133
0,9	9,7265	13,75	0,707	0,029	32,107	1,237	12,0	1,304	-0,066
1	10,9215	13,95	0,783	0,029	32,724	1,327	14,5	1,329	-0,002
1,1	12,1165	14,15	0,856	0,029	33,286	1,412	17,1	1,351	0,060
1,2	13,3115	14,35	0,928	0,029	33,802	1,492	19,9	1,372	0,120
1,3	14,5065	14,55	0,997	0,029	34,279	1,568	22,8	1,392	0,177
1,4	15,7015	14,75	1,065	0,029	34,722	1,642	25,8	1,410	0,232
1,5	16,8965	14,95	1,130	0,029	35,137	1,712	28,9	1,427	0,285



Obrázek 25: Graf průtočného profilu a rychlostí pro nejširší profil

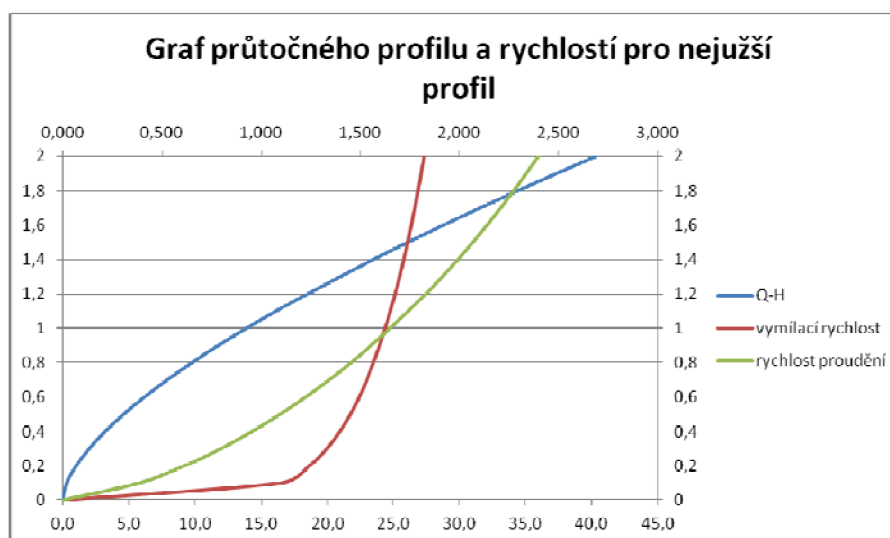


Obrázek 26: Velikost zrn v širokých profilech ř. km 166,633

Výpočet stability dna pro nejužší profil, rok 2012

Tabulka 17: Porušení stability dna při platnosti $v = v_v$

n_d	0,025	(-)	b_k	6,55	(m)				
n_s	0,025	(-)	h_k	0,3	(m)				
n_b	0,035	(-)	b_{berm}	0,93	(m)	i	0,0021	(-)	
h	S	O	R	n	C	v	Q	v_v	$v - v_v$
(m)	(m ²)	(m)	(m)	(-)	(m ^{0,5} ·s ⁻¹)	(m·s ⁻¹)	(m ³ ·s ⁻¹)	(m·s ⁻¹)	(m·s ⁻¹)
0	0	6,55	0,000	0,025	0,000	0,000	0,0	0,000	0,000
0,1	0,655	6,75	0,097	0,025	27,115	0,387	0,3	1,101	-0,714
0,2	1,31	6,95	0,188	0,025	30,288	0,603	0,8	1,230	-0,627
0,3	1,965	7,15	0,275	0,025	32,253	0,775	1,5	1,309	-0,535
0,4	2,806	9,21	0,305	0,027	30,359	0,768	2,2	1,233	-0,465
0,5	3,647	9,41	0,388	0,027	31,652	0,903	3,3	1,285	-0,382
0,6	4,488	9,61	0,467	0,027	32,701	1,024	4,6	1,328	-0,304
0,7	5,329	9,81	0,543	0,027	33,585	1,134	6,0	1,364	-0,229
0,8	6,17	10,01	0,616	0,027	34,348	1,236	7,6	1,394	-0,159
0,9	7,011	10,21	0,687	0,027	35,019	1,330	9,3	1,422	-0,092
1	7,852	10,41	0,754	0,027	35,618	1,418	11,1	1,446	-0,028
1,1	8,693	10,61	0,819	0,027	36,158	1,500	13,0	1,468	0,032
1,2	9,534	10,81	0,882	0,027	36,649	1,577	15,0	1,488	0,089
1,3	10,375	11,01	0,942	0,027	37,099	1,650	17,1	1,506	0,144
1,4	11,216	11,21	1,001	0,027	37,514	1,720	19,3	1,523	0,197
1,5	12,057	11,41	1,057	0,027	37,898	1,785	21,5	1,539	0,247



Obrázek 27: Graf průtočného profilu a rychlostí pro nejužší profil současného stavu



Obrázek 28: Velikost zrna v úzkých profilech ř. km 167,074

4.3.3. Srovnání stability dna mezi rokem 1972 a 2012

Dno posuzované části toku je v obou případech stabilní v rozsahu N-letých průtoků Q_1 - Q_5 . Podle výpočtů je dno stabilní pro větší průtoky a splňuje hydraulickou podmínku:

$$v_u < v < v_v, \quad (22)$$

kde v_u je usazovací rychlost v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, v je rychlost toku v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ a v_v je vymílací rychlost v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Pro průtoky pohybující se v rozmezí m-denních průtoků, přesněji $Q_{m30} = 0,9 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ až $Q_{m90} = 0,45 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, není podmínka ze vzorce č. 22 splněna. Usazovací rychlost při malých průtocích je větší než rychlost proudění, tím se vysvětluje stálé zanášení toku.

Při provedení trasy toku v roce 1972 nebyly dodrženy délky přímých úseků, které by se měli pohybovat mezi

$$4 B - 6 B, \quad (23)$$

kde B je šířka hladiny v korytě při návrhovém průtoku v m. Dochází zde k přirozenému vzniku kynety a usazování sedimentů vlivem malých rychlostí proudu a malým sklonem podélného profilu.



Obrázek 29: Zanesení koryta, pohled proti proudu, rok 2015 ř. km 166,879

4.4. Program HEC-RAS 4.1.0

Program HEC-RAS je program umožňující jednodimenzionální výpočty. Byl vyvinut panem Gary W. Brunnerem a pracovní skupinou CEIWER-HEC. Vývoj programu byl financován ze zdrojů vlády Spojených států amerických, a proto je program volně šiřitelný.

Pomocí programu je možné řešit situace s ustáleným i neustáleným prouděním, transport sedimentů a analýzu kvality vody.

Program zvládá výpočty jednotných toků i složitějších říčních systémů na přírodních i umělých kanálech. Principem výpočtu je metoda po úsecích, energetické ztráty jsou vyjádřeny Manningovou rovnicí.

Vstupními daty jsou geometrická data a okrajové podmínky. Do geometrických dat se zadávají příčné profily a vzdálenosti mezi nimi, drsnosti povrchů a objekty křížící tok. Okrajové podmínky zadáváme dle typu proudění a podle dostupných informací o vodním toku, kterými může být např. známá výška hladiny při daném průtoku nebo Q-h křivka. [27]

5. Ideový návrh stabilizace koryta

V současné době je dno koryta zanešeno splaveninami a je patrná, přirozeně vzniklá, kyneta s bermou. Šířka dna koryta se pohybuje od cca 8,5 do 12 m, šířka dna vzniklé kynety je v rozmezí 7 až 8,5 m. Tok proudí v širokém korytě a výška hladiny nade dnem se pohybuje v rozmezí 0,12 až 0,35 m, to je důvodem vytváření přirozené kynety, ve které se vodní tok stabilizuje.

Vhodným řešením dané problematiky je vybudování obdélníkové kynety do osy toku, kdy paty berem budou provedeny z laťového plůtku.

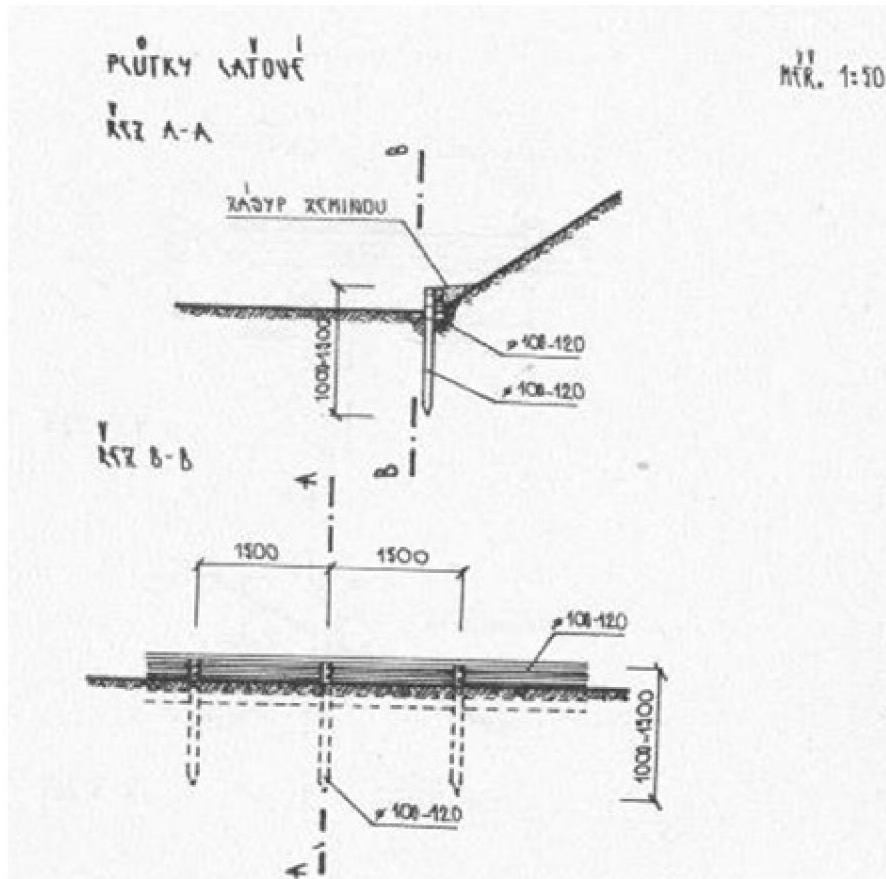
Správce toku při prohrábkách v letech 1992, 2001 a 2009 vždy čistil dno v ose toku, šířka prohrábků však byla vždy příliš velká. Správce toku dává přednost vybudování kynety v ose toku z důvodu jednodušší údržby a respektování jednoduchosti provedení.

Mnou navržený ideový příčný profil umísťuje kynety do osy toku a zmenšuje její šířky. Nová kyneta bude umístěna do osy toku a bude respektovat aktuální přirozený tvar kynety. Menší šířka nově navržené kynety způsobí zvýšení průtočné hladiny a zamezení usazování splavenin.

Z důvodu umístění řešené lokality v intravilánu obce a v CHKO, navrhuji použití laťového plůtku ke stabilizaci paty bermy. Plůtek nenaruší vzhled toku. Detailní provedení v příloze č. 4 Ideový příčný řez.

Šířka nové kynety bude proměnlivá mezi hodnotami 6,50 - 7,50 m. Vzniklé bermy budou mít délku cca 0,90 - 1,30 m. Návrh vychází z dřívějšího provedení laťového plůtku v dané lokalitě, kde byly cca v ř. km 167,800 nalezeny pozůstatky stabilizování paty svahu laťovým plůtkem.

Laťový plůtek se buduje do maximální výšky 0,90 m nade dnem s délkou kolíku 1,90 m, kolík má za úkol kotvit laťový plůtek ke dnu koryta. Vzdálenost mezi kolíky je 1,50 m, jejich průměr se pohybuje v rozmezí 0,10 - 0,12 m. Hradící části jsou latě nebo podélně rozříznuté kulatiny s průměrem 0,10 - 0,12 m. Pro udržení co nejdelší životnosti laťového plůtku je zapotřebí, aby byl z co největší části pod hladinou. Dřevo, které je dlouhodobě ve vodě bez přístupu vzduchu, vydrží mnohem déle než dřevo, které je omýváno vodou.



Obrázek 30: Vzorové řešení laťového plůtku [16]

Během posledních 7 let uvažuje obec Herálec a správce toku o generální opravě kamenných zídek a zvýšení povodňové ochrany obce.

Kamenné zídky, jak již bylo zmíněno v kapitole 3.3 Příčný profil, jsou místy v havarijním stavu. Pokles koruny zídky způsobuje vybřežení řeky z koryta. Vzhledem k popraskání a vydrolení cementové malty se zvýšil součinitel drsnosti z hodnoty 0,02 na hodnotu 0,025. V ideovém návrhu je počítáno i s opravou zídky a zkapacitnění toku.

Dle hlavního plánu povodí, který stanovuje míru ochrany ve vazbě na hodnoty N-letých kulminačních průtoků pro rozptýlenou obytnou zástavbu a souvislou chatovou zástavbu, je povodňová ochrana navrhována na dvacetiletý průtok Q_{20} . Aktuální ochrana obce Herálce, podle výpočtů kapacity koryta z kapitoly 4.2.1, se pohybuje pod hranicí jednoletého průtoky Q_1 . Obec Herálec by dle mého názoru měla být chráněna na vyšší N-letý průtok.

Zvýšení ochrany před povodněmi můžeme dosáhnout přízděním kamenné zídky do požadované výšky, nebo použitím mobilních demontovatelných hliníkových protipovodňových zábran. Řešený tok protéká v intravilánu, vyzdění a navýšení kamenné zídky by narušilo vzhled daného prostředí, proto se přikláním k řešení zvýšení povodňové ochrany pomocí demontovatelných protipovodňových zábran.

Ideový návrh protipovodňové ochrany a zvýšení ochrany před vyššími průtoky navrhuje navýšení zídky o 0,10 až 0,70 m protipovodňovými zábranami. Během zvý-

šených průtoků v korytě a při hrozícím nebezpečí vybřežení, budou instalovány demontovatelné zábrany. Za normálních průtoků bude zachován stávající vzhled koryta.

Nejvyšší protipovodňová zeď je na pravém břehu v ř. km 167,74, nejnižší pak na levém břehu v ř. km 166,633.

Tabulka 18: Návrh protipovodňové ochrany $Q_{20} = 25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Říční staničení	Celkový průtok Q ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Dno (m)	Hadina (m)	Průtočná plocha (m^2)	Levý břeh (m)	Pravý břeh (m)	Vybřežení	
							L. břeh (m)	P. břeh (m)
167,074	25	637,31	639,23	19,02	638,57	638,67	-0,66	-0,55
167,065	25	637,3	639,2	17,32	638,57	638,59	-0,64	-0,62
167,047	25	637,44	639,11	13,71	638,67	638,7	-0,44	-0,41
167,028	25	637,3	639,09	14,13	638,68	638,54	-0,4	-0,55
167,000	25	637,14	639,08	16,44	638,44	638,39	-0,64	-0,69
166,994	25	636,93	639,07	15,96	638,4	638,52	-0,67	-0,54
166,968	25	637,2	639,03	15,34	638,45	638,46	-0,58	-0,57
166,951	25	637,13	638,97	14,8	638,55	638,47	-0,42	-0,5
166,930	25	637,02	638,91	13,57	638,37	638,42	-0,54	-0,49
166,915	25	637,09	638,91	15,06	638,27	638,4	-0,64	-0,51
166,897	25	637,09	638,87	14,53	638,25	638,36	-0,62	-0,51
166,879	25	637,12	638,82	13,48	638,41	638,5	-0,41	-0,32
166,861	25	637,12	638,8	14,44	638,49	638,48	-0,31	-0,32
166,846	25	637,23	638,8	15,99	638,42	638,45	-0,39	-0,35
166,829	25	637,28	638,81	19,31	638,49	638,47	-0,32	-0,34
166,820	25	637,16	638,79	20,92	638,52	638,45	-0,27	-0,34
166,797	25	637,09	638,72	16,2	638,49	638,5	-0,23	-0,21
166,769	25	637,05	638,66	15,2	638,43	638,47	-0,23	-0,2
166,754	25	637,03	638,64	15,06	638,47	638,39	-0,17	-0,25
166,739	25	637,05	638,61	14,49	638,37	638,38	-0,23	-0,23
166,726	25	637,07	638,59	14,75	638,37	638,35	-0,22	-0,24
166,712	25	637,02	638,57	15,03	638,36	638,26	-0,21	-0,31
166,695	25	637	638,55	15	638,29	638,38	-0,26	-0,16
166,678	25	636,94	638,53	15,3	638,27	638,34	-0,26	-0,19
166,654	25	636,97	638,49	14,87	638,26	638,33	-0,22	-0,15
166,633	25	636,84	638,29	12,94	638,2	638,22	-0,09	-0,07

Vysvětlivky:

Ve sloupcích „Vybřežení“ se nachází hodnoty, které udávají výšku od břehové čáry. Tedy pokud je hodnota kladná, např. 0,11, znamená to, že k vybřežení nedojde, hladina vody je 0,11 m pod břehovou čarou. Naopak v případě záporné hodnoty, např. -0,05, je hladina vody 0,05 m nad břehovou čarou, dojde k vybřežení.

6. Závěrečné hodnocení

Při zpracování dat zaměření zájmové lokality bylo zjištěno, že měření, která proběhla v roce 2011, nejsou zcela úplná. Chybělo zde zaměření levého břehu. Výškové hodnoty pro levý břeh se pak odečítaly problémově z jiného zdroje dat. Tyto hodnoty se v koruně zídky průměrně lišily o 0,20 m, v některých případech byl rozdíl až 0,70 m. Dalším příkladem vytváření nepřesností v datech je ř. km 167,074, kde je kamenná zeď zavázána do terénu a hodnoty zaměření poukazují na fakt, že daný výškový bod nebyl získán z blízkosti zídky ale pravděpodobně z rostlého terénu.

Všechny výpočty byly provedeny i pro rok 2011. Na základě větších rozdílů hodnot a snadnému napadení pravdivosti dat bylo rozhodnuto vyřazení těchto dat ze závěrečného hodnocení. Jejich vypovídací hodnota není dostatečná a zhodnocení těchto dat s daty ostatními lety by nebylo korektní a přesné.

Posouzení zanášení toku a kapacity koryta pro rok 2001 a 2009 nebyly provedeny z důvodu chybějících zaměření. Namísto chybějících dat byly poskytnuty zaměření z let 2011 a 2012.

Pro rok 1972 a 1990 nebyly dostupné hydrologické data. Byla zde použita data z roku 1991, stanovená pro řešený úsek ČHMÚ. Jelikož se jedná o více než 20 let staré údaje, byly provedeny kontrolní výpočty pro získání aktuálnějších hydrologických dat. Mnou vypočtené hodnoty se téměř shodují s hydrologickými daty z roku 1991. Výpočty byly provedeny metodou podle Čerkašina a metodou intenzitních dešťů. Směrodatná odchylka správnosti dat je v tomto případě 60 %. To znamená, že vypočtené hodnoty průtoků se s touto odchylkou mohou překrývat v závislosti N-letosti.

6.1. Závěrečné zhodnocení průtoků

Porovnáním vypočtených dat pro jednotlivá období zjistíme, že jako nejkapacitnější příčný profil byl profil z roku 1972 s celkový kapacitním průtokem $Q = 17,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Postupem času dochází ke snížení kapacity koryta vlivem zanášení dna splaveninami. Kapacita toku pro zaměření z roku 1990 je $11,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Kapacita řešeného úseku je 2012 je $10,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Porovnáním výškových kót dna se zjistilo, že např. dno, které mělo v roce 1972, v ř. km 166,653, nadmořskou výšku 637,00 m, bylo do roku 1992 zaneseno natolik, že se výška dna zvedla o 0,18 m, tedy na nadmořskou výšku 637,18 m. Hodnota 0,18 m je průměr výšky splavenin po celé délce posuzovaného úseku řeky. Současně dochází k poklesu koruny opěrné zídky a tím byla defacto ke snížení kapacity. Zároveň dochází ke zvýšení vrstvy sedimentů v blízkosti opěrných zídek a zmenčování průtočného profilu.

6.2. Závěrečné zhodnocení stability

Hlavním důvodem zanášení koryta je mírný sklon podélného profilu, s tím je spojena skutečnost malých průtočných rychlostí, které dovolí usedání splavenin.

Koryto není kryto stromovým patrem vegetace, dochází tak k prohrátí toku a růstu řas, ty posléze zachytávají splaveniny, které se usazují.

Velká šířka příčného profilu pak ovlivňuje výšku hladiny nade dnem koryta. V horní části toku, kde tok protéká loukami, dochází k boční erozi. Jemná zrna jsou unášena tokem do řešeného úseku řeky, kde právě vlivem malých rychlostí a širokého dna dochází k jejich sedimentaci.

Z porovnání vypočtených dat je patrné, že před pročištěním toku v roce 1990 bylo dno zvednuto sedimenty o 0,30 m.

V roce 1992 proběhlo pročištění v ose toku. V roce 2001 byl tok znovu zanesen a znovu pročištěn. Obdobně tomu bylo i v roce 2009, kdy došlo i k vytvoření berem se šířkou 0,9 - 1,90 m.

V současné době je tok znovu zanesen, ne však v tak velké míře, jak tomu bylo v předešlých letech.

Ze zaměření se zjistilo, že dochází k zanášení řeky a následnému pročištění v jednotlivých dekáдах. Je tedy do budoucna nutné tento trend zohlednit a počítat s údržbou toku ve smyslu pročištění dna od sedimentů.

Řešením této situace, zanášení koryta sedimenty, je výstavba kynety v ose toku. Vytvořením užších kynet dojde ke zvýšení hladiny, to způsobí pomalejší ohřívání vody v toku, znesnadní se tak růst řas.

Zastabilizování paty bermy je laťovým plůtkem, který je z velké části pod vodou.

7. Závěr

V rámci posouzení stavu vodního toku řeky Svratky v intravilánu obce Herálec byly řešeny všechny vytyčené dílčí cíle. Na základě provedených obchůzek v průběhu dvou let byl pozorován vývoj toku. Vlastní pozorování bylo doplněno informacemi získanými od místních obyvatel a od zástupců obecního úřadu. V průběhu sledování toku byla pořízena rozsáhlá fotodokumentace. Posouzení současného stavu toku je popsáno v kap. 4.2.5 bakalářské práce. V současné době je dno koryta opět zanešeno splaveninami a je patrná, přirozeně vzniklá kyneta s bermou. Šířka dna se pohybuje od 7 do 8,5 m.

Dno je i na jaře pokryto řasou a to přesto, že voda není prohřátá a protéká zde větší průtok než v letních měsících.

U kamenných zídek došlo vlivem času k jejich poklesu a místy jsou kameny uvolněny. Na dvou místech dolní části řešeného úseku byla zídka poškozena natolik, že muselo dojít k opravě. Problematická místa byla zasypána lomovým kamenem. Avšak i na mnoha dalších místech došlo k vypadnutí kamenů ze zídky nebo k popraskání kamene.

Břehové porosty se podél toku nevyskytují, příčin je hned několik. Hlavním důvodem je nedostatek prostoru v blízkosti koryta. Řeka protéká intravilánem a v těsné blízkosti jsou zahrady. Výjimkou je část toku nad silničním mostem na pravém břehu, kde se břehové porosty vyskytují, ovšem negativem je, že zde rozrušují kamennou zídku.

Koryto toku po provedení soustavné úpravy v 70. letech minulého století bezpečně převedlo průtok $Q = 17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Průtok byl spočítán pomocí programu HEC-RAS a kapacita koryta se tedy pohybovala v rozmezí N-letých průtoků $Q_1 - Q_5$. Stávající příčný profil však bezpečně převede pouze průtok $Q = 10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. K mírnému vyběření dojde při průtoku $Q = 12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, kdy se řeka rozlije do přilehlých zahrad až do vzdálenosti cca 3 m od toku, hloubka vylité vody je do 0,15 m.

K vylití vody z koryta toku nastane v místech, kde došlo k poklesu kamenné zídky, týká se to ř. km 166,967, 166,915 a 167,000. Menší kapacita profilu je způsobena usazeninami.

Na základě poskytnutých podkladů bylo provedeno posouzení kapacity toku a návrhových parametrů původní provedené úpravy toku. Provedené hydrotechnické výpočty (kapacity původního koryta Tab. 9, ověření stability dna koryta toku kap. 4.2.1) prokazují, že kapacita původního navrženého koryta byla $Q = 17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

V rámci hydrotechnických výpočtů bylo provedeno posouzení kapacity toku před pročištěním toku v roce 1992 a v roce 2012. Výpočet byl proveden na základě dostupných dat o zaměření toku. V rámci řešení práce byly k dispozici data o původní úpravě toku, zaměření toku s nánosy v roce 1990, zaměření toku v roce 2011 a 2012. Zaměření toku v roce 2011 a 2012 bylo provedeno v rámci výuky v terénu studenty VUT – Fast, 3. roč. bakalářského studijního programu, obor Vodní stavby a vodní hospodářství, zaměření Vodní stavby. Z následujícího vyhodnocení a výpočtů vyplynulo, že zaměření toku v roce 2011 není korektní a není možné jej do závěrečného hodnocení použít, i když pro něj byl proveden výpočet a data byla do programu HEC-RAS vložena. Kapacita toku před pročištěním byla v práci publikována pouze pro zaměření toku z roku 1990 a zaměření toku z roku 2012. Uvedené hodnoty kapacity toku po zanesení a před následným pročištěním, jsou uvedeny v hydrotechnických výpočtech v kap. 4.2.4. Z uvedeného vyplývá, že tok po zanesení je schopný převést průtok $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Nejkapacitnější příčný profil byl profil z roku 1972 s celkový průtokem $Q = 17,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Postupem času dochází ke snížení kapacity koryta vlivem zanášení dna splaveninami. Kapacita toku pro stav z roku 1990 je $11,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Dle zadání mělo být provedeno posouzení i pro rok 2001 a 2009, ale pro tyto období nebylo možné zajistit potřebná data o zaměření.

V rámci řešení bakalářské práce bylo provedeno také posouzení příčin zanášení koryta toku, které je uvedeno jednak v hydrotechnických výpočtech – kap. 4.3 a dále pak popsáno v textu v kap. 6.2. Z uvedeného vyplývá, že příčinou zanášení koryta je nerespektování zásad při úpravách toků a nedodržení doporučených hodnot pro přímé úseky, které měli být v rozmezí 48 - 72 m, přímé úseky jsou však mnohem delší. Výpočty bylo prokázáno že tok je stabilní pro jednoletou vodu Q_1 a naopak pro Q_m denní průtoky není koryto stabilní. Podmínka hydraulické nerovnice není splněna a průtoky nevyhovují z hlediska vyšší usazovací rychlosti, než je rychlost proudění v korytě. Je nutné brát také ohled na třídu přesnosti hydrologických dat, jelikož jsou k dispozici data IV. třídy přesnosti a tato data jsou podle ČSN 75-1400 zatížena směrodatnou odchylkou 60 %, viz tabulka č. 3. Nevíme přesně, jakých hodnot N leté průtoky nabývají.

Je vhodné se držet přirozeně vytvořeného tvaru v korytě. Nejvíce problematický úsek je nad a pod historickým mostem, profil je zde příliš široký a bude zde vždy docházet k deformacím koryta a usazování naplavených materiálů.

Mimo stanovené dílčí cíle bakalářské práce bylo provedeno srovnání vývoje podélného profilu koryta, viz příloha č. 7, ze které vyplývá, že došlo ke zmírnění podélného sklonu z 2,1 ‰ na 1,6 ‰. V dolní části řešeného úseku došlo k zvednutí dna o 0,1 m a v horní části k poklesu dna o 0,1 m.

Ideový návrh koryta a opatření, která omezí zanášení toku je zaměřen na jednoduchost řešení a umístění kynety do osy toku. Navržená kyneta má pohyblivou šířku dna, podle šířky koryta, v rozmezí 6,5 až 7,5 m. Paty svahu berem jsou stabilizovány laťovým plůtkem s výškou 0,4 m nade dnem, hladina vody je 0,3 m.

V souladu s hlavním cílem bakalářské práce, kterým bylo posouzení stavu vodního toku řeky Svratky v intravilánu obce Herálec, lze konstatovat, že se změnila kapacita toku vzhledem k původnímu stavu po úpravě toku v roce 1972. Koryto toku je opět zaneseno, opěrné kamenné zídky vyžadují rekonstrukci. Bylo navrženo opatření na zlepšení stavu koryta toku a stabilizaci kynety v ose toku. Pro zvýšení kapacity toku by bylo potřeba navýšit opěrné zídky.

8. Seznam použitých zdrojů

- [1] JANDORA, Jan, Vlastimil STARA a Miloš STARÝ. *Hydraulika a hydrologie*. Vyd. 2., V Akademickém nakladatelství CERM 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 186 s. ISBN 978-80-7204-739-0.
- [2] Trupl, J.: *Intensivity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy*. VÚV Praha, Práce a studie, 1958, sešit 97.
- [3] ŠLEZINGR, Miloslav. *Vegetační doprovod vodních toků a nádrží*. Brno: VUT, 1996, 89 s. ISBN 80-214-0629-1
- [4] M., Šlezigr. (2005). *Revitalizace toků*. Brno
- [5] M., Šlezigr. (1996). *Vegetační doprovod vodních toků a nádrží*. Brno
- [6] JUST, Tomáš. *Revitalizace vodního prostředí: všem, kteří si přejí udělat z příkopů a kanálů zase potoky a řeky*. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, 2003, 144 s. ISBN 80-86064-72-7.
- [7] Zákon 254/2001 Sb., o vodách ve znění dalších předpisů. ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů (1995).
- [8] Praha, H. ú. (1970). *Hydrologické poměry Českomoravské soc. republiky díl III*. Praha

- [9] ČSN 73 6820 Úpravy vodních toků (1973).
- [10] ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod (1990)
- [11] TNV 75 2102 Úpravy potoků (1995).
- [12] TNV 75 2103 Úpravy řek (1998).
- [13] ČSN 75 2130 Křižení a souběhy vod. toků s dráhami, pozem. komunikacemi a vedeními (2000).
- [14] ČSN 75 0120 Vodní hospodářství – Terminologie hydrotechniky (2009)
- [15] Zákon 114/1992 Sb. O ochraně přírody (2015)
- [16] <http://www.cenovasoustava.cz/default.asp?Typ=1&ID=1&BId=1&Pop=1&IDmH=1731304&IDm=1640774&Menu=HSV> [online], [cit. 17-5-2015]
- [17] Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka [online], [cit. 17-2-2015]
Dostupné z: <http://heis.vuv.cz>.
- [18] Český hydrometeorologický ústav [online], [cit. 17-2-2014]
Dostupné z: http://www.chmi.cz/porta/dt?portal_langmenu=JSPTabContainer/P1_0_Home
- [19] Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem [online], [cit. 1-3-2015]
Dostupné z: <http://www.uhul.cz/nase-cinnost/oblastni-plany-rozvoje-lesu/prirodni-lesni-oblasti-plo/174-prirodni-lesni-oblast-c-16-ceskomoravska-vrchovina>
- [20] Gymnázium Vincence Makovského v N. Městě n. Mor. [online], [cit. 1-3-2015]
Dostupné z: <http://gynome.nmm.cz/gisvysociny/index.php?ln=cz&id=3&cat=c&typ=menu>
- [21] http://www.inpocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=svratouch&historie_bar_mesic=4&historie_bar_rok=2015&typ=srazky [online], [cit. 1-3-2015]
- [22] Městský úřad Žďár nad Sázavou [online], [cit. 20-3-2015]
Dostupné z: <http://www.zdarns.cz/zodboru/UAP2010/grafy/>
- [23] Národní geoportál INSPIRE [online], [cit. 20-3-2015]
Dostupné z: <http://geoportal.gov.cz/web/guest/map>
- [24] Obec Herálec [online], [cit. 20-3-2015]
Dostupné z: http://obecheralec.cz/?page_id=8

- [25] Český statistický úřad, [online], [cit. 20-3-2015] Dostupný z :
<https://www.czso.cz/>
- [26] Trupl, J.: Intensity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy. VÚV
 Praha, Práce a studie, 1958, sešit 97.
- [27] HEC-RAS users manual,
 Dostupný z: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_4.1_Users_Manual.pdf

9. Seznam použitých zkratek a symbolů

9.1. Zkratky

CEIWR-HEC	Corps of Engineers Institute for Water;
CHKO	chráněná krajinná oblast;
HEC-RAS	The Hydrologic Engineering - Center's River Analysis System;
KN	katastr nemovitostí;
PF	příčný profil;
ř. km	říční kilometr.

9.2. Symboly

ρ_s	[kg·m ⁻³]	hustota splavenin;
C	[m ^{0,5} ·s ⁻¹]	Chézyho součinitel rychlosti;
d _e	[mm]	velikost efektivního zrna;
d ₉₀	[mm]	90% propad;
d _i	[mm]	průměrná velikost frakce;
n	[-]	drsnostní součinitel;
h	[m]	výška;
Q	[m ³ ·s ⁻¹]	průtok;
Q _m	[m ³ ·s ⁻¹]	m-denní průtok;
Q _N	[m ³ ·s ⁻¹]	N-letý průtok;
O	[m]	omočený obvod;
S	[m ²]	plocha průtočného profilu;
R	[m]	hydraulický poloměr;
v	[m·s ⁻¹]	rychlost proudění;
v _v	[m·s ⁻¹]	vymílací rychlost;
v _u	[m·s ⁻¹]	usazovací rychlost;
v _s	[m·s ⁻¹]	střední rychlost doběhu;
j	[‰]	sklon;
i	[l·s ⁻¹ ·ha ⁻²]	intenzita deště;

c_{obj}	[-]	objemový součinitel odtoku;
t, t'	[min]	doba trvání kritického deště;
L	[km]	délka údolnice;
P	[km ²]	plocha povodí;
α_N	[-]	součinitel závislosti sklonu a lesnatosti povodí;
φ	[-]	odtokový součinitel;
B	[m]	šířka koryta v hladině.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Řešený úsek řeky Svratky v obci Herálec[23].....	11
Obrázek 2: Geomorfologie[23]	13
Obrázek 3: Lesnické poměry[23]	14
Obrázek 4: Struktura zemědělské půdy na celkové výměře okresů kraje Vysočina k 31. 12. 2008[25]	16
Obrázek 5: Vodní zdroje a kvalita vodních zdrojů[17]	17
Obrázek 6: Pohled po proudu v létě 2009 před prohrábkou (foto Uhmánová)	19
Obrázek 7: Pohled po proudu na provedenou prohrábkou v říjnu 2009 (foto Uhmánová)	19
Obrázek 8: Stav zanesení v roce 2015, ř. km 166,951	20
Obrázek 9: Levobřežní přítok potoka Ambrožka, ř. km 166,997	21
Obrázek 10: Pravobřežní přítok Brušoveckého potoka, ř. km 166,739	21
Obrázek 11: Lávka pro pěši - pohled po proudu, ř. km 166,953	22
Obrázek 12: Silniční most - pohled po proudu, ř. km 166,826	22
Obrázek 13: Lávka pro pěši - pohled po proudu, ř. km 166,651	23
Obrázek 14: Řasa a růst vegetace v ř. km 167,074	24
Obrázek 15: Uvolnění kamene, porušení zidky okolo vyústění bet. trubky, rok 2011, ř. km 166,879 (foto Uhmánová)	24
Obrázek 16: Rozpraskání zidky a prorůstání vegetace, rok 2015, ř. km 166,897	25
Obrázek 17: Oprava pravého břehu, pohled proti proudu, rok 2015, ř. km 166,678	25
Obrázek 18: Oprava pravého břehu v roce 2015, pohled proti proudu, ř. km 166,607	26
Obrázek 19: Schematický řez korytem z roku 1972	30
Obrázek 20: Schematický řez příčným profilem z roku 1990	32
Obrázek 21: Schematický řez příčným profilem z roku 2011	33
Obrázek 22: Schematický řez příčným profilem z roku 2012	35
Obrázek 23: Graf průtočného profilu a rychlostí pro nejširší profil	39
Obrázek 24: Graf průtočného profilu a rychlostí pro nejužší profil	40
Obrázek 25: Graf průtočného profilu a rychlostí pro nejširší profil	42
Obrázek 26: Velikost zrn v širokých profilech ř. km 166,633	42
Obrázek 27: Graf průtočného profilu a rychlostí pro nejužší profil současného stavu	43
Obrázek 28: Velikost zrna v úzkých profilech ř. km 167,074	44
Obrázek 29: Zanesení koryta, pohled proti proudu, rok 2015 ř. km 166,879	45
Obrázek 30: Vzorové řešení latového plůtku [16]	47

Seznam tabulek

Tabulka 1: Q_m - m-denní průtoky [18]	12
Tabulka 2: Q_N - N-leté průtoky [18]	12
Tabulka 3: Orientační hodnoty směrodatné chyby dle ČSN 75 1400 pro N-leté průtoky[15]	13
Tabulka 4: Klimatické hodnoty naměřené v meteorologické stanici Svratouch[18].....	15
Tabulka 5: Struktura půdního fondu v obcích SO ORP Žďár nad Sázavou 2013[22]	16
Tabulka 6: N-leté průtoky pro zalesněná svaziťa povodí	28

<i>Tabulka 7: Druhy ploch a jejich součinitelé odtoku</i>	28
<i>Tabulka 8: Intezity deště dle Josefa Trupla, stanice Seč[26]</i>	29
<i>Tabulka 9: Hodnoty Manningova drsnostního součinitele n pro otevřená koryta a trubní profily [15]</i>	30
<i>Tabulka 10: Výpočet kapacity koryta pro rok 1972</i>	31
<i>Tabulka 11: Výpočet kapacity koryta pro rok 1990</i>	32
<i>Tabulka 12: Výpočet kapacity koryta pro rok 2011</i>	34
<i>Tabulka 13: Výpočet kapacity koryta pro rok 2012</i>	35
<i>Tabulka 14: Porušení stability dna při platnosti $v = v_v$</i>	38
<i>Tabulka 15: Porušení stability dna při platnosti $v = v_v$</i>	40
<i>Tabulka 16: Porušení stability dna při platnosti $v = v_v$</i>	41
<i>Tabulka 17: Porušení stability dna při platnosti $v = v_v$</i>	43
<i>Tabulka 18: Návrh protipovodňové ochrany $Q_{20} = 25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$</i>	48

10. Seznam příloh

Příloha č. 1 Situace současný stav měřítko 1:500

Příloha č. 2 Situace ideového návrhu stabilizace toku měřítko 1:500

Příloha č. 3 Situace z roku 1990 měřítko 1:500

Příloha č. 4 Vzorový příčný řez měřítko 1:100

Příloha č. 5 Příčné profily měřítko 1:200/100

Příloha č. 6 Podélný profil současného stavu měřítko 1:200/100

Příloha č. 7: Porovnání vývoje podélného profilu měřítko 1:200/100

Příloha č. 8: Porovnání vývoje kapacity příčných profilů