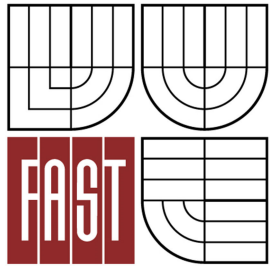




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

ÚPRAVA KORYTA HLOUČELY

REGULATION OF THE STREAMBED HLOUČELA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUCIE VYSLOUŽILOVÁ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. HANA UHMANNOVÁ, CSc.

BRNO 2013



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 Lucie Vysloužilová

Název Úprava koryta Hloučely

Vedoucí bakalářské práce Ing. Hana Uhmánová, CSc.

**Datum zadání
bakalářské práce** 30. 11. 2012

**Datum odevzdání
bakalářské práce** 24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

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

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

Podklady a literatura

Odborná literatura dle pokynů vedoucího diplomové práce:

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 – situace zájmového úseku, příčné řezy.

Zásady pro vypracování

Na řece Hloučela se v katastru města Plumlov nachází Podhradský rybník a VD Plumlov. Koryto řeky Hloučely o délce cca 0,5 km mezi Podhradským rybníkem a VD Plumlov je upraveno do obdélníkového profilu a silně se zanáší. V rámci bakalářské práce popište na základě rešerše literatury problematiku stability upravených koryt a proveďte návrh technického opatření, vedoucího k eliminaci zanášení koryta v řešené lokalitě. Návrh opatření proveďte na základě hydrotechnických výpočtů.

Bakalářská práce bude obsahovat:

A. Textovou část (cca 30 stran): Úvodní část, popis zájmové lokality, popis problematiky stability upravených koryt, popis stávajícího stavu toku, hydrotechnické výpočty, popis navrhovaných opatření, závěrečné zhodnocení.

B. Výkresovou část: situace zájmového území, podélný profil a výkresy dle charakteru popisovaných a navržených opatření.

Předepsané přílohy

.....
Ing. Hana Uhmánová, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Práce se zabývá posouzením stávajícího stavu řeky Hloučely, která se nachází v obci Plumlov. Koryto je v intravilánu na říčním km 11,831-11,991. Kapacita stávajícího a nově navrženého koryta byla vymodelována použitím programu HEC-RAS. Práce obsahuje posouzení stability koryta na základě výpočtu nevymílající rychlosti a návrh opatření proti silnému zanášení řešeného úseku. Další metody, které lze použít při řešení stability jsou podrobněji rozepsány.

Klíčová slova

Stabilita koryta, kapacita koryta, nevymílající rychlost, průtok, opevnění koryta

Abstract

The thesis describes the evaluation of the present situation of the watercourse of Hloučela river, that is situated in Plumlov village. The trough is situated in the urban area on km 11,831-11,991. The capacity of the present and newly suggested trough has been worked out using the HEC-RAS program. The thesis contains the evaluation of the trough stability based on the calculation of non-eroding speed as well as the proposal of measures against strong silting of described area. There are another methods that could be used for solving the trough stability described.

Keywords

trough stability, trough capacity, non-eroding speed, flow, trough stabilisation

...

Bibliografická citace VŠKP

VYSLOUŽILOVÁ, Lucie. *Úprava koryta Hloučely*. Brno, 2013. XX s., YY 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 zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24.5.2013

.....
podpis autora
Lucie Vysloužilová

Poděkování

Chtěla bych poděkovat všem, kteří jakkoliv přispěli při zpracování mé práce. V první řadě moje poděkování míří Ing. Haně Uhmannové, CSc. vedoucí mé bakalářské práce, která mi byla po celou dobu nápomocna, za její odborné vedení, trpělivost při vzájemné spolupráci a užitečné rady a připomínky. Rovněž patří můj velký dík rodině za podporu při studiu a tvorbě potřebného zázemí.

Obsah

1. ÚVOD	10
2. POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	11
2.1 Správní údaje.....	11
2.2 Popis toku.....	11
2.3 Geologicko-pedologické poměry	13
2.4 Klimatické poměry	13
2.5 Čistota vody.....	14
2.5.1 Kvalita vody.....	14
2.5.2 Bodové zdroje znečištění	14
2.6 Hydrologické poměry	14
2.7 Objekty	15
2.7.1 Podhradský rybník.....	15
2.7.2 Lávka	16
2.7.3 Vodní nádrž Plumlov.....	17
2.7.4 Křížení s tokem.....	18
2.8 Popis stávajícího stavu	19
2.8.1 Popis příčného řezu.....	19
2.8.2 Popis podélného sklonu.....	19
2.8.3 Opevnění.....	19
2.8.4 Velikost efektivního zrna	20
2.8.5 Vegetační doprovod.....	21
3. TEORETICKÁ ČÁST	22
3.1 Stability koryta	22
3.2 Posouzení stability.....	23
3.2.1 Metoda nevymílací rychlosti	24
3.2.1.1 Metoda průřezových rychlostí.....	24
3.2.1.2 Metoda svislicových rychlostí.....	30
3.2.2 Metoda kritického tečného napětí	33
3.2.2.1 Příímá trať koryta	34
3.2.2.2 Stabilita v oblouku	34
4. HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY	36
4.1 HEC-RAS.....	36
4.1.1 Ustálené rovnoměrné proudění.....	36
4.1.2 Ustálené nerovnoměrné proudění	37
4.1.2.1 Bernouliho rovnice	37
4.1.2.2 Ztráty	38

Ztráty u prizmatického koryta vznikají pouze třením. U koryt v reálném úseku vznikají ztráty třením ale také vlivem změny průřezu ztráty místní.	38
4.1.3 Metoda po úsecích.....	39
4.2 Výpočet kapacity stávajícího koryta	39
4.3 Posouzení stability stávajícího koryta	42
4.3.1 Hydrologická data.....	42
4.3.2 Stupeň drsnosti	42
4.3.3 Použité vztahy pro hydraulické výpočty	43
4.3.4 Popis charakteristických profilů pro posouzení stability.....	44
4.3.4.1 Profil 1	44
4.3.4.2 Profil 2.....	47
4.3.4.3 Profil 3.....	50
4.4 Popis navržených opatření	54
4.4.1 Kyneta.....	54
4.4.1.1 Posouzení stability nově navržené kynety	55
4.4.2 Berma a svahy	57
4.4.3 Možnosti řešení kynety a bermy	57
4.5 Kapacita nového koryta.....	58
5. ZÁVĚR.....	60
6. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	61
7. SEZNAM OBRÁZKŮ.....	61
8. SEZNAM TABULEK	62
9. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	63
10. SEZNAM PŘÍLOH	64

1. ÚVOD

Úkolem bakalářské práce je posouzení stávajícího stavu toku Hloučely v říční km 11,825-11,991 a navržení opatření vedoucí k eliminaci zanášení koryta. Zájmový úsek se nachází v intravilánu, mezi vodními díly Podhradský rybník a Plumlovská nádrž v obci Plumlov.

Pomocí programu HEC-RAS se vymodeluje stávající stav řeky a posoudí se na jeho kapacitu. Hydrologickými výpočty se určí podmínky stability a na základě výsledků se navrhnou příslušná opatření. Jednotlivé metody stability jsou dále podrobněji rozepsány.

2. POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

2.1 Správní údaje

Projektová dokumentace zahrnuje úpravu koryta řeky Hloučely, úsek je od Podhradského rybníka km 12,094 po Vodní dílo Plumlov v km 11,406.

- Délka zájmového území toku je 500m.
- Katastrální území v městě Plumlov.
- Číslo hydrologického pořadí: 4-12-01-049,4-12-01-051
- Správce toku: povodí Moravy s.p. závod Horní Morava

Provedení stavebních úprav na toku, spočívá v odstranění zanášení, úpravy příčného profilu a podélného sklonu stávajícího koryta toku a jeho vegetačního doprovodu.

2.2 Popis toku

Upravovaný vodní tok Hloučela se nachází v intravilánu. Celý úsek toku je 500 m dlouhý a začíná na km 11,406 u vodního díla Plumlov a končí v km 12,094 u Podhradského rybníka. Řešená část toku, kterou budeme nově navrhovat je v km 11,831 – 11,991. Tento úsek se silně zanáší.

V úseku toku jsou dvě lávky. Klenutá lávka je na km 11,925 a lávka limnigraf je na km 11,727. Na km 11,776 se do potoku Hloučela vlévá náhon z Podhradského rybníka.

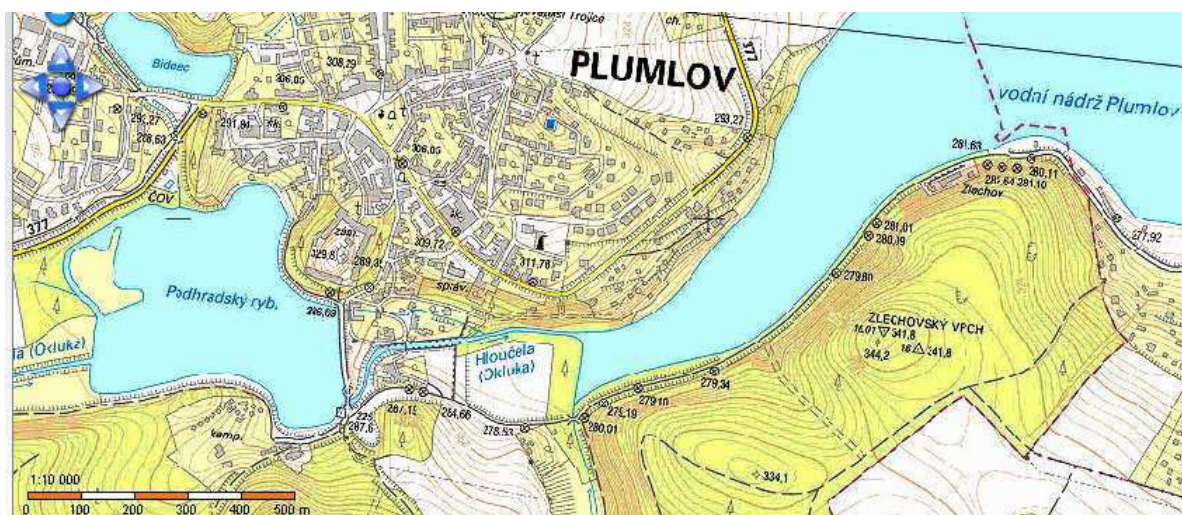
Zájmový úsek je od vodní nádrže Plumlov, která slouží ke snižování povodňových průtoků a zlepšení minimálních průtoků pod tímto vodním dílem, až po Podhradský rybník, který se nachází pod zámkem Plumlova, má zatopenou plochu 14,3 ha. Hráz vodního díla je zemní sypaná, situačně příčná. Kvůli sinicím ve vodě, byl rybník v roce 2011 odbahněn

Pod výpustěmi z Podhradského rybníka je balvanitý vývar.



Obr.1 Výpustě z Podhradského rybníka

Kamenité dno koryta pokračuje až do rozšíření koryta na lichoběžníkový profil. Na tento profil navazuje náš dílčí řešený úsek v km 11,991. Upravované koryto je na většině trati opevněno zídками. Koryto se v tomto úseku velmi silně zanášá. Po skončení opevnění z kamenných zídek řeka odbočuje a její koryto se zužuje. K takto zúženému korytu se zleva vlévá Podhradský náhon a řeka pokračuje k hlásnému profilu.



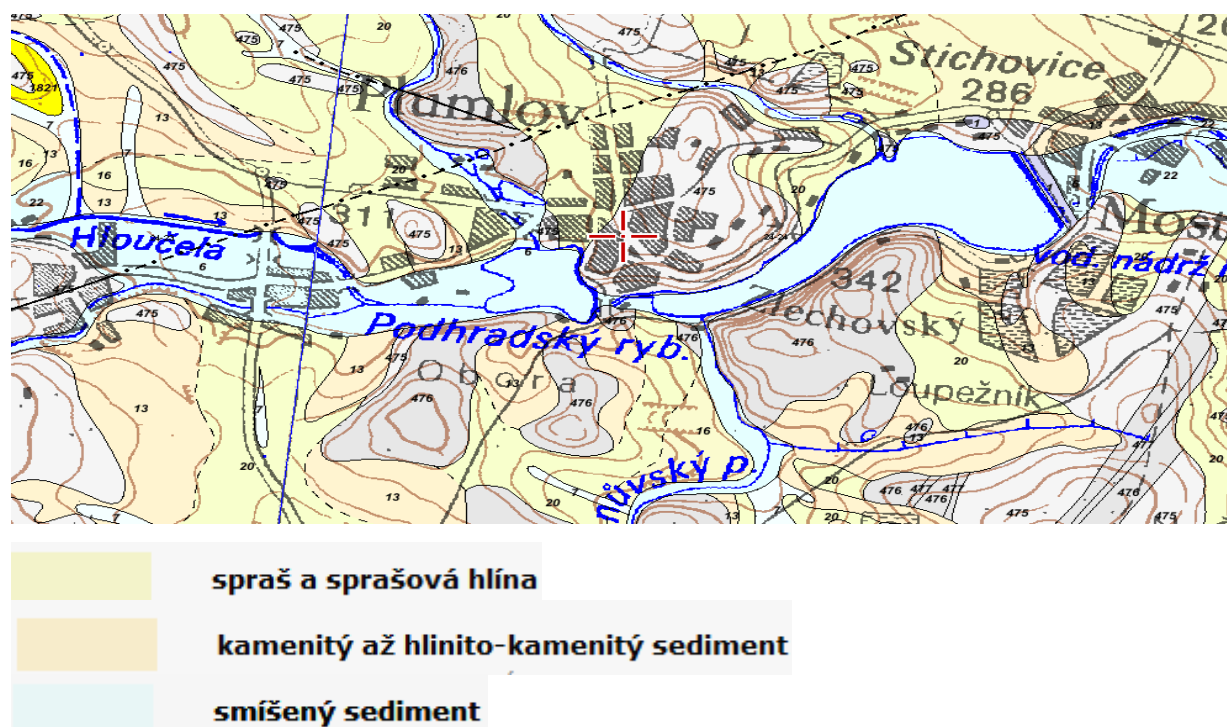
Obr2 Upravovaný úsek toku

2.3 Geologicko-pedologické poměry

Území kolem Plumlova je začleněno do Dražanské vrchoviny, ta spadá pod Brněnskou vrchovinu. Na dražanské vrchovině převládají prvohorní horniny usazené.

Hlavním geologickým základem v kvartéru je kamenitý až hlinito-kamenitý sediment spraš a sprašová hlína. Z karbonu tu můžeme najít droby a břidlice. [1]

Upravovaný potok je v nadmořské výšce 276-277 m.n.m. Katastr obce Plumlov má vyšší sklonitost než okolní obce, půdy jsou zde více ohroženy vodní erozí. V uvedeném území by měla být řešena protierozní ochrana území, čistota povrchových vod a zvýšení ekologické stability půdy pomocí pozemkových úprav. [2]



Obr.3 Geologická situace

2.4 Klimatické poměry

Lokalita leží na rozhraní klimatické oblasti teplé a mírně teplé. Oblast se vyznačuje dlouhým teplým létem, velmi krátkým přechodným jarem i podzimem. Zima je tu krátká mírně teplá až suchá, s velmi krátkým trváním sněhové pokrývky.

Teplota ovzduší se pohybuje v rozmezí -3 až 17 °C. Průměrná teplota vzduchu je kolem 7,2 °C Průměrný roční úhrn srážek 558 mm. [6]

2.5 Čistota vody

2.5.1 Kvalita vody

V roce 2008 byl zahájen projekt „Čistá Hloučela a vodní nádrž Plumlov“, který má zlepšit kvalitu vody v řece Hloučela a zamezit ukládání sedimentů v Podhradském rybníce a vodní nádrži Plumlov. Největší problém je vysoký obsah živin v přítocích, který je příčinou rozvoje sinic v nádržích. Limitujícím prvkem pro rozvoj sinic je fosfor.

Pro zkvalitnění vody je potřeba zrealizovat systém meandrů a před nádrží u vtoku do Podhradského rybníku, také důsledné čištění odpadních vod z obcí nad nádržemi. Při úpravě nádrže Plumlov by měla zahrnovat kombinaci několika metod, které povedou ke snížení živin v přítocích a redukci sinic v sedimentech. Pro rychlejší regeneraci sedimentů. [2] [4]

2.5.2 Bodové zdroje znečištění

Dořešení čištění odpadních vod v nejbližším okolí Plumlovské přehrady, jedná se o obce Krumsín, Vícov, Plumlov, Plumlov-Žárovice, Plumlov-Hamry. [2]

ČOV Plumlov nemá terciální stupeň čištění, což zásadním způsobem ovlivňuje zanášení Podhradského rybníka i nádrže Plumlov. Dobudování tohoto stupně čištění patří rozhodně mezi prioritní opatření v povodí a oblasti přítoku do obou nádrží. [2]

2.6 Hydrologické poměry

Vodní tok spadá do povodí Moravy, zájmový úsek spravuje Povodí Moravy Brno. Číslo hydrologického pořadí pro tok Hloučela je 4-12-01-049 a 4-12-01-051. V tomto úseku je i hlásný profil VD Plumlov.

Podle dostupných hydrologických údajů můžeme zjistit, že N-leté průtoky postupem času stoupají. V roce 1963 byl 50-letý průtok $47 \text{ m}^3/\text{s}$ v roce 2009 byl $59,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Za to údaje o m-denních průtocích jsou stejné.

Hloučela nad VD Plumlov

Qm – m-denní průtoky [m ³ /s]						QN – N-leté průtoky [m ³ /s]					
30	90	180	270	355	364	1	5	10	20	50	100
1,17	0,59	0,25	0,14	0,03	0,015	9	22	33	37	47	55

**Tab. 2.1 Charakteristické hydrologické údaje toků v povodí Moravy a Odry.,
Hydrometeorologický ústav, Praha, 1963**

Hloučela nad VD Plumlov

Qm – m-denní průtoky [m ³ /s]						QN – N-leté průtoky [m ³ /s]					
30	90	180	270	355	364	1	5	10	20	50	100
1,17	0,59	0,25	0,14	0,03	0,015	5.6	14	21	31	52	75

Tab. 2.2 Hydrologické poměry, ČSR, díl III., Hydrometeorologický ústav, Praha, 1970

Hloučela nad VD Plumlov

Qm – m-denní průtoky [m ³ /s]						QN – N-leté průtoky [m ³ /s]						
30	90	180	270	355	364	1	5	10	20	50	100	500
1,17	0,59	0,25	0,14	0,03	0,015	7	25	32.8	46.69	59.3	69.5	94.6

Tab. 2.3 N – leté průtoky zdroj Hydrologické údaje ČHMÚ 2009

2.7 Objekty

2.7.1 Podhradský rybník

Voda se v podhradském rybníku zdržuje 0,9 - 1,3 dnů, takže jde o zcela průtočnou nádrž, která je jako by před nádrž vodního díla Plumlov.

Účel stavby je zajištění potřebného průtoku, využití vodní energie a rybí hospodářství. Rybník se také využívá pro rekreaci.

Hráz je zemní sypaná. Šířka koruny hráze je 7 m a délka je 278 m. Celkový objem nádrže je 0,331 mil.m³.



Obr.4 Podhradský rybník

2.7.2 Lávka

V zájmovém úseku toku jsou dvě lávky. Jedna lávka se nachází u limnigrafické stanice na km 11,727. Tato lávka je dřevěná, široká 0,5 m. Druhá lávka slouží pro pěší chodce. Nachází se na km 11,925. Je betonová s ocelovým zábradlím, šířky 1,5 m.



Obr.5 Lávka pro pěší



Obr.6 Lávka u limnigrafické stanice

2.7.3 Vodní nádrž Plumlov

Vodní dílo Plumlov na řece Hloučela bylo do trvalého provozu uvedeno v roce 1936 a patří tak k nejstarším v celém povodí řeky Moravy. Hráz je situována na místě dvou původních rybníků Stichovského a Zlechovského, přičemž současná hráze vznikla zvýšením původní Stichovské hráze o výšce pět metrů na současných sedmnáct. (4)

Povodí Hloučely má v profilu hráze Plumlov plochu 118,5 km² a v toku je dlouhodobý průměr průtoku 0,58 m³/s

Hráz je zemní sypaná, přímá s návodním těsněním. Na koruně hráze vede vozovka. Materiál hráze se těžil v blízkosti stavebního díla, kam byl dopraven po železnici a zemina se poté rozprostírala po vrstvách. Koruna je 6 m široká a 465,5 m dlouhá. Objem nádrže činí 5,566 mil.m³. Výška koruny hráze nade dnem přehrady je 17 m. Nadmořská kóta koruny je 287,56 m. n. m.

Hlavním smyslem stavby nádrže je především:

- snížení povodňových průtoků,
- zajištění trvalého minimálního průtoku řeky Hloučely,
- zajištění odběru povrchové vody z toku pod přehradou,
- případně provizorní
- zásobování pitnou vodou Prostějova.
- výroba el. energie v MVE,
- rekreace
- rybí hospodářství. (5)



Obr.7 Vodní nádrž Plumlov

2.7.4 Křížení s tokem

Na úseku se do řeky Hloučely vlévá Podhradský náhon. Náhon je svedený z rybníka a původně sloužil jako přívod vody k Panskému mlýnu. Mlýn byl v roce 1896 zrušen a od roku 1920 zde byla vybudovaná malá vodní elektrárna, která vyráběla 45 kW elektrické energie.

Křížení Hloučely s podhradským náhonem je v km 11,776, a je to přítok z levého břehu.



Obr.8 Křížení řeky Hloučely s podhradským náhonem

2.8 Popis stávajícího stavu

2.8.1 Popis příčného řezu

Příčný řez koryta je určen deseti profily. Geometrie příčného řezu je dána zídkami, které ohraničují profil. Tyto profily mají obdélníkový tvar a jsou od km 11,831-11,927. V km 11,927-11,983 se příčný řez koryta mění, na levé straně zůstává zídka, ale na pravé straně je svah. Pata tohoto svahu je opevněna sníženou kamennou zídkou o výšce 0,7 m. Koryto pak v posledním metrech (km 11,983-11,991) pokračuje jako lichoběžníkové, kde pata svahu je opět opevněna sníženou kamennou zídkou.

průměrná šířka koryta ve dně: 15m

průměrná výška profilu je: 3,5m

sklon břehů: 1:2

2.8.2 Popis podélného sklonu

Podélný sklon jsme zjistili z podkladů, které nám byli poskytnuty a to z podélného výkresu, kde bylo zaměřeno deset profilů. Podélný sklon v ose koryta byl určen ze zakreslení těchto profilů na 3,12 ‰. Trať v nejhlubším místě koryta má sklon 4,86‰

2.8.3 Opevnění

Koryto je od km 11,831-11,927 opevněno z obou dvou stran zídkou z lomového kamene. Zídka je průměrně kolem 4 m vysoká, 0,64m široká a má betonový základ. Od km 11,927-11,983 je koryto opevněno zídkou na levé straně koryta. Na pravé straně břehu je zpevněná pouze pata svahu, zbytek svahu je vegetačně opevněn. Pouze vegetační opevnění má úsek v km 11,983-11,991, který má pouze základovou patkou opevněnou patu svahu.



Obr.9 Opevnění zídkami

2.8.4 Velikost efektivního zrna

Velikost efektivního zrna byla odhadnuta z vlastní obchůzky upravovaného úseku a z pořízených fotografií. Dno koryta řešeného úseku je (viz. Obr.9) pokryto kombinací jemnozrnného materiálu (80%) a jednotlivými většími kameny (20%).



Obr.10 Velikost efektivního zrna

Vzhledem k tomu, že v předaných podkladech nebyla k dispozici křivka zrnitosti, velikost efektivního zrna d_e byla určena analogicky na základě publikovaných katalogů drsností koryt, u kterých jsou uvedeny také reprezentativní velikosti efektivního zrna d_e . [16] [17]

2.8.5 Vegetační doprovod

Břehové porosty podél toku jsou tvořeny hlavně olšinami. Mezi ně jsou vtroušeny především vrba křehká a bílá, jasan ztepilý, javor mleč a lípa srdčitá. V biokoridoru se vyskytují také cizorodé druhy dřevin, ty mají tendenci se rozrůstat a narušovat přirozenější porosty, např. trnovník akát a topol kanadský, který velmi rychle roste a ohrožuje své okolí pádem větví i celých kmenů.

Z keřů tu najdeme bez černý, chmel otáčivý, svídu krvavou a slivoň trnku. Tyto dřeviny vytvářejí ekologicky stabilní porosty s různým výškovým a prostorovým uspořádáním.

Dříve zde běžně rostoucí teplomilné rostliny byly nahrazeny plevelnými a rumištními druhy, např. kopřivou dvoudomou nebo měrnici černou. Spolu s bylinnými vetřelci ze zahrádek, např. slunečnicí topinambur, netýkavkou žláznatou a zlatobýlem kanadským musí být potlačováni především četnějšími kosením. [3]

3. TEORETICKÁ ČÁST

3.1 Stability koryta

Úpravy toku je třeba navrhnout tak, aby upravované koryto zůstalo stabilní. V ČSN 736820 se předepisuje výpočtem stanovit odolnost jednotlivých částí koryta a to odolnost neopevněných i opevněných částí.

Činitelé v toku, kteří ovlivňují stabilitu koryta jsou:

- průtok,
- podélný sklon
- šířka a hloubka koryta
- tvar jeho příčného profilu
- rychlost vody
- unášecí síla
- velikost a množství unášecích splavenin

Činitelé jsou spjaty ve vzájemném zákonitém vztahu a navzájem se ovlivňují. Při návrhu parametrů stabilního koryta je potřeba poznat míru, s níž se jednotlivé činitele uplatňují ve vývoji upravovaného koryta. Pro vyjádření stability bylo uveřejněno mnoho metod.

Stabilním dnem se podle čl. 41 ČSN 6820 rozumí stav, kdy nánosy a výmoly nepřesáhnou očekávanou míru. Cílem je, aby se splaveniny neukládaly a aby nedocházelo k trvalému vymílání dna a svahů. Ke stabilitě velmi přispívá správné navržení sklonu dna koryta. [10]

ON 73 6512 definuje stabilitu koryta jako schopnost koryta toku zachovávat hloubku, tvar příčného profilu a směr. Znamená to tedy hlavně stálost poměrů sil nebo jejich rovnováhu, které namáhají říční koryto a mohou způsobit jeho deformaci a sil, které brání této deformaci.

Odolnost koryta chápe norma jako schopnost koryta toku odolávat účinkům proudící vody v korytě, vln, chodu ledu apod. To znamená, že se neměnnost koryta požaduje jak při proudění vody tak v případě stojaté vody nebo suchého koryta. Požaduje i zachování tvaru koryta při nárazech plovoucích předmětů, zejména ker. Zároveň je však nutné, aby se koryto nezanášelo splaveninami. Je tedy možno odolnost chápat jako rovnováhu sil namáhaných koryto daným prouděním vody a sil daných vlastnostmi zeminy a tvarem koryta. [9]

Návrh stabilizace břehů a dna se provádí u přímé a u oblouku. Jednotlivé úseky koryta toku se navrhují na dané průtoky.

Část koryta	Návrhový průtok
dno	neopevněné
	opevněné
břeh a bermy	neopevněné
	opevněné
ochranné hráze	

Tab. 3.1 Hodnoty návrhového průtoku pro odolnost koryta

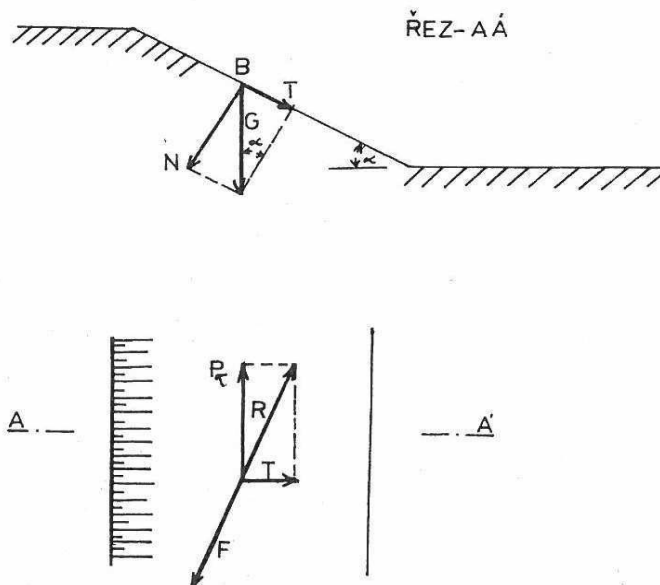
3.2 Posouzení stability

Při posuzování stability se zpravidla posuzují jednotlivé části toku. Koryto toku se rozdělí na část koryta v přímé trati a v obloukové trati. V příčném profilu se koryto rozdělí na dno, patu svahu a svah. [11]

Při posuzování v přímé trati je třeba rozlišit části omočeného obvodu koryta podle sklonitosti. Pro dno musí být splněna metoda stupně bezpečnosti. Pokud je, potom dno toku zůstane stabilní při zvoleném návrhovém průtoku.

Při posuzování odolnosti svahu ovlivní stabilitu této části koryta sklon svahu daný úhlem α . Jestliže je stabilita svahu vyvozena z rovnováhy působících sil na izolovanou částici ležící v rovině svahu, pak je stabilita svahu dána rovnováhou složek působících sil v rovině svahu.

Na částici hlavně působí síly: tíha částice G , smyková síla F_t , síla tření F , hydrodynamická vztlaková síla F_L , působí v opačném smyslu než síla tíže, bude ke vzniku deformace svahu přispívat zmenšením účinku síly tíže částice. [9]



Obr.11 Schéma působící síly na částice

Pro výpočet posouzení stability koryta si můžeme vybrat z množství známých metod. K nejznámějším metodám patří metoda nevymílacích rychlostí a metoda tečného napětí. [11]

3.2.1 Metoda nevymílací rychlosti

Metodu nevymílajících rychlostí můžeme rozdělit do dvou metod. První je metoda průřezových rychlostí, která se zabývá mezní rychlostí jejíž překročením způsobí pohyb splavenin. Druhá je metoda pomocí svislicových rychlostí, které řeší mezní rychlost, při které se ještě neporušuje stabilita dna.

3.2.1.1 Metoda průřezových rychlostí

Jde o srovnávání limitní hodnoty rychlosti se skutečnou rychlostí v aktuální hloubce, při níž je ještě schopno zrno zůstat v klidu. [12]

Je-li proudící voda bez splavenin sníží se hodnoty nevymílací rychlosti přibližně o 10%, jestliže naopak je proudící voda plná splavenin zvýší se nevymílající rychlost o 10%. [10]

Hodnota nevymílající rychlosti pro dno, může být jiná, než pro patu svahu a pro libovolný bod A ležící na svahu. Stejně tak může být splněna podmínka u koryta v přímé trati, ale v oblouku už ne. [10]

Pro výpočet této rychlosti byla empiricky stanovena celá řada vzorců.

3.2.1.1.1 Přímá trať koryta

Stabilita dna a berem koryta

Nesoudržný materiál dna s efektivním zrnem d_e

Mayer-Petera:

$$v_v = c\sqrt{0,047\gamma' d_e} \quad (1)$$

$$\gamma' = \gamma_s - \gamma_v / \gamma_w \quad (2)$$

d_e efektivní zrno

CChezyho rychlostní součinitel

γ_s měrná tíha splavenin

γ_v měrná tíha vody

Gončarovův vzorec:

Při efektivní zrně $d_e = 0,1-1,5\text{mm}$

$$v_v = 3,9h^{0,2} \left(\frac{d_s}{d_{90}}\right)^{0,2} (d_e + 0,0014)^{0,3} \quad (3)$$

d_{90} hloubka v korytě

d_e efektivní zrno

h hloubka

Při efektivní zrně $d_e = 1,5-10\text{mm}$

$$v_v = \log \frac{8,8}{d_{90}} h \sqrt{\frac{2g(\rho'_m - \rho)d_e}{1,75}} \quad (4)$$

d_{90} hloubka v korytě

d_e efektivní zrno

h hloubka

ρ 1

ρ'_m tíha materiálu dna váženého ve vodě

Pro vzorce (3) a (4) platí poměr šířky dna koryta k jeho hloubce

$b/h = 5$ násobíme součinitelem 0,95

$b/h = 3$ násobíme součinitelem 0,93

$b/h = 1$ násobíme součinitelem 0,90

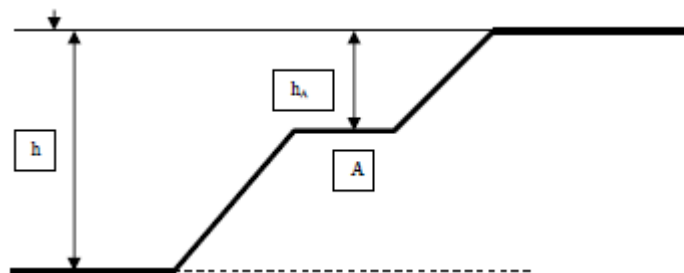
Horizontální rovina položená výše než dno.

$$v_{vA} = v_v \left(\frac{h}{h_A} \right)^{0,5} \quad (5)$$

v_v nevymílající rychlost [m/s],

h hloubka vody [m],

h_A hloubka libovolného bodu na svahu [m],



Obr.12 Schéma hloubek

Pro soudržný materiál dna lze použít následující hodnoty nevymílající rychlosti v_v . Tyto hodnoty se navrhují při dlouhodobějším působení vody.

- málo hutné hlíny a jíly 0,4 až 0,5 m/s
- málo hutné písčité hlíny 0,5 až 0,6 m/s
- střední hutné hlíny a jíly 0,9 až 1,1 m/s
- středně hutné písčité jíly 1,0 až 1,3 m/s
- huné písčité hlíny 1,4 až 1,8 m/s

Nesoudržný materiál svahů:

$$v_{st} = v_v \xi, \quad (6)$$

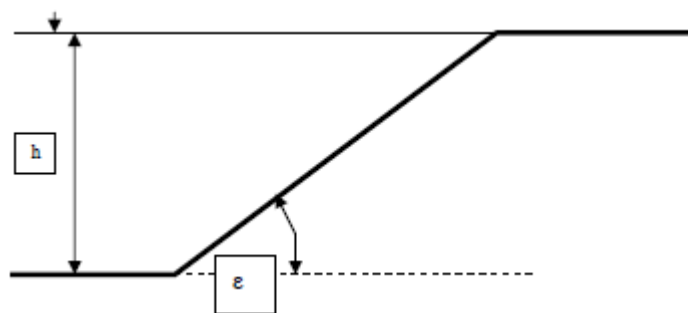
v_v nevymílající rychlost

ξ sklon svahu

$$\xi = \left(\cos^2 \varepsilon - \frac{\sin^2 \varepsilon}{\operatorname{tg}^2 \varphi} \right)^{0,25} \quad (7)$$

ε sklon svahu

φ úhel vnitřního tření



Obr.13 Schéma stability svahu v přímé[11]

Hodnota φ závisí na velikosti efektivního zrna (d_e)

d_e	φ
do 20 mm	30°
21-35 mm	32°
36-50 mm	36°
nad 51 mm	40°

Tab. 3.2 Hodnoty návrhového průtoku pro odolnost koryta

Pata svahu:

$$v_{vs} = k_3 \cdot v_v \quad (8)$$

$$k_3 = \sqrt{\cos^2 \alpha \frac{\sin^2 \alpha}{\operatorname{tg}^2 \varphi}} \quad (9)$$

v_v nevymírající rychlost

α úhel svahu

φ úhel přiozené sklonitosti

$$v_{vs} = v_{vs} \varepsilon_0 \quad (10)$$

$$\varepsilon_0 = \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \frac{\sin^2 \varepsilon}{\operatorname{tg}^2 \varphi} - 11 \frac{h \sin \varepsilon}{R \operatorname{tg} \varphi}} \quad (11)$$

ε sklon svahu

φ úhel vnitřního tření

3.2.1.1.2 Konkávní část oblouku koryta

V konkávní části oblouku je namáhání koryta vyšší než v přímé trati, je proto nutné použít přepočtené nevyvílající rychlosti. Vlivem odstředivé síly se při proudění v oblouku se přesune rychlost z osy koryta směrem ke konkávnímu břehu. [10]

Dno:

Nevyvílající rychlost v_{vo} bude nižší než v přímé o maximální relativní svislicové rychlosti v_{max} , která závisí na velikosti středového úhlu oblouku α a na poměru B/h . v_{max} se určuje z tabulky. [11]

$$v_{vo} = v_v / v'_{max} \quad (12)$$

v_v nevymílající rychlost

v'_{max}maximální relativní podélná rychlost ve svislici

Pata svahu:

$$v_{vso} = k_2 \cdot v_{vo} \quad (13)$$

$$k_2 = \sqrt{k_3 - 11 \frac{h \sin \alpha}{R_o \operatorname{tg} \varphi}} \quad (14)$$

v_{vo}nevymílající rychlost

R_o poloměr oblouku

h hloubka koryta

φ úhel vnitřního tření

α úhel svahu

Svah

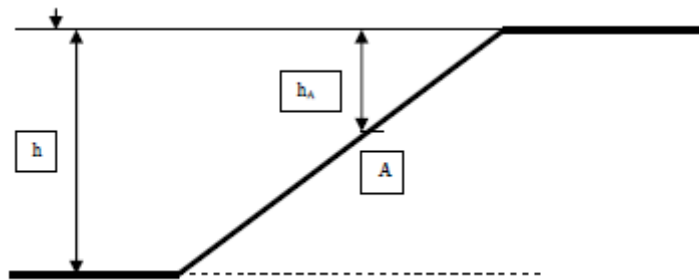
Pro bod na svahu oblouku v hloubce h_A je hodnota nevyvílající rychlosti vyšší než v přímé trati.

$$v_{vsa} = v_{vs} (h/h_A)^{0,5} \quad (15)$$

v_v nevymílající rychlost

h hloubka vody

h_A hloubka libovolného bodu na svahu



Obr.14 Schéma stability svahu v oblouku [11]

3.2.1.2 Metoda svislicových rychlostí

Tato metoda posuzuje stabilitu jednotlivých bodů koryta. Průběh svislicových čar má průběh lomené čáry nad vodorovným dnem. Touto metodou se řeší nejen stabilita břehů v přímé trati, ale hlavně stabilita v obloucích.

3.2.1.2.1 Přímá trať koryta

Metoda Marcury se řeší svislici vzdálenou a metrů od bodu dotyku hladiny s břehem. Nejdříve se vypočítá veličina R_o a plochy S .

$$R_o = \frac{S}{2a} \quad (16)$$

$$R_o^{2/3} = Z \quad (17)$$

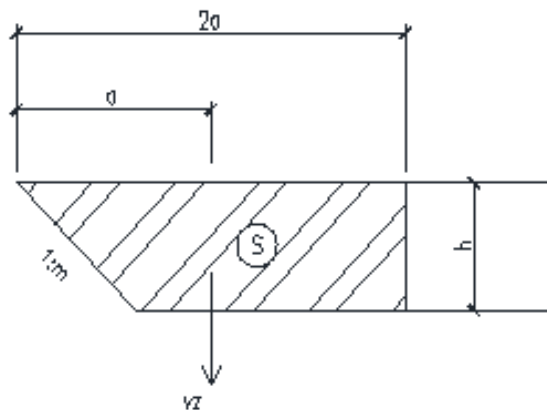
$$v_s = \frac{1}{n} \sqrt{Z} \quad (18)$$

S plocha specifického obrazce

R_o hydraulický poloměr

- v_z svislicová rychlost
- n součinitel drsnosti
- i sklon čáry energie
- a vzdálenost svislice od břehu
- Z průběh čáry [-],

Pokud je $a \leq \frac{1}{2}mh$, pak $Z = z^{2/3}$



Obr.15 Schéma k vysvětlení postupu výpočtu v_z

Pokud je $a > \frac{1}{2}mh$, pak $Z = \left[\frac{h}{4a} (4a - mh) \right]^{2/3}$

Svislicová rychlost vody v libovolné svislici l je pak

$$v_{zi} = \frac{1}{n} \sqrt{i Z_i} \tag{19}$$

- n součinitel drsnosti
- i sklon čáry energie
- Z_i průběh čáry

3.2.1.2.2 Konkávní trať koryta

V oblouku dochází vlivem odstředivé síly k přenosu maximální svislicové rychlosti z osy koryta směrem ke konkávnímu břehu a přitom se maximální svislicová rychlost zvětšuje. Rozdělení svislicových rychlostí v profilu lze zjistit nomogramem Rozovského.

$$E = 42\beta \frac{h \sqrt{g}}{B C} \quad (20)$$

βstředový úhel oblouku

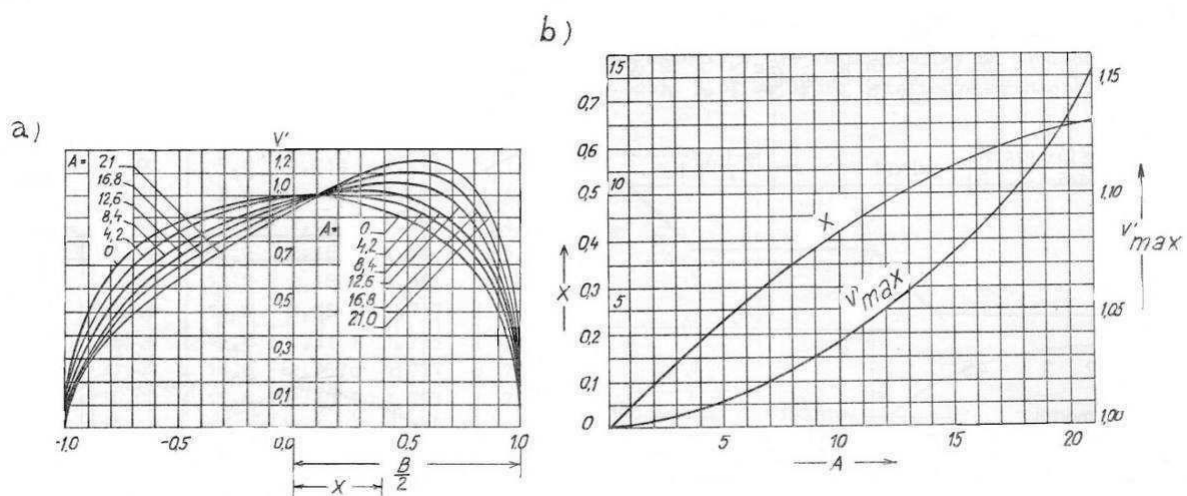
hhloubka vody v profilu

Bšířka profilu v hladině

Ccheziho součinitel rychlosti

gtíhové zrychlení

v'_xrelativní rychlost vody v oblouku nasvislici x



Obr.16 Rozovského nomogram na určení rychlosti vody v oblouku

Maximální svislicová rychlost je:

$$v_{so} = v_s \cdot v'_{max} \quad (21)$$

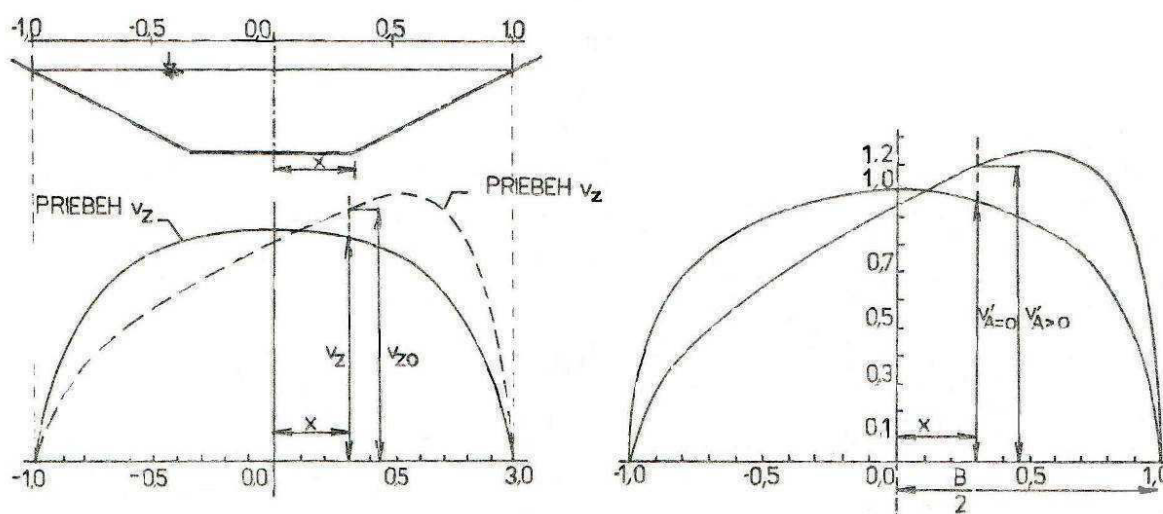
$$v_{z0} = v_s \frac{v'_E > 0}{v'_E = 0}$$

(22)

v_{z0}svislicová rychlost v oblouku

v_s svislicová rychlost vody

v'_E rychlost dané svislice v oblouku



Obr.17 Graf určení svislicové rychlosti vody v přímé trati a oblouku

3.2.2 Metoda kritického tečného napětí

Vzorce kritického tečného napětí se odvodili pro začátek pohybu splavenin. Pro kritické napětí existuje mnoho vzorců. Výsledky dle jednotlivých autorů se podstatně liší. Pro naše toky se doporučuje používat vzorec vycházející z Mayer-Petera. [9]

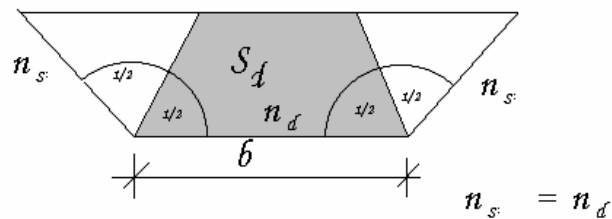
3.2.2.1 Přímá trat' koryta

3.2.2.1.1 Stabilita dna

$$R_d = \frac{S_d}{b} \quad (23)$$

S_dobsah části koryta

b šířka koryta



Obr.18 Schéma koryta v přímé

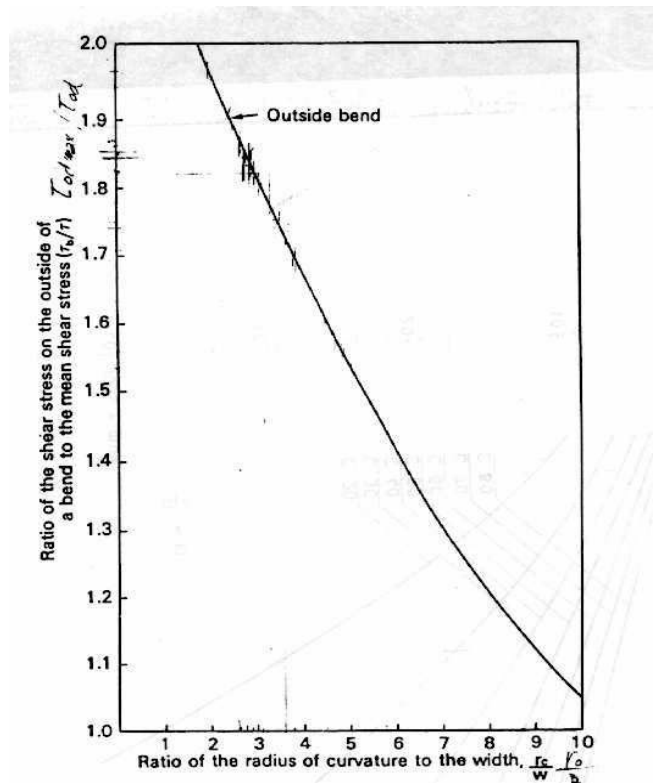
3.2.2.2 Stabilita v oblouku

3.2.2.2.1 Stabilita dna

$$\frac{R_e}{B} \Rightarrow \text{určíme z grafu } \frac{\tau_{od \max}}{\tau_{od}} \quad (24)$$

$\tau_{od \max}$..maximální tečné napětí na vnějším oblouku dna

τ_{od}průměrné tečné napětí na dno



Obr.19 Graf určující Ro/B

3.2.2.2.2 Stabilita svahu

$$tg\lambda = 5,5 \frac{h_{20}}{r} \quad (25)$$

λ úhel odchýlení tečného napětí od podélného směru toku

h_{20} hloubka při $Q_{NAVRH20}$

rpoloměr v ose oblouku

$$tg\beta = \frac{cos\lambda}{\frac{2sin\gamma}{ntg\varphi} + sin\lambda} \quad (26)$$

β úhel pro výpočet čísla stability na svahu

γúhel sklonu svahu

φ úhel vnitřního tření pod vodou

4. HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY

4.1 HEC-RAS

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center River Analysis System) je jednorozměrný matematický model. Neznámými funkcemi u tohoto modelu jsou hloubka a rychlost, z nichž se spočítá průtočná plocha a průtok. K vypočítání těchto veličin je zapotřebí aplikace rovnice kontinuity a zachování zákona o hmotnosti a hybnosti.

Hec-Ras řeší proudění říční, bystřinné a jejich kombinace. Výpočet průběhu hladin v profilech říční sítě je založen na Bernoulliho rovnici.[13]

Tlak v průřezu se uvažuje hydrostatický. Vyjádření třecích napětí se používá Darcy-Weisbachovy rovnice. Drsnost koryta se počítá podle Manninga. [15]

4.1.1 Ustálené rovnoměrné proudění

Čára energie, vodní hladina a dno mají stejný sklon a tudíž jsou vzájemně rovnoběžné. Proudění nastává, pokud jsou splněny podmínky:

- Rychlost $v = kost$
- Hloubka $h = kost$
- Sklon $i = kost$

Rovnice kontinuity:

$$Q = A \cdot v \tag{27}$$

A plocha průřezu

Q průtok

v rychlost

4.1.2 Ustálené nerovnoměrné proudění

Toto proudění je zvláštní případ neustáleného proudění. Je nezávislé na čase. Vzniká všude tam, kde proudění nemá podmínky pro vznik rovnoměrného proudění např. tam, kde se mění sklon dna, zúžení, rozšíření, drsnosti koryta nebo je ve vodním toku nějaká překážka (most, jez apod.)

K výpočtu potřebujeme Bernoulliho rovnici, ztráty místní a třením.

4.1.2.1 Bernoulliho rovnice

Je to základní rovnice pro usek dl :

$$J_2 + h_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = J_1 + h_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + dZ \quad (29)$$

J_1sklon [%],

h_2druhá hloubka [m],

h_1první hloubka [m],

v_2druhá rychlost [m/s],

αcoriolisovo číslo [-],

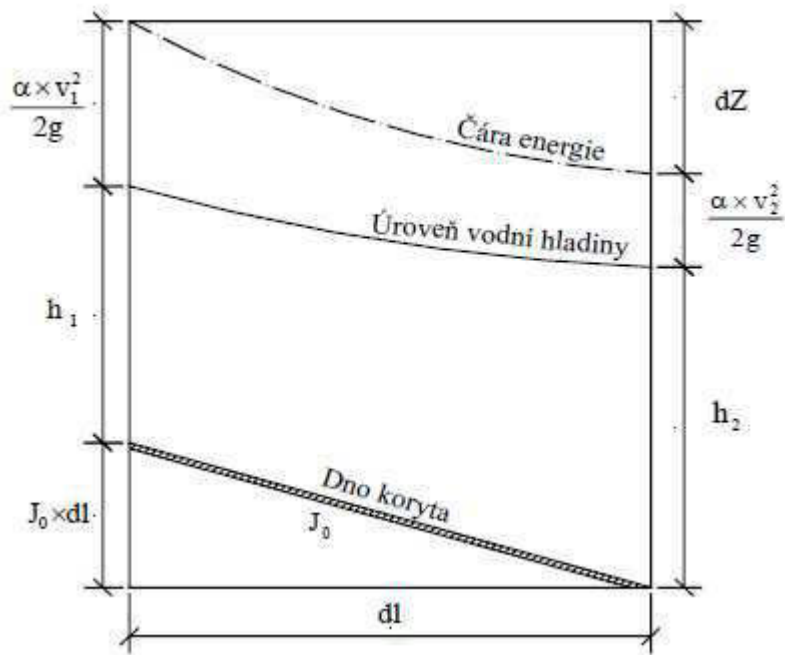
v_1první rychlost [m/s],

dZztráty [m],

J_2sklon [%],

v_1vstupní rychlost [m/s],

ggravitační zrychlení [m/s²],



Obr.20 Schématické znázornění úseku pro odvození Bernoulliovi rovnice

4.1.2.2 Ztráty

Ztráty u prizmatického koryta vznikají pouze třením. U koryt v reálném úseku vznikají ztráty třením ale také vlivem změny průřezu ztráty místní.

Ztráty místní

$$Z_m = \zeta \left| \frac{\alpha(v_1^2 - v_2^2)}{2g} \right| \quad (30)$$

ζ součinitel místní ztráty

g gravitační zrychlení

α coriolisovo číslo

v_{12} střední profilová rychlost

Ztráty třením

$$z_t = \frac{Q^2 l}{K_p^2} + \frac{\alpha}{2g} (v_2^2 - v_1^2) \quad (31)$$

K_pmodul průtoku

Qprůtok

ldélka úseku

ggravitační zrychlení

αCoriolisovo číslo

v_1, v_2střední profilová rychlost

4.1.3 Metoda po úsecích

Metoda vychází z Bernoulliho rovnice. Metodou po úsecích počítáme hlavně vodní hladinu. Energetické ztráty jsou způsobeny ztrátou třením a místní.

$$h_f = L J_k + C \left(\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) \quad (32)$$

Lvážený průměr délky úseků

CChezyho součinitel

J_kslon čáry energie

v_1, v_2rychlost v příslušných profilech

α_1, α_2 ..Coriolisovo číslo

4.2 Výpočet kapacity stávajícího koryta

Kapacita zájmového úseku byla vymodelována v programu HEC-RAS 4.1.0. Stupeň drsnosti dna 0,026. Drsnost svahů byla zvolena podle typu charakteristického profilu (viz. kap. 4.3.4.). Sklon úseku 4,86 ‰ byl použit jako okrajová podmínka pro výpočet.

Celkovou kapacitu koryta jsme stanovili na $Q=157 \text{ m}^3/\text{s}$. Při tomto průtoku voda nevyběží z koryta ani v jednom profilu. Nejméně kapacitní je lichoběžníkový profil na km 11,991, kde by voda při větším průtoku vybřežila.

Při srovnání kapacity koryta při maximálním průtoku $Q=157 \text{ m}^3/\text{s}$ z hydrologickými daty (viz. kap. 2.6.) zjistíme že koryto je značně předdimenzované.

staničení	Q průtok	min.kota	kota hladiny	čára energie	rychlost	průt.ploch.	šif.v hlad.
(km)	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m ²)	(m)
0.1604	157	75	78.36	77.23	2.12	76.84	35.25
0.1435	157	74.98	78.17	77.22	2.72	58.02	25.19
0.1285	157	74.69	77.94	77.29	3.28	47.92	19.44
0.1053	157	74.43	77.87	77.21	3.27	47.96	19.44
0.0944	Bridge						
0.0924	157	74.63	77.62	77.16	3.82	41.11	15.65
0.076	157	74.42	77.58	77.07	3.75	41.89	15.64
0.06	157	74.48	77.41	77.07	4	39.23	15.63
0.0365	157	74.27	77.53		3.35	49.68	23.7
0.0171	157	74.16	77.43	76.64	3.4	46.22	15.59
0	157	74.22	77.12	76.79	4.02	39.1	15.54

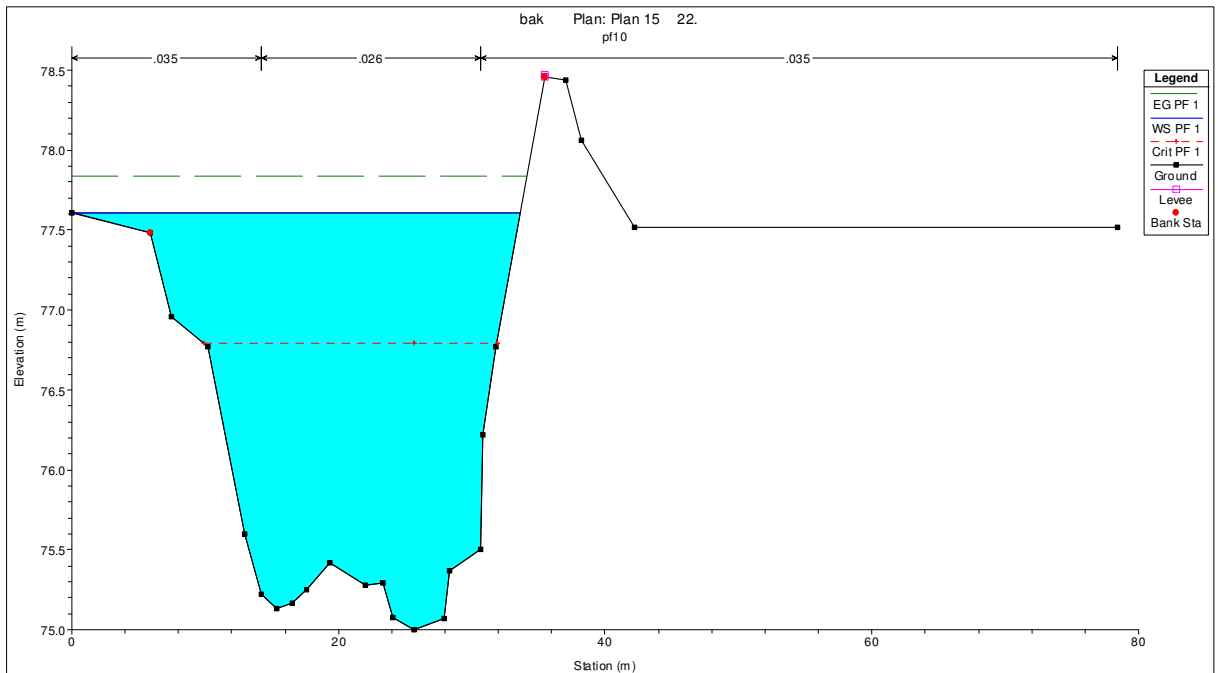
Tab. 4.2 Kapacita stávajícího koryta při $Q=157 \text{ m}^3/\text{s}$

Po obchůzce zájmového území jsme zjistili, že v řešeném úseku protéká průtok $Q_{30}=1,17 \text{ m}^3/\text{s}$, který v něm vytvořil stěhovavou kynetu (viz příloha 1). V nově navrženém korytě tedy bude navržnuta kyneta na převedení tohoto průtoku. Tento průtok protéká v řešeném úseku po většinu roku.

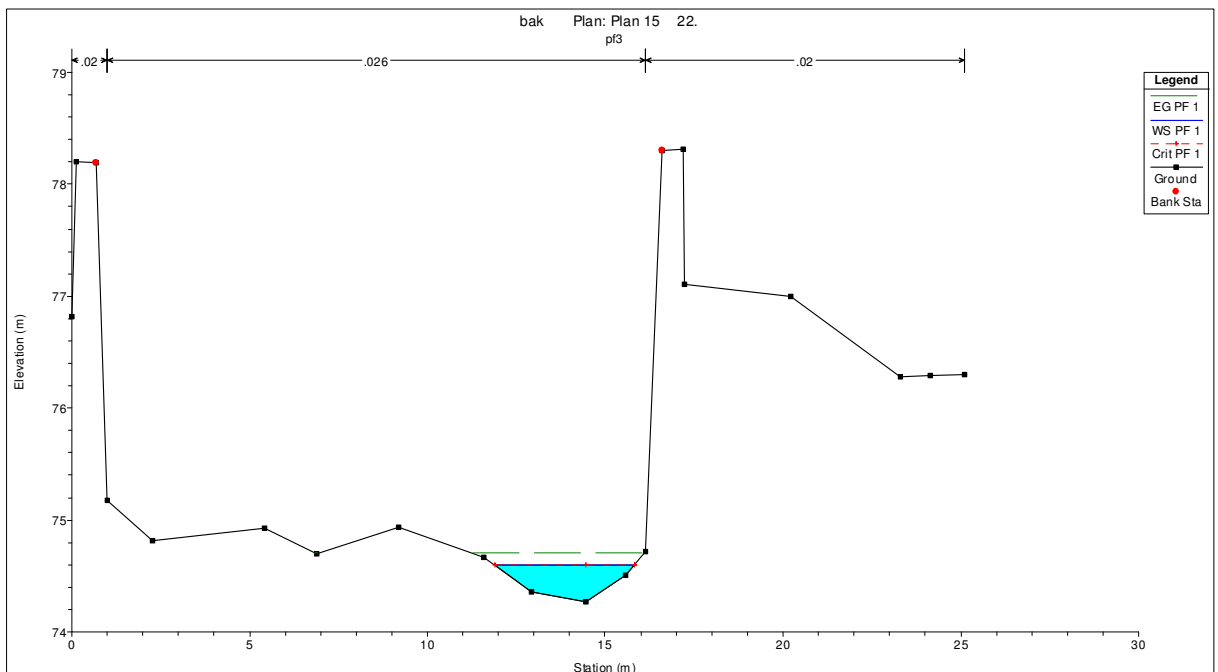
staničení	Q průtok	Min.kota	kota hladiny	čára energie	rychlost	průt.ploch.	šif.v hlad.
(km)	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m ²)	(m)
0.1604	1.17	75	75.34	75.36	0.58	2.08	12.22
0.1435	1.17	74.98	75.22	75.27	1.01	1.19	11.95
0.1285	1.17	74.69	75.08	75.13	1	1.2	4.95
0.1053	1.17	74.43	75.06	75.08	0.56	2.15	6.86
0.0944	Bridge						
0.0924	1.17	74.63	74.93	75.03	1.41	0.85	4.33
0.076	1.17	74.42	74.96	74.97	0.46	2.6	8.18
0.06	1.17	74.48	74.88	74.94	1.07	1.12	6.18
0.0365	1.17	74.27	74.6	74.71	1.45	0.83	3.97
0.0171	1.17	74.16	74.61	74.62	0.3	3.94	10.87
0	1.17	74.22	74.56	74.6	0.89	1.35	6.07

Tab. 4.2 Kapacita stávající kynety na $Q_{30}=1,17 \text{ m}^3/\text{s}$

Ukázka řešení kapacity koryta ve vybraných profilech:



Obr.21 profil km 11,991 při $Q=157m^3/s$



Obr.22 profil km 11,867 při $Q_{30}=1,17m^3/s$

4.3 Posouzení stability stávajícího koryta

Řešený úseku je popsán deseti zaměřenými profily v říčním km 11,831-11,991. Ze zaměřených profilů byly určeny tři základní charakteristické profily, pro které bylo provedeno posouzení stability dna, paty svahu a svahu. Tyto profily byly posouzeny metodou nevymílajících rychlostí (viz. kap. 3.2.1). Drsnost omočeného obvodu byla odhadnuta z vlastní obchůzky zájmového území a z pořízených fotografií. Určili jsme tedy interval velikosti efektivního zrna a to hodnoty od 23 mm po 30 mm.

4.3.1 Hydrologická data

Pro výpočet byla použita hydrologická data z hlásného profilu nad vodní nádrží Plumlov. Data byla získaná z ČHMÚ z roku 2009. Podrobný popis hydrologických dat je popsán v kapitole 2.6.

Qm – m-denní průtoky [m3/s]						QN – N-leté průtoky [m3/s]						
30	90	180	270	355	364	1	5	10	20	50	100	500
1,17	0,59	0,25	0,14	0,03	0,015	7	25	32.8	46.69	59.3	69.5	94.6

Tab. 4.3.1 N – leté průtoky zdroj Hydrologické údaje ČHMÚ 2009

4.3.2 Stupeň drsnosti

Stupeň drsnosti jsme vypočítali rovnicí podle Stricklera.

$$n_d = \frac{d_g^{1/6}}{21,1} \quad (33)$$

d_g velikost efektivního zrna

n_d stupeň drsnosti

Interval velikosti efektivního zrna pro výpočet drsnosti je v intervalu od 23 mm po 30 mm. Stupeň drsnosti dna je tedy 0,026. Hodnoty drsnosti svahů byli určeny z odborné tabulky (viz. Hydrotechnické stavby I, Miroslav Šlezinger).

Svahy:

- Vegetační opevnění = 0,035
- Dlažba do betonu = 0,020
- Kameny = 0,020

4.3.3 Použité vztahy pro hydraulické výpočty

Při výpočtu hydraulických charakteristik pro všechny tři profily jsme použili tyto vztahy:

Hydraulický poloměr

$$R = \frac{A}{O} \quad (34)$$

Aplocha průřezu

OOmočený obvod

Rhydraulický poloměr

dle Manninga

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (35)$$

CChezyho rychlostní součinitel

Rhydraulický poloměr

n_d stupeň drsnosti

Rychlost dle Chezyho

$$v = C\sqrt{Ri} \quad (36)$$

CChezyho rychlostní součinitel

Rstupeň drsnosti

v rychlost

Průtok

$$Q = A \cdot v$$

(37)

A plocha průřezu

Q průtok

v rychlost

4.3.4 Popis charakteristických profilů pro posouzení stability

4.3.4.1 Profil 1



Obr.20 Schéma profilu 1

Profil je obdélníkového tvaru. Svahy koryta tvoří zídky, jejichž materiál je dlažba do betonu. Proto drsnost svahů jsme navrhli z tabulky hodnotu 0,020. Tento typ profilu najdeme v přímé trati koryta na km 11,831-11,927. Podélný sklon koryta je 4,86 ‰.

Parametry:

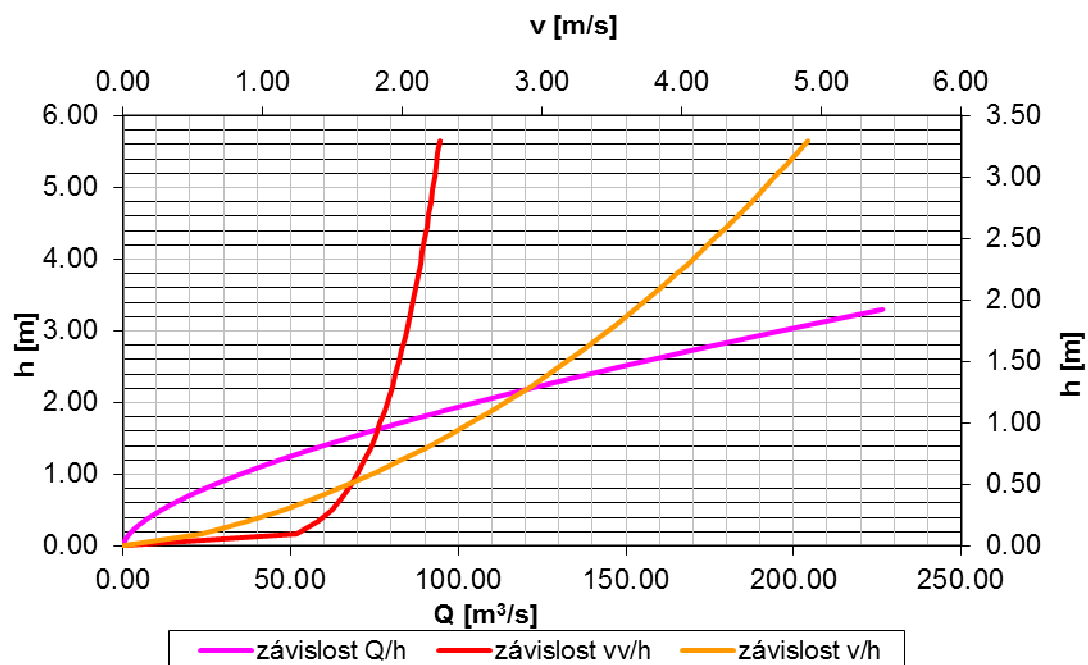
Šířka koryta: 15 m

Výška: 4,0 m

Výpočet stability pro velikost efektivního zrna 23 mm

Q_N	h	A	O	R	n	C	v	Q	vv	vv-v
	(m)	(m ²)	(m)	(m)		(m/s ^{0.5})	(m/s)	(m ³ /s)	(m/s)	(m/s)
30	0.12	1.73	14.25	0.12	0.0252	27.93	0.68	1.17	1.18	0.50
1	0.36	5.10	14.73	0.35	0.0250	33.50	1.37	7.00	1.41	0.04
5	0.79	11.11	15.59	0.71	0.0247	38.21	2.25	25.00	1.61	-0.64
10	0.94	13.15	15.88	0.83	0.0246	39.31	2.49	32.80	1.66	-0.83
20	1.17	16.39	16.34	1.00	0.0245	40.81	2.85	46.69	1.72	-1.13
50	1.36	19.04	16.72	1.14	0.0244	41.85	3.11	59.30	1.77	-1.35
100	1.50	21.05	17.01	1.24	0.0243	42.57	3.30	69.50	1.80	-1.50
500	1.83	25.61	17.66	1.45	0.0242	44.00	3.69	94.60	1.86	-1.84
počátek vymílání	0.39	5.42	14.77	0.37	0.0250	33.85	1.43	7.75	1.43	0.00

Tab. 4.3.4.1.1 Hydraulické veličiny $d_e=23$ profil 1



Obr.21 Graf závislosti výšky na rychlosti a průtoku pro profil 1 a efektivní zrna 23mm

Posouzení stability

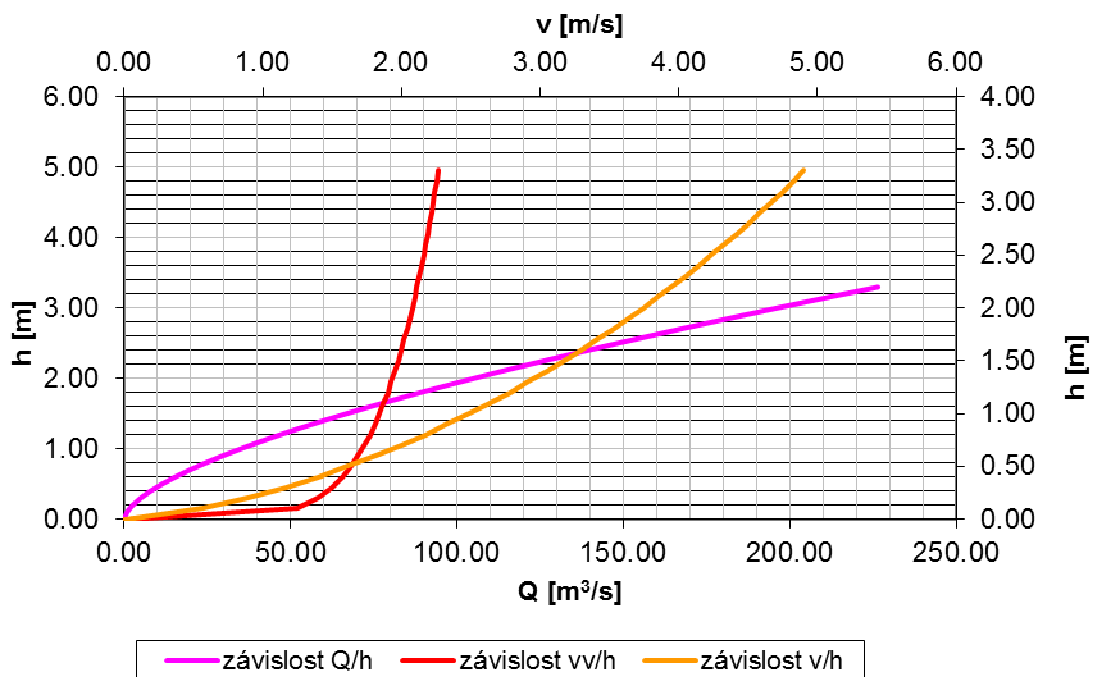
	průtok	posouzení
Dno	Q1	stabilní

Tab. 4.3.4.1.2 posouzení stability $d_e=23$ profil 1

Výpočet stability pro velikost efektivního zrna 30 mm

Q_N	h	A	O	R	n	C	v	Q	vv	vv-v
	(m)	(m ²)	(m)	(m)		(m/s ^{0.5})	(m/s)	(m ³ /s)	(m/s)	(m/s)
30	0.13	1.77	14.25	0.12	0.0263	26.86	0.66	1.17	1.30	0.64
1	0.37	5.23	14.75	0.35	0.0261	32.24	1.34	7.00	1.56	0.22
5	0.81	11.40	15.63	0.73	0.0257	36.84	2.19	25.00	1.78	-0.42
10	0.96	13.48	15.93	0.85	0.0256	37.93	2.43	32.80	1.83	-0.60
20	1.20	16.80	16.40	1.02	0.0255	39.40	2.78	46.69	1.90	-0.88
50	1.39	19.51	16.79	1.16	0.0254	40.44	3.04	59.30	1.95	-1.09
100	1.54	21.56	17.08	1.26	0.0253	41.15	3.22	69.50	1.99	-1.24
500	1.87	26.22	17.75	1.48	0.0251	42.58	3.61	94.60	2.05	-1.55
počátek vymílání	0.51	7.19	15.03	0.48	0.0260	34.04	1.64	11.81	1.64	0.00

Tab. 4.3.4.1.3 Hydraulické veličiny $d_e=30$ profil 1



Obr.22 Graf závislosti výšky na rychlosti a průtoku pro profil 1 a efektivní zrna 30mm

Posouzení stability

	průtok	posouzení
Dno	Q1	stabilní

Tab. 4.3.4.1.4 posouzení stability $d_e=30$ profil 1

4.3.4.2 Profil 2



Obr.23 Schéma profilu 3

Tento profil má na levé straně opevnění v podobě zídky, a na druhé straně je opevněna pata svahu do výšky 0,7 m a potom profil pokračuje ve svahu. Sklon koryta je v tomto místě 4,86 ‰. Tento typ profilu najdeme na km 11,927-11,983.

Šířka dna: 15 m

Výška levého svahu: 4 m

Výška pravého svahu: 3,5 m

Sklon pravého svahu: 1:2

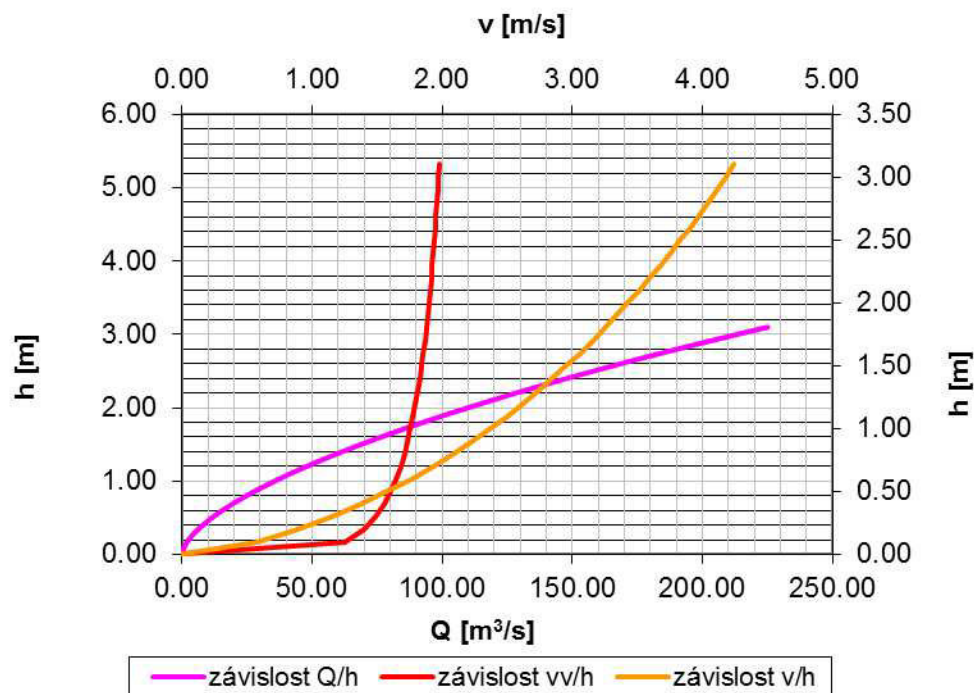
Drsnost levého svahu: 0,020

Drsnost pravého svahu: 0,035

Výpočet stability pro velikost efektivního zrna 23 mm

Q_N	h	A	O	R	n	C	v	Q	vv	vv-v
	(m)	(m ²)	(m)	(m)		(m/s ^{0.5})	(m/s)	(m ³ /s)	(m/s)	(m/s)
30	0.12	1.82	15.39	0.12	0.0261	26.83	0.64	1.17	1.13	0.49
1	0.35	5.45	16.15	0.34	0.0263	31.71	1.28	7.00	1.34	0.05
5	0.77	12.16	17.50	0.70	0.0266	35.35	2.06	25.00	1.49	-0.56
10	0.91	14.49	17.95	0.81	0.0267	36.12	2.26	32.80	1.53	-0.74
20	1.13	18.25	18.66	0.98	0.0269	37.10	2.56	46.69	1.57	-0.99
50	1.31	21.38	19.24	1.11	0.0270	37.75	2.77	59.30	1.59	-1.18
100	1.45	23.77	19.68	1.21	0.0270	38.17	2.92	69.50	1.61	-1.31
500	1.75	29.26	20.65	1.42	0.0272	38.97	3.23	94.60	1.65	-1.59
počátek vymílání	0.39	5.96	16.25	0.37	0.0263	32.13	1.36	8.09	1.36	0.00

Tab. 4.3.4.2.1 Hydraulické veličiny $d_e=23$ profil 3



Obr.23 Graf závislosti výšky na rychlosti a průtoku pro profil 3 a efektivní zrna 23mm

P

posouzení stability:

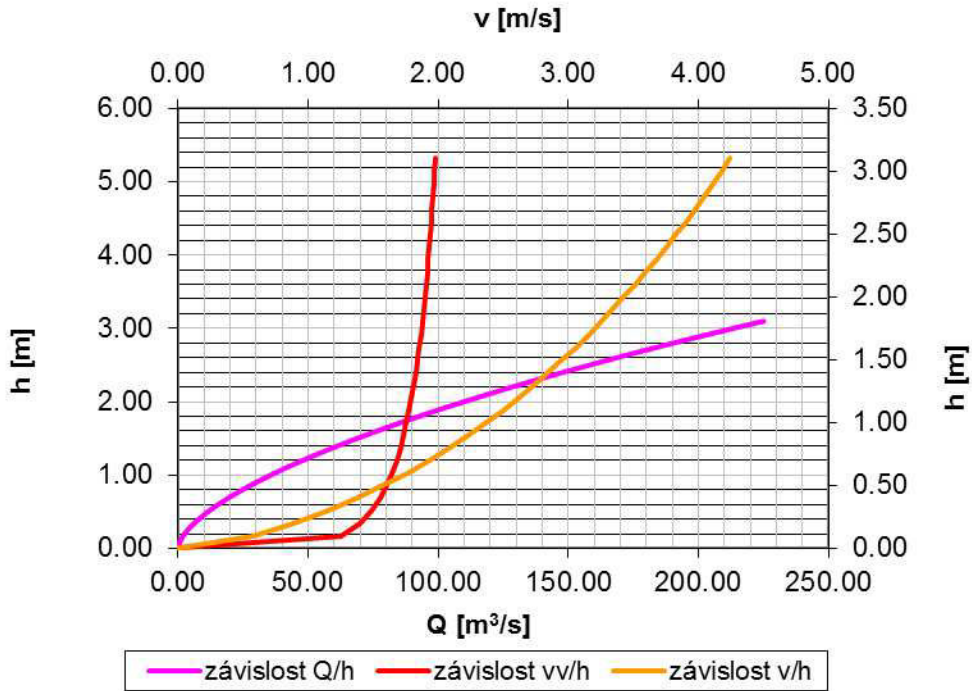
	průtok	posouzení	opevnění
Dno	Q1	stabilní	
Pata	Q5	nestabilní	$\Delta h=0,30$ m
Svah	Q20	nestabilní	hop=1,2m

Tab. 4.3.4.2.2 Posouzení stability $d_e=23$ profil 3

Výpočet stability pro velikost efektivního zrna 30 mm

Q_N	h	A	O	R	n	C	v	Q	vv	vv-v
	(m)	(m^2)	(m)	(m)		($m/s^{0.5}$)	(m/s)	(m^3/s)	(m/s)	(m/s)
30	0.12	1.82	15.39	0.12	0.0261	26.83	0.64	1.17	1.29	0.65
1	0.35	5.45	16.15	0.34	0.0263	31.71	1.28	7.00	1.53	0.25
5	0.77	12.16	17.50	0.70	0.0266	35.35	2.06	25.00	1.71	-0.35
10	0.91	14.49	17.95	0.81	0.0267	36.12	2.26	32.80	1.74	-0.52
20	1.13	18.25	18.66	0.98	0.0269	37.10	2.56	46.69	1.79	-0.77
50	1.31	21.38	19.24	1.11	0.0270	37.75	2.77	59.30	1.82	-0.95
100	1.45	23.77	19.68	1.21	0.0270	38.17	2.92	69.50	1.84	-1.08
500	1.75	29.26	20.65	1.42	0.0272	38.97	3.23	94.60	1.88	-1.35
počátek vymílání	0.51	7.97	16.66	0.48	0.0264	33.46	1.61	12.87	1.61	0.00

Tab. 4.3.4.2.3 Hydraulické veličiny $d_e=30$ profil 3



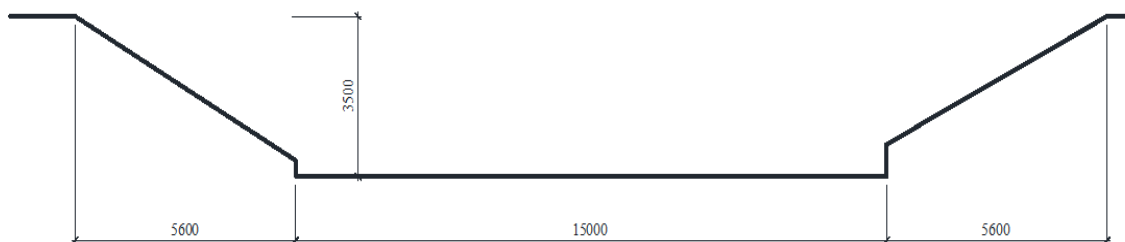
Obr.23 Graf závislosti výšky na rychlosti a průtoku pro profil 3 a efektivní zrno 30mm

Posouzení stability

	průtok	posouzení	opevnění
Dno	Q1	stabilní	
Pata	Q5	nestabilní	$\Delta h=0,20$ m
Svah	Q20	nestabilní	hop=1,5m

Tab. 4.3.4.2.4 Posouzení stability $d_e=30$ profil 3

4.3.4.3 Profil 3



Obr.23 Schéma profilu 2

Tento profil je lichoběžníkového tvaru je opevněna pouze jeho pata svahu. Na pravém břehu zídka o výšce 0,7 m a na levém břehu sníženou zídka o výšce 0,3 m. Sklon koryta je v tomto místě 4,86 ‰. Tento typ profilu najdeme na km 11,981-11.991. Svahy jsou zatravněné.

Parametry:

Šířka koryta ve dně: 15 m

Výška: 3,5 m

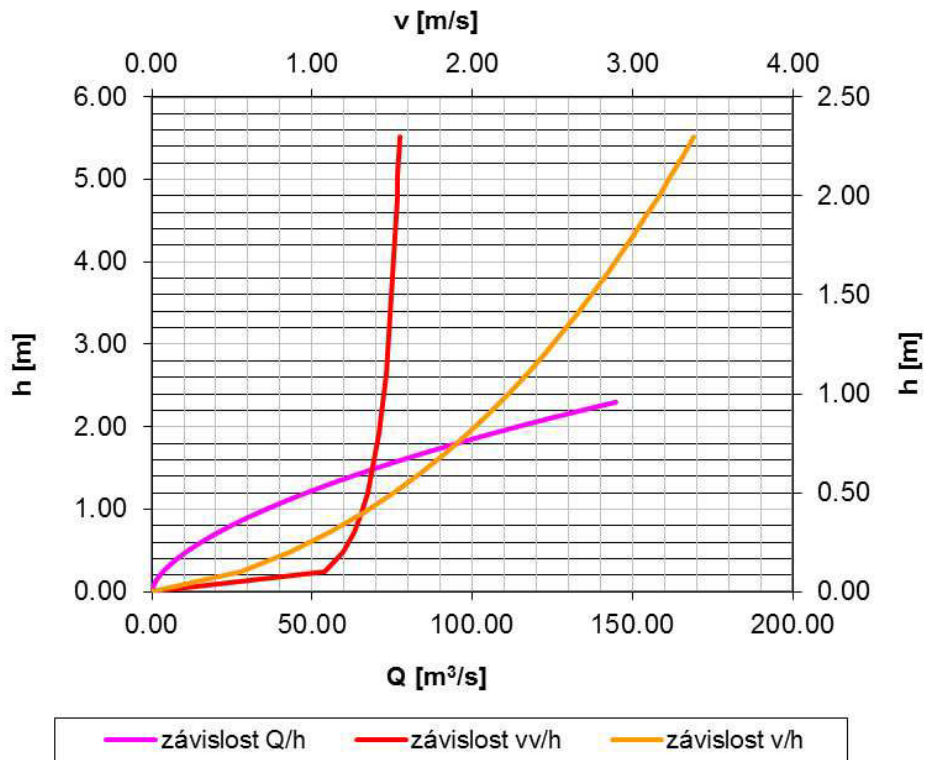
Sklon svahů: 1:2

Drsnost svahů: 0,035

Výpočet stability pro velikost efektivního zrna 23 mm

Q_N	h	A	O	R	n	C	v	Q	vv	vv-v
	(m)	(m ²)	(m)	(m)		(m/s ^{0.5})	(m/s)	(m ³ /s)	(m/s)	(m/s)
30	0.11	1.85	16.51	0.11	0.0256	27.15	0.63	1.17	1.15	0.51
1	0.34	5.60	17.50	0.32	0.0261	31.68	1.25	7.00	1.34	0.09
5	0.73	12.73	19.26	0.66	0.0269	34.67	1.96	25.00	1.46	-0.50
10	0.86	15.24	19.85	0.77	0.0272	35.23	2.15	32.80	1.49	-0.66
20	1.07	19.33	20.77	0.93	0.0275	35.92	2.42	46.69	1.52	-0.90
50	1.23	22.75	21.51	1.06	0.0278	36.35	2.61	59.30	1.54	-1.07
100	1.36	25.38	22.07	1.15	0.0279	36.63	2.74	69.50	1.55	-1.19
500	1.63	31.46	23.30	1.35	0.0283	37.12	3.01	94.60	1.57	-1.44
počátek vymílání	0.40	6.64	17.77	0.37	0.0262	32.34	1.38	9.15	1.37	-0.01

Tab. 4.3.4.3.1 *Hydraulické veličiny $d_e=23$ profil 2*



Obr.22 Graf závislosti výšky na rychlosti a průtoku pro profil 2 a efektivní zrna 23mm

Posouzení stability

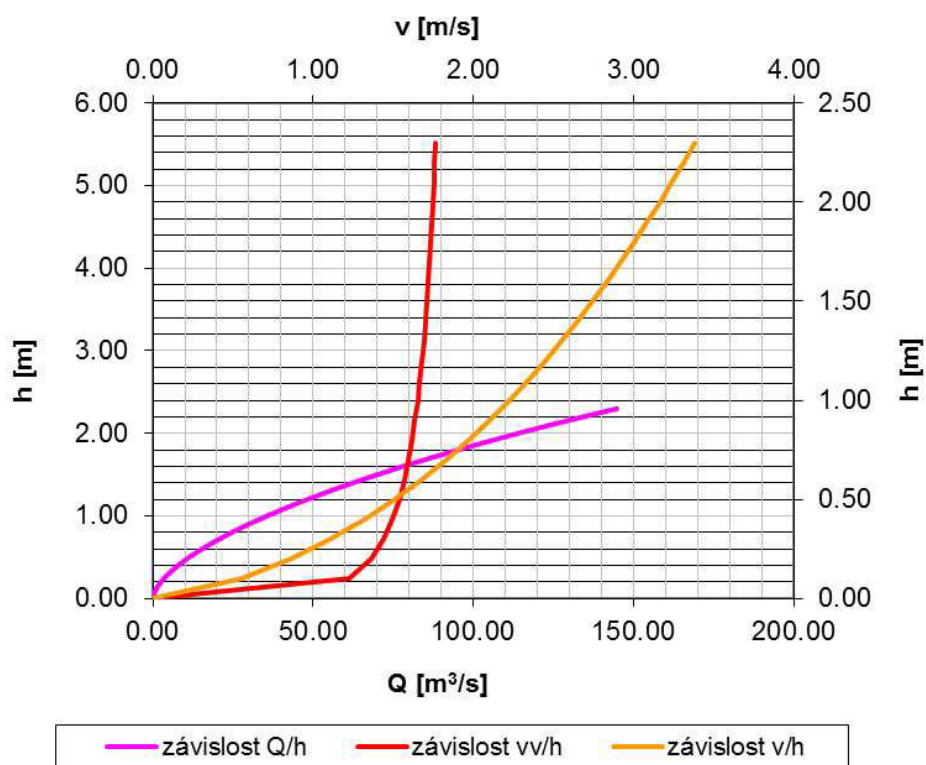
	průtok	posouzení	opevnění
Dno	Q1	stabilní	
Pata	Q5	nestabilní	$\Delta h=0,35$ m
Svah	Q20	nestabilní	hop=1,1m

Tab. 4.3.4.3.2 Posouzení stability $d_e=23$ profil 2

Výpočet stability pro velikost efektivního zrna 30 mm

Q_N	h	A	O	R	n	C	v	Q	vv	vv-v
	(m)	(m ²)	(m)	(m)		(m/s ^{0.5})	(m/s)	(m ³ /s)	(m/s)	(m/s)
30	0.11	1.85	16.51	0.11	0.0256	27.15	0.63	1.17	1.31	0.68
1	0.34	5.60	17.50	0.32	0.0261	31.68	1.25	7.00	1.53	0.28
5	0.73	12.73	19.26	0.66	0.0269	34.67	1.96	25.00	1.67	-0.29
10	0.86	15.24	19.85	0.77	0.0272	35.23	2.15	32.80	1.70	-0.45
20	1.07	19.33	20.77	0.93	0.0275	35.92	2.42	46.69	1.73	-0.68
50	1.23	22.75	21.51	1.06	0.0278	36.35	2.61	59.30	1.75	-0.85
100	1.36	25.38	22.07	1.15	0.0279	36.63	2.74	69.50	1.77	-0.97
500	1.63	31.46	23.30	1.35	0.0283	37.12	3.01	94.60	1.79	-1.22
počátek vymílání	0.51	8.76	18.30	0.48	0.0265	33.38	1.61	14.10	1.61	0.00

Tab. 4.3.4.3.3 *Hydraulické veličiny $d_e=30$ profil 2*



Obr.23 *Graf závislosti výšky na rychlosti a průtoku pro profil 2 a efektivní zrna 30mm*

Posouzení na stability

	průtok	posouzení	opevnění
Dno	Q1	stabilní	
Pata	Q5	nestabilní	$\Delta h=0,35$ m
Svah	Q20	nestabilní	hop=1,28m

Tab. 4.3.4.3.4 Posouzení stability $d_e=30$ profil 2

Řešený úsek byl původně navržen na průtok $Q_I=7\text{m}^3/\text{s}$. Podmínka počátku vymílání, která má být v rozmezí $Q_I - Q_5$ platí pro všechny profily, i pro celý interval velikosti efektivního zrna $d_e=23 - 30$ mm. V zájmovém území je po většinu roku průtok $Q_{30}=1,17\text{m}^3/\text{s}$. V důsledku toho se ve dně koryta vytvořila kyneta a zbytek koryta se zanáší jemným materiálem a zarůstá.

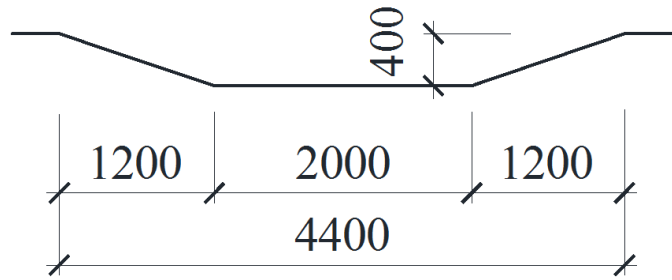
Podmínka stability dna vyšla ve všech profilech stabilní. Pata svahu v profilu 2 a profilu 3 vyšli nestabilní. V patě svahu vyšli malé výmoly, které by se měli opevnit. Po vlastní obchůzce zájmového území jsme zjistili, že paty svahu jsou stabilní, díky základům zdí, které patu koryta zpevní. Protože koryto nebude zahloubeno tyto základy se při rekonstrukci koryta neporuší.

4.4 Popis navržených opatření

V zájmovém území jsme navrhli kynetu, která převede menší průtoky v korytě. Přilehlé bermy se opevní dlažbou do betonu nebo osejí. Šířka koryta ve dně zůstává zachovaná. Paty svahů jsou stabilní. Koryto se nebude zahlubovat.

4.4.1 Kyneta

V ose koryta jsme navrhli kynetu, ta má za úkol převést průtok $Q_{30}=1,17 \text{ m}^3/\text{s}$, který protéká v tomto úseku převážně po celý rok. Kyneta je lichoběžníkového tvaru, šířky ve dně 2 m, výšky 0,4 m svahy v poměru 1:3.



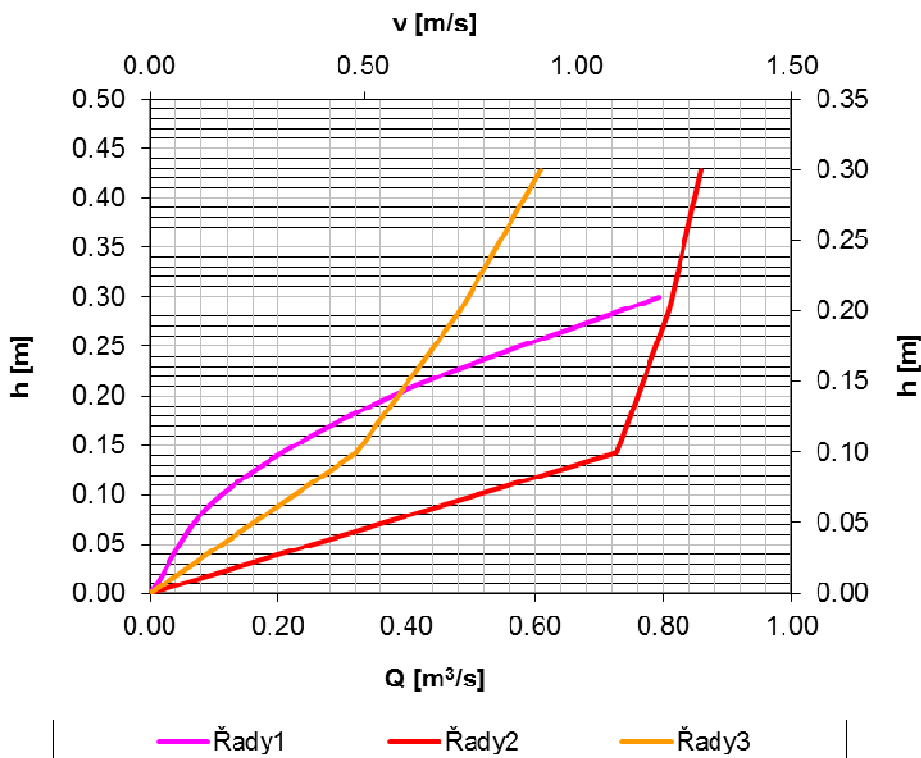
Obr.24 schéma kynety

4.4.1.1 Posouzení stability nově navržené kynety

Výpočet stability pro velikost efektivního zrna 23 mm

Q_N	h	A_k	A_b	vv_k	$vv-v_k$	vv_b	$vv-v_b$	Q
	(m)	(m^2)	(m^2)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	
kyn.	0.40	1.28	0.00	1.34	0.27	0.00	0.00	1.37
1	0.58	2.09	1.95	1.51	0.03	1.27	-0.71	7.00
5	0.87	3.37	5.02	1.71	-0.30	1.47	-2.16	25.00

Tab. 4.4.1.1 Posouzení stability kynety $d_e=23$

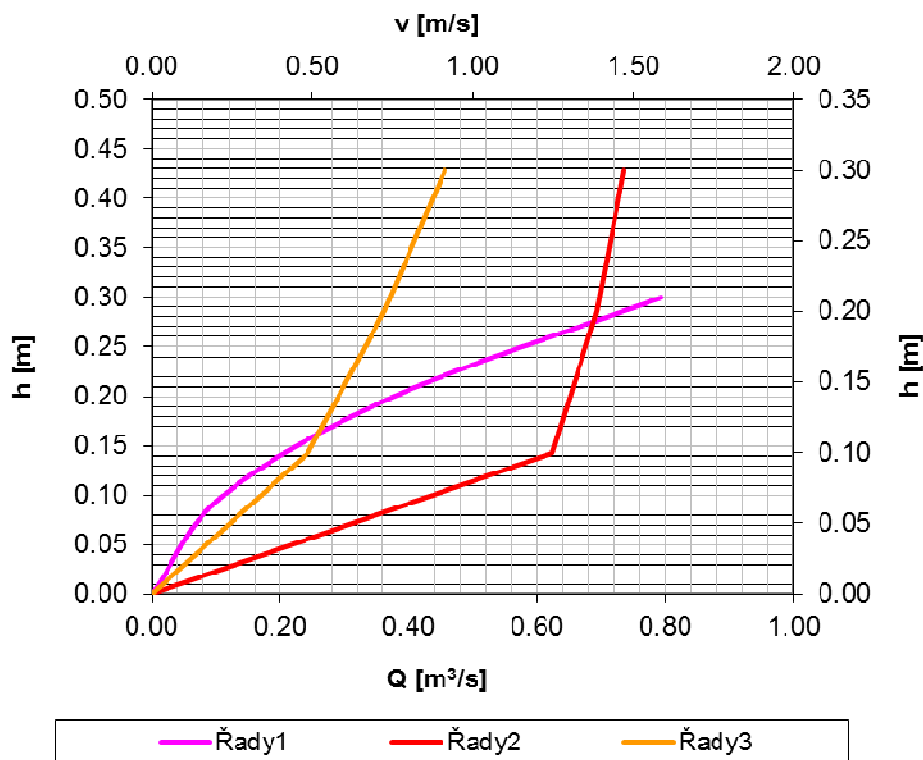


Obr.24 schéma kynety

Výpočet stability pro velikost efektivního zrna 30 mm

Q_N	h	Ak	Ab	vv k	vv-v k	vv b	vv-v b	Q
	(m)	(m ²)	(m ²)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m ³ /s)
kyn.	0.40	1.28	0.00	1.54	0.47	0.00	0.00	1.37
1	0.58	2.09	1.95	1.72	0.25	1.45	-0.56	7.00
5	0.87	3.37	5.02	1.95	-0.05	1.68	-1.95	25.00

Tab. 4.4.1.1.2 Posouzení stability kynety $d_e=30$



Obr.24 schéma kynety

Z posouzení vyplývá, že dno kynety bude stabilní při intervalu efektivního zrna $d_e=23-30$ mm. Dno kynety zůstane původní. Svahy budou vybudovány z kamenné rovnaniny větší velikosti.

4.4.2 Berma a svahy

Berma je na každé straně od kynety dlouhá 5,3 m. V některých místech přechází do paty svahu, která je 0,5 nebo 0,7 m vysoká a na ní navazuje zatravněný svah 1:2. Někde jsou místo svahů 4 m zídky z lomového kamene (viz kap. 2.8.3.).

4.4.3 Možnosti řešení kynety a bermy

Možnost pro jakou variantu opatření se správce toku rozhodne záleží na jeho představě, jak by měl daný úsek vypadat. Jakou finanční částku chce do řešeného úseku vložit a jak moc návrh ovlivní okolí krajiny.

Varianta A

Materiál bermy i kynety může být z dlažby do betonu, tato varianta není po estetické stránce příliš vhodná, ale berma a kyneta budou stabilní a nebudou se muset udržovat.

Varianta B

Další možnost opevnit bermy a svahy je travním osetím. Kyneta může být vybudována z dlažby do betonu, aby při větších průtocích kyneta zůstala stabilní. Tato varianta je vhodná, ale správce toku musí travnaté plochy pravidelně udržovat.

Varianta C

Svahy kynety koryta můžeme navrhnout z kamenné rovnaniny. Dno kynety by zůstalo z původního materiálu. Při posouzení na stabilitu jsme zjistili, že dno je stabilní. Bermy a svahy opevnit travním osetím. Vyřešení zájmového úseku touto variantou bude po estetické stránce nejlepší volbou. Naváže na kamenité dno pod Podhradským rybníkem, které je na horní části toku. Koryto se bude muset opět udržovat aby nezarůstalo.

Varianta D

Geometrie a materiál kynety by zůstal zachován. Stěhovavá kyneta, která se na trati vytvořila přenesla kapacitu malých průtoků. Trať kynety tím neohrožuje stabilitu okolních zdí ani svahů. Je pravděpodobné, že se osa kynety může v průběhu let změnit. Bermy a svahy

zůstanou zatravněné. Je velmi důležité, pokud se správce toku rozhodne pro tuto variantu, aby se postaral o pravidelnou údržbu bermy a svahů.

4.5 Kapacita nového koryta

Kapacita nově navrženého koryta byla vymodelována v programu HEC-RAS. V ose koryta jsme navrhli kynetu o šířce ve dně 2 m. a výšce 0,4 m. Materiál kynety byl zvolen opevnění kamennou rovnaninou. Její drsnost je 0,025. Drsnost bermy, která bude oseta trávou, je 0,035.

Model vypočítal výšku hladiny při průtoku $Q_{30} = 1,17 \text{ m}^3/\text{s}$. Podélný sklon byl určen výškovým rozdílem mezi prvním a posledním příčným řezem v řešeném úseku. Sklon byl tedy stanoven na 4‰. Nově navržený úsek toku se tak na dolním konci v km 11.831 a horním konci na km 11,991 napojí na stávající koryto.

staničení (km)	Q průtok (m ³ /s)	min.kota (m)	kota hladiny (m)	čára energie (m)	rychlost (m/s)	průt.ploch. (m ²)	šíř.v hlad. (m)
0.1604	1.17	0.64	0.98	1.07	1.29	0.91	3.36
0.1435	1.17	0.57	0.92	1	1.28	0.91	3.36
0.1285	1.17	0.52	0.85	0.94	1.28	0.91	3.36
0.1053	1.17	0.42	0.76	0.85	1.28	0.91	3.36
0.0944	Bridge						
0.0924	1.17	0.37	0.71	0.79	1.28	0.91	3.36
0.076	1.17	0.31	0.65	0.73	1.28	0.91	3.36
0.06	1.17	0.24	0.58	0.66	1.28	0.91	3.36
0.0365	1.17	0.15	0.49	0.57	1.29	0.91	3.36
0.0171	1.17	0.07	0.41	0.49	1.28	0.91	3.36
0	1.17	0	0.34	0.42	1.28	0.91	3.36

Tab. 4.5.1 Kapacita nově navržené kynety na $Q_{30}=1,17 \text{ m}^3/\text{s}$

Po úpravě svahů řešeného úseku se celková kapacita nově navrženého koryta se zvýšila. Převede průtok $Q=168 \text{ m}^3/\text{s}$. Nejméně kapacitní je lichoběžníkový profil v km 11.991.

staničení	Q průtok	min.kota	kota hladiny	čára energie	rychlost	průt.ploch.	šif. v hlad.
(km)	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m ²)	(m)
0.1604	168	0.64	4.62	4.86	2.16	77.92	28.92
0.1435	168	0.57	4.43	4.81	2.73	61.56	20.76
0.1285	168	0.52	4.4	4.78	2.7	62.17	20.81
0.1053	168	0.42	4.36	4.72	2.66	63.15	20.89
0.0944	Bridge						
0.0924	168	0.37	4.07	4.66	3.39	49.49	15
0.076	168	0.31	4.01	4.59	3.39	49.5	15
0.06	168	0.24	3.94	4.53	3.39	49.49	15
0.0365	168	0.15	3.85	4.43	3.39	49.49	15
0.0171	168	0.07	3.77	4.35	3.39	49.49	15
0	168	0	3.7	4.29	3.39	49.5	15

Tab. 4.5.2 Kapacita nově navržené korytě na $Q=168\text{ m}^3/\text{s}$

5. ZÁVĚR

Při výpočtu kapacity stávajícího koryta jsme vyvodili, že celková kapacita stávajícího koryta je $Q = 157 \text{ m}^3/\text{s}$. Když porovnáme vypočtenou kapacitu koryta s hydrologickými daty (viz. kap. 2.6.) zjistíme, že koryto je značně předimenzované.

V podkladech nebyla uvedena křivka zrnitosti. Efektivní zrno koryta jsme tedy zjistili na základě vlastní obchůzky území a fotodokumentace, kterou jsme pak analogicky na základě publikovaných katalogů drsnosti koryt. Odhadli jsme interval reprezentativní velikosti efektivního zrna na 23-30mm.

Z deseti příčných řezů korytem jsme pro výpočet stability původního koryta vytvořili tři charakteristické profily.

Posouzení koryta na stability jsme provedli pomocí metody nevymílajících rychlostí. Podmínka porušení stability, která má být v rozmezí průtoků Q_1 - Q_5 vyšla kladně. Tyto průtoky však v řešeném úseku neprotékají. Po vlastní obchůzce jsme zjistili, že průtok který je vypouštěn z Podhradského rybníka je přibližně průtok $Q_{30} = 1,17 \text{ m}^3/\text{s}$ a protéká řešeným úsekem po většinu roku.

Protože v průtočném profilu neprotéká $Q_1 = 7 \text{ m}^3/\text{s}$, na které bylo koryto dimenzováno, dno koryta se zanáší jemnozrnným materiálem. Řešením je návrh kynety, která bude tyto malé průtoky odvádět. Rozměry nové kynety byli odhadnuti z fotografií a z rozměru stávající vytvořené kynety v upravovaném úseku.

Byl proveden návrh čtyř variant provedení kynety a bermy. Jako nejvhodnější variantu jsme zvolili kynetu, která bude mít dno z původního materiálu. Svahy kynety budou opevněny kamennou rovnáninou. Berma bude zatravněná. Vyřešení zájmového úseku touto variantou bude po estetické stránce nejlepší volbou. Kyneta z rovnániny naváže na kamenité dno pod Podhradským rybníkem, které je v horní části toku. Správce toku bude muset napláňovat údržbu pozemku koryta.

Pozemky by měli co nejvíce odpovídat přírodním podmínkám daného místa, neplatí pro pozemky s funkcí lesa. Povinností správce toku je pečovat o koryto vodního toku. Udržovat pozemky koryt a jejich nejbližší okolí ve stavu, aby neohrožovali plynulý odtok vody v korytě za povodňového stavu. Hydraulicky ideálním stavem v intravilánu je zcela volný průtočný profil řeky. V inundačním území pak mohou být vysázeny keřové porosty, neměli by však být součástí ohrazování toku.

6. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] <http://www.geologicke-mapy.cz/regiony/ku-721964/>
- [2] červen 2007, Technická zpráva, čistá Hloučela a vodní nádrž Plumlov
- [3] Biokoridor Hloučela, <http://skolaplumlov.tym.cz/clanky/ZS-ZL-1.pdf>
- [4] www.pmo.cz
- [5] www.mistopisy.cz/soucasnost_plumlov_2946.html
- [6] www.chmi.cz/
- [7] <http://www.hrady.cz/index.php?OID=5116>
- [8] Záplavové území Hloučela
- [9] Raplík M., Výbora P., Mareš K.: Úprava tokov, Alfa, Bratislava. 1989.
- [10] C. Patočka, L. Macura a kol.: Úprava toků, Praha 1989
- [11] Miroslav Šlezinger, HYDROTECHNICKÉ STAVBY I, modul 2
- [12] od uhmanové, z prahy
- [13] Modelování ve vodním hospodářství I Ing Hana Uhmánová CSc.
- [14] HEC-RAS Proudění v říční síti, Uživatelský a teoretický manuál
- [15] <http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/download.php?akce=dokumenty&cislo=17>
- [16] Barnes, 1967 http://il.water.usgs.gov/proj/nvalues/barnes_station_id.shtml
- [17] Smelík, 2011 <http://sites.google.com/site/katalogdrsnosti/>

7. SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR.1 VÝPUSTĚ Z PODHRADSKÉO RYBNÍKA	12
OBR.2 UPRAVOVANÝ ÚSEK TOKU	12
OBR.3 GEOLOGICKÁ SITUACE	13
OBR.4 PODHRADSKÝ RYBNÍK	16
OBR.5 LÁVKA PRO PĚŠÍ	16
OBR.6 LÁVKA U LIMNIGRAFICKÉ STANICE	17
OBR.7 VODNÍ NÁDRŽ PLUMLOV	18
OBR.8 KŘÍŽENÍ ŘEKY HLOUČELY S PODHRADSKÝM NÁHONEM	18
OBR.9 OPEVNĚNÍ ZÍDKAMI	20
OBR.10 VELIKOST EFEKTIVNÍHO ZRNA	20
OBR.11 SCHÉMA PŮSOBÍCÍ SÍLY NA ČÁSTICE	24
OBR.12 SCHÉMA HLOUBEK	26
OBR.13 SCHÉMA STABILITY SVAHU V PŘÍMÉ [11]	27
OBR.14 SCHÉMA STABILITY SVAHU V OBLOUKU [11]	30
OBR.15 SCHÉMA K VYSVĚTLENÍ POSTUPU VÝPOČTU VZ	31
OBR.16 ROZOVSKÉHO NOMOGRAM NA URČENÍ RYCHLOSTI VODY V OBLOUKU	32
OBR.17 GRAF URČENÍ SVISLICOVÉ RYCHLOSTI VODY V PŘÍMÉ TRATI A OBLOUKU	33
OBR.18 SCHÉMA KORYTA V PŘÍMÉ	34
OBR.19 GRAF URČUJÍCÍ RO/B	35

OBR.20 SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ ÚSEKU PRO ODVOZENÍ BERNOULLIOVI ROVNICE	38
OBR.21 PROFIL KM 11,991 PŘI $Q=157\text{M}^3/\text{S}$	41
OBR.22 PROFIL KM 11,867 PŘI $Q_{30}=1,17\text{M}^3/\text{S}$	41
OBR.20 SCHÉMA PROFILU 1	44
OBR.21 GRAF ZÁVISLOSTI VÝŠKY NA RYCHLOSTI A PRŮTOKU PRO PROFIL 1 A EFEKTIVNÍ ZRNO 23MM	45
OBR.22 GRAF ZÁVISLOSTI VÝŠKY NA RYCHLOSTI A PRŮTOKU PRO PROFIL 1 A EFEKTIVNÍ ZRNO 30MM	46
OBR.23 SCHÉMA PROFILU 3	47
OBR.23 GRAF ZÁVISLOSTI VÝŠKY NA RYCHLOSTI A PRŮTOKU PRO PROFIL 3 A EFEKTIVNÍ ZRNO 23MM	48
OBR.23 GRAF ZÁVISLOSTI VÝŠKY NA RYCHLOSTI A PRŮTOKU PRO PROFIL 3 A EFEKTIVNÍ ZRNO 30MM	50
OBR.23 SCHÉMA PROFILU 2	50
OBR.22 GRAF ZÁVISLOSTI VÝŠKY NA RYCHLOSTI A PRŮTOKU PRO PROFIL 2 A EFEKTIVNÍ ZRNO 23MM	52
OBR.23 GRAF ZÁVISLOSTI VÝŠKY NA RYCHLOSTI A PRŮTOKU PRO PROFIL 2 A EFEKTIVNÍ ZRNO 30MM	53
OBR.24 SCHÉMA KYNETY	55
OBR.24 SCHÉMA KYNETY	55
OBR.24 SCHÉMA KYNETY	56

8. SEZNAM TABULEK

TAB. 2.1 CHARAKTERISTICKÉ HYDROLOGICKÉ ÚDAJE TOKŮ V POVODÍ MORAVY A ODRY., HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, PRAHA, 1963	15
TAB. 2.2 HYDROLOGICKÉ POMĚRY, ČSR, DÍL III., HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, PRAHA, 1970.....	15
TAB. 2.3 N – LETÉ PRŮTOKY ZDROJ HYDROLOGICKÉ ÚDAJE ČHMÚ 2009.....	15
TAB. 3.1 HODNOTY NÁVRHOVÉHO PRŮTOKU PRO ODOLNOST KORYTA.....	23
TAB. 3.2 HODNOTY NÁVRHOVÉHO PRŮTOKU PRO ODOLNOST KORYTA.....	28
TAB. 4.2 KAPACITA STÁVAJÍCÍHO KORYTA PŘI $Q=157\text{M}^3/\text{S}$	40
TAB. 4.2 KAPACITA STÁVAJÍCÍ KYNETY NA $Q_{30}=1,17\text{M}^3/\text{S}$	40
TAB. 4.3.1 N – LETÉ PRŮTOKY ZDROJ HYDROLOGICKÉ ÚDAJE ČHMÚ 2009.....	42
TAB. 4.3.4.1.1 HYDRAULICKÉ VELIČINY $D_E=23$ PROFIL 1.....	45
TAB. 4.3.4.1.2 POSOUZENÍ STABILITY $D_E=23$ PROFIL 1.....	46
TAB. 4.3.4.1.3 HYDRAULICKÉ VELIČINY $D_E=30$ PROFIL 1.....	46
TAB. 4.3.4.1.4 POSOUZENÍ STABILITY $D_E=30$ PROFIL 1.....	47
TAB. 4.3.4.2.1 HYDRAULICKÉ VELIČINY $D_E=23$ PROFIL 3.....	48
TAB. 4.3.4.2.2 POSOUZENÍ STABILITY $D_E=23$ PROFIL 3.....	49
TAB. 4.3.4.2.3 HYDRAULICKÉ VELIČINY $D_E=30$ PROFIL 3.....	49
TAB. 4.3.4.2.4 POSOUZENÍ STABILITY $D_E=30$ PROFIL 3.....	50
TAB. 4.3.4.3.1 HYDRAULICKÉ VELIČINY $D_E=23$ PROFIL 2.....	51
TAB. 4.3.4.3.2 POSOUZENÍ STABILITY $D_E=23$ PROFIL 2.....	52
TAB. 4.3.4.3.3 HYDRAULICKÉ VELIČINY $D_E=30$ PROFIL 2.....	53
TAB. 4.3.4.3.4 POSOUZENÍ STABILITY $D_E=30$ PROFIL 2.....	54
TAB. 4.4.1.1.1 POSOUZENÍ STABILITY KYNETY $D_E=23$	55
TAB. 4.4.1.1.2 POSOUZENÍ STABILITY KYNETY $D_E=30$	56
TAB. 4.5.1 KAPACITA NOVĚ NAVRŽENÉ KYNETY NA $Q_{30}=1,17\text{M}^3/\text{S}$	58
TAB. 4.5.2 KAPACITA NOVĚ NAVRŽENÉ KORYTĚ NA $Q=168\text{M}^3/\text{S}$	59

9. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

- d_e efektivní zrno [m],
 C Chezyho rychlostní součinitel [$m^{0.5}/s$],
 γ_s měrná tíha splavenin [možno brát cca $26,5kN/m^3$],
 γ_v měrná tíha vody [$10,0kN/m^3$].
 d_{90} hloubka v korytě [m],
 d_e efektivní zrno [m],
 v_v nevymílající rychlost [m/s],
 h hloubka vody [m],
 h_A hloubka libovolného bodu na svahu [m],
 v_v nevymílající rychlost [m/s],
 ξ sklon svahu [rad],
 ε sklon svahu [rad],
 φ úhel vnitřního tření [rad],
 v'_{max} maximální relativní podelná rychlost ve svislici [m/s],
 d_{90} hloubka v korytě [m],
 d_e efektivní zrno [m],
 ρ 1 [$t m^{-3}$],
 ρ'_m tíha materiálu dna váženého ve vodě [$t m^{-3}$],
 v_{vo} nevymílající rychlost [m/s],
 R_o poloměr oblouku [rad],
 α úhel svahu [rad],
 S plocha specifického obrazce [m^2],
 n součinitel drsnosti [-],
 i sklon čáry energie [%],
 a vzdálenost svislice od břehu [m],
 Z průběh čáry [m],
 Z_i průběh čáry [m],
 v'_x relativní rychlost vody v oblouku nasvislici x [m/s],
 β středový úhel oblouku [$^\circ$],
 v_{zo} svislicová rychlost v oblouku [m/s],
 v_s svislicová rychlost vody [m/s],
 v'_E rychlost dané svislice v oblouku [m/s],

S_dobsah části koryta [m^2],
 b šířka koryta [m],
 $\tau_{od\ max}$..maximální tečné napětí na vnějším oblouku dna [-],
 τ_{od}průměrné tečné napětí na dno [-],
 λ uhel odchylení tečného napětí od podélného směru toku [-],
 h_{20} hloubka při $Q_{NAVRH20}$ [m],
 rpoloměr v ose oblouku [m],
 J_1sklon [%],
 h_2druhá hloubka [m],
 h_1první hloubka [m],
 v_2druhá rychlost [m/s],
 αcoriolisovo číslo [-],
 v_1první rychlost [m/s],
 dZztráty [m],
 J_2sklon [%],
 v_Ivstupní rychlost [m/s],
 g gravitační zrychlení [m/s^2],
 K_pmodul průtoku [s/m^3],
 Q průtok [m^3/s],
 ldélka úseku [m],
 A plocha průřezu [m^2],
 O Omočený obvod [m],
 R hydraulický poloměr [m],

10. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Fotodokumentace
 Příloha 2 Vzorový příčný řez
 Příloha 3 Pracovní řezy
 Příloha 4 Situace
 Příloha 5 Podrobný podélný profil
 Příloha 6 Přehledná situace