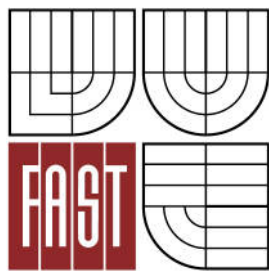


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

NÁVRH STABILIZACE ZAHLUBUJÍCÍHO SE DNA
ŘEKY BEČVY V OBLASTI OSEKU NAD BEČVOU
DESIGN OF RIVER STABILIZATION STRUCTURES AT THE BEČVA RIVER IN OSEK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

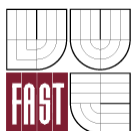
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

HANA LOKAJOVÁ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ JULÍNEK, Ph.D.

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	Hana Lokajová
Název	Návrh stabilizace zahlubujícího se dna řeky Bečvy v oblasti Oseku nad Bečvou
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Tomáš Julínek, Ph.D.
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

Raplík M.: Výbora P., Mareš K.: Úprava tokov, Alfa, Bratislava, 1989

Mareš K.: Úpravy toků, ČVUT Praha, 1997

Výbora P.: Jezy, VUT Brno, 1978

Chow, Ven Te: Open Chanel Flow, Mc Draw Hill Book Company, 1959

Kolář V., Patočka C., Bém J.: Hydraulika, SNTL/ALFA, Praha, 1983

Šlezinger M., Úředníček L.: Vegetační doprovod vodních toků a nádrží, CERM s.r.o., Brno, 2002

Zásady pro vypracování

Účelem práce je navrhnout taková konstrukční opatření a úpravu parametrů koryta Bečvy (podélného sklonu dna, tvarů průtočného profilu, směrových a spádových staveb) v zájmovém úseku v oblasti Oseku nad Bečvou, která by zajistila stabilizaci koryta toku a omezila jeho zahlubování. Nedílnou součástí práce bude ucelené zhodnocení širších souvislostí zájmové lokality z hlediska odtokových poměrů a transportu sedimentů. Předmět hodnocení bude i shrnutí historických podkladů k vývoji morfologie koryta v zájmovém úseku toku. Hlavní náplní práce bude výpočtové hydraulické posouzení navržených opatření.

Obsahem diplomové práce bude

1. Technická zpráva včetně hydraulických výpočtů a celkového hodnocení zájmové lokality
2. Situace navrhovaných opatření
3. Podélný profil
4. Vzorové příčné profily navrhovaných opatření
5. Další výkresová dokumentace
6. Fotodokumentace

Předepsané přílohy

.....
Ing. Tomáš Julínek, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Bakalářská práce je věnována řešení zahlubujícího se dna v Oseku nad Bečvou. Jedna část řeší hodnocení historického hlediska zkoumané oblasti. V další části této práce je popsán splaveninový režim. Následující část se zabývá hodnocením současného stavu vybraného úseku řeky Bečvy a dále úpravou toku. Nakonec je vypracován teoretický návrh ochranného opatření.

Klíčová slova

vodní tok, splaveniny, vymílací rychlost, nevymílací rychlost, zanášení, ustálené proudění, neustálené proudění, HEC-RAS, úprava toku

Abstract

This bachelor thesis is dedicated to the solution of channel recessing in Osek nad Bečvou. One part deals with the evaluation of historical perspective of the area of interest. In the next part of this thesis the transport of sediments is described. The following part contains of an evaluation of current state of the selected part of the river Bečva and deals with a regulation of the river. In the end the theoretical suggestion of protective measure is developed.

Keywords

water flow, sediments, erosional velocity, non-erosional velocity, choking, steady flow, unsteady flow, HEC-RAS, river regulation

Bibliografická citace VŠKP

LOKAJOVÁ, Hana. *Návrh stabilizace zahlubujícího se dna řeky Bečvy v oblasti Oseku nad Bečvou..* Brno, 2013. 52 s., 49 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Tomáš Julínek, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24.5.2013

.....
podpis autora

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat všem těm, kteří mi byli po dobu psaní bakalářské práce oporou.

Hlavní poděkování patří panu Ing. Tomáši Julínkovi, Ph.D. za odborné vedení.

OBSAH

1. ÚVOD	9
2. CÍLE	10
3. HISTORICKÝ VÝVOJ ÚZEMÍ	11
4. POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU.....	16
4.1 Popis širšího území.....	16
4.2 Popis řeky Bečvy	18
4.3 Zájmové území	20
5. SPLAVENINOVÝ REŽIM.....	21
5.1 Dnové charakteristiky	21
5.2 Splaveniny	22
5.3 Usazovací rychlost plavenin	22
5.4 Nevymílací rychlost a unášecí síla	23
5.5 Odolnost dna a paty svahů proti vlivům proudění	26
6. VSTUPNÍ DATA.....	27
6.1 Hydrologická data.....	27
6.2 Geologická data.....	27
6.3 Geometrie koryta	28
7. HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY	30
7.1 Postup výpočtu rovnoměrného proudění.....	30
7.2 Postup výpočtu nerovnoměrného proudění pomocí softwaru HEC-RAS.....	31
7.2.1 HEC-RAS	31
7.3 Zhodnocení stávajícího stavu.....	37
7.3.1 Rovnoměrné proudění	37
7.3.2 Nerovnoměrné proudění	38

7.3.3 Hodnocení výsledků	39
7.4 Návrhový stav koryta	40
7.4.1 Rovnoměrné proudění	40
7.4.2 Nerovnoměrné proudění	42
7.4.3 Hodnocení výsledků	45
8. ZÁVĚR.....	47
9. SEZNAM ZDROJŮ.....	48
10. SEZNAM OBRÁZKŮ.....	49
11. SEZNAM TABULEK.....	50
12. SEZNAM PŘÍLOH	51
13. SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	52

1. ÚVOD

Předmětem bakalářské práce je návrh konstrukčních opatření úseku koryta řeky Bečvy z důvodu stabilizace koryta a omezení zahlubování nivelety dna. Dále jsou zde hodnoceny odtokové poměry a transport sedimentů včetně morfologie koryta a historie jeho vývoje. Nedílnou součástí je posouzení navržených opatření hydraulickým výpočtem.

Zkoumaná oblast se nachází v Oseku nad Bečvou. Zájmový úsek koryta vodního toku je umístěn mezi silničním mostem v Oseku a pevným jezem Osek. Předmětný úsek je dlouhý 1,411 km.

Část řeky mezi kombinovaným jezem Osek a pevným jezem Osek se již řešit nemusí, neboť je mezi nimi sklon nivelety snížen a k zahlubování koryta už nadále nedochází.

V rámci přípravných prací na zadaném tématu bylo dohodnuto řešit danou problematiku popisnou a ne projektovou formou. Proto je s ohledem na rozsah prací z obsahu vypuštěna technická zpráva. Z tohoto důvodu se bakalářská práce v jednom bodě neshoduje s obsahem zadání.

2. CÍLE

Cílem bakalářské práce je zhodnocení koryta z historického hlediska, popis stávajícího stavu toku s popisem problémů, se kterými se na toku setkáváme. Dále je popsán splaveninový režim, který je doplněn o rovnice užívané pro řešení zahlubujícího se koryta.

Důležitým bodem při řešení stávajícího stavu a dále stavu po úpravě toku jsou hydrotechnické výpočty, které jsou řešeny pomocí programů HEC-RAS a Excel.

Výstupem z této práce je ideový návrh prvku, který zajistí stabilizaci toku. Toto řešení je doplněno výkresem.

V přílohové části je práce doplněna o historické mapy, fotodokumentaci, výstupy z výpočtových programů a výkresovou dokumentaci.

3. HISTORICKÝ VÝVOJ ÚZEMÍ

Na začátku této práce je popsán historický vývoj území a důležité milníky v zájmové lokalitě.

Za nejstarší doklad o Oseku nad Bečvou je považován zápis o příjmech kostela z roku 1322.

Existují dva názory na vznik názvu obce. „Vincenc Prasek odvozuje jméno Osek z ruského osjekání (osykání) čili vlévání se jedné vody do druhé a za důvod pro svůj náhled uvádí okolnost, že Oseky se nacházejí při ústí řeky jedné do druhé. Ač tento názor pro náš Osek též jest případným, (Lubeň do Bečvy), dáváme přednost jinému názoru z ohledu na blízké Podolší, kteréžto jméno poukazuje na les olšový, na jehož místě asi nynější Osek stojí. Podle něj se název Osek odvozuje v podání lidovém od osekaných (vysekaných) lesů. S tím souhlasí náhled Žunkoviče Martina, který dokazuje, že slovanská jména nebývají nikdy násilně tvořena a že následovně místa, kde bývalé lesy byly vymýteny, též Oseky nazývána bývají.“ [1]

V minulosti byl celý Osek nad Bečvou zaplaven úplně, bylo tam moře, které zaujímalo celou střední Moravu, od Přerova až za Hranice na Moravě. Břehy byly tvořeny horstvy nad Veslíčkem a Dolním Újezdem ze severu a u Hlinska z jihu. Při vysychání byly logicky první obydlené oblasti ty, které byly položeny nejvýše. Na vyvýšenině je dnešní Plačkov. Dolní část zůstala dlouho bažinatou, a proto se zde velmi dobře dařilo olším. Po vyschnutí jižně od Plačkova vznikla osada Podolší, která byla po vysekání stromů nazvána Osek.

Další zajímavý vývoj koryta nastal při změně trasy toku řeky. Díky danému jevu došlo k tomu, že město Rybáře, jehož původní poloha byla na pravém břehu řeky Bečvy, se po přetrasování ocitlo na břehu levém.

Za zmínku také stojí úprava řeky Bečvy a výstavba Oseckého jezu v Lipníku nad Bečvou po ničivé povodni roku 1880. Po této katastrofě bylo vyhlášeno desetileté pozorování odtokových a srážkových poměrů, na jehož základě se po usnesení zemského sněmu rozhodlo o vypracování generálního projektu, který měl upravit řeku Bečvu tak, aby byla schopna udržet střední povodně. Projekt vypracoval zemský stavební rada Ing. Th. Nosk. Tento projekt zahrnoval vytvoření nového, vhodnějšího koryta. Toho mělo být docíleno pomocí haťových a vegetačních staveb, výstavbou 62 údolních retenčních přehrad ve spodní části Bečvy a středním toku Moravy. [1]

Tyto retenční nádrže měly sloužit pro zachycení přívalových vod a pro snížení velkého sunutí štěrku po toku. [16]

Úprava toku se vztahovala na délku 133 km a byla velmi nákladná, ale jelikož se jedná o významný tok s velkými průtoky, byla dotace udělena.

Důvodem, proč dochází k povodním, je morfologie terénu. Tvar povodí je vějířovitý a má velký spád pramenních částí Bečvy a jejích přítoků. Tato skutečnost je příčinou toho, že ze srážek odtéká v nejvyšších tratích asi 80% vody, po Vsetín asi 75% a po Hranice 50%. Tyto odtokové poměry způsobují náhlé a velké povodně. Při povodni z roku 1901 a 1919 v Hranicích protékalo až 700 m³/sek. Roku 1911 Přerovem protékalo asi 750 až 800 m³/sek. Uváží-li se tato data, je jasné, že má Bečva co do divokosti odtoku velký význam. Z uvedených poměrů je zřejmé, že je nutné při provádění úpravě zabezpečit břehy. [1]

V další části textu se dostáváme k tomu, proč se už v minulosti začalo zahluňovat dno zadaného úseku řeky. Tento problém zde byl a stále přetrvává. Proč vlastně k vymílání dochází? „Koncentrovaná voda po provedené úpravě má tendenci prohlubovati štěrkové dno zejména pod starými srubovými nebo dřevěnými jezy. Podobné poměry stávají i na Oseckém jezu. Tento dřevěný jez jest šikmo na směr toku ležící těleso s přepadovou hranou o délce 130 m. Sestává z několika řad pilot na povrchu jezu vázaných stativem a ve směru proudu zkřížených trámcí. Jez tento neměl poprsné štětové stěny a byl z toho důvodu při odchodu ledů v roce 1910 protržen při levé straně v délce 42 metrů.“ [1]

„Podjezí, ponechané v přírodním stavu při dně z drobného štěrku, nemohlo daleko odolati živé síle přepadající vody, takže se prohlubovalo do té míry, že se dosáhlo hloubky až 5 m pod přepadem. Při průtrži jezu byly konstatovány délky starých pilot 4 až 4,50 m, takže bylo zřejmo, že netkvěly v pevné půdě, nýbrž již nad prohloubeným dnem podjezí.

Tyto poměry, jež se v neprospěch jezu rok od roku zhoršovaly a stabilitu jezu ohrožovaly, byly příčinou, že sdružení majitelů vodních práv na mlýnské strouze „Strhanci“ v Přerově přikročilo ke stavbě nového jezu.“ [1]

Návrh nového jezu byl vytvořen generálním radou Ing. Havránkem. Jeho projekt byl navržen tak, aby docházelo k hydraulicky neškodnému odtoku, to znamená maximálně 750 m³/s. Výška přepadu přes pevný jez je 1,85 m.

Těleso je tvořeno ze železobetonu a uvnitř je schůdkovitě zřízen rybí přechod, kvůli překonání spádu více než šesti metrů. Dle získaných informací ryby v té době přechod používaly.

Z obecní kroniky města Oseku nad Bečvou pochází také záznam o postavení mostu přes řeku Bečvu. Jednání o výstavbě proběhla již roku 1952. Most měl být umístěn

pod Haltýřem. Před tím, než byl most postaven, se lidé dopravovali na člunech. Na jaře byly stavěny lávky, které byly zase na podzim sundávány. Roku 1900 byl stavitelem Darebníkem z Kroměříže postaven dřevěný most, který byl o rok později zkolaudován. Byl ovšem postaven špatně. O pár let později, roku 1908, bylo rozhodnuto o výstavbě silnice do Sušic, za příplatek města Osek souhlasil silniční výbor s výstavbou mostu. Tím se tehdy obec propojila s polem za vodou. Bohužel byl tento most o délce 20 metrů probořen v důsledku tání ledu roku 1914. Následující rok byl k dispozici most prozatímní, vytvořený ze zbylého materiálu. Roku 1915 se silniční výbor rozhodl pro stavbu mostu ze železobetonu. Tento most však byl 8. 5. 1945 vyhozen do povětří. Už o pár dní později se ale zase začal stavět nový most přes řeku Bečvu. Nový most byl dostavěn roku 1950. Při této příležitosti byla odhalena pamětní deska vsazená do mostu na počest tří mládenců z Oldřichova. Jedná se o Jiřího Knopa, Oldřicha Odstrčila a Stanislava Dlouhého, kteří roku 1945 padli při zachraňování mostu. Most je pojmenován po prvním z nich, je nazván „Most Jiřího Knopa“. Stavba tohoto mostu trvala 11 měsíců. Most měří 75 m a vozovka je široká 5,5 m. Pilíře jsou neseny třemi oblouky a jsou založeny asi 5 m pode dnem řeky. V dlažbě vozovky byl ponechán prostor pro plynové potrubí. [1]

Z důvodu neustále zahlubovaného koryta bylo 6. 5. 1954 rozhodnuto o tom, že bude pod jezem Osek vybudován jeden ze tří navrhovaných stupňů (ř. km 24,2). Tato výstavba byla nutná z důvodu největšího prohlubování dna, které přímo ohrožovalo stabilitu jezu, právě pod Oseckým jezem. Přepracovaný projekt uvažoval spád mezi Oseckým jezem a stupněm 0,7‰. Přepadová hrana byla navržena ve výšce 219,2 m n. m. a v délce 36 m. Tyto předpoklady měly zajišťovat stabilitu jezu vzhledem k tomu, že přepadová hrana stupně je o 20 cm výše než práh vývaru jezu. [17]

První snahy o usměrnění vodních toků se obvykle řešily soustředěním toku na nějaké vodní dílo nebo pod most, případně se bránilo sunutí vodního toku směrem ke stavbám na břehu. Málokdy se jednalo o ochranu významnějších pozemků. Tyto stavby byly nesouvislé a jednoduché, budované z dostupného místního materiálu, jako byl naplavený štěrk a písek, popřípadě se používaly vrby a olše rostoucí kolem toku. Závěr 19. století byl ve znamení velkých a tragických povodní na Bečvách. Osídlení už bylo hustější, takže i škody způsobené velkými vodami byly velmi citelné. Nesouvislé a neodborné snahy o místní úpravy koryt řek a potoků nebyly dostatečně účinné. Po řadě jednání bylo správními úřady rozhodnuto o soustavné regulaci Bečvy – to je Spojené Bečvy od jejího soutoku s Moravou, včetně Vsetínské Bečvy a Rožnovské Bečvy. Regulace obou Bečev začala v letech 1893—1895. Poslední etapa prací na regulaci Bečvy, ve dvacátých letech

20. století, se zaměřila na výstavbu příčných objektů. Bylo třeba nahradit původní jednoduché dřevěné jezy, které již nestačily v hlubším korytě odolávat soustředěným průtokům vody. Regulace toku potřebovala pevné a stabilní jezy, které přečkají i velké povodně. Pro omezení zahlubování koryta toku bylo nutné zmírnit podélný sklon toku pevnými prahy a spádovými stupni. Na Bečvě byla postavena řada železobetonových jezů moderní konstrukce, z nichž některé slouží dodnes. [16]

Na následujících mapových podkladech je zcela zřetelně vidět, jak se řeka Bečva v Oseku v průběhu let tvarovala. Je zde k porovnání mapa z druhého vojenského mapování (obr. 1) a mapa současná (obr. 2). Při srovnávání těchto dvou map je viditelné, že byla Bečva v Oseku upravena do méně přirozeného, rovnějšího tvaru, který tolik nemeandruje. Další historické mapy jsou připojeny v přílohouvé části (P1). Při porovnávání map z let 1573 a 1633 můžeme sledovat rozvíjející se meandrování toku. Mapa z roku 1709 je přiložena spíše pro ilustraci vodstva přilehlé oblasti. Na mapách z let 1784 a 1892 je zjevný rozdíl v tom, že je Bečva při obtoku kolem Troubek v obluku, který je přibližně pod pravým úhlem.

Kromě historických map jsou jednou z příloh i čtyři příčné řezy vytyčené v roce 1954. V získaných podkladech bohužel začínají profily kilometrů 23,088, proto část zájmového území od silničního mostu směrem proti proudu až to tohoto kilometru chybí. Ovšem i z pár uvedených řezů je viditelné, že se koryto od roku 1955 prohloubilo přibližně o 3 metry.



Obr. 1 II. Vojenské mapování [11]



Obr. 2 Současná poloha koryta [11]

4. POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU

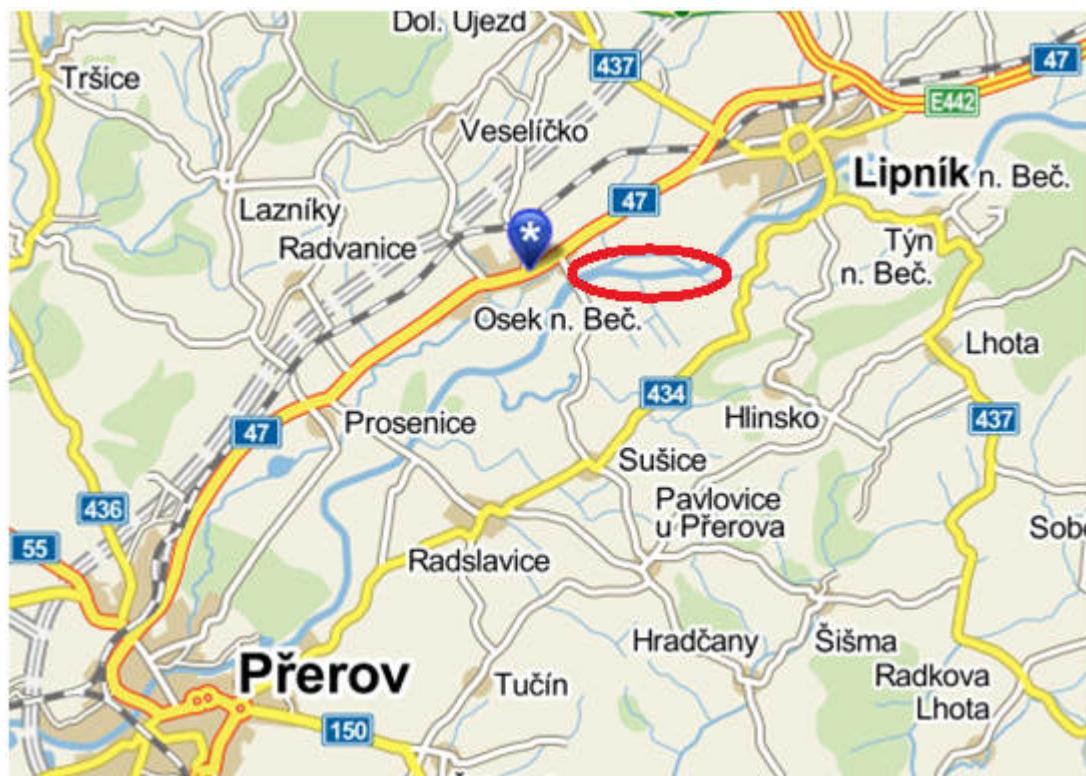
4.1 Popis širšího území

Obec Osek nad Bečvou se nachází na území střední Moravy. Spadá pod okres Přerov, který se nachází v Olomouckém kraji. Další správní orgán, pod který Osek spadá, je město Lipník nad Bečvou. Lipník plní funkci obce s rozšířenou působností. Tato část střední Moravy je také označována jako Haná.

Polohově je Osek umístěn přibližně devět kilometrů severovýchodně od Přerova a pět kilometrů jihozápadně od Lipníku nad Bečvou.

Výškově se obec průměrně pohybuje kolem 225 m n. m. a celková plocha katastrálního území je 1303 ha, z čehož většina je orná půda, která zabírá asi tři čtvrtiny území. [1]rozsah zájmového území

Z map na obrázku č 3 vychází výše uvedený popis oblasti okolo předmětného úseku. Dále následuje malá část z fotodokumentace dané oblasti. (obr. 4, 5 a 6)



Obr. 3 Lokace zájmového území [12]



Obr. 4 ZÚ Km 22,791: Pohled od silničního mostu Osek proti směru proudění



Obr. 5 KÚ Km 24,00: Stupeň Osek



Obr. 6 Km 24,666: kombinovaný Jez Osek

4.2 Popis řeky Bečvy

Řeka Bečva vzniká soutokem Rožnovské Bečvy (Dolní Bečva) a Vsetínské Bečvy (Horní Bečva). K tomu dochází západně od Valašského Meziříčí. Rožnovská Bečva pramení na úbočí kopce Vysoká ve výšce 1024 m n. m. Horní Bečva pramení v pohoří Vsetínské vrchy pod kopcem Čarták, a to ve výšce 910 m n. m. Území pramenné oblasti je velmi vlhké. Střední tok je v rámci naší republiky vlhký mírně.

Bečva pod soutok Vsetínské Bečvy a Rožnovské Bečvy:

Tato část povodí III. řádu leží ve východní části oblasti povodí Moravy. Hydrologicky ji tvoří zejména Rožnovská a Vsetínská Bečva a jejich přítoky. Povodí se nachází v Hostýnsko–vsetínské hornatině, Javornících, Rožnovské brázdě a přilehlých svazích Radhošťské hornatiny. Plocha povodí je 981 km². [16]

Hydrologické charakteristiky Vsetínské Bečvy [16]

- č. hydrologického pořadí 4-11-01-001

- plocha povodí [km²] 734,4

- délka toku [km]	58,4
- prům. průtok u ústí [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	9,21

Hydrologické charakteristiky Rožnovské Bečvy [16]

- č. hydrologického pořadí	4-11-01-094
- plocha povodí [km^2]	254,3
- délka toku [km]	37,6
- prům. průtok u ústí [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	3,91

Bečva od soutoku Vsetínské Bečvy a Rožnovské Bečvy po ústí:

Plocha povodí je 632 km^2 . V tomto případě se také jedná o povodí III. řádu, které se rozkládá ve východní části oblasti povodí Moravy. Hydrologicky ji tvoří zejména řeka Bečva (Spojená Bečva) a její přítoky. Povodí se nachází v Podbeskydské pahorkatině, v s. části Hostýnských vrchů, v Bečevské bráně a částečně také v Oderských vrších v Nížkém Jeseníku. [16]

Hydrologické charakteristiky Spojené Bečvy [16]

- č. hydrologického pořadí	4-11-01-001
- plocha povodí [km^2]	734,4
- délka toku [km]	58,4
- prům. průtok u ústí [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	9,21

Jedná se o největší levostranný přítok řeky Moravy. Šířka řeky Bečvy se udává průměrně kolem 40 m. V celé délce je Bečva šterkonosná. Všechny přítoky nacházející se v pramenné oblasti mají bystřinný charakter a podélný sklon dna řeky klesá na 1,2 promile teprve u Hranic na Moravě.

Průtoky v povodí Bečvy mají velký vliv na vodnost řeky Moravy. [2]

Dle povrchového odtoku se území řadí k nejvodnatějším oblastem v ČR (s rostoucí nadmořskou výškou a zvyšujícím se ročním srážkovým úhrnem dosahuje specifický odtok přes $10 \text{ až } 25 \text{ l/s} \times \text{km}^2$). Z toho důvodu je povodí až po soutok Rožnovské a Vsetínské Bečvy vyhlášeno jako CHOPAV (Chráněné oblasti přirozené akumulace vod) Vsetínské vrchy a Beskydy. [16]

4.3 Zájmové území

Řešeným územím v Oseku nad Bečvou protéká ta část Bečvy, která se nazývá Spojená.

Následkem nevhodných regulací a úprav řeky s výstavbou vysokých jezů se změnil chod splavenin. Režim posunu štěrku je velmi nerovnoměrný a v korytě se nacházejí úseky, kde se dno vymílá a jinde se zase ukládají štěrky. I když je hloubka koryta většinou od 3 do 5,5 m, v zájmovém území se pohybuje kolem 8 až 9 m s tím, že nad jezem Osek je hloubka dna 3 m.

Zatímco se v nadjezí na dně štěrky ukládají, právě v podjezí dochází k zahlubování koryta.

V 80. letech 20. století se za účelem stabilizace toku v zájmové lokalitě postavil stupeň, ovšem i pod ním se koryto nepřetržitě a dlouhodobě vymílá. Místy se štěrkopískový pokryv dna odhalil až na podloží, které je tvořeno pískovcem a siltovcem. Příčný profil má nevhodné parametry vzhledem k tomu, že je koryto v úseku příliš úzké a velmi hluboké. [3]

5. SPLAVENINOVÝ REŽIM

V této kapitole je prostor věnován teoretickým přístupům k problematice transportu splavenin. Vybrané postupy jsou následně aplikovány při řešení.

5.1 Dnové charakteristiky

Dno vodního toku je v příčném i podélném profilu složeno z materiálů odlišných charakteristik. Ty podléhají změnám v čase a obzvláště se mění při průtoku velkých vod. Co se týče místních vlastností, od pramene k ústí se zrna zmenšují. Hlavním z důvodů je obroušování, otloukání a zvětrávání dnového materiálu.

Splaveniny nebývají tvořeny jen ze zrn stejné velikosti, naopak je tvoří velké spektrum materiálů různých velikostí. Ovšem pro řešení úloh je zapotřebí charakterizovat zrna tvořící dno jednou hodnotou. Pro to nám slouží například velikost efektivního zrna, které můžeme uvažovat za střední velikost zrna. Z toho důvodu musíme určit křivku zrnitosti, kterou tvoříme z jednotlivých odebraných vzorků.

Důležitou dnovou charakteristikou je drsnostní součinitel. Mezi nepoužívanější patří Manningův součinitel drsnosti „n“. Důvodem je jeho jednoduché určení a také snadný výpočet, či vyhledání v tabulkách uvedených v mnoha publikacích.

Strickler roku 1923 stanovil hodnotu tohoto součinitele v závislosti na typickém rozměru výstupků „d“ stejnozrného materiálu. Stricklerova rovnice je níže uvedena (rce. 1). [10]

$$\frac{1}{n} = \frac{c}{d^{1/6}} \quad [10] \quad (\text{rce. 1})$$

d průměr zrna

c experimentálně určený součinitel, $c = 21,1$

Meyer-Peter a Müller užili nestejnorodý materiál a Stricklerovu rovnici převedli na následující tvar (rce. 2).

$$\frac{1}{n} = \frac{26}{d_{90}^{1/6}} \quad [10] \quad (\text{rce. 2})$$

d_{90} Zrno materiálu dna příslušné 90ti procentnímu kvantilu křivky zrnitosti

5.2 Splaveniny

Pevným hmotám, jež se pohybují po dně koryta toku, říkáme splaveniny. Splaveniny vznikají erozní činností vody, a to buď při atmosférických srážkách, které rozrušují zemský povrch a při nichž vzniklá uvolněná zemitá hmota, která pak dále odtéká do toku, nebo při erozi samotného koryta.

Eroze koryta je ovlivněna faktory, jako je sklon, hloubka, vodnost a rychlost toku. Z toho důvodu rozeznáváme koryta s vysloveně erozní činností (boční části toků, velký sklon), úseky rovnovážného stavu (vesměs střední části toků) a akumulární úseky, v nichž se splaveniny v důsledku malých rychlostí usazují.

Splaveniny dále dělíme do dvou skupin. První jsou plaveniny a druhou jsou splaveniny.

Plaveniny jsou také označovány jako splaveniny vznášené. Jedná se o velmi malé částice zeminy rozptýlené ve vodě. Usazují se při malých rychlostech. Následkem jejich usazování je zanášení koryt řek a umělých kanálů a nádrží.

Pohyb plavenin v toku je v oblacích či pruzích. Zakalení roste směrem ke dnu, ale bývá rozrušeno v prudších tocích erozí břehů a činností vody.

Splaveniny jsou naopak sunuty po dně. Částice jsou hrubší a větší. Tvoří nánosy, mělčiny a díky tomu snižují splavnost vodních toků. Splaveniny jsou do koryta dopravovány dešťovými srážkami jako produkty zvětrávání například ve formě valounů a balvanů, dále vznikají rozrušováním hornin v korytě. Téměř vždy se s nimi můžeme setkat v toku při velkých vodách.

Pohyb splavenin je závislý na jejich vlastnostech a rychlosti proudění. Z toho vyplývá, že se všechny nepohybují stejně, ale nejprve dojde k pohybu u splavenin menších. Následují splaveniny větší a větší, až se v konečné fázi pohybují po celém dně. Pohyb splavenin je podmíněn vymílací rychlostí. Dochází k němu totiž až při jejím překročení. Tato rychlost označuje uvedení zrn do pohybu. Se zmenšujícím se sklonem a rychlostí se usazují větší zrna a jen ta obroušená pokračují v pohybu. [6]

5.3 Usazovací rychlost plavenin

Ve chvíli, kdy budou gravitační síly větší než síly udržující částice ve vznosu, dojde k jejich sedimentaci. Odpor proti usazování je zapříčiněn teplotou, hustotou a viskozitou kapaliny a velikostí částice, jejím tvarem a povrchovým třením.

První vztah pro určení pádu částice ke dnu byl zveřejněn roku 1951 Stokesem (rce. 3).

Usazovací rychlost se značí „w“ a je uváděna v jednotkách $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$. [7]

$$w = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2(\gamma_1 - \gamma)}{\eta} \quad [6] \quad (\text{rce. 3})$$

r	poloměr částic
η	dynamická viskozita vody
γ	měrná tíha vody
γ_1	měrná tíha plavenin

5.4 Nevymílací rychlost a unášecí síla

Mezní střední průřezová rychlost je taková rychlost, při které ještě nedochází k pohybu splavenin. Obvykle ji nazýváme jako rychlost nevymílací. Po překročení této rychlosti se splaveniny začnou pohybovat a při tomto pohybu nadále setrvávají i při nižší rychlosti. Tato rychlost je definovaná jako unášecí síla a je označována „U“.

Autor prvního vzorce pro výpočet velikosti unášecí síly byl Du Boys (rce. 4). Definoval ji jako tangenciální napětí ve dně v rovinném rovnoměrném proudění. Dle jeho názoru dojde k pohybu splavenin, když velikost kritické unášecí síly „U₀“ (rce. 5) bude větší než velikost unášecí síly „U“.

$$U = \gamma \cdot h \cdot I \quad [6] \quad (\text{rce. 4})$$

$$U_0 = \gamma \cdot h_0 \cdot I \quad [6] \quad (\text{rce. 5})$$

Další autoři, jako je například Krey, Schoklitsch, či Kramer vyjadřovali „U₀“ podle materiálových charakteristik.

Někteří badatelé přišli s názorem, že kromě unášecí síly má na pohyb splavenin vliv i spousta dalších faktorů, jako je například stav a odpor transportovaného materiálu. Materiál se dle nich pohybuje na úkor práce vody. Mezi faktory ovlivňující práci vody patří kritický průtok, kritická rychlost u dna a kritická průměrná profilová rychlost. Jedním z autorů průtoku splavenin „G“ [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$] byl například Scholitsch.

První z níže uvedených rovnic (rce. 6) slouží k určení střední profilové rychlosti dle Šenova. Druhá rovnice (rce. 7) určuje začátek pohybu splavenin a poslední výpočtový tvar (rce. 8) udává rychlost, při které nastává konec splaveninového pohybu.

$$\bar{v}_k = 4,6 \cdot d^{1/3} \cdot h^{1/6} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad [6] \quad (\text{rce. 6})$$

$$\bar{v}_z = 5,98 \cdot d^{1/3} \cdot h^{1/6} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad [6] \quad (\text{rce. 7})$$

$$\bar{v}_k = 3,38 \cdot d^{1/3} \cdot h^{1/6} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad [6] \quad (\text{rce. 8})$$

Stanovení kritické střední průřezové rychlosti se v literatuře označuje jako nárazová teorie. „Název vznikl z představy velikosti nárazu vodního proudu, závislého na rychlosti, na svislicovou plochu, jejíž velikost je dána průtokem zrna, tvořící dno, do svislé roviny.“ [7]

Mezi nejpoužívanější vztah pro výpočet nevymílací rychlosti patří upravená rovnice Meyer-Peterova. Lze užít za předpokladu širokého koryta, kdy je vliv břehů zanedbatelný.

$$v_v = C \cdot (0,047 \cdot \gamma_s \cdot \gamma^{-1} \cdot d_e)^{1/2} \quad [7] \quad (\text{rce. 9})$$

- C Chézyho rychlostní součinitel
- γ_s měrná tíha splavenin [$\text{N} \cdot \text{cm}^3$]
- γ měrná tíha vody
- d_e velikost efektivního zrna

Levi a Šamovov odvodili vztahy pro nevymývací rychlost v závislosti na poměru hloubky a velikosti zrna. Autor níže uvedeného vzorce je Šamovov (rce. 10).

$$v_v = 3,7 \cdot d_s^{1/3} \cdot h^{1/3} \quad [7] \quad (\text{rce.10})$$

- d_s velikost středního zrna [mm]
- h hloubka toku

Vztahy dle Leviho jsou popsány rovnicemi č. 11 a 12.

$$\text{Platí pro } \frac{R}{d_{60}} > 60: \quad v_v = 1,4 \cdot (g \cdot d_e)^{0,5} \cdot \log \frac{12 \cdot R}{d_{90}} \quad [9] \quad (\text{rce. 11})$$

$$\text{Platí pro } 10 < \frac{R}{d_{90}} < 40: \quad v_v = 1,3 \cdot (g \cdot d_e)^{0,5} \cdot \left(0,8 + \frac{2}{3} \cdot \log \frac{10 \cdot R}{d_{90}} \right) \quad [9] \quad (\text{rce. 12})$$

d_e efektivní zrno

v_v nevymílací průřezová rychlost

g tíhové zrychlení

R hydraulický poloměr

d_{60} 60% průměrná velikost zrna ve splaveninové směsi je menší než zrno d_{90}

d_{90} 90% průměrná velikost zrna ve splaveninové směsi je menší než zrno d_{90}

Shrnutí vzorců užitých při výpočtech:

Tab. 1 Použité vztahy pro výpočet nevymílací průřezové rychlosti

Daný autor	Použitý vztah	Podmínka použití
Dle Leviho	$v_v = 1,4 \cdot (g \cdot d_e)^{0,5} \cdot \log \frac{12 \cdot R}{d_{90}}$	pro $\frac{R}{d_{60}} > 60$
	$v_v = 1,3 \cdot (g \cdot d_e)^{0,5} \cdot \left(0,8 + \frac{2}{3} \cdot \log \frac{10 \cdot R}{d_{90}} \right)$	pro $10 < \frac{R}{d_{90}} < 40$
Meyer-Peter	$v_v = C \cdot \left(0,047 \cdot d_e \cdot \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} \right)^{0,5}$	pro $4 \text{ mm} < d_e < 30 \text{ mm}$

Tab. 2 Maximální dovolené rychlosti vody pro různé materiály dna [6]

Materiál	Maximální rychlost [m/s]	Materiál	Maximální rychlost [m/s]
Těžký jíl	0,20-0,60	Jemný štěrč	1,20-1,40
Jemný písek	0,35-0,45	Hrubý štěrč	1,80-2,20
Střední písek	0,40-0,60	Lehké hlíny	0,40-0,90
Hrubší písek	0,60-0,75	Střední hlíny	0,50-1,00
Jemný štěrč	0,75-0,90	Těžké hlíny	0,60-1,20
Hrubý štěrč	1,10-1,30	Uhelná hlína	0,70-1,20
Lehká spraš	0,40-0,80		
Střední spraš	0,50-1,00		
Ulehlá spraš	0,60-1,20		

5.5 Odolnost dna a paty svahů proti vlivům proudění

K určení odolnosti dna je potřeba nejdříve určit materiálové charakteristiky dna toku. Dalším krokem je určení efektivního zrna a následuje určení nevymílací rychlosti, většinou dle Meyer-Peterovy rovnice.

Při srovnání nevymílací a střední průřezové rychlosti pro námi daný průtok je možno určit, zda může dojít k pohybu splavenin či ne. V rovném úseku toku je klidný stav, pokud je vymílací rychlost větší než rychlost střední průřezová.

Pokud je dno vymíláno, musíme v daném příčném profilu určit tyto dvě rychlosti, které následně vyneseme do grafu jako závislost rychlosti na hloubce a dále vyneseme měrnou křivku.

Aby nedocházelo k výraznému narušování dna, měla by se střední průřezová rychlost pohybovat mezi rychlostí nezanášející a nevymílací. Nezanášející rychlost se uvažuje přibližně jako sedmdesát procent z rychlosti nevymílací. [7]

Tab. 3 Doporučené návrhové průtoky pro odolnost koryta [7]

Část koryta	Návrhový průtok
dno a pata svahu	Q_1-Q_5
opevněný břeh a bermy	$Q_{20}-Q_{100}$
nezpevněný břeh a bermy	Q_5-Q_{20}
ochranné hráze	Q_{100}
opevněné dno	$Q_{20}-Q_{100}$

6. VSTUPNÍ DATA

Níže uvedená data jsou použita při hydrotechnických výpočtech.

6.1 Hydrologická data

Hydrologická data, která byla k dispozici, nebyla měřena přímo v zájmovém úseku, ale ve dvou profilech, a to přibližně třináct kilometrů pod úsekem a dvacet kilometrů nad ním. Základní údaje podle ČSN 75 1400 jsou k dispozici z hydrologického profilu Dluhonice, ř. km 9,30, a dále z hydrologického profilu Teplice nad Bečvou, ř. km 41,40. Z těchto dvou profilů byl uvažován profil bližší, nacházející se v Dluhonicích. Tento profil je pod územím a jeho průtoky jsou vyšší, tím pádem určuje méně příznivé podmínky.

Tab.4 Hydrologická data [2]

	Q_m – m-denní průtoky [m ³ /s]							Q_N – N-leté průtoky [m ³ /s]						
	30	90	180	270	330	355	364	1	2	5	10	20	50	100
ř. km 9,30	43,2	19,5	9,38	4,74	2,58	1,62	1,06	239	337	466	564	662	792	892
ř. km 41,40	38,2	17,3	8,34	4,25	2,34	1,5	1,01	219	317	452	555	659	799	908

6.2 Geologická data

Pro určení velikosti efektivního zrna musíme vytvořit křivku zrnitosti. Jednou z možností je síťový rozbor. Ten se určuje ze vzorků, které vysušíme, zvážíme a prosejeme přes normová síta. Síta se liší velikostí ok, přes která frakce propadá. Následně na každém síti zvážíme zbylý materiál a stanovíme z něj procentuelní podíl z celkové váhy vzorku. [9]

Určené hodnoty odpovídají 10ti až 90ti procentům na křivce zrnitosti (d_{10} až d_{90}). [8]

$$d_e = \frac{\sum \Delta p_i \cdot d_{stř}}{\sum \Delta p_i} \quad [8] \quad (\text{rce. 13})$$

$\sum \Delta p_i$ procentuální interval

$d_{stř}$ střední zrno v tomto intervalu

Tab. 5 Granulometrická křivka [8]

Km	Lokalita	průměr zrna $d_{i\%}$ [mm]									de
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	[mm]
23,8	Osek nad Bečvou	0,4	0,9	4	11	35,5	42,4	50	58	78	31,72

Z výše uvedeného výňatku z granulometrické křivky pro oblast řeku Moravu až po soutok s řekou Bečvou a dále pro řeku Bečvou vyplývá, že v zájmovém území budeme uvažovat velikost efektivního zrna 31,72 mm.

6.3 Geometrie koryta

Podklady, které byly při řešení úseku k dispozici pro náš uvažovaný úsek, jsou příčné řezy [15] a podélný profil [5].

Podélný profil řešené oblasti je dlouhý 1,411 km. Na trase toku se nachází objekty, které musíme při výpočtech uvažovat. Mezi ně patří silniční most Osek (ř. km 22,791) a jez Osek (ř. km. 24,202). Dále zde najdeme pravobřežní přítok řeky Trnávky (ř. km. 23,314), ten je ovšem téměř vyschlý.

Příčnými profily byl proložen řez, který svým tvarem přibližně odpovídá daným příčným řezům, je to takzvaný synoptický řez. (tab. 3)

Příčných řezů je bohužel v porovnání s délkou řešeného úseku málo, proto při výpočtech nemusí být hodnoty úplně přesné.

Tab. 6 Hodnoty určené charakteristickým (synoptickým) řezem

b	29,00	m	Šířka ve dně
B	65,00	m	Šířka v koruně
h	9,00	m	Hloubka koryta
m	1:2		Sklon svahů kynety
i	2,54	‰	Podélný sklon toku (niveleta)

Tab. 7 Hodnoty použité při výpočtu

d_{90}	78	mm	Zrno materiálu dna příslušné kvantilu 90% křivky zrnitosti (tab. 1)
d_{60}	42,4	mm	Zrno materiálu dna příslušné kvantilu 60% křivky zrnitosti (tab. 1)
d_e	31,72	mm	Velikost efektivního zrna (tab. 1)
n_{dna}	0,033	-	přirozený tok, místní výmoly a mělčiny
$n_{svahů}$	0,045	-	Hustá tráva na celou výšku profilu, občasný výskyt křovin
ρ	1000,0	kg.m ⁻³	Měrná tíha vody
ρ_s	2650,0	kg.m ⁻³	Měrná tíha splavenin

7. HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY

Hydrotechnické výpočty řešíme formou ustáleného rovnoměrného a ustáleného nerovnoměrného proudění. Těmito výpočty se řeší jak stávající, tak návrhový stav koryta.

Hydrotechnickými výpočty se snažíme ověřit, zda na toku dochází k vymílání a prohlubování koryta, případně v jakých úsecích a při kterých průtocích. K tomu slouží tabulkový procesor Excel, pomocí kterého počítáme proudění rovnoměrné ustálené, a dále software HEC-RAS, pomocí kterého naopak počítáme proudění ustálené nerovnoměrné.

Proudění ustálené je takové proudění, které má konstantní průtok. Dělí se na proudění rovnoměrné a nerovnoměrné.

Rovnoměrné proudění má konstantní rychlost a průtočnou plochu koryta. Toto proudění se na tocích příliš nevyskytuje.

Nerovnoměrné proudění je na toku tehdy, je-li rychlost i průtočná plocha funkcí dráhy. To znamená, že se sklon a průtočný profil po toku mění. Toto proudění se v přírodních podmínkách vyskytuje jak v korytech upravených, tak i neupravených.

7.1 Postup výpočtu rovnoměrného proudění

Při výpočtu rovnoměrného proudění je nejprve nutno určit rozměry koryta, ze kterých je následně vypočítán omočený obvod O , hydraulický poloměr R , rychlostní součinitel C a dále dle Chézyho rovnice rychlost v . Z drsností dna a svahů je vypočítána průměrná drsnost, se kterou dále uvažujeme. Dalším krokem při výpočtech je určení průtočného množství Q . Následuje použití vztahů pro výpočet nevymílací průřezové rychlosti dle Leviho a dle Meyer-Petera (tab. 1).

Když jsou nevymílací rychlosti dopočítány, je nutno mezi nimi a průřezovými rychlostmi dle Chézyho rovnice zjistit rozdíl. Tento rozdíl zjišťujeme z toho důvodu, že udává určitou mezní hodnotu mezi stavem, kdy se ještě tok zanáší, a stavem, kdy už se začíná vymílat (není to hodnota limitní, ale pouze přibližná). Každý materiál v toku má jiné charakteristiky, proto není možné jednoznačně říci, že se při vyrovnání nevymílací a průřezové rychlosti stav mezi zanášením a vymíláním střídá.

Snahou je docílit vyrovnání hodnot průřezové a nevymílací rychlosti při návrhovém průtoku, který by měl odpovídat rozmezí mezi Q_1 - Q_5 letými průtoky, což odpovídá hodnotám od $239 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do $466 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Vyšší průtoky nás tolik nezajímají, protože se

s nimi na toku tak často nesetkáváme. Tím pádem nemusíme tolik zohledňovat vyšší rychlosti u nejvyšších průtoků (Q_{20} , Q_{50} , Q_{100}).

Výstup z tohoto řešení je spíše orientační vzhledem k tomu, že pro celý řešený úsek zjistíme jen jednu hodnotu.

7.2 Postup výpočtu nerovnoměrného proudění pomocí softwaru HEC-RAS

Výpočet nerovnoměrného ustáleného proudění řešíme z důvodu přesnějších výsledků. Při výpočtech proudění rovnoměrného získáme jednu typizovanou hodnotu pro celý úsek, což nás zajímá při určení přibližného stavu, daný výpočet je však méně přesný.

Pro řešení tohoto proudění byl vybrán softwarový program HEC-RAS.

7.2.1 HEC-RAS

Zkratka HEC-RAS vyjadřuje Hydraulic Engineering Center River Analysis System. Tento software pro hydraulické modelování povrchových toků je vyvíjen společností USACE (U.S. Army Corps of Engineers) a je volně přístupný ke stažení pro veřejné užívání.

Společnost USACE současně vyvíjí několik verzí daného programu pro různá využití již od poloviny šedesátých let. Softwarová část RAS (River Analysis System), která je použita v této práci, se zabývá komplexním modelováním proudění vody v přirozených korytech. Program řeší ustálený i neustálený režim nerovnoměrného proudění, quasi ustálený režim proudění s transportem splavenin nebo šíření znečištění, teploty a změn jakosti vody v toku.

Software obsahuje moduly obsluhy datové báze, vizualizace vstupních dat i výsledků a modul hydraulické analýzy. Další významnou funkcí programu je výpočet objektů na toku, jak příčných, tak podélných. HEC-RAS se standardně používá pro posuzování, plánování, návrh a protipovodňovou ochranu na tocích. Výstupy z modelu HEC-RAS, je možné použít jako vstupy do dalších produktů založených na principu HEC programu [13].

V programu HEC – RAS počítáme a ověřujeme kapacitu koryta a rychlosti proudění v daných profilech.

Základní schéma výpočtu ustáleného nerovnoměrného proudění je založeno na metodě po úsecích. V programu je umožněno rozdělit příčný profil na samotné koryto a dále na levé nebo i pravé inundační území (tzv. efektivní, účinná oblast proudění). [13]

Výpočet je realizován v předem definovaných příčných profilech, a to iteračně metodou po úsecích.

Počítaná část koryta se rozdělí iteračně na menší úseky o délkách ΔL_j . V profilech předpokládáme spojitou změnu rychlosti v_i a průtočného profilu A_j z hodnoty v horním profilu na A_{j+1} a v_{i+1} v dolním profilu. Průměrný podélný sklon označujeme i_{0j} a celkovou ztrátu energie h_{zj} . Bernoulliho rovnice pro všechna proudová vlákna i a $i+1$ [14] je ve tvaru:

$$i_{0j} \cdot \Delta L_j + h_i + \frac{\alpha v_i^2}{2g} = h_{i+1} + \frac{\alpha v_{i+1}^2}{2g} + h_{zj} \quad (\text{rce. 14})$$

rozdíl hladnin je značen Δh_j :

$$\Delta h_j = \frac{\alpha(v_{i+1}^2 - v_i^2)}{2g} + h_{zj} \quad (\text{rce. 15})$$

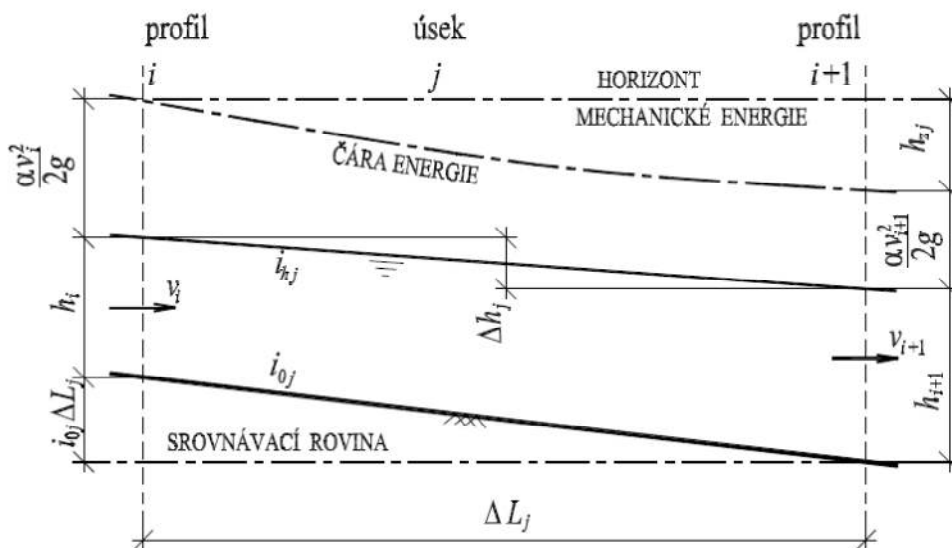
α Coriolisovo číslo, stejné ve všech úsecích

g tíhové zrychlení

v_i, v_{i+1} rychlost v profilech

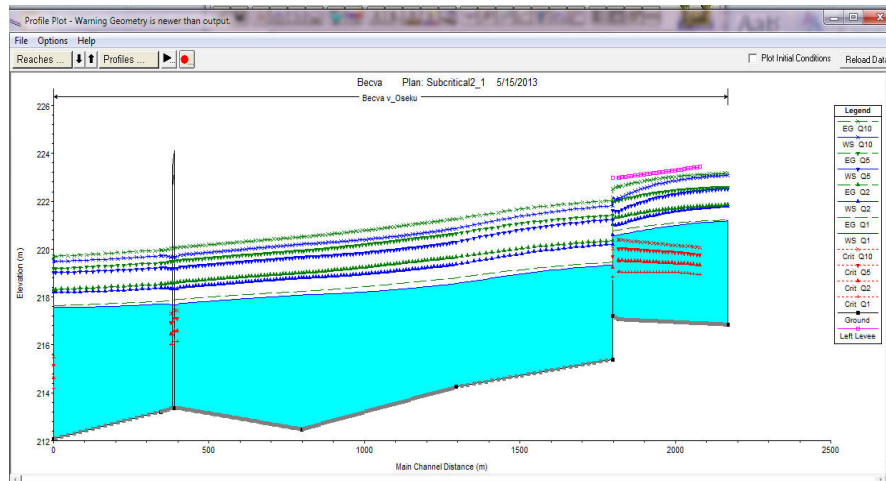
h_{zj} součet ztrát třením a ztrát místních na daném úseku

Δh_j rozdíl hladin na úseku j



Obr. 7 Schéma pro výpočet nerovnoměrného proudění [14]

Výsledky z programu mohou být prezentovány a prohlíženy v různých formách. Jedná se například o grafickou prezentaci příčných a podélných profilů (obr. 8), měrných křivek a prostorového znázornění. Dále jako tabelární prezentace (tab. 7) jednoho profilu či celého úseku. A také si můžeme otevřít hlášení o chybách a další varování a poznámky.

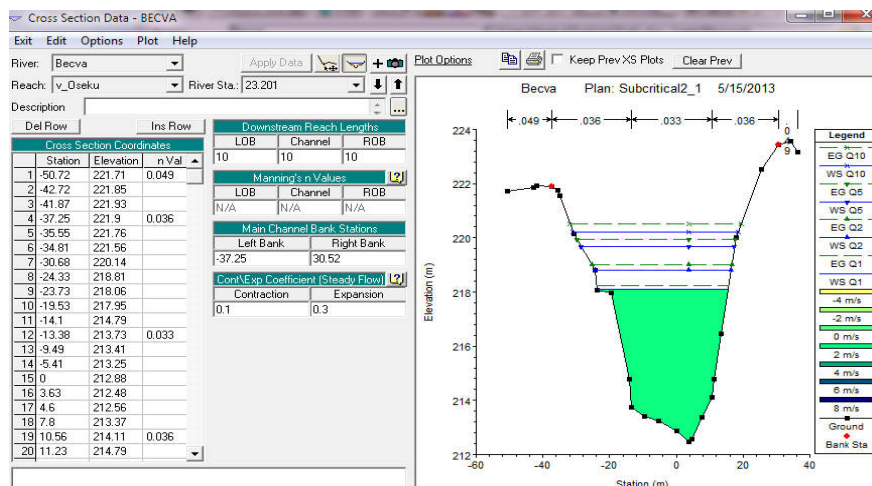


Obr. 8 Podélný profil

Postup samotného výpočtu:

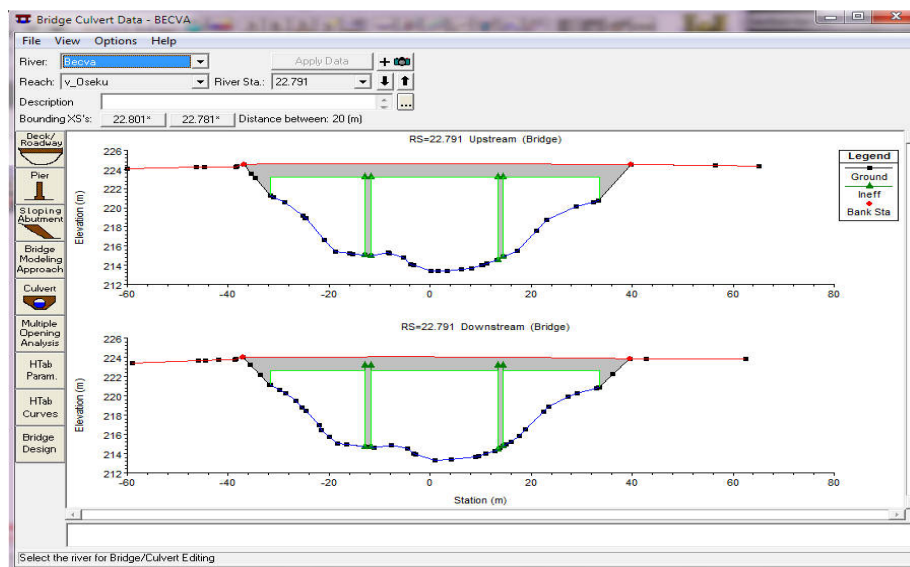
V programu je první nutno zadat tvarovou geometrii koryta.

- zadání osy toku: Osa toku byla dána příčnými řezy, které byly k dispozici jako podkladový materiál. [15]
- staničení: Po zadání osy je nutno příčné profily definovat, a to nadmořskou výškou, vzdáleností od předchozího profilu, úrovněmi břehů a Manningovými součiniteli drsnosti

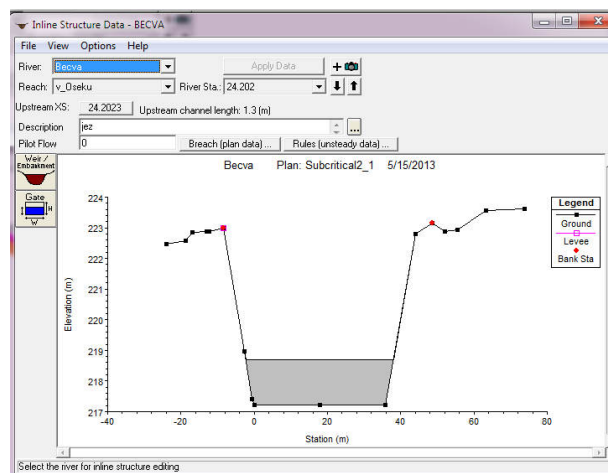


Obr. 9 Vzor profilu ř. km 23,201 zadaného do programu HEC-RAS

- objekty na toku: V používaném softwaru je možno zadat několik druhů objektů při různých režimech proudění. Jedná se například o silniční a železniční mosty a jezy, propustky, či pěší lávky. V zájmovém území se nachází silniční most (ř. km 22,791) a jez (24,202). Most (obr. 10) se musí vkládat mezi dva blízké profily. Most má dva pilíře, tím pádem u profilů pod mostem a nad mostem musíme určit neefektivní plochy. Tento most má v koruně šířku 5,5 m. Jez (obr. 11) zadaný na toku musí být také vložen mezi profily pod a nad jezem.



Obr. 10 Most ř. km 22,791



Obr. 11 Jez ř. km 24,202

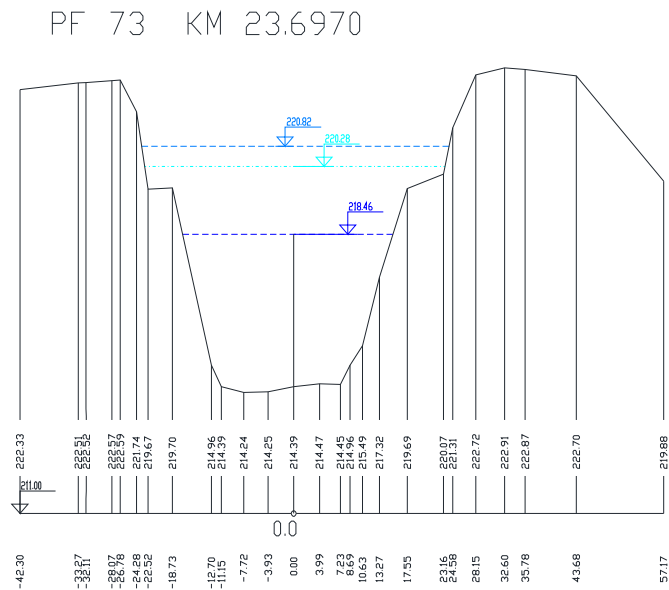
- okrajové podmínky: Jejich formulace záleží na režimu proudění v toku (ustálené, neustálené). V našem případě byla zvolena okrajová podmínka měrné křivky (rating curve). Dolní okrajová podmínka byla zadána v profilu, který leží 388 m pod silničním mostem Osek. Průtoky zadané do okrajových podmínek:
 - $Q_1 \rightarrow 239 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
 - $Q_2 \rightarrow 337 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
 - $Q_5 \rightarrow 466 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
 - $Q_{10} \rightarrow 564 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- stanovení hladin: Je založeno na řešení jednorozměrné Bernoulliho rovnice, kdy řešíme energetické ztráty místní a ztráty třením. Místa hydraulicky komplikovaná, jako jsou např. soutoky, přelivy, propustky, jsou řešeny na základě upravené pohybové rovnice, případně energetické rovnice či poloempirickými vztahy.
- kalibrace modelu: Po provedení výpočtu byla snaha nakalibrovat model na hodnoty průtoků uvedených v dostupných podkladech. [15]

Kalibrace se prováděla změnami drsnostních součinitelů, a to tak dlouho, dokud nebyly na celém úseku co nejpřesněji srovnány výšky hladin s podklady. Ve většině profilů byly nadmořské výšky sjednoceny s podklady s odchylkou maximálně 10 centimetrů. Zbylé profily se liší více, což může být zapříčiněno tím, že nevíme, jakým způsobem byly hladiny uvedené v podkladech určovány. V podkladech nebyla uvedena výška hladiny pro průtok Q_2 , proto srovnáváme jen hladiny průtoků Q_1 , Q_5 a Q_{10} . Pro příklad byly uvedeny hodnoty z profilu v ř. km 23,697.

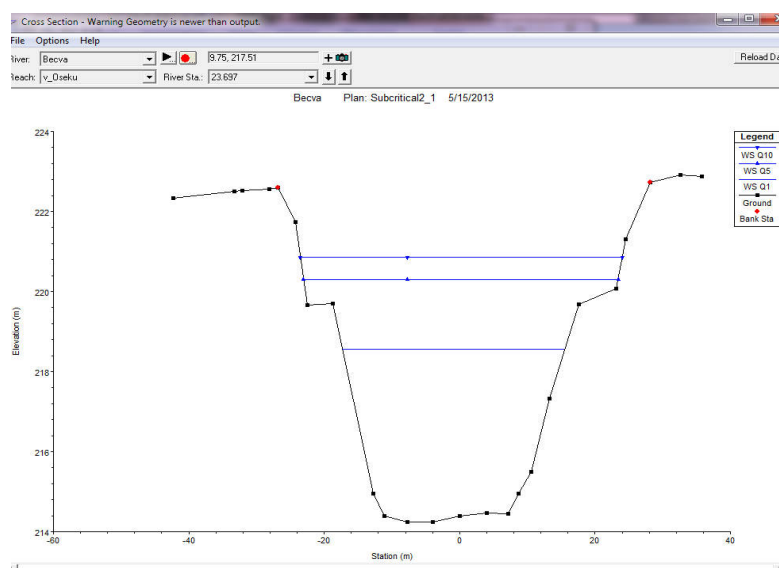
Hladina Q_1 :	výšková kóta vyčtená z podkladů:	218,46 m n. m.
	kalibrovaná hodnota:	218,56 m n. m.
Hladina Q_5 :	výšková kóta vyčtená z podkladů:	220,28 m n. m.
	kalibrovaná hodnota:	220,30 m n. m.
Hladina Q_{10} :	výšková kóta vyčtená z podkladů:	220,82 m n. m.
	kalibrovaná hodnota:	220,86 m n. m.

V dalším kroku bylo provedeno doplnění tabulkového výstupu z programu HEC-RAS o výpočet nevymílací rychlosti dle Meyer-Petera (rce. 9). K tomu, aby uvedený vzorec mohl být aplikován, musí být dopočítán rychlostní součinitel C . Nakonec se stejně jako v předchozím případě porovná rozdíl mezi nevymílací rychlostí a průřezovou rychlostí v toku.

Výpočtem bylo ověřeno, že na toku je říční režim proudění.



Obr. 12 Ř. km 23,697- výšky hladin uvedené v podkladech



Obr. 13 Ř. km 23,697- Kalibrované hladiny v programu HEC-RAS

7.3 Zhodnocení stávajícího stavu

V následujících dvou podkapitolách jsou výpočty řešeny pro stávající stav koryta. V prvním bodě je řešeno proudění ustálené rovnoměrné a v druhém ustálené nerovnoměrné.

7.3.1 Rovnoměrné proudění

Ustálené proudění bylo řešeno v tabulkovém procesoru Excel. Při tomto výpočtu bylo snahou určit rychlosti, při kterých dochází k vymílání a při kterých k zanášení koryta toku, jak již bylo výše vysvětleno (kap. 7.1), Tímto způsobem v toku ověřujeme stabilitu a hodnoty porovnávané s návrhovými průtoky. Pro zadaný případ byly návrhové meze určeny v rozmezí průtoků Q_1 až Q_5 .

Při řešení stavu před úpravou uvažujeme pro výpočet geometrii koryta danou charakteristickým řezem (tab. 6). Podélný sklon je v tomto případě 2,54 ‰. Z výsledků plyne, že daný rozměr a sklon koryta není ideálním. Tímto došlo k ověření již známé skutečnosti, která je zřejmá z problému na toku. Z výsledné tabulky (tab. 8) můžeme vyčíst, že rozdíl mezi nevymílací rychlostí dle Meyer-Petera a střední průřezovou rychlostí v toku je roven nule při průtoku 46,48 m³/s. Tento průtok odpovídá přibližně průtoku Q_{30} denní, což je 43,2 m³/s, tato hodnota je přibližně šestkrát nižší než vyžadujeme při návrhovém průtoku Q_1 letém, který dosahuje 239 m³/s.

Pro porovnání je uvedena i hodnota dle Leviho, při které se zanášení mění ve vymílání a naopak. Dochází k tomu při průtoku 70,28 m³/s. I v tomto případě je rozdíl mezi vypočítaným průtokem a průtokem návrhovým diametrálně odlišný, a to více než trojnásobně.

V našem případě se kloníme spíše k výsledkům dle Meyer-Petera. Tyto hodnoty jsou s ohledem na reálný stav jistější, protože dle Meyer-Petera dochází k vymílání při rychlostech nižších.

Tab. 8 Výpočtová tabulka založená na základě rozměrů synoptického řezu

h	A	Øn	C	v	Q	v _{v, M-P}	v-v _v	v _{v, Levi}	v _{L-v_v}	Kritérium dle Leviho:	R	
m	m ²	-	-	m/s	m ³ /s	m/s	m/s	m/s	m/s		d ₉₀	
0,90	27,72	0,034	28,2	1,30	36,07	1,40	0,10	1,56	-0,26	$10 < \frac{R}{d_{90}} < 40$	10,76	46,48 > Q _{30d}
1,00	31,00	0,035	28,5	1,38	42,90	1,42	0,03	1,58	-0,20		11,87	
1,05	32,66	0,035	28,7	1,42	46,48	1,42	0,00	1,59	-0,17		12,42	
1,10	34,32	0,035	28,8	1,46	50,18	1,43	-0,03	1,60	-0,14		12,97	
1,20	37,68	0,035	29,1	1,54	57,90	1,44	-0,09	1,62	-0,08		14,06	
1,30	41,08	0,035	29,4	1,61	66,05	1,46	-0,15	1,63	-0,03		15,13	
1,35	42,80	0,035	29,5	1,64	70,28	1,46	-0,18	1,64	0,00		15,66	
1,40	44,52	0,035	29,6	1,68	74,61	1,47	-0,21	1,65	0,03		16,19	
1,50	48,00	0,035	29,8	1,74	83,58	1,48	-0,26	1,66	0,08		17,23	

7.3.2 Nerovnoměrné proudění

Pro výpočet nerovnoměrného proudění byl vybrán software HEC – RAS, který je určen pro hydraulické modelování.

Tab. 9 Tabulkový výstup z programu HEC - RAS

Stanič.	Q řada	průtok Q	Výška dna	Hloubka	Drsnost n	hydr. pol. R	C	rychlost v	v _v	v-v _v	Oblast proud.
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
24.572	Q1	239	216.9	4.33	0.0373	2.78	31.79	0.92	1.58	-0.66	260.42
24.572	Q2	337	216.9	4.94	0.0379	3.26	32.14	1.06	1.59	-0.53	317.72
24.572	Q5	466	216.9	5.68	0.0384	3.83	32.54	1.19	1.61	-0.42	390.04
24.572	Q10	564	216.9	6.24	0.0388	4.25	32.83	1.26	1.63	-0.37	447.05
24.221	Q1	239	217.1	3.51	0.0373	2.76	31.75	2.07	1.57	0.50	115.71
24.221	Q2	337	217.1	3.94	0.0379	3.06	31.81	2.53	1.58	0.95	133.27
24.221	Q5	466	217.1	4.53	0.0384	3.45	31.98	2.95	1.59	1.36	158.18
24.221	Q10	564	217.1	5.05	0.0388	3.79	32.21	3.11	1.60	1.51	181.2
				0							
24.202	Q1	239	217.2	3.38	0.0373	2.89	32.00	1.73	1.59	0.14	137.88
24.202	Q2	337	217.2	3.82	0.0379	3.21	32.06	2.13	1.59	0.54	158.4
24.202	Q5	466	217.2	4.42	0.0384	3.64	32.27	2.49	1.60	0.89	187.14
24.202	Q10	564	217.2	4.95	0.0388	4	32.50	2.65	1.61	1.04	213.19
24.202	Inl Struct										
24.201	Q1	239	215.4	3.94	0.0373	3.35	32.79	1.49	1.63	-0.14	160.6
24.201	Q2	337	215.4	4.81	0.0379	3.97	33.22	1.68	1.65	0.03	200.61
24.201	Q5	466	215.4	5.83	0.0384	4.67	33.64	1.87	1.67	0.20	249.69
24.201	Q10	564	215.4	6.42	0.0388	5.06	33.80	2.02	1.68	0.34	278.59

				0							
23.697	Q1	239	214.2	4.32	0.0373	3.15	32.46	2.16	1.61	0.55	110.7
23.697	Q2	337	214.2	5.11	0.0379	3.61	32.69	2.45	1.62	0.83	137.69
23.697	Q5	466	214.2	6.06	0.0384	3.54	32.12	2.64	1.59	1.05	176.82
23.697	Q10	564	214.2	6.62	0.0388	3.94	32.42	2.77	1.61	1.16	203.37
				0							
23.201	Q1	239	212.5	5.61	0.0373	3.3	32.71	1.71	1.62	0.09	139.55
23.201	Q2	337	212.5	6.32	0.0379	3.79	32.96	2	1.63	0.37	168.08
23.201	Q5	466	212.5	7.19	0.0384	4.12	32.94	2.26	1.63	0.63	205.87
23.201	Q10	564	212.5	7.73	0.0388	4.31	32.91	2.44	1.63	0.81	231.42
22.791	Bridge										
22.749	Q1	239	213.2	4.49	0.0373	3.42	32.91	1.47	1.63	-0.16	162.91
22.749	Q2	337	213.2	5.16	0.0379	3.86	33.06	1.74	1.64	0.10	193.56
22.749	Q5	466	213.2	6.02	0.0384	4.29	33.16	1.98	1.64	0.34	235.83
22.749	Q10	564	213.2	6.51	0.0388	4.54	33.20	2.15	1.65	0.50	262.25

7.3.3 Hodnocení výsledků

Z výsledků výpočtu rovnoměrného proudění (tab. 8) vyplývá, že k zanášení koryta dochází při rychlostech nižších, než je rychlost $1,42 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (dle Meyer-Petera), to vyplývá z vyrovnání hodnot střední průřezové rychlosti a nevymílací rychlosti. Pokud je hodnota nevymílací rychlosti nižší než hodnota průřezová, dochází k zanášení toku, a pokud je nevymílací rychlost vyšší než průřezová, dochází naopak k vymílání. Tato mezní rychlost udává stav toku, při kterém je koryto stabilní a nedochází k jeho narušování. Rovnost vymílací a profilové rychlosti v korytě nastane při průtoku $46,48 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Průtok Q_1 je při tom několikanásobně vyšší, a to $239 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Úloha nerovnoměrného ustáleného proudění lépe vystihuje přirozený charakter koryta. Hodnocení profilových a vymílacích rychlostí je tedy provedeno v jednotlivých příčných profilech, resp. následujících úsecích:

- staničení 22,572: výsledný rozdíl průřezové a vymílací rychlosti je menší než nula. To znamená, že v daném profilu dochází k vymílání a prohlubování koryta.
- staničení 24,221 - 22,202: oblast se nachází nad pevným jezem Osek. V tomto úseku dochází k zanášení toku. Proto se v této oblasti zahlubování, vymílání ani eroze nevyskytují. Ovšem je zde k vidění nepříznivý jev, kterým je přerušení transportu sedimentů. Je

- to jeden z problémů, které se na toku musí řešit, protože pokud se sedimenty před hradíciemi konstrukcemi zastaví, chybí dále po toku a musí být zajištěna jejich dotace odjinud.
- staničení 23,679 - 23,201: oblast pod pevným jezem. Průřezová rychlost je v tomto úseku vyšší než vymílací, z toho důvodu lze v této části koryta očekávat spíše zanášení.
 - staničení 23,749: tento profil se nachází pod silničním mostem. Rovnost mezi vymílací rychlostí a průřezovou rychlostí je mezi návrhovými průtoky Q_1 až Q_2 , tedy v rozmezí, které je uvažováno jako vyhovující.

Tyto výsledky potvrzují, že problém s vymíláním není v celém řešeném úseku, ale spíše místně. I tak je zřejmé, že v zájmovém úseku je vymílání a zahlubování koryta významným problémem.

7.4 Návrhový stav koryta

V dalším textu je popsáno hodnocení navržených opatření, která by měla přispět ke stabilizaci koryta toku v zájmovém úseku. Posuzovaná opatření zahrnují úpravy sklonových poměrů a tvaru příčných řezů.

Hodnocení bylo provedeno, stejně jako u hodnocení stávajícího stavu, formou řešení úloh ustáleného rovnoměrného (kap 7.4.1) a nerovnoměrného proudění (kap 7.4.2).

7.4.1 Rovnoměrné proudění

Dopad navržených úprav byl hodnocen s ohledem na geometrii koryta a okolí toku. Uvažovalo se několik možných variant úprav podélného a příčného profilu, které by řešily problém sklonových poměrů toku v daném úseku. Jako nejjasnější řešení se jeví snížení nivelety dna koryta. Ta bude ve výpočtu snižována postupně a budou hodnoceny změny, které při manipulaci s podélným profilem nastanou.

Hodnocené varianty opatření jsou následujících:

Varianta A - uvažuje se změna sklonu z 2,45 ‰ na 2 ‰. Dle výsledků je zřejmé, že se se změnou sklonu pohybuje správným směrem, ale úprava musí být výraznější. (tab. 10)

Varianta B v této variantě se snižoval podélný sklon na hodnotu 0,8 ‰. Při tomto sklonu podélného profilu je hodnota rozdílů rychlostí rovna přibližně Q_1 letému průtoku. (tab. 11)

Varianta C Pro porovnání bylo ve variantě C návrhu (tab.12) úpravy koryta uvažováno jen se změnou šířky toku a ne se změnou sklonu, jak tomu bylo v předchozích případech. Tento teoretický způsob úpravy se jeví jako nevhodný, vzhledem k tomu, že pokud bychom chtěli dosáhnout definovaných kritérií stability, muselo by koryto být velmi znatelně rozšířeno, a to z původních 29 m ve dně na 70 m, v horní části koryta by se změnila šířka z 65 na 112 m. Hloubka by stačila jen 5 m. Tato varianta je zde uvedena jen pro porovnání a uvědomění si, že varianta rozšiřování toku je z technických a geologických důvodů prakticky neproveditelná.

Tab. 10 Varianta řešení A - sklon 2,0‰

h	A	Øn	C	v	Q	$V_{v, M-P}$	V_{M-P-V}	$V_{v, Levi}$	$v_L - v_v$	Kritérium dle Leviho:	R		
m	m ²	-	-	m/s	m ³ /s	m/s	m/s	m/s	m/s		d ₉₀		
1.10	34.32	0.035	28.8	1.30	44.53	1.43	0.13	1.60	-0.30	$10 < \frac{R}{d_{90}} < 40$	12.97	$63.12 > Q_{30d}$	
1.20	37.68	0.035	29.1	1.36	51.38	1.44	0.08	1.62	-0.26		14.06		
1.30	41.08	0.035	29.4	1.43	58.61	1.46	0.03	1.63	-0.21		15.13		
1.36	43.14	0.035	29.5	1.46	63.12	1.46	0.00	1.64	-0.18		15.76		
1.40	44.52	0.035	29.6	1.49	66.20	1.47	-0.02	1.65	-0.16		16.19		
1.50	48.00	0.035	29.8	1.55	74.16	1.48	-0.07	1.66	-0.12		17.23		
1.60	51.52	0.035	30.0	1.60	82.48	1.49	-0.11	1.67	-0.07		18.27		
1.70	55.08	0.035	30.2	1.65	91.14	1.50	-0.16	1.69	-0.03		19.29		
1.78	57.96	0.036	30.3	1.70	98.31	1.50	-0.19	1.69	0.00		20.10		$Q_1 > 98.31 > Q_{30d}$
1.80	58.68	0.036	30.3	1.71	100.1	1.50	-0.20	1.70	0.01		20.31		
1.90	62.32	0.036	30.5	1.76	109.4	1.51	-0.25	1.71	0.05		21.31		
2.00	66.00	0.036	30.6	1.81	119.1	1.52	-0.29	1.72	0.09		22.30		

Tab. 11 Varianta řešení B– sklon 0,8 ‰

h	A	Øn	C	v	Q	V _{v, M-P}	V _{M-P-V_v}	V _{v, Levi}	V _{L-V_v}	Kritérium dle Leviho:	R	
m	m ²	-	-	m/s	m ³ /s	m/s	m/s	m/s	m/s		d ₉₀	
3.50	126.00	0.037	31.9	1.52	191.27	1.58	0.07	1.82	-0.30	$10 < \frac{R}{d_{90}} < 40$	36.18	229.63 < Q₁
3.60	130.32	0.037	32.0	1.54	200.57	1.59	0.05	1.82	-0.28		37.05	
3.70	134.68	0.037	32.1	1.56	210.06	1.59	0.03	1.83	-0.27		37.91	
3.80	139.08	0.037	32.1	1.58	219.75	1.59	0.01	1.83	-0.25		38.77	
3.90	143.52	0.038	32.2	1.60	229.63	1.60	0.00	1.84	-0.24		39.62	
4.00	148.00	0.038	32.2	1.62	239.70	1.60	-0.02	2.10	-0.48	$\frac{R}{d_{60}} > 60$	99.51	
4.10	152.52	0.038	32.3	1.64	249.97	1.60	-0.04	2.21	-0.57		101.6	
4.20	157.08	0.038	32.3	1.66	260.43	1.60	-0.05	2.21	-0.55		103.6	
4.30	161.68	0.038	32.4	1.68	271.09	1.61	-0.07	2.22	-0.54		105.7	
4.40	166.32	0.038	32.4	1.70	281.94	1.61	-0.09	2.23	-0.53		107.7	

Tab. 12 Varianta řešení C

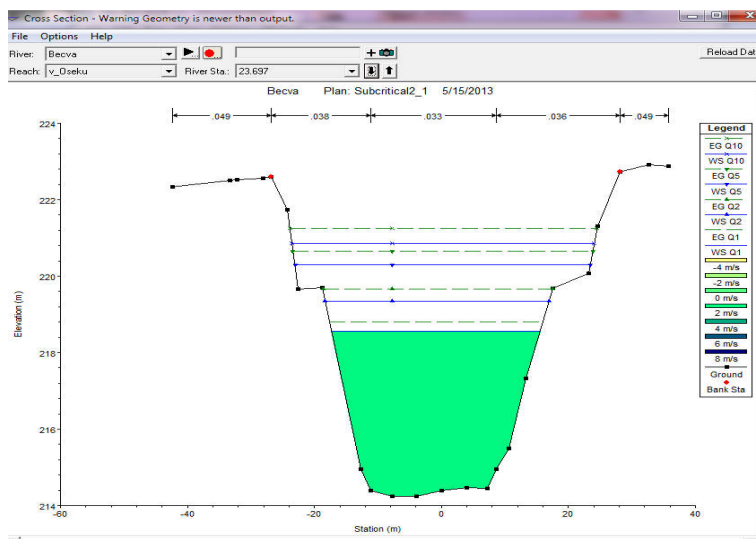
h	A	Øn	C	v	Q	V _{v, M-P}	V _{M-P-V_v}	V _{v, Levi}	V _{L-V_v}	Kritérium dle Leviho:	R	
m	m ²	-	-	m/s	m ³ /s	m/s	m/s	m/s	m/s		d ₉₀	
0.70	51.0	0.034	27.5	1.14	58.11	1.37	0.23	-	-	$10 < \frac{R}{d_{90}} < 40$	8.61	Q₁ > 110,8 > Q_{30d}
0.80	58.6	0.034	28.0	1.23	72.48	1.39	0.16	-	-		9.78	
0.90	66.4	0.034	28.4	1.33	88.07	1.41	0.09	1.57	-0.24		10.9	
1.00	74.2	0.034	28.8	1.41	104.83	1.43	0.02	1.59	-0.17		12.1	
1.03	76.5	0.034	28.9	1.44	110.08	1.44	0.00	1.59	-0.15		12.4	
1.10	82.0	0.034	29.2	1.50	122.73	1.45	-0.05	1.61	-0.11		13.2	
1.20	90.0	0.035	29.5	1.57	141.72	1.46	-0.11	1.62	-0.05		14.3	
1.30	98.1	0.035	29.7	1.65	161.78	1.48	-0.17	1.64	0.01		15.4	
1.40	106.	0.035	30.0	1.72	182.87	1.49	-0.23	1.65	0.07		16.5	

7.4.2 Nerovnoměrné proudění

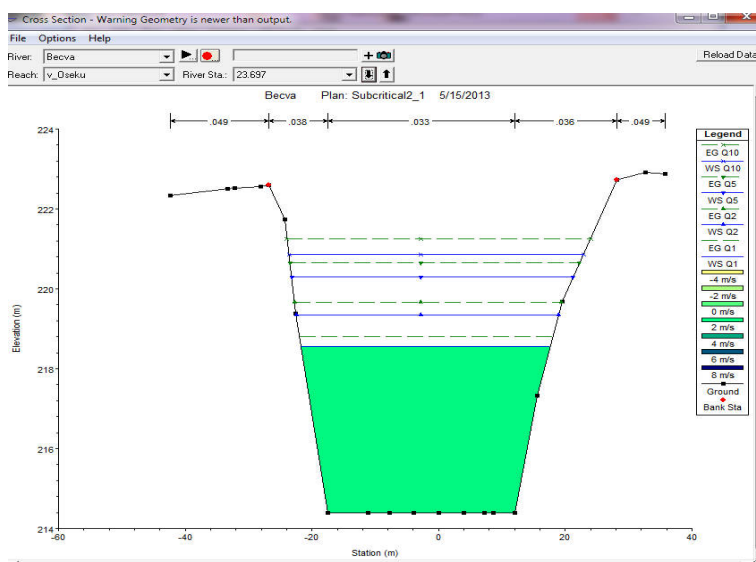
Při upravování toku, který počítáme pomocí výpočtového programu HEC-RAS, musíme modifikovat příčné profily. Při úpravě tvarových charakteristik vycházíme z charakteristického řezu (tab. 6), ale jeho rozměry respektujeme jen částečně. Tvar břehů toku se zachovává, ale původní koryto je urovnáno ve dně, případně na březích toku tak, aby přibližně odpovídalo charakteristickému řezu. Pata svahu bude opevněna kamenným záhozem a v části břehového svahu kamenným pohozem.

Pro porovnání jsou níže uvedeny dva obrázky profilů, jeden ve stavu před úpravou (obr. 14) a druhý po úpravě (obr. 15). Jedná se o příčné řezy v říčním kilometru 23,697.

Úprava sklonových poměrů je dána změnou tvaru koryta v jeho dnové části.

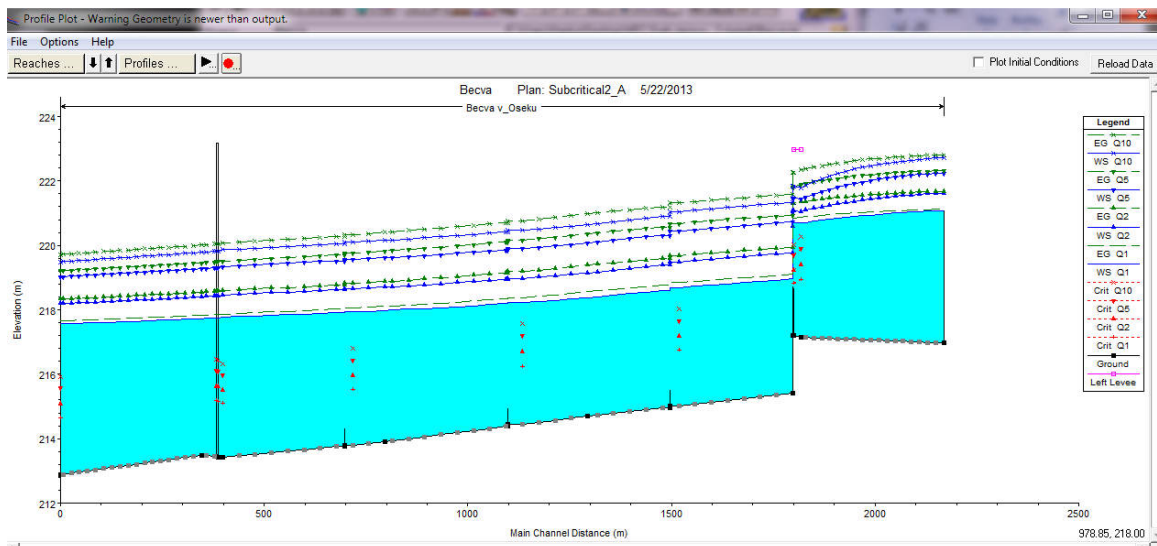


Obr. 14 Řez korytem v ř. km 23,697 před úpravou



Obr. 15 Řez korytem v ř. km 23,697 po úpravě

Jedním z možných řešení snížení nivelety podélného profilu by bylo zahrazení toku hradicími prvky, například kaskádou stupňů. Tato možnost byla v rámci řešení vybrána. Kaskáda se bude skládat ze tří stupňů o výšce 0,5 m od dna koryta. Pro jejich umístění byly vybrány profily v ř. km 23,1, 23,5 a 23,9. Tyto stupně budou zachytávat splaveniny unášené tokem a tím pádem dojde k přirozenému vyrovnání nivelety až na požadovanou hodnotu 0,8 ‰. V podélném profilu je užití hrazení zobrazeno (obr. 16).



Obr. 16 Podélný profil po úpravě

Tab. 13 Tabulkový výstup z programu HEC – RAS- po úpravě

Stanič.	Q řada	průtok Q (m ³ /s)	Výška a dna (m)	Hloubka (m)	Drsnost n	hydr. pol. R (m)	C (m ^{0.5} /s)	rychlost v (m/s)	v _v (m/s)	v-v _v (m)	Oblast proud. (m ²)
24.572	Q1	239	217	4.11	0.0373	2.98	32.16	0.87	1.60	-0.73	275.47
24.572	Q2	337	217	4.66	0.0379	3.41	32.38	1.03	1.61	-0.58	325.85
24.572	Q5	466	217	5.28	0.0384	3.88	32.61	1.21	1.62	-0.41	386.03
24.572	Q10	564	217	5.76	0.0388	4.24	32.82	1.3	1.63	-0.33	433.63
24.572	Q20	662	217	6.26	0.0370	4.61	34.90	1.36	1.73	-0.37	485.12
24.221	Q1	239	217.2	3.53	0.0373	2.91	32.03	1.91	1.59	0.32	125.33
24.221	Q2	337	217.2	3.89	0.0379	3.15	31.96	2.4	1.59	0.81	140.2
24.221	Q5	466	217.2	4.28	0.0384	3.41	31.92	2.97	1.58	1.39	156.8
24.221	Q10	564	217.2	4.64	0.0388	3.64	32.00	3.28	1.59	1.69	172.21
24.221	Q20	662	217.2	5.08	0.0370	3.93	33.98	3.45	1.69	1.76	192.09
24.202	Q1	239	217.2	3.49	0.0373	2.97	32.14	1.67	1.59	0.08	143.39
24.202	Q2	337	217.2	3.86	0.0379	3.24	32.11	2.1	1.59	0.51	160.63
24.202	Q5	466	217.2	4.27	0.0384	3.53	32.10	2.59	1.59	1.00	180.04
24.202	Q10	564	217.2	4.64	0.0388	3.79	32.21	2.85	1.60	1.25	197.83
24.202	Q20	662	217.2	5.09	0.0370	4.09	34.21	3	1.70	1.30	220.35
24.202	Inl Struct										
24.201	Q1	239	215.4	3.55	0.0373	3.06	32.30	1.67	1.60	0.07	143.52

24.201	Q2	337	215.4	4.37	0.0379	3.66	32.77	1.87	1.63	0.24	180.18	
24.201	Q5	466	215.4	5.32	0.0384	4.33	33.22	2.07	1.65	0.42	225.02	
24.201	Q10	564	215.4	5.94	0.0388	4.74	33.44	2.21	1.66	0.55	254.88	
24.201	Q20	662	215.4	6.52	0.0370	5.12	35.52	2.33	1.76	0.57	283.76	
23.9	Inl Struct											
23.697	Q1	239	214.7	3.67	0.0373	3.02	32.23	1.91	1.60	0.31	124.84	
23.697	Q2	337	214.7	4.44	0.0379	3.53	32.57	2.17	1.62	0.55	155.31	
23.697	Q5	466	214.7	5.36	0.0384	4.1	32.91	2.4	1.63	0.77	194.23	
23.697	Q10	564	214.7	5.94	0.0388	4.41	33.04	2.56	1.64	0.92	219.89	
23.697	Q20	662	214.7	6.5	0.0370	4.71	35.03	2.69	1.74	0.95	245.85	
23.5	Inl Struct											
23.2	Q1	239	213.9	4.08	0.0373	3.34	32.78	1.55	1.63	-0.08	154.29	
23.2	Q2	337	213.9	4.81	0.0379	3.86	33.06	1.81	1.64	0.17	186.56	
23.2	Q5	466	213.9	5.71	0.0384	4.47	33.39	2.04	1.66	0.38	228.14	
23.2	Q10	564	213.9	6.26	0.0388	4.77	33.47	2.22	1.66	0.56	254.26	
23.2	Q20	662	213.9	6.79	0.0370	4.97	35.34	2.35	1.75	0.60	281.14	
23.1	Inl Struct											
22.801	Q1	239	213.4	4.36	0.0373	3.58	33.16	1.35	1.64	-0.29	177.56	
22.801	Q2	337	213.4	5.05	0.0379	4.05	33,33	1.6	1,65	-0.05	210.46	
22.801	Q5	466	213.4	5.92	0.0384	4.57	33.52	1.83	1.66	0.17	254.69	
22.801	Q10	564	213.4	6.44	0.0388	4.84	33.55	2	1.66	0.34	282.32	
22.801	Q20	662	213.4	6.95	0.0370	5.07	35.46	2.13	1.76	0.37	310.75	
22.791	Bridge											
22.749	Q1	239	213.5	4.24	0.0373	3.39	32.86	1.44	1.63	-0.19	166.31	
22.749	Q2	337	213.5	4.91	0.0379	3.85	33.05	1.7	1.64	0.06	198.73	
22.749	Q5	466	213.5	5.78	0.0384	4.39	33.29	1.92	1.65	0.27	242.65	
22.749	Q10	564	213.5	6.29	0.0388	4.66	33.34	2.09	1.65	0.44	269.89	
22.749	Q20	662	213.5	6.8	0.0370	4.91	35.27	2.22	1.75	0.47	298.01	

7.4.3 Hodnocení výsledků

Při výpočtu ustáleného rovnoměrného proudění po úpravě toku bylo ověřeno, že při snížení nivelety je možné dosáhnout návrhového průtoku při rychlosti, kterou požadujeme (tab. 11). Tato rychlost určená dle Meyer-Petera má hodnotu $1,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a dosáhneme jí

při průtoku $229,63 \text{ m}^3/\text{s}$, což je přibližně hodnota Q_1 letého průtoku. Tento uvažovaný Q_1 letý průtok je dán hodnotou $239 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Rychlost dle Leviho v tomto případě uvažovat nemůžeme, protože při výpočtu dle zadaných podmínek nevyšla hodnota, se kterou by se dalo dále pracovat.

Řešení ustáleného nerovnoměrného proudění po úpravě vykazuje viditelnou změnu od původního stavu. Ve všech profilech se při průtocích Q_1 i Q_2 sníží průřezová rychlost. U průtoků vyšších než Q_2 se rychlost zvýší. U tohoto výpočtu již nebyla možnost kalibrace, proto byly použity reálnější hodnoty součinitele drsnosti. Tyto hodnoty byly nižší než ty zadávané při kalibraci.

- staničení 24,572: dochází k vymílání koryta
- staničení 24,221 až 23,697: V této části toku dochází k zanášení koryta. Hodnoty rozdílu mezi rychlostí průřezovou a zanášecí, které byly při výpočtu získány, jsou nižší než hodnoty na tomto úseku v původním korytě. To znamená, že došlo k omezení zanášení.
- staničení 23,200: mezní rychlost se pohybuje v rozmezí $Q_1 - Q_2$. Návrhový parametr je splněn.
- staničení 22,801: k mezní rychlosti a jí určenou změnou mezi zanášením a vymíláním dochází mezi průtoky Q_2 a Q_5 letými. Návrhový parametr je splněn.
- staničení 22,749: mezní rychlost se pohybuje v rozmezí $Q_1 - Q_2$. Návrhový parametr je splněn.

Úprava, která byla zvolena, je jen jedna z mnoha možností variant ke snížení nivelety. Mohou být použity například dnové prahy, balvanitý skluz, spádové stupně nebo třeba další jez, který může být podobný tomu, který se již na toku nachází a to v ř. km. 24,202. Ovšem u konstrukcí zachytávajících splaveniny je nutno řešit jejich nedostatek dále po toku. Toto však vyžaduje podrobnější řešení transportu splavenin v rozsahu prakticky celého toku, což přesahuje rámec bakalářské práce.

Jinou z možností jsou například přehrážky s částečnou propustností splavenin. Další eventualita je obtok koryta, který by snížil hladinu v toku, popřípadě se jako zajímavá varianta jeví prodloužení trasy řeky tak, aby byla snížena niveleta. Avšak při změně z $2,54 \text{ ‰}$ na $0,8 \text{ ‰}$ na trase toku dlouhé jen $1,411 \text{ km}$ by musela být trasa prodloužena o třetinu délky.

Vybraná varianta by měla odpovídat poměrům na toku, proto by se měla brát v potaz jeho šířka a také to, že v zimě je pod velkou zátěží ledochodů.

8. ZÁVĚR

Bakalářská práce je věnována řešení zahlubujícího se dna koryta řeky Bečvy v Oseku nad Bečvou.

V práci je hodnocen historický vývoj území, popsán splaveninový režim a dále hodnocen současný stav vybraného úseku řeky Bečvy a jeho následná úprava. Nakonec je vypracován teoretický návrh ochranného opatření.

Na základě prohlídky oblasti kolem toku a po prostudování podkladů řešeného úseku koryta řeky Bečvy je provedeno hodnocení jak u stávajícího, tak u návrhového stavu toku, a to formou úlohy ustáleného rovnoměrného proudění a ustáleného nerovnoměrného proudění.

Úprava koryta v první řadě řeší srovnání toku ve dně a na březích. V dalším kroku je řešena niveleta dna. Původní sklon byl příliš velký, proto bylo nezbytné jej snížit. Pro tento účel byla vybrána kaskáda stabilizačních stupňů, které zahradí vodní tok a náplavami se postupem času niveleta přirozeně sníží.

Cílem řešení úpravy toku bylo zajistit, aby bylo koryto stabilní při průtocích Q_1 - Q_5 letých. Tím by se mělo zamezit vymílání toku.

Výstup z výpočetní tabulky ustáleného nerovnoměrného proudění po úpravě lze shrnout jako uspokojivý. V řešené oblasti stanovené úsekem od ř. km 24,202 po ř. km 22,791 k vymílání nedochází vůbec, nebo při návrhových průtocích, což je v pořádku. Z toho plyne, že toto navržené řešení by mohlo být vhodné.

9. SEZNAM ZDROJŮ

- [1] Oficiální stránky obce Osek nad Bečvou [online]. [citace, 12. 2. 2013].
Dostupné z: <http://www.oseknadbecvou.cz>
- [2] POYRY - studie odtokových poměrů, Pobečví. Listopad 2011
- [3] Ideová studie protipovodňové ochrany Pobečví. [online]. [citace, 18. 2. 2013].
Dostupné z: http://www.uprm.cz/data/docs/becva/becva_studie.pdf
- [4] Hydroprojekt- Stupeň v Oseku Km 24,20, Podélný profil 1:5000/100, 3.8.1954
- [5] Podélný profil- Záplavové území Bečvy, ř. km 0,00-57,32, vypracoval ing. Gimun 03/2003
- [6] Hydrologie: *Doc. Ing. Miroslav Sommer, CSc.*, [rok vydání 1981]
- [7] Úpravy toků: *Doc. Ing. Pavel Výbora, CSc.* [rok vydání 1985]
- [8] Souhrnné hodnocení splaveninového průzkumu v povodí Moravy: *Laboratoř vodohospodářského výzkumu ústavu vodních staveb, VUT FAST v Brně, Listopad 2003*
- [9] Úprava tokov: *M. Raplík, P. Výbora, K. Mareš*, [rok vydání 1989]
- [10] Úpravy toků: *Doc. Ing. Karel Mareš, CSc.*, [rok vydání 1997]
- [11] Mapový portál, [online], [staženo 24. 2. 2013]
Dostupné z: <http://www.geosense.cz/geoportal/osek-nad-becvou>
- [12] Mapový portál, [online], [staženo 24. 2. 2013]
Dostupné z: <http://www.mapy.cz>
- [13] Komplexní revitalizace území dotčeného těžbou PKÚ s.p. – Jezero Chabařovice.
Diplomová práce: *MIŇOVSKÝ, Ondřej*.
- [14] Proudění v systémech říčních koryt: *JANDORA, Jan; UHMANNOVÁ, Hana*.
Brno: VUT FAST Brno, 2006. 119 s.
- [15] Příčné řezy- Záplavové území Bečvy, ř. km 0,00-57,32, vypracoval ing. Gimun 03/2003
- [16] http://moravske-karpaty.cz/priroda_soubory/hydrologie/becva_spodni.htm
- [17] Stupeň v Oseku Km 24,20 úvodní projekt: Hydroprojekt- Příčné řezy, Brno 13.8.1954
- [18] Průvodní zpráva, Bečva, km 24,00 stupeň Osek 1955, Archiv Povodí Moravy

10. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 II. Vojenské mapování [11]

Obr. 2 Současná poloha koryta [11]

Obr. 3 Lokace zájmového území [12]

Obr. 4 ZÚ Km 22,791: Pohled od silničního mostu Osek proti směru proudění

Obr. 5 KÚ Km 24,00: Stupeň Osek

Obr. 6 Km 24,666: kombinovaný Jez Osek

Obr. 7 Schéma pro výpočet nerovnoměrného proudění [14]

Obr. 8 Podélný profil

Obr. 9 Vzor profilu ř. km 23,201 zadaného do programu HEC-RAS

Obr. 10 Most ř. km 22,791

Obr. 11 Jez ř. km 24,202

Obr. 12 Ř. km 23,697- výšky hladin uvedené v podkladech

Obr. 13 Ř. km 23,697- Kalibrované hladiny v programu HEC-RAS

Obr. 14 Řez korytem v ř. km 23,697 před úpravou

Obr. 15 Řez korytem v ř. km 23,697 po úpravě

Obr. 16 Podélný profil po úpravě

11. SEZNAM TABULEK

- Tab. 1* Použité vztahy pro výpočet nevymílací průřezové rychlosti
- Tab. 2* Maximální dovolené rychlosti vody pro různé materiály dna [6]
- Tab. 3* Doporučené návrhové průtoky pro odolnost koryta [7]
- Tab. 4* Hydrologická data [2]
- Tab. 5* Granulometrická křivka [8]
- Tab. 6* Hodnoty určené charakteristickým (synoptickým) řezem
- Tab. 7* Hodnoty použité při výpočtu
- Tab. 8* Výpočtová tabulka založená na základě rozměrů synoptického řezu
- Tab. 9* Tabulkový výstup z programu HEC - RAS
- Tab. 10* Varianta řešení A - sklon 2,0‰
- Tab. 11* Varianta řešení B – sklon 0,8 ‰
- Tab. 12* Varianta řešení C
- Tab. 13* Tabulkový výstup z programu HEC – RAS- po úpravě

12. SEZNAM PŘÍLOH

P1 VÝŘEZY Z HISTORICKÝCH MAP

P1. A Historická mapa z roku 1573: Fabricius, Pavel: *Moraviae, quae olim Marcomannorum sedes Corographia*

P1. B Historická mapa z roku 1633: Komenský, Jan Amos: *Marchionatus Moraviae*

P1. C Historická mapa z roku 1709: : Vogemont, Lothar: *Conjunctio Danubij cum Oder vel per Moravam et Beczwam vel per Vagum, et Olsam*

P1. D Historická mapa z roku 1784: Venuto, Jan Antonín: *Das Markgraftum Maehren mit der Aelteren und im Jahr 1783 abgeaenderten Einth.*

P1. E Historická mapa z roku 1892: Komenský, Jan Amos (spolupracující autor): *Moraviae nova et post omnes priores accuratissima delineatio*

P2 FOTODOKUMENTACE

P3 TABULKOVÉ VÝSTUPY- EXCEL

P3. A rozměry koryta ze synoptického řezu

P3. B varianta řešení A- *sklon nivelety 2‰*

P3. C varianta řešení B- *sklon nivelety 0,8 ‰*

P3. D varianta řešení C- *širší koryto*

P4 SITUACE PŘEHLEDNÁ M 1:50000

P5 SITUACE NAVRHOVANÝCH OPATŘENÍM 1:5000

P6 PŘÍČNÉ ŘEZY Z R. 1954

P7 PŘÍČNÉ ŘEZY

P8 PODÉLNÝ PROFIL

P9 PŘÍČNÉ ŘEZY

P10 VZOROVÝ PŘÍČNÝ PROFIL

13. SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

d	průměr zrna
c	experimentálně určený součinitel
r	poloměr částic
η	dynamická viskozita vody
γ	měrná tíha vody
γ_1	měrná tíha plavenin
U	unášecí síla
U_0	kritická unášecí síla
C	Chézyho rychlostní součinitel
A	průtočná plocha
O	Omočený obvod
n	součinitel drsnosti
γ_s	měrná tíha splavenin
γ	měrná tíha vody
d_e	velikost efektivního zrna
d_s	velikost středního zrna
h	hloubka toku
v	rychlost proudění
v_v	nevymílací průřezova rychlost
g	tíhové zrychlení
R	hydraulický poloměr
d_{60}	60% průměrná velikost zrna ve splaveninové směsi je menší než zrno d_{60}
d_{90}	90% průměrná velikost zrna ve splaveninové směsi je menší než zrno d_{90}
$\Sigma\Delta p_i$	procentuální interval
$d_{stř}$	střední zrno v tomto intervalu
α	Coriolisovo číslo, stejné ve všech úsecích
v_i, v_{i+1}	rychlost v profilech
h_{zj}	součet ztrát třením a ztrát místních na daném úseku
Δh_j	rozdíl hladin na úseku j