

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Katedra biotechnických úprav krajiny

**Experimentální revitalizace vodního toku
Rudava**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Martin Sucharda

Diplomant: Bc. Václav Podlaha

2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Václav Podlaha

Krajinné inženýrství
Voda v krajině

Název práce

Experimentální revitalizace vodního toku Rudava

Název anglicky

Experimental stream restoration Rudava river

Cíle práce

Revitalizace vodních toků se staly důležitou součástí úprav vodních toků. Jejich metodické uchopení se vzhledem k stáří oboru vyvíjí a reaguje na nové poznatky a technologické možnosti. Jedním z důležitých principů je využití procesu přirozené renaturace. Kromě neřízené formy je možné renaturační proces usměrnit biotechnickými objekty a tím zvýšit efektivitu opatření.

Práce bude zpracována jako součást záměru Revitalizace vodního toku Rudava, který je zpracováván vedoucím diplomové práce.

Cíle:

1. Doplňte podkladové materiály terénním mapováním.
2. Posuďte navržené formy opatření pomocí 2D modelu.
3. Popište možnosti designu biotechnologických objektů.
4. Ve spolupráci s ostatními řešiteli navrhnete řešení revitalizace.

Metodika

Proveďte podrobné terénní mapování vybraného úseku vodního toku. Shromážděte další podklady. Zúčastněte se diskuse v řešitelské skupině nad možnými opatřeními. Proveďte posouzení variant možných opatření pomocí 2D hydrotechnického modelu. Zpracujte projekční návrh opatření v technickém rozsahu dokumentace pro územní řízení.

Doporučený rozsah práce

50 stran, přílohy ve formě map, výkresů a schémat

Klíčová slova

hydromorfologie, vodní tok, revitalizace vodních toků

Doporučené zdroje informací

BRIERLEY, G J. – FRYIRS, K A. *Geomorphic analysis of river systems : an approach to reading the landscape.* Chichester, West Sussex, UK ; Hoboken, NJ: Wiley, 2013. ISBN 9781405192743.

JUST, T. Revitalizace vodního prostředí. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, 2003. 144 s. ISBN 8086064727.

ŠINDLAR, Miloslav. Geomorfologické procesy vývoje vodních toků. Část I., Typologie korytotvorných procesů. Vyd. 2. Hradec Králové: Sindlar Group, 2012. 148 s. ISBN 9788025424452.

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Martin Sucharda

Garantující pracoviště

Katedra biotechnických úprav krajiny

Elektronicky schváleno dne 23. 3. 2020

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 24. 3. 2020

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 29. 06. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing Martina Suchardy, a že jsem uvedl všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze dne 30.6.2020

.....

**„Můžete mít první slovo, ale řece nechte
poslední!“**

Václav Cílek

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval Ing. Martinu Suchardovi za odborné vedení, velmi cenné rady, náměty a připomínky. V neposlední řadě poděkování patří přítelkyni a rodině za podporu během celého studia.

Abstrakt

Tato diplomová práce s názvem „Experimentální revitalizace vodního toku Rudava“ se zabývá návrhem revitalizačních opatření na řece Rudavě na západě Slovenska. Konkrétně se jedná o návrh biotechnických usměrňovacích objektů za využití mrtvého dřeva a následné posouzení za pomoci 2D modelu v softwaru HEC – RAS. Před vlastním posouzením účinnosti opatření byla provedena rešerše odborné literatury, v níž byly zmíněny revitalizace, rozdíl mezi renaturacemi a revitalizacemi a jejich možnosti a typy. Dále byly zmíněny možnosti aplikace mrtvého dřeva do toku, jeho pozitiva a negativa při přítomnosti v toku či využívání při revitalizacích či renaturacích.

Klíčová slova: hydromorfologie, vodní tok, revitalizace vodních toků

Abstract

This diploma thesis entitled "Experimental revitalization of the Rudava watercourse" deals with the design of revitalization measures on the Rudava River in western Slovakia. Specifically, the design of biotechnical rectification objects using dead wood and subsequent assessment using a 2D model in the software HEC - RAS. Prior to the assessment of the effectiveness of the measures, a review of the scientific literature was carried out, mentioning the revitalization, the difference between renaturations and revitalizations, and their possibilities and types. There were also mentioned possibilities of application of deadwood into the stream, its positives, and negatives in presence in the stream or the use in revitalization or renaturation.

Key words: hydromorphology, watercourse, revitalization of watercourses

Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Cíle práce	2
3.	Revitalizace	3
3.1	Historie revitalizací	3
3.1.1	Historie ve světě.....	3
3.1.2	Historie v ČR	3
3.2	Vymezení pojmu revitalizace	4
3.3	Revitalizační typy	5
3.3.1	Rozdíl mezi revitalizací a renaturací.....	5
3.3.2	Dlouhodobé samovolné renaturace	6
3.3.3	Postupné renaturace korekční údržbou	6
3.3.4	Renaturace povodněmi.....	7
3.3.5	Technická revitalizace.....	7
3.4	Funkce revitalizací v protipovodňové ochraně.....	8
4.	Říční dřevo	9
4.1	Terminologie	9
4.2	Funkce a význam říčního dřeva.....	11
4.2.1	Morfologická funkce.....	11
4.2.2	Biologická funkce	13
4.2.3	Hydrologicko – hydraulické.....	14
4.2.4	Látkově – spiralizační	14
4.3	Problémy	14
4.4	Akumulace.....	16
4.5	Využití říčního dřeva při revitalizacích.....	18
5.	Hydrologické modelování.....	21
5.1	Hydrologické modely	21
5.1.1	Rozdělení modelů.....	21
5.1.2	Modely rodiny HEC.....	21
6.	Revitalizace vodního toku Rudava.....	23
6.1	Řeka Rudava a zájmové území.....	23
6.2	Návrh biotechnických usměrňovacích objektů	26
6.2.1	Definice biotechnických usměrňovacích objektů	26
6.2.2	Navrhované varianty objektů	26

6.2.3	Varianta 1	27
6.2.4	Varianta 2	28
6.2.5	Varianta 3	29
6.2.6	Varianta 4	30
6.2.7	Varianta 5	31
6.2.8	Varianta 6	32
6.2.9	Výsledný návrh	33
6.3	Výpočet kapacity koryta	38
6.3.1	Chézyho rovnice	38
6.3.2	Rovnice kontinuity	39
6.3.3	Výpočet	40
6.4	Modelování v softwaru HEC - RAS	41
6.4.1	Tvorba modelu terénu	41
6.4.2	Tvorba polygonu drsnosti	42
6.4.3	Práce v programu HEC – RAS	43
6.5	Výsledky modelování	46
6.5.1	Model č.1	46
6.5.2	Model č. 2	48
6.5.3	Model č. 3	50
7.	Závěry a doporučení vycházející z modelování	54
8.	Diskuze	55
9.	Závěr	57
10.	Seznam zdrojů a použité literatury	58
10.1	Odborné publikace a články	58
10.2	Internetové zdroje:	66
10.3	Podklady	66
10.4	Legislativa	66
11.	Seznam příloh	67
11.1	Přílohy	68

1. Úvod

Stěžejním úkolem této diplomové práce je posouzení vlivu navržených biotechnických objektů, které plní funkci příčných překážek ve vodním toku, na usměrnění proudu v korytě a zefektivnění navržené renaturační metody. Renaturace je metoda používaná v omezené míře, protože se výsledky projevují až za několik let, možná i desítek let. Proto se navrhuje příčné překážky (biotechnické usměrňovací objekty apod.), které proud nasměrují požadovaným směrem a napomáhají tak samovolnému vytvarování koryta. Vhodný tvar a vhodné umístění objektů lze ověřovat, stejně jako v této diplomové práci, za použití hydrotechnického 2D modelu, kde je simulován průtok vody vytvořeným 3D modelem koryta, ve kterém je umístěna příčná překážka. V této práci je pro posouzení vlivu biotechnických objektů použitý software HEC – RAS, konkrétně se jedná o simulaci 2D proudění. Jako výstup z modelu poskytuje software mapy hloubek vody, rychlostí proudění, tečných napětí, energií proudu apod. Pro potřeby a vyhodnocení vlivu opatření na dotváření koryta je v této práci použita mapa rychlostí doplněna o směrové šipky, které znázorňují směr proudění vodního toku, kde je velmi přehledně vidět, jakou rychlostí a jakým směrem se proud pohybuje a kde bude velmi pravděpodobně probíhat erodování břehu vodního toku a kudy v následujících desetiletích s největší pravděpodobností povede trasa vodního toku.

2. Cíle práce

Cílem této diplomové práce je odborná podpora Revitalizace malého vodního toku Rudava v oblasti hydrotechniky, konkrétně v hydrotechnickém modelování.

Jako revitalizační metoda byla zvolena renaturace a pro zvýšení efektivity této renaturační metody jsou navrženy i biotechnické usměrňovací objekty pro lepší nasměrování proudu.

Dílčím úkolem, kterým se převážně práce zabývá, je návrh usměrňovacích objektů, vytvoření 3D modelu úseku toku s objekty a v neposlední řadě využití softwaru HEC – RAS a pomocí 2D modelu určit návrhové parametry usměrňovacích objektů.

3. Revitalizace

3.1 Historie revitalizací

3.1.1 Historie ve světě

Revitalizační historie ve světě sahá až do 70. let 20. století. V té době začala ve Spojených státech a Velké Británii snaha o rekonstrukci poškozené krajiny a obnova jejího přírodě blízkého stavu. Např. v USA se revitalizace podle Montgomeryho (2003) využívaly k obnově a zesílení populace lososa. V britském uchopení revitalizací se lze setkat se silnou biologickou motivací. Dle Justa (2005), který se zabývá revitalizacemi v Německu, jsou například revitalizace mimo vodohospodářskou, estetickou a ekologickou funkci spojovány i s protipovodňovou ochranou.

3.1.2 Historie v ČR

V České republice se revitalizacím otevřela cesta po změně společenských poměrů v roce 1989. Roku 1992 vznikl dotační Program revitalizace říčních systémů, který financoval státní rozpočet a byl řízen Ministerstvem životního prostředí (AOPK, 2016). Začátky ale nebyly jednoduché. Vystal zde problém, kterým bylo provádění zažitých úprav z druhé poloviny 20. století a nedostatečná odborná znalost vodohospodářů, především v neznalosti fluviální morfologie. Neznali přirozené fluviální procesy, možnosti samovolných denaturací atd. Přitom už Macura (1966) se o fluviální morfologii zmiňuje. A tak první revitalizace vznikaly spíše metodou pokus – omyl (Just, 2005; Ekologické centrum Most, 2013).

Pokorný (2010) rozděluje revitalizační etapy do tří etap, či také generací.

Tyto generace blíže specifikuje Vrána (2004):

První generace spočívala v drobných úpravách v korytě samotném. Při zachování původní trasy koryta byly do průtočného profilu vkládány různé překážky, jako například dřevěné či kamenné prahy, různé jízky apod.

Výhodou bylo neřešení vlastnických vztahů, protože zásahy probíhaly pouze v korytě, které bylo převážně ve vlastnictví státu, či nízké náklady na provedení.

Vrána a Vejvalková (2015) tvrdí, že na tento způsob stačili dva pracovníci a malá technika. Výhodou bylo i nakládání s opevněním, které zůstávalo v korytě.

Ovšem dle Vrány a Šedivého (2011) je velkou nevýhodou provádění povodňových průtoků. Uvádějí, že už při dvou až pětiletých vodách jsou vložené překážky narušovány a poškozovány.

Druhá generace přinesla změny nejen v korytě, ale i v jeho trase. Stará koryta se zavážela materiálem z koryt nových. Snahou bylo dosažení tzv. optického rozvlnění trasy toku. Docházelo ke snižování břehů, tudíž i snižování průtočné kapacity a koryto bylo méně namáháno. Na méně strmé svahy, dle Vrány a Vejvalkové (2015) až 1:10, se lépe vysazovala doprovodná zeleň.

Třetí generace již spočívá v kompletním řešení revitalizace koryta včetně nivy. Dle Vrány (2004) je tento způsob nejsložitější, ale je nejefektivnější. Rozdílem oproti druhé generaci je menší zahloubení koryta.

3.2 Vymezení pojmu revitalizace

Technické úpravy vodních toků jistě přinesly velké množství negativ a problémů.

Podle Justa (2003) jsou to hlavně:

- výrazné ovlivnění splaveninového režimu a průtoků jako důsledek zvýšení podélného sklonu;
- z důvodu vyšších rychlostí proudění kladení větších nároků na opevnění koryta;
- zrychlení odtoku velkých vod z krajiny, zamezení rozlivu v nivách a tudíž i vyšší povodňové škody v níže položených územích;
- snížení zásob podzemní vody v nivách následkem odvodnění krajiny a zahloubení koryta;
- zamezení migrační prostupnosti na tocích kvůli příčným objektům a špatných průtokových poměrů;
- omezení pro výskyt původních druhů živočichů snížením členitosti koryt;
- snížení přirozené samočisticí schopnosti vody zkrácením času průběhu vody korytem, které souvisí se ztrátou členitosti;
- snížení biodiverzity na okolních pozemcích, které byly odvodněny;

- snížení či degradace rázu krajiny.

Němec (2006) tvrdí, že bylo upraveno 28,4 % vodních toků v České republice, to znamená asi 21.6 tisíc km.

Jedním z nástrojů, jak lze zlepšit tento nepříznivý stav vodních toků, jsou revitalizace.

Význam slova „revitalizace“ pochází z latiny. Skládá se z předpony *re-*, která znamená znovu a ze slova *vitalis*, která znamená životný, nebo životaschopný.

Pojem revitalizace zahrnuje mnoho přístupů a pohledů. Každý autor odborných publikací si pojem vykládá po svém. Šlezinger (2010) uvádí, že se revitalizací rozumí zpětné obnovení, oživení děje či procesu v systému. Matoušková (2007) říká, že se za revitalizace považuje komplex opatření pro obnovu přírodě blízkého hydrologického režimu v povodí. Tato obnova společně zlepšuje nejen hydrologické, ale i geomorfologické a ekologické procesy (Wohl a kol., 2005).

Dle Ehrlicha (1996) slouží revitalizace kromě obnovy ekologické funkce hlavně k odstranění či zmírnění následků úprav vodních toků.

Agentura ochrany přírody a krajiny, dále jen AOPK, na svých webových stránkách uvádí, že se revitalizacemi rozumí obnova dříve technicky upravených koryt, a to obnova k přírodě blízkému stavu.

Revitalizace se neměly chápat jen jako oživení v biologickém slova smyslu. Jedná se o taková opatření, která kombinují zlepšování vodohospodářské funkce s přírodními a krajinnými hodnotami (Just, 2003).

Groll (2017) tyto dva základní způsoby rozlišuje jako *passive* a *aktive river restoration*.

3.3 Revitalizační typy

3.3.1 Rozdíl mezi revitalizací a renaturací

Mezi pojmy renaturace a revitalizace je velmi blízká souvislost. Ale neznamenají totéž.

Cílek (2017) zjednodušeně vysvětluje rozdíl a říká, že při revitalizaci „vezmu bagr a na potoce udělám meandr“. Kdežto při renaturaci si řeka sama bere nazpět svůj charakter, ale občas k tomu potřebuje trochu pomoci.

Falk (2006) říká, že pokud odstraníme degradační činitele, jako např. opevnění toku, je tok schopen denaturace, to znamená sám se obnovit.

Just (2016) tyto definice upřesňuje. O revitalizaci mluví jako o stavebním zásahu. O samovolné renaturaci jako o žádoucí degradaci a samovolném zpřírodnování technicky upravených koryt vodních toků.

3.3.2 Dlouhodobé samovolné renaturace

Tento dlouhodobý proces spočívá zejména v zanášení koryta splaveninami a zarůstání dřevinnou a bylinnou vegetací. Lze sem zařadit i rozpad opevnění či jiných technických prvků v korytě. Je zde vítána i eroze v korytě, ale jen eroze břehu. Hloubková je nežádoucí.

Pro tento způsob je nežádoucí čištění koryt od sedimentů a vegetace. Groll (2017) vysvětluje, že tento pasivní renaturační přístup, ať už denaturace povodněmi či bez nich, je provodní tok velmi pomalý, ale také velmi přínosný také z hlediska rozvoje biodiverzity. Povodně tento proces urychlují.

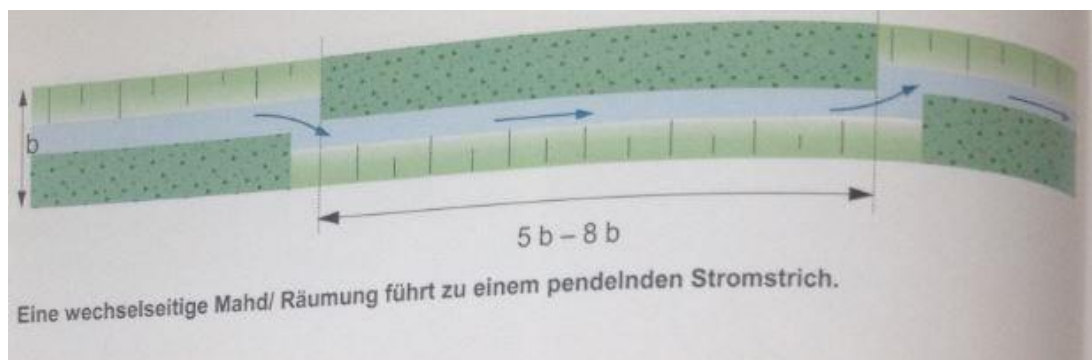
Kromě čištění koryt jsou i zde limitující faktory. Jednak přítomnost tuhého opevnění, jako například dlažby z polovegetačních tvárníc, a nadměrné zahloubení koryta, které má v důsledku soustředěného proudění další tendence k zahlubování.

Just (2005) říká, že ochrana, podpora a rozumné využívání renaturací, jsou z hlediska kvantity více důležité, než technické revitalizace. Důvodem je jistě nízká finanční náročnost. Nevýhodou je, že výsledný efekt je vidět až za několik let.

3.3.3 Postupné renaturace korekční údržbou

Tento renaturační typ znamená nenáročné zásahy, které vedou k rozvlnění proudnice a následně i celého toku.

Dle Justa (2005) je základní metodou vkládání prvků do upravených koryt, které proudění rozvlní a tím podpoří stranovou erozi. Do koryta lze umisťovat například velké kameny či na větších tocích dřevěné či kamenné výhony. Gebler (2005) uvádí možnost, při které se do koryta nic nevkládá, ale vykácí se střídavě část doprovodné stromové vegetace, naproti tomu Just (2018) doporučuje střídavé vysazování dřevin do levého a pravého břehu. Madsen a Tent (2000) mluví o jiné možnosti, a to střídavém vyžínání břehů. Střídavé ponechání pásů zeleně o délce pěti až osminásobku šířky koryta vede také k rozvlněnému toku.



Obr. 1- Schéma nasměrování proudu při renaturaci korekční údržbou (Gebler, 2005)

3.3.4 Renaturace povodněmi

Na přirozených tocích průběh povodňové vlny koryto přetváří. To je součást přirozeného vývoje. Ale na technicky upravených korytech se dle Justa (2003) průběhem povodně a narušením opevnění či jiných objektů startují procesy, které přinášejí zásadní změny v korytě.

Tyto procesy jsou podle Justa (2005) různých typů:

- změny nepříznivé, které vedou k obnově technické úpravy – např. poničené koryto v intravilánu;
- změny, které výrazným způsobem mění charakter koryta a jsou zde nutná nová technická řešení;
- změny, které vyžadují menší dílčí rekonstrukční zásahy – např. v korytech, kde povodeň dokončila rozpad opevnění a místy narušila tvar koryta;
- změny, kdy postačí odstranit nepořádek humánního původu.

Toho, co nám samovolná renaturace vytvoří, je třeba si vážit a jen v nezbytné míře korigovat nežádoucí aspekty, neboť technické revitalizace a úpravy toků po povodních z renaturace vychází.

3.3.5 Technická revitalizace

Tento způsob revitalizací definuje Just (2005). Říká, že se jedná o záměrnou stavebně-technickou činnost, která má za cíl odstranění negativa dřívějších úprav na vodních tocích. Králová (2001) tuto definici upřesňuje a dodává, že dochází k modelování toků, opevňování břehů pomocí kamene, ale i keřů a stromů, a je zde kladen důraz na členitost břehu se střídáním pozvolných a strmých svahů.

Revitalizace mají jistě mnohé přínosy, jako například dle Justa (2003):

- zadržení vody v krajině
- zlepšení odtokových poměrů, to znamená vytvoření podmínek pro pomalý odtok
- tlumení povodňových průtoků za pomoci rozlivu v nivách
- zvýšení biodiverzity obnovou mokřadů a jiných vodních biotopů
- podpora procesu samočištění díky zpomalení odtoku

3.4 Funkce revitalizací v protipovodňové ochraně

Při budování revitalizačních opatření na vodních tocích lze velmi dobře přispět k protipovodňové ochraně. Např. dle Štěrby (2008) při dostatečně širokém nivním pásu pro rozliv velkých vod nad ohroženou obcí lze velmi dobře přispět k transformaci povodňové vlny. Langhammer (2008) dodává, že je důležité pojetí protipovodňové ochrany dle významu území.

Just (2003) uvádí tyto revitalizační přístupy k protipovodňové ochraně:

- umožnění a podpora tlumivého rozlivu povodňových průtoků v nivě, které zpomalí postup povodňové vlny, děje se tak návrhem mělčího koryta s vyšší drsností, pokud je nivní povrch tvořen loukami, pastvinami či mokřady, snese vícedenní zaplavení;
- vytvoření přirozených retenčních míst v nivě, jako jsou např. sníženiny, tůně či stará ramena;
- zadržení povodňových průtoků v multifunkčních, polosuchých poldrech.

Podpora tlumivého rozlivu se v praxi osvědčila na jedné z prvních revitalizací u nás, a to konkrétně na potoce Borová na Českokrumlovsku, vzniklé mezi lety 1998 – 2002. Při bleskové přívalové povodni 19. srpna 2001 dosahující průtoků Q_{100} tato revitalizace obstála. Účinkem této revitalizace došlo ke snížení kulminačního průtoků o 20 %. Rychlosti v korytě, navrženém na Q_{1d} nepřesahovaly $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Těmto rychlostem koryto s přehledem odolalo (Matoušek, 2002, Matoušková, 2007, Máchová a Hovorka 2013).



Obr. 2- Neporušené koryto potoka Borová po povodni 2001 (AOPK)

4. Říční dřevo

Nedílnou součástí vodních toků jsou jistě stromy. Ať už stromy živé, či v podobě mrtvého dřeva, mají vliv na spousty aspektů ve vodním toku. Gregory a kol. (2003) píše o schopnosti říčního dřeva modifikovat hydraulické, geomorfologické, sedimentologické a ekologické procesy.

Podle Máčky a Krejčího (2011) se v České republice říčním dřevem zabývá malé množství odborníků. Dokonce není dostatečně doceněn ani mezi hydrobiology a biology. Mezi vodohospodáři působí spíše negativně, protože představuje povodňové riziko především v ucpávání mostů a propustků.

Již delší dobu se dřevo či dřevěné objekty používají při břehové stabilizaci břehů a koryt (Úředníček a Šlezinger, 2007), tak i jako usměrňovací objekty při řízených renaturacích (Říční krajina, 2018).

4.1 Terminologie

S termínem říční dřevo přišel v roce 2008 poprvé Zdeněk Máčka. Do té doby se používal termín, který zavedl Šindlar a kol. (2003), označující říční dřevo jako *plavenou dřevní hmotu*. Jedná se o dřevo, které bylo unášeno vodním tokem, či má potenciál pro budoucí odnos. Tato definice je limitující, protože poukazuje na to, že

dřevo bylo nebo bude odnášeno vodním tokem. Proto Kožený a kol. (2011) označují dřevo s nějakým vztahem k potokům a řekám jako *dřevní hmota*.

Asi nejužitečnější definici říčního dřeva použil Krejčí (2010) a tvrdí, že se jedná o jakýkoliv kus dřevní hmoty, který se nachází v korytě vodního toku nebo ve vodní nádrži. Do tohoto prostoru se řadí i příbřežní zóna. Tato dřevní hmota prokazatelně je, byla, nebo s velkou pravděpodobností bude součástí fluvialních procesů, popřípadě podlehla či podlehne transportu vodou.

Velmi často se užívá termínu *mrtvé dřevo*, které definuje Gebler (2005). Jde o jakékoliv mrtvé či odumřelé stromy nebo jejich části, tzn. kořeny, větve apod.

Protože se říčním dřevem zabývají státy víceméně anglofonní, terminologie vychází z angličtiny.

Dle Krejčího (2010) a Máčky a Krejčího (2011) se užívají následující termíny a definice:

- *Woody debris* – označení pro všechny dřevní materiál v jakémkoliv ekosystému, většinou se jedná o mrtvý materiál;
- *Dead wood, floating wood, downed wood, in-stream woody debris, fallen trees* – mrtvé dřevo, plovoucí dřevo, padlé dřevo, dřevní zbytky v tocích a padlé stromy;
- *LOD – large organic debris* – velké organické zbytky;
- *LWM – large woody material* – velký dřevní materiál;
- *LWD – large woody debris* – velké dřevní zbytky;
- *CWD – coarse woody debris* – hrubé dřevní zbytky;
- *MWD – medium woody debris* – střední dřevní zbytky;
- *SWD – small woody debris* – malé či drobné dřevní zbytky;
- *FWD – fine woody debris* – jemné dřevní zbytky.

LWD a CWD jsou definovány stejně, a to tloušťkou minimálně 10 cm a délkou minimálně jeden metr. Rozdíl mezi LWD a CWD spočívá v tom, že CWD se používá spíše v lesních ekosystémech, kdežto LWD je termín pro dřevo ve vodních tocích.

MWD je definováno jako dřevo, jehož slabší konec má průměr od 2,5 cm do 10 cm. Jako SWD a FWD jsou označovány kusy dřeva, které jsou libovolné délky a mají průměr libovolného konce menší než 10 cm.



Obr. 3 - Výhon z mrtvého dřeva na řece Mohan , Just, Valentová (2006)

4.2 Funkce a význam říčního dřeva

Výzkum vlivu na vodní tok proběhl v sedmdesátých letech dvacátého století ve Spojených státech, konkrétně ve státech Oregon a Washington. Američtí vědci už tehdy popsali ovlivnění vodního toku zejména v modifikaci proudění, v transportu splavenin, ve vlivu na biodiverzitu apod. (Máčka a Krejčí, 2011)

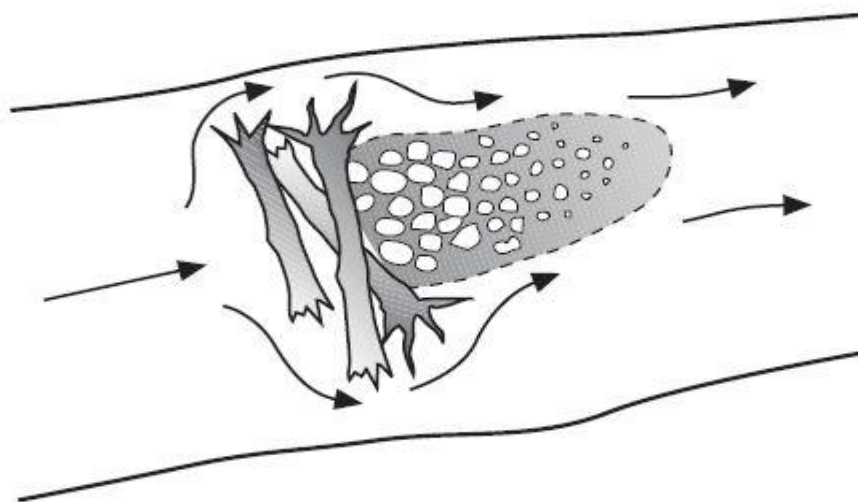
Grešková (2004;2005) rozděluje vlivy říčního dřeva na čtyři základní skupiny vlivu následovně:

- 1) morfologické (Stabilita koryta, erozně akumulární pochody, chod splavenin);
- 2) biologické (vliv na diverzitu, okysličování vody);
- 3) hydrologicko- hydraulické (drsnoti koryta, průtočné parametry koryta);
- 4) látkově spiralizační (potrava pro živočichy, transport a ukládání organických látek).

4.2.1 Morfologická funkce

Z hlediska geomorfologie lze rozdělit účinky na tři podkategorie. Jedná se o pohyb a zachytávání splavenin, modifikaci dynamiky fluviálních procesů a přetváření korytové morfologie. Máčka a Krejčí (2011) dále uvádí, že přítomnost dřeva ovlivňuje koryto (vznik tůní, lavic apod.), ale i území větších měřítek, jako je

například celá říční krajina. Asi největší morfologický vliv mají velké stabilní kusy, které mění charakter proudění, zachytávají další dřevo a napomáhají vzniku akumulací. Důležité jsou také vznikající tůně a štěrkové náplavy okolo stabilně umístěných kusů mrtvého dřeva. Toto je patrné zejména na menších tocích, kde se výrazněji projevuje bohatší mozaikou struktur dna a břehů, ale i větší variabilitou proudění. (Just a Valentová, 2006)



Obr. 4 - Vznik štěrkových náplavů, které představují příčnou překážku ve vodním toku (Fryirs a Brierley, 2013)

Dle Krejčího (2010) má přítomnost říčního dřeva výrazný vliv na půdorysný tvar vodního toku. Abbe a kol. (2003) tuto myšlenku upřesňují. Ti tvrdí, že překážka ve vodním toku, nejčastěji tvořená říčním dřevem, velmi často způsobuje vznik tzv. anastomózního říčního vzoru. Důvod je prostý. Dle Bryerleyho a kol (2005) překážka ve vodním toku za vyšších vodních stavů vyvolává tzv. avulzi (odbočení před překážkou) a tak se tok větví.



Obr. 5 - Anastomózní větvení vlivem říčního dřeva (Šindlar a kol. 2012)

4.2.2 Biologická funkce

Výzkumy věnující se biologické funkci říčního dřeva jsou nejobsáhlejší. Říční dřevo může kombinovat tři různé typy prostředí pro živočichy, a to terestrické (suchozemské), aquatické (vodní), či přechodné prostředí. Proto je říční dřevo velmi bohatým stanovištěm mnoha druhů organismů. Osídlení mrtvého dřeva bezobratlými živočichy závisí na stádiu jeho rozkladu (Krejčí, 2010).

Nejdříve se říční dřevo stává útočištěm a potravou pro bezobratlé živočichy. Na těchto drobných, na dřevo vázaných bezobratlých živočiších je potravně závislých mnoho druhů ryb.

Just a Valentová (2006) tvrdí, že přes 40 druhů bezobratlých živočichů je na mrtvé dřevo přímo navázáno, dalších 80 druhů se víceméně bez mrtvého dřeva neobejde.

Dřevní hmota ve vodním toku má na ryby velmi výrazný vliv. Dle Justa a Valentové (2006) prokázaly severoamerické a bavorské studie výrazně větší zastoupení rybích společenstev v tocích s říčním dřevem než v tocích bez něj. Gebler (2005) říká, že ve více než 50 případech souvisí rybí habitaty s mrtvým dřevem. To rybám poskytuje nejen dostupnou potravu, ale i životní prostory, které jsou pro ryby významné. Povodňové průtoky ještě umocňují význam dřeva pro ryby. Zvláště mladá stadia ryb nalézají za překážkou úkryt před silným proudem. Ve Spojených státech se tento poznatek aplikuje již od devadesátých let 20. století. Publikace USDA forrest service

z roku 1985 poskytovala tehdejším rybářům či správcům vodních toků návod, jak budovat úkryty pro ryby, převážně z mrtvého dřeva.

4.2.3 Hydrologicko – hydraulické

Mezi tyto funkce říčního dřeva patří zejména zvyšování hydraulické drsnosti koryta, které se projevuje hlavně zvyšováním odporu koryta vůči proudění. Booth a kol. (1997) tvrdí, že je přes 50 % drsností spjato s místy výskytu kmenů nebo s výskytem dřevní akumulace. Tento názor potvrzuje i Fryirs a Brierley, (2013), kteří upřesňují závislost velikosti a umístění dřevní hmoty. Zejména v řekách, které protékají lesními porosty, dochází k pestřejšímu a častějšímu střídání mělčin a tůní v důsledku napadených kmenů.

Dle Máčky a Krejčího (2011) má přítomnost říčního dřeva vliv na stabilitu koryta, protože snižuje tečné napětí dna. Buffington (2001) ze svých výzkumů na šterkonosných tocích na Aljašce dokázal snížení tečného napětí díky přítomnosti říčního dřeva o 60 %. Naopak Assani a Petit (1995) při výzkumech v Belgii popsal zvýšení tohoto napětí o 50 % při odstranění dřevní hmoty. Snižování rychlosti a napětí zapříčiňuje zmenšování a variabilitu zrnitostních frakcí na dně toku, které zapříčiňují pestřejší vodní biotopy (např. výborné na tření lososovitých).

4.2.4 Látkově – spiralizační

Jak již bylo zmíněno, mrtvé dřevo v tomto ohledu slouží jako potrava pro různé mikroorganismy a bezobratlé živočichy. Někteří se do dřeva zavrtávají, jiní dřevo „vykousávají“ a tím se podílejí na dekompozici dřeva ve vodním prostředí. Tím přispívají prostředí organickými látkami.

Za zmínku stojí i myšlenka Krejčího (2010) o vlivu říčního dřeva na množství rozpuštěného kyslíku ve vodě, které je velmi důležité pro život pod hladinou. Udává při částečném odstranění pokles až o 30 %, při úplném odstranění až o 60 %.

4.3 Problémy

I přes výhody aplikace dřevní hmoty do vodního toku při revitalizacích nebo renaturacích či ponechávání dřeva v toku má říční dřevo i své nevýhody a možná rizika.

Dle Wohla (2016) je energie vodního toku tak vysoká, že je proud vody schopen distribuce dřeva na větší vzdálenosti. To pak může způsobovat jisté problémy a rizika.

Mezi ně dle Krejčího (2010) patří: nápěchy, vzduť, destrukce objektů, akcelerace fluviálních procesů atd.

Gelber (2005) zmiňuje i nebezpečí poškození břehu chodem dřevní hmoty a tím pádem i ztrátu půdy břehovou erozí.

Prevenici proti vzniku škod následkem pohybu říčního dřeva korytem zpracovali Gerhard a Reich (2001).

Opatření rozdělili do čtyř skupin A-D následovně:

- A. vymezení oblasti mezi potencionálně ohroženou oblastí a zdrojem dřeva, kde se vytvoří záchytné prostory, odkud se zachycené dřevo odstraní;
- B. výstavba lapačů plaveného dřeva;
- C. změna struktury plaveného dřeva, v případě překročení limitů se provedou antropogenní zásahy, to znamená snížení množství či upravení velikostní struktury;
- D. ukotvení říčního dřeva například připevněním či zatížením.

Tyto uvedené postupy jsou dle Habersacka (2005) používány v Německu a Rakousku. Samozřejmě vycházejí z těchto obecných základů, ale jsou pro konkrétní podmínky uzpůsobeny. Velmi často jsou aplikovány lapače plovoucího dřeva.

Opatření proti destrukčním účinkům navrhl Diehl (1997) ve Spojených státech amerických. Zkoumal poškození mostů či jiných pilířů a došel k závěru, že rozšíření mostních oblouků, převýšení mostovek, oblá čela pilířů atd. snižuje poškození plaveným dřevem. Flanagan a kol. (1998) vedle tohoto názoru uvádí metodu rozšiřování propustků v závislosti na šířce koryta, úhlu nátoky atd.

Studie Koženého a kol. (2006) a Máčky a Krejčího (2006), které byly provedeny na vodní nádrži Znojmo, ukazují, že rozsáhlá dřevní akumulace v přirozeném korytě nepředstavuje velké nebezpečí, neboť naakumulované dřevo či velké dřevní struktury nepředstavují výraznou překážku, protože jsou postupem času přizpůsobeny velikosti a tvaru průtočného profilu.



Obr. 6 - Akumulace naplaveného dřeva při povodni v roce 1872 u Karlova mostu (POVODNĚ V PRAZE, 2013)

4.4 Akumulace

Krejčí (2010) tvrdí, že se říční dřevo ve vodním toku může vyskytovat samostatně, nebo může být tvořeno akumulacemi. Uvádí také české pojmenování některých výrazů, jako jsou:

- dřevní akumulace;
- dřevní nahromaděniny;
- dřevní zátarasy či přehrazení – když dřevní útvar zabírá podstatnou část průtočného průřezu a výrazně ovlivňuje proudění;
- dřevní nápěchy – výraz z praxe obdobný nahromadění ledových ker v korytě.

Fryirs a Brierley, (2013) uvádějí i souvislosti mezi akumulací a druhem stromu. Říkají, že například jedle jsou snadněji unášeny proudem než více rozvětvené stromy.

Dle Naimana a kol. (2002) lze dřevní hmotu dále dělit. A to na *clumps*, kdy jsou dřevní útvary umístěny podél břehu a nevytváří nějak výraznou překážku. Jako *jams* se označují výrazné překážky a pokud jsou tvořeny pouze kmeny stromů, nazývají se *log jams*. Mezi odbornou veřejností se užívá termínu *engineered log jams*, což je název pro umělé dřevní struktury, které se využívají za účelem například stabilizace břehu či jako usměrňovací objekt. Usměrňovacím objektům bude věnována jedna z následujících kapitol.

Asi nejlepší definici pro nahromaděnou či naakumulovanou dřevní hmotu uvádějí jedni z největších odborníků v oboru - Abbe a Montgomery (2003). Rozdělení provedli následovně:

Autochtonní akumulace – nastává, když hlavní kusy, tedy velké kmeny, zůstávají na místě po dobu několika let a pocházejí přímo z blízkosti vodního toku.

- Dřevo dodávané ze břehu (*bank input debris*) – dochází k vyvracení stromů na břehu vlivem větru či eroze. Tyto stromy leží kořeny na břehu a do vody zasahuje jen jejich část. Tato překážka proudění nijak víc neovlivňuje.
- Kmenové stupně (*log steps*) – dřevní hmota leží nejčastěji kolmo na osu toku u dna a voda je nucena přes překážku přepadat. Tato akumulace vytváří rozdíl hladin před ní a za ní.

Allochtonní akumulace – materiál byl připraven po proudu z míst položených výše na toku. Pohybu je schopený každý kus sám či větší průtoky mohou hýbat s celými útvary.

- Sesuvové a povodňové nahromadění (*debris flow, flood jams*) – akumulace vzniklá nejčastěji po povodni, kdy je dřevo nahromaděné neuspořádaně a nelze učit, kterým směrem směřují hlavní kusy.
- Lavicové akumulace (*bench jams*) – hlavní kus či kusy jsou zachyceny rovnoběžně se břehem či mírně šikmo, zpomalují proud a vytváří prostor pro další zachycení.
- Akumulace na meandrech (*meander jams*) – dřevní hmota uložená v nárazových březích meandrů, kde uložení souběžně se břehem poskytuje břehům ochranu proti erozi.

- Velké stabilní akumulace (*log raft*) – akumulace, která může dokonce přehradit koryto vodního toku a vzdouvat vodu.
- Nestabilní dřevní hmota (*unstable debris*) – dřevo na mělčině či u břehu, které nemá danou orientaci jednotlivých kusů

Kombinovaná akumulace – jedná se o kombinaci obou předešlých typů, na dřevo autochtonní se zachytává další, které je přineseno proudem

- Údolní akumulace (*valley jams*) – tento typ je tvořen velkými kmeny orientovanými kolmo na břeh a tvoří výraznou překážku při proudění, voda je nucena překážku obtékat a tvoří nová koryta.
- Akumulace vychylující proud (*flow deflection jams*) – velmi podobná předchozí, ale s tím rozdílem, že tato akumulace neblokuje celé koryto.

4.5 Využití říčního dřeva při revitalizacích

Legislativa - Bohužel i přes velmi kladné poznatky a výrazná pozitiva z výzkumu říčního dřeva je výskyt dřeva ve vodním toku z hlediska vodohospodářského bráno negativně. Projevuje se zde nevhodný technický přístup z let minulých, kdy bylo, nebo stále je, snahou udržovat koryta dostatečně průtočná a tudíž i odstraňování napadaného dřeva. To udává i zákon 254/2002 Sb. ve znění pozdějších předpisů, který v §47 udává povinnost: „*pečovat o koryta vodních toků, udržovat břehové porosty na pozemcích koryt vodních toků nebo na pozemcích s nimi sousedících v šířce podle § 49 odst. 2 tak, aby se nestaly překážkou znemožňující plynulý odtok vody při povodni.*“ To znamená povinnost odstraňování dřeva. Bohužel bližší specifikaci zákon o vodách nepodává.

V České republice bohužel legislativa aplikaci mrtvého dřeva příliš nepřeje. Zákon akceptuje koryta přírodního charakteru, ale dává jim stejnou váhu jako korytům umělým či technicky upraveným (Krejčí, 2010).

Využití při revitalizacích- Počátek aplikace dřeva do toků má dle Krejčího (2010) počátek v USA. Tamější realizované projekty přinesly mnoho poznatků ohledně využívání dřeva při revitalizacích. Publikace amerických autorů a autorů z vyspělých zemí západní Evropy (např. Abbe a Montgomery, 1996; Abbe a kol., 2003; Reich a kol., 2003) popisují realizovaná opatření a jejich vliv na fluviální a biologické

procesy. V sousedním Bavorsku se aplikaci dřeva také intenzivně věnují. Publikace „*Mrtvé dřevo přináší život do řek a potoků*“, kterou do češtiny přeložili Just a Valentová (2006), je toho důkazem.

Pro využívání dřeva při revitalizačních pracích se využívá anglický termín *Engineered log jam* (ELJ). Toto označení začali používat největší odborníci v oboru Tim Abbe a David Montgomery již v roce 1997 (Abbe a kol., 1997). Konkrétněji se jedná o člověkem navrženou strukturu vzájemně propojených kmenů určených k plnění požadované funkce ve vodním toku. Velice často se tyto struktury velmi liší velikostí, tvarem či funkcí. Nejčastěji jsou používány jako usměrňovací objekty na odklánění toku a vytváření tůní. Další využití nachází v podobě ochrany břehu před erozí (Bandrowski a Conyngham, 2016).

Yochum (2018) uvádí využití dřevních struktur jako klíčový přístup při pasivní obnově vodního toku, tudíž při renaturaci. Dle něj je z finančního hlediska vhodné používání nekotvených dřevěných prvků, jednak díky nižší finanční náročnosti (udává 22 % z původní ceny) a také protože nekotvené dřevo lépe napodobuje přirozené procesy.

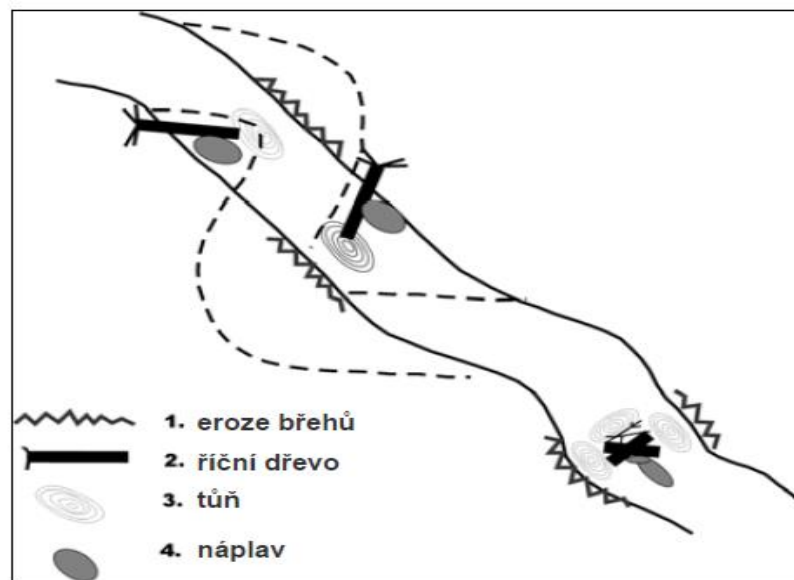
Velmi dobře popsali využití ELJ Abbe a kol. (2003) na obnovách řek v USA včetně designu, aplikace do toku a následných výsledků, Matheson a kol. (2017) popisuje význam a funkci říčního dřeva v Austrálii.

Při revitalizacích se říční dřevo dle Greškové (2006) využívá hlavně z následujících důvodů:

- změna půdorysného tvaru koryta – z přímého na meandrující;
- zvýšení morfologické diverzity koryta – tvorba tůní, náplavů, mělčin atd.;
- zvýšení stability koryta;
- zpevnění břehů a jejich ochrana před erozí ;
- rozšiřování koryta;
- Podpora akumulace sedimentů
- strukturální změna dna;
- vytvoření a obnova stanovišť pro ryby a různé vodní živočichy;
- celkové zvyšování říční biodiverzity.

Při umístění dřeva do vodního toku tak lze podle Krejčího (2010) učinit následovně:

- Vyloučená mobilita – pevné umístění dřeva na konkrétní místo. Kusy jsou kotveny ke břehům či ke dnu a využívá se tak např. při tvorbě umělé akumulace.
- Částečná mobilita – Jednotlivé kmeny jsou připevněny na lanech a je tak umožněn částečný pohyb.
- Úplná mobilita – Do toku jsou vkládány celé stromy či jiné dřevní struktury, u kterých při vyšších průtocích dojde k jejich uvolnění, nejčastěji se při první povodni zachytí v relativně stabilním místě.



Obr. 7 - Účinky říčního dřeva při aplikaci do vodního toku (Grešková, 2006)



Obr. 8 - Účinky říčního dřeva při aplikaci do vodního toku po 20 letech od vložení příčné překážky (Gebler, 2005)

5. Hydrologické modelování

5.1 Hydrologické modely

Modelem jako takovým se rozumí zjednodušení skutečnosti. Model může reprezentovat nějaký objekt či spojitý systém v prostoru a čase. Obecně lze říci, že jde o zjednodušenou realitu, kterou můžeme snadněji pochopit. Dle Clarka (1973) můžeme matematický model uchopit jako algoritmus řešení soustavy rovnic, které popisují chování v určitém systému a jeho strukturu.

Daňhelka (2003) např. považuje za model zjednodušený kvantitativní vztah mezi vstupem a výstupem určitého hydrologického systému.

5.1.1 Rozdělení modelů

Nezákladnější rozdělení modelů pro proudění v otevřených korytech spočívá v počtu jejich dimenzí. Jedná se o:

- 1D modely- HEC – RAS, Hydrocheck, MIKE 11
- 2D modely- HEC – RAS, FLO 2D,
- 3D modely- MIKE 3

5.1.2 Modely rodiny HEC

HEC (The hydrologic engineering center) je centrum ženíjního odvětví armády USA založené v roce 1964. Toto centrum se zabývá vývojem hydrologických softwarů, mezi které patří např:

5.1.2.1 HEC – HMS

HMS (Hydrologic modeling system), v překladu hydrologický modelovací systém, patří mezi světově nejrozšířenější srážko- odtokové modely. Do svých výpočtů zahrnuje srážky, evapotranspiraci a odtoky (povrchový + podpovrchový) z povodí.

5.1.2.2 HEC – RAS

RAS (River analysis system), v překladu analýza říčních systémů, je model, který umožňuje 1D a 2D výpočty na říční síti včetně příčných objektů na toku či různých překážek. Tento model umožňuje výpočet ustáleného či neustáleného proudění.

V tomto modelu lze definovat odpory koryta Manningovou drsností či zrnitostním složením dna, nadefinovat mosty, propustky, jezy jako překážky, lze definovat i různé hydraulické možnosti (volná hladina, zatopený vtok, volný výtok, tlakové proudění mostním profilem či přelévání mostní objekt). Novější verze softwaru umí zahrnout do výpočtu i vliv mostních pilířů.

Způsob výpočtu 2D proudění - 2D model poskytuje informace o plošném rozdělení hloubek a rychlostí. Obvykle bývá využíván nejen pro modelování proudění v korytě, ale i pro vybřežení vodního toku.

Pro výpočet 2D proudění využívá Navier- Stokesových rovnic, které popisují pohyb vody ve třech dimenzích. Protože je v tocích velmi malá složka rychlostí ve směru osy Z, možno jí zanedbat.

Do rovnic jako neznámé vstupují:

- Svislicová rychlost – $v_s(x, y, t)$
- Hloubka vody – $h(x, y, t)$
- Turbulentní viskozita $\mu_t(x, y, z)$

Výpočet vychází z rovnice kontinuity, která obsahuje výpočet ve směru osy x a ve směru osy y. Výsledkem jsou vektory rychlosti (v_x ; v_y) a hloubka vody h za současného splnění okrajových a počátečních podmínek rovnice (manuál HEC-RAS; verze 5.0).

6. Revitalizace vodního toku Rudava

6.1 Řeka Rudava a zájmové území

Vodní tok Rudava je tok III. řádu nacházející se na západě Slovenska. Jedná se o levostranný přítok řeky Moravy.

Pramen Rudavy se nachází v Chráněné krajinné oblasti Záhorie západně od obce Bílkove Humence v nadmořské výšce přibližně 240 m. Jedná se o významný vodní tok z hydrologického hlediska, protože odvodňuje podstatnou část západní strany Malých Karpat.

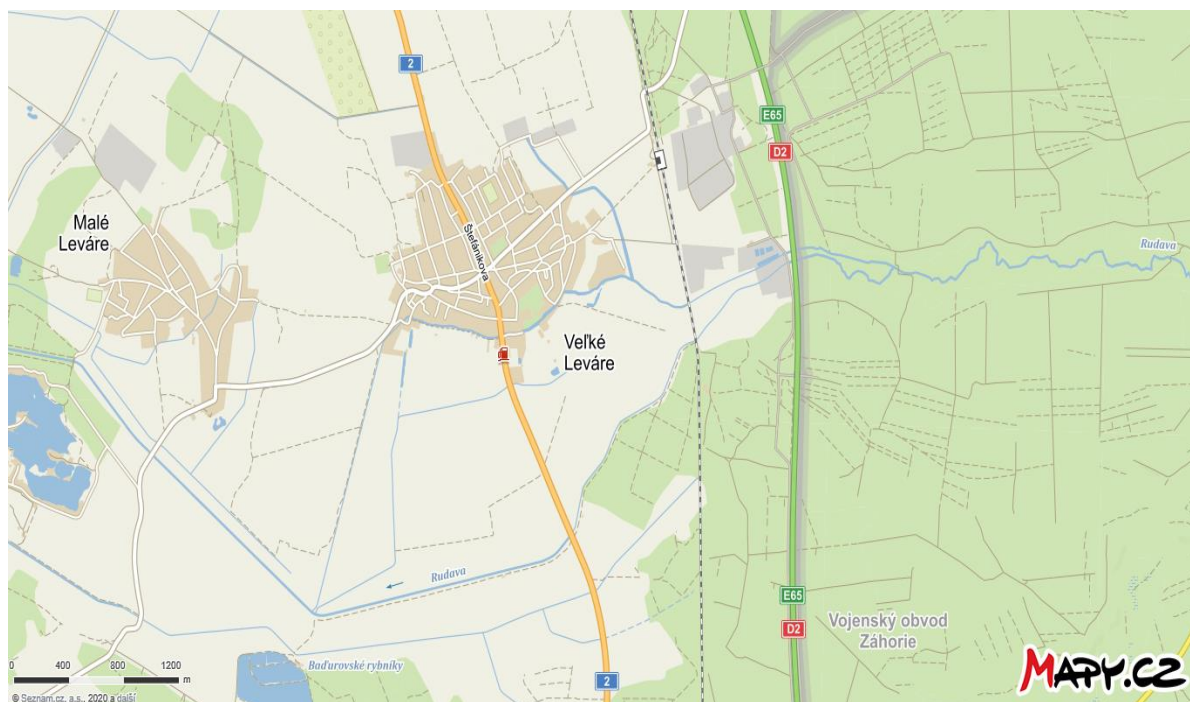
Nejvýznamnější je však z hlediska biologie. Díky mimořádné pestrosti biotopů se zde na malém území nachází velký počet druhů či společenstev s různými ekologickými nároky. Z nejvýznamnějších např. glaciální relikty (pozůstatky doby ledové) suchopýrek alpský (*Trichophorum alpinum*), hadí kořen větší (*Polygonum bistorta*) či masožravka rosnatka okrouhlolistá (*Drosera rotundifolia*).

Podle Štátné ochrany životného prostředí Slovenské republiky se kolem řeky vyskytuje sedmnáct biotopů nadnárodního (evropského) významu a k tomu šest biotopů významu národního (www.muskarenie.sk, www.sopsr.sk).

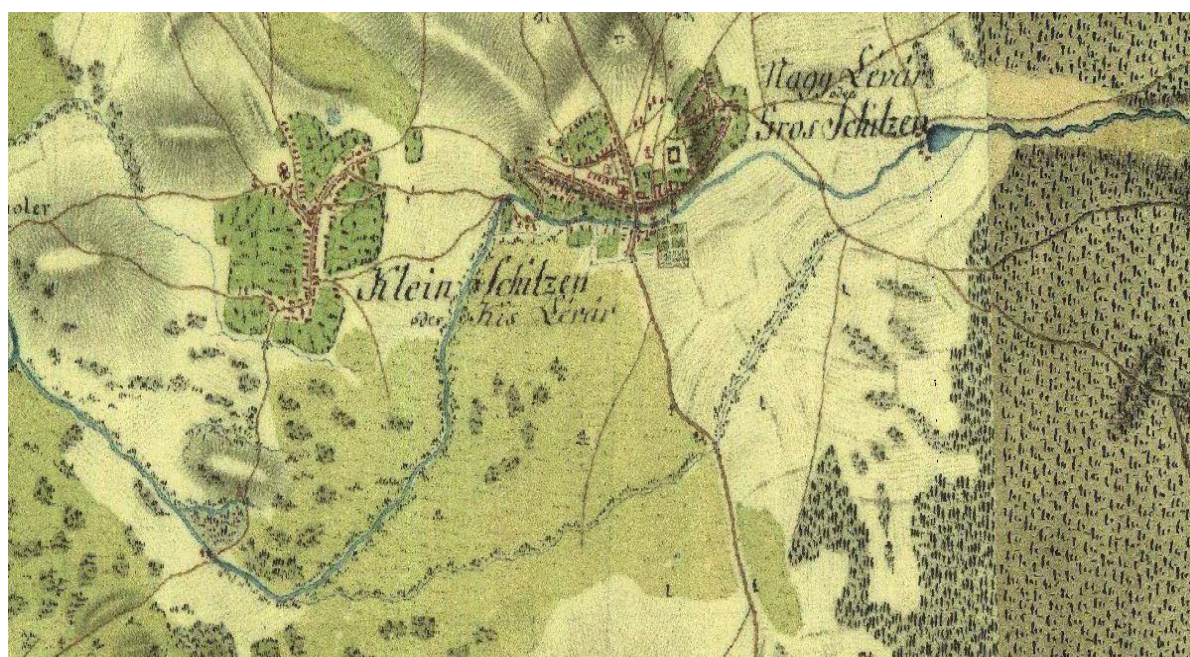


Obr. 9 - Neupravené koryto Rudavy ve vojenském prostoru Záhorie (foto: V. Podlaha, 1.6.2019)

Stejně jako většině toků v tehdejší Československu se ani řece Rudavě nevyhnuły úpravy. Tyto úpravy byly dle Greškové (1997) zahrnuty do „*Obecného plánu regulace hraničního toku Morava*“ z roku 1935. Od té doby do roku 1964, kdy byl projekt úprav a regulací dokončen, byly toky zaústějící do Moravy upravovány. To se týkalo i spodního toku Rudavy. Konkrétně od křižení s dálnicí D2, kde tok vtéká do zemědělsky využívané krajiny, až po ústí do řeky Moravy.

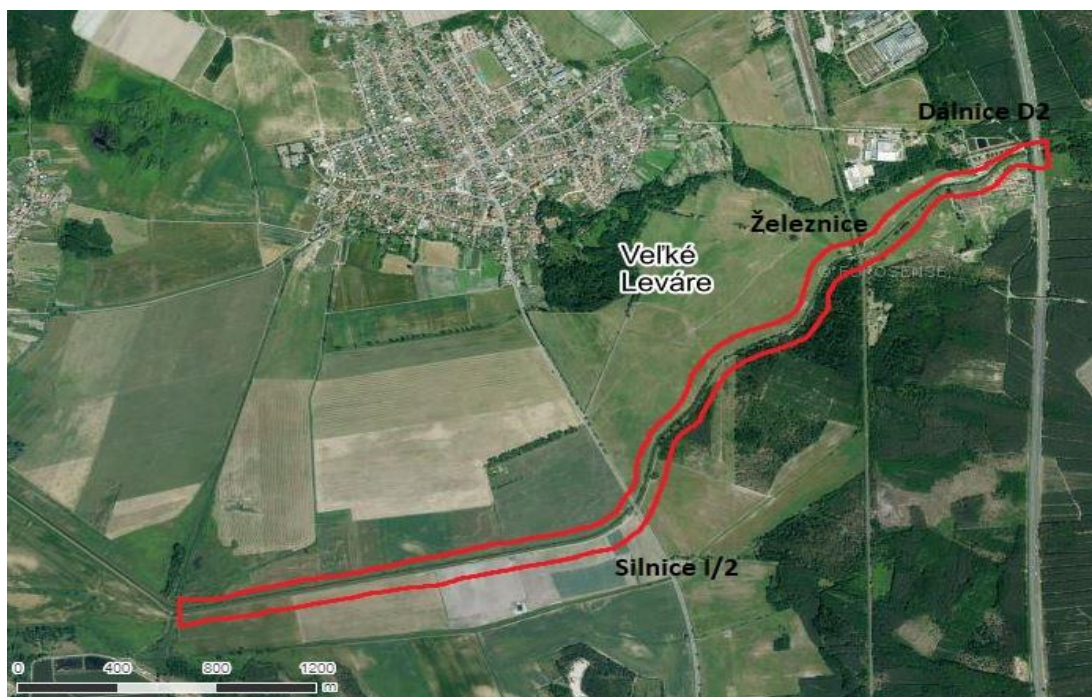


Obr. 10 - Základní mapa dolního toku řeky Rudavy (www.mapy.cz)



Obr. 11 - Historická mapa dolního toku řeky Rudavy (www.mapa.zoznam.sk)

Úpravy toku spočívaly hlavně v napřímení koryta, v opevnění koryta betonovými prefabrikáty a v lokálním opevnění kamenem. Toto betonové opevnění je od silnice I/2 směrem proti proudu značně narušeno kořenovým systémem olší, které tok lemují po obou stranách. V rámci zájmového území je podél toku vybudovaný ochranný hrázový systém. V části mezi železničním mostem a dálnicí D2 jsou tyto hráze výrazně nižší než ve zbytku zájmového území. Proto je tato část využívána k pastvě.



Obr. 12 - Mapa zájmového území (www. Mapy.cz)



Obr. 13 - Detail betonového opevnění koryta (foto: Doc. Andrej Škrinár)

6.2 Návrh biotechnických usměrňovacích objektů

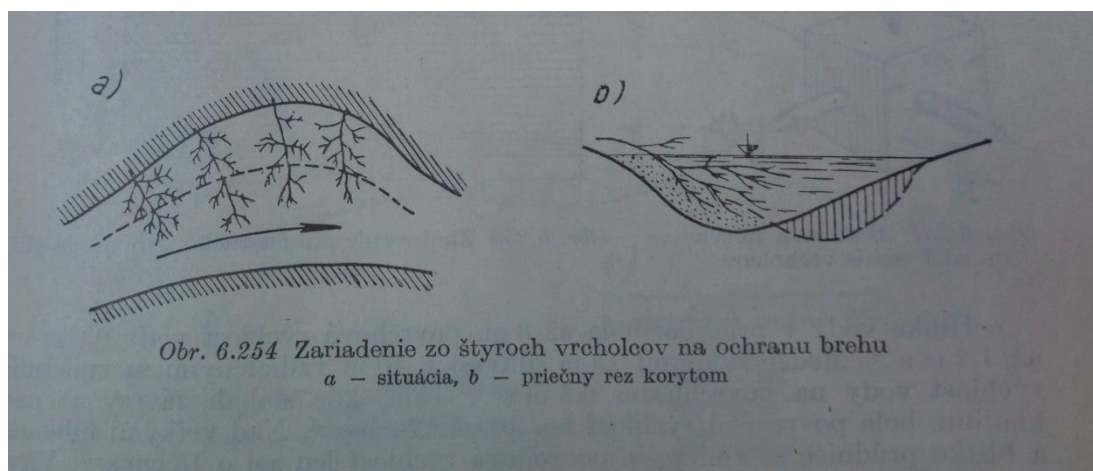
6.2.1 Definice biotechnických usměrňovacích objektů

Usměrňovací objekt je takový objekt, který urychluje či usměrňuje geomorfologický proces. Při aplikaci postupů řízené renaturace se na vodních tocích využívají tři základní typy těchto objektů. Jedná se o objekty:

- a) přírodní;
- b) kombinované, neboli biotechnické;
- c) technické.

Typickým příkladem biotechnických objektů jsou haťošterkové válce či oživené záhozy, pohozy nebo rovnaniny, které se převážně používají dle Úradníčka a Šlezinger (2009) ke stabilizaci břehů.

Ve 20. století byly hojně využívány usměrňovací stavby technického charakteru, tzn. betonové či dlážděné. Ale už tehdy prof. Macura (1966) uvádí možnost konstruovat výhony biotechnicky, tzn. za použití dřeva či jiných přírodních materiálů. (Sucharda, 2018)



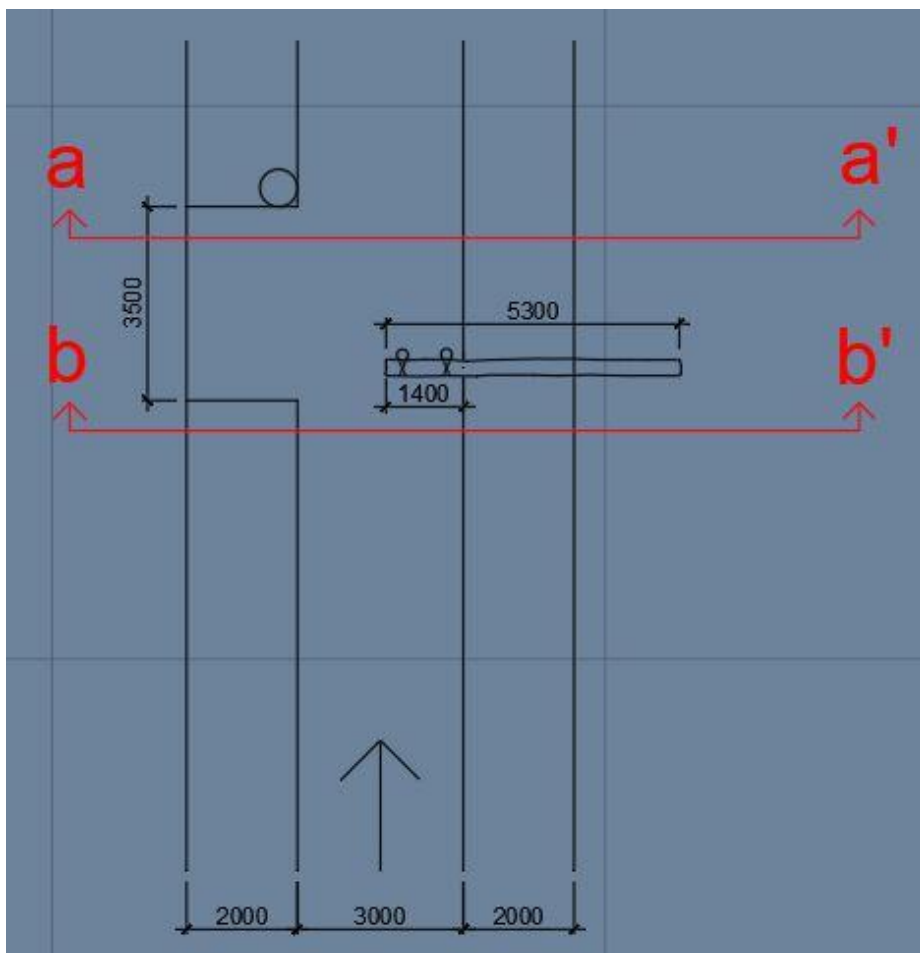
Obr. 14 - Možnost využití vrcholků stromů jako výhonů, Macura (1966)

6.2.2 Navrhované varianty objektů

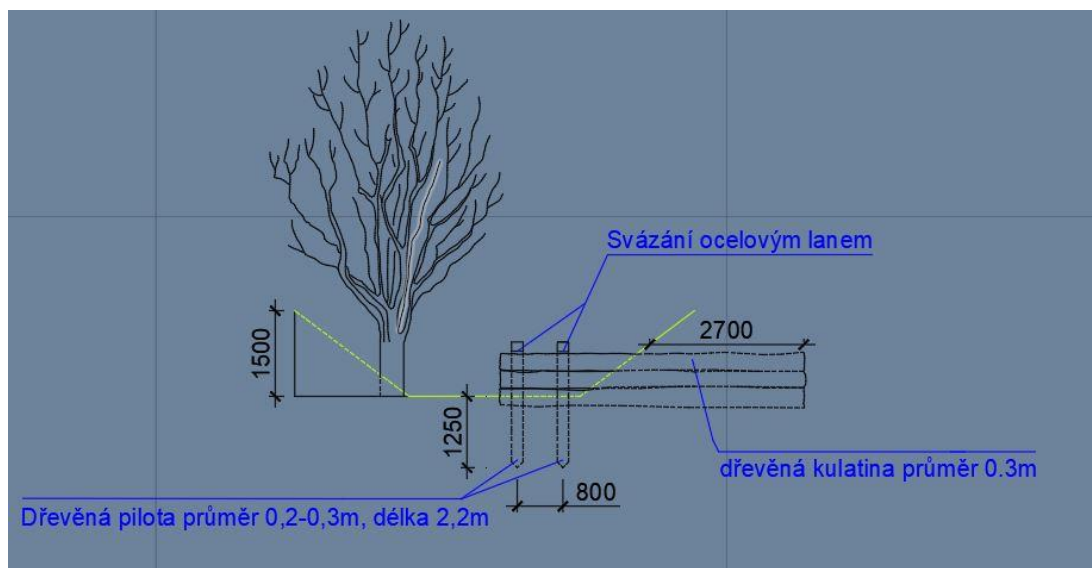
Při navrhování biotechnických usměrňovacích objektů pro konzultaci v řešitelské skupině bylo čerpáno především z publikace Entwicklung naturnaher Bäche und Flüsse od J. Geblera (2005), ve které jsou tyto objekty velmi detailně a přehledně zpracovány. Navržené varianty objektů jsou nakresleny na následujících schématech vytvořených v softwaru AutoCad. Každá varianta je vykreslena na dvou schématech, první je půdorys, druhý pohled po směru toku.

6.2.3 Varianta 1

Při této variantě je počítáno se třemi kmeny průměru cca 0,3 m zakotvených do břehu. Spoj je zajištěn svázáním ocelovým lanem se dvěma pilotami průměru 0,2 – 0,3 m.



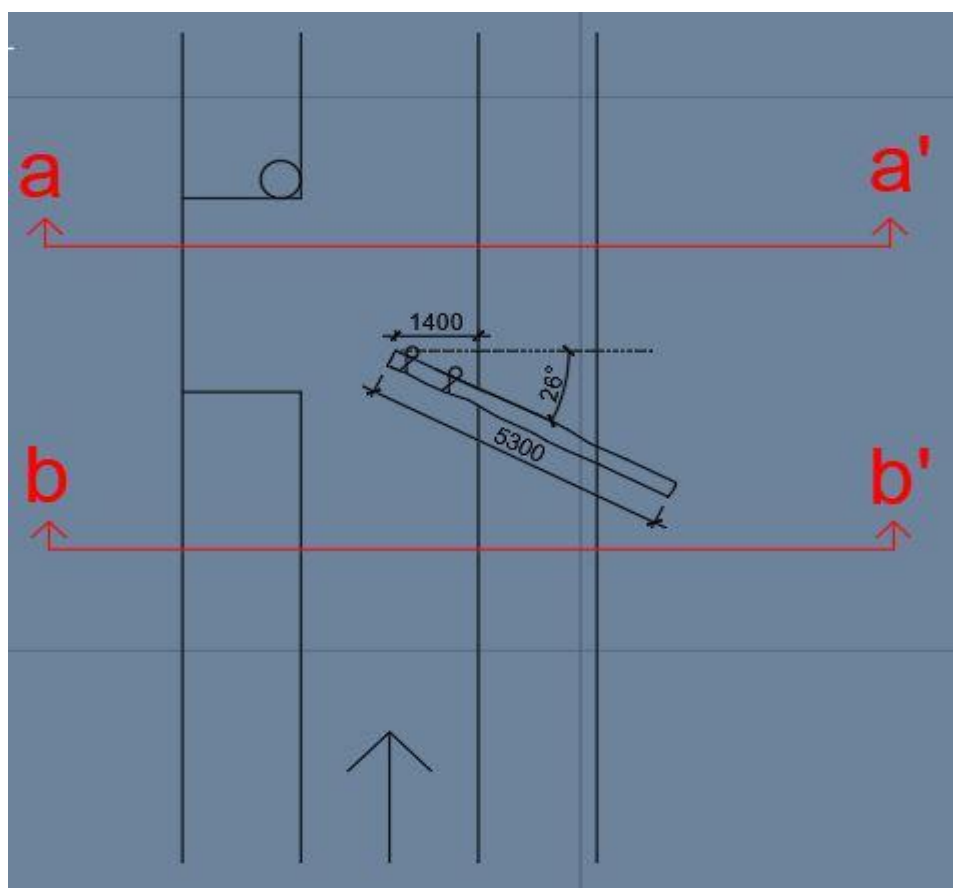
Obr. 15 – Půdorys koryta s navrženou příčnou překážkou zajištěnou dvěma pilotami a odtěženým protějším břehem, za kterým se nachází vzrostlý strom



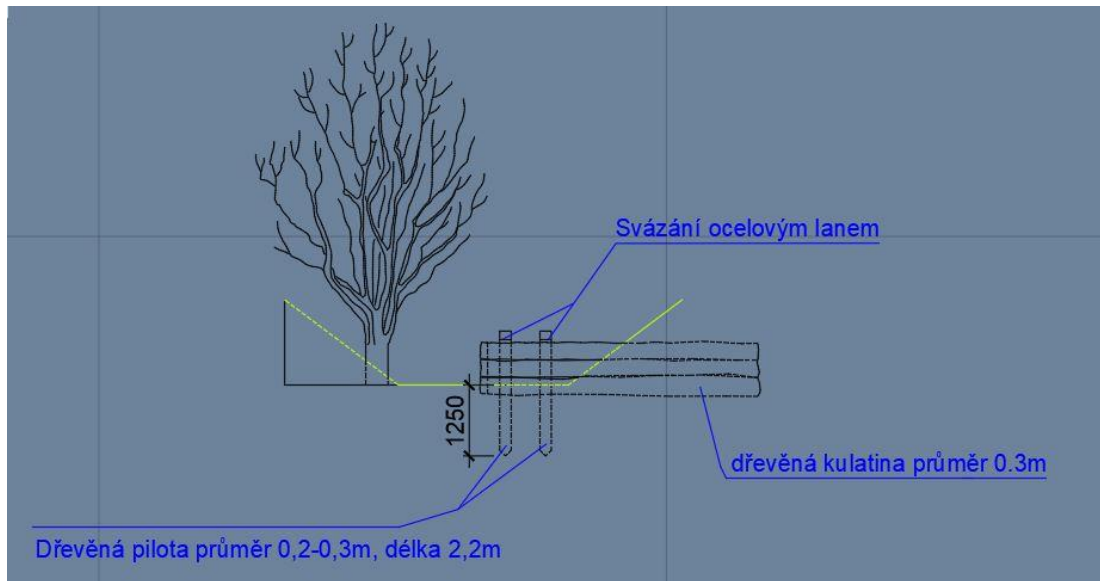
Obr. 16 - Řez korytem, kde je navržena příčná překážka z kulatin a dvou pilot. Je zde vidět i vzrostlý strom, který se nachází za odtěženou částí břehu

6.2.4 Varianta 2

Varianta velmi podobná předchozí. Rozdílem je natočení příčné překážky o 26° . Princip uchycení je stejný jako u varianty 1.



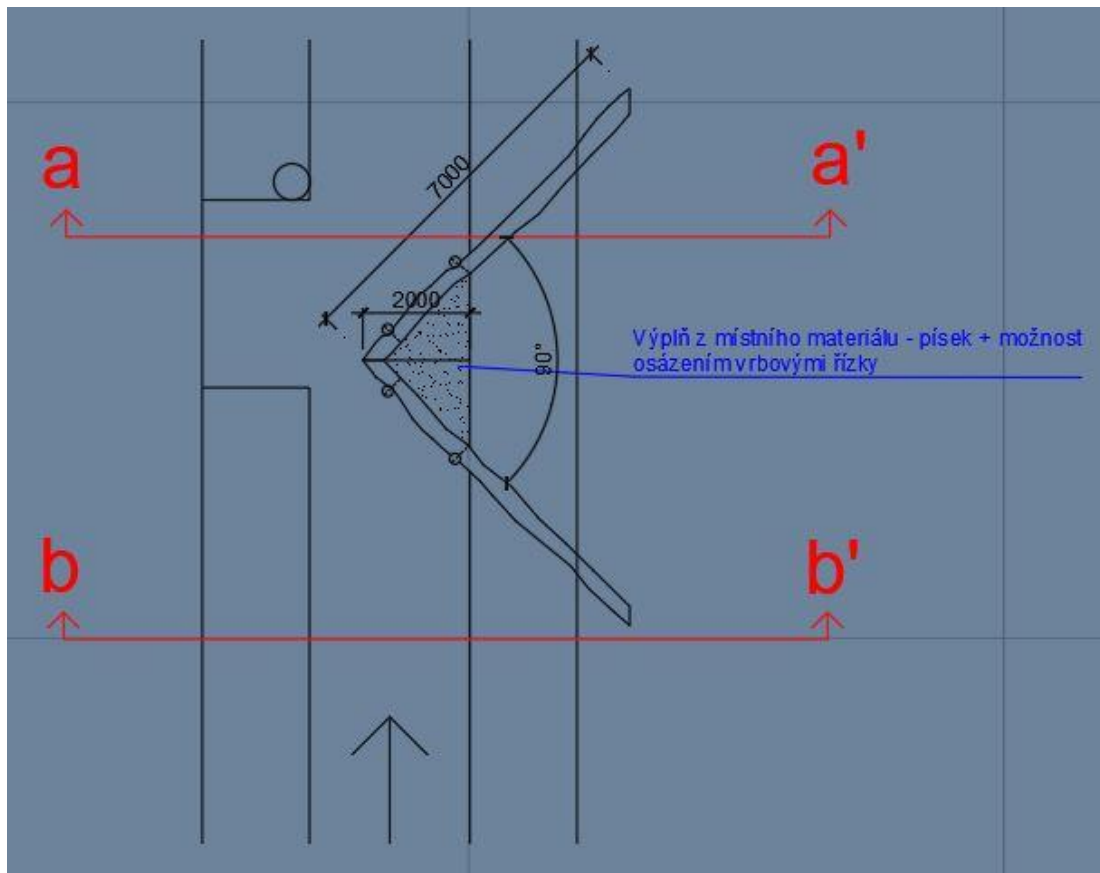
Obr. 17 - Půdorys koryta s navrženým opatřením z kulatin a pilot. Rozdíl proti obr.15 spočívá v pootočení překážky o 26°



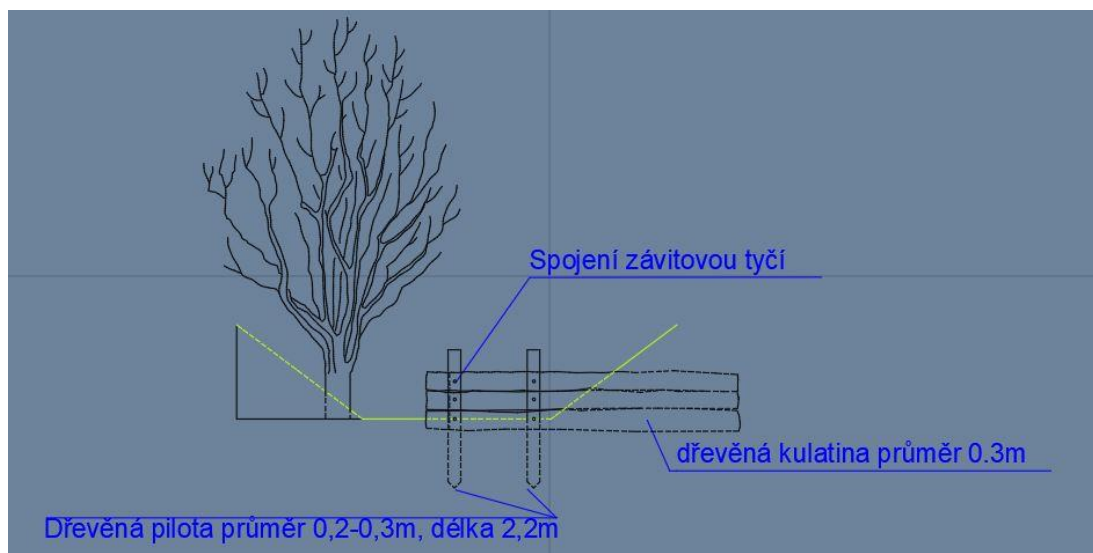
Obr. 18 - Řez varianty č. 2

6.2.5 Varianta 3

Tento způsob spočívá ve vytvoření objektu ve tvaru trojúhelníku. Nevýhodou je nutnost velkého výkopu při zhotovení. Výhodou je naopak možnost vyplnění místním materiálem a osázení vrbovými řízký, které materiál ožíví a zpevní.



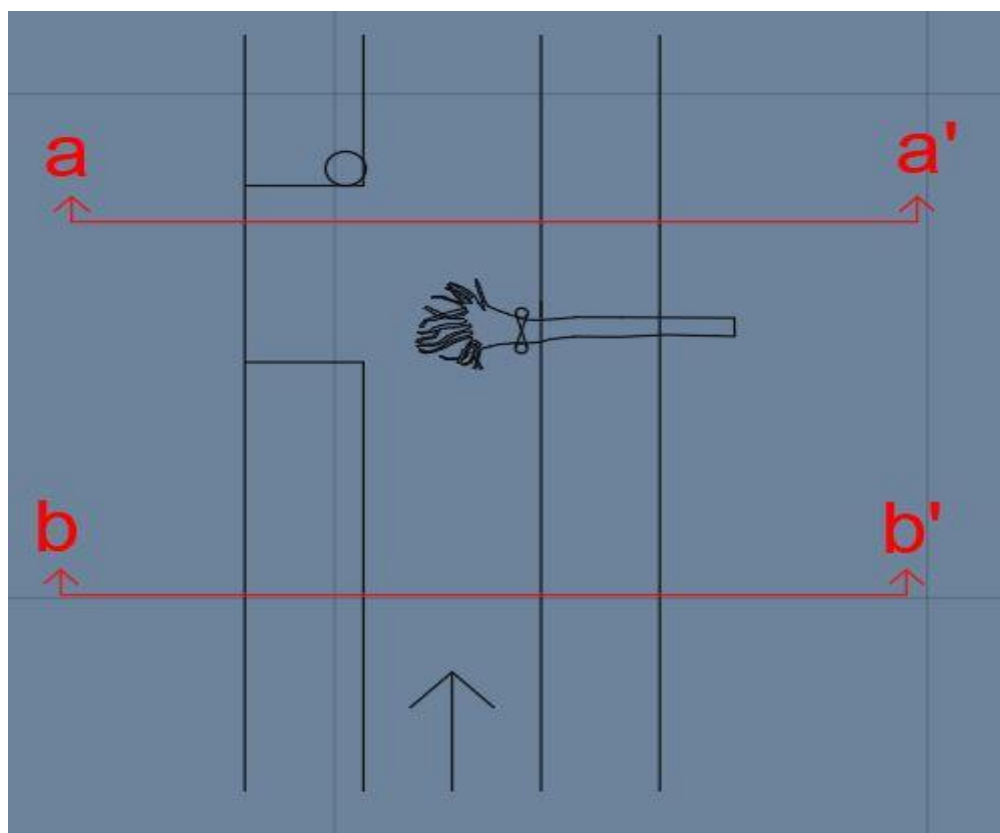
Obr. 19 - Půdorys koryta s navrženým opatřením v podobě trojúhelníku z kulatin vyplněný místním materiálem, opět se na protějším břehu nachází vytvořená břehová nátrž



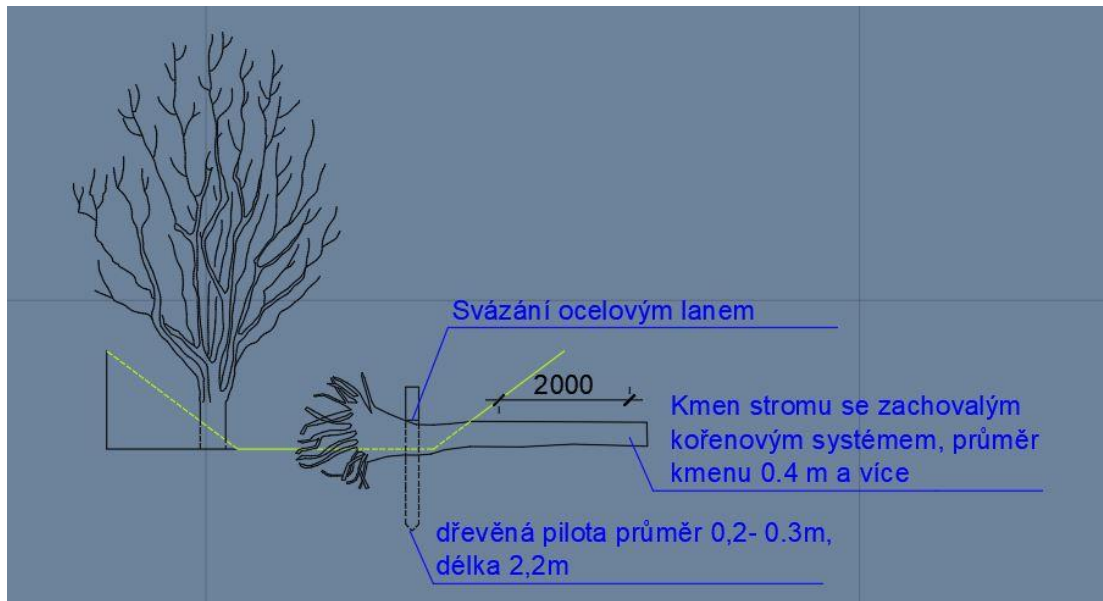
Obr. 20 - Řez varianta 3, zajištění trojúhelníku proti posunu pilotami, které jsou s konstrukcí spojeny závitovou tyčí

6.2.6 Varianta 4

Při této variantě je do toku vložen jeden kmen velkého průměru. Měl by být situován kořenovým systémem směrem do koryta. Přichycen je dvěma pilotami, které jsou svázány ocelovým lanem. Kořenový systém je velmi přínosný pro biodiverzitu.



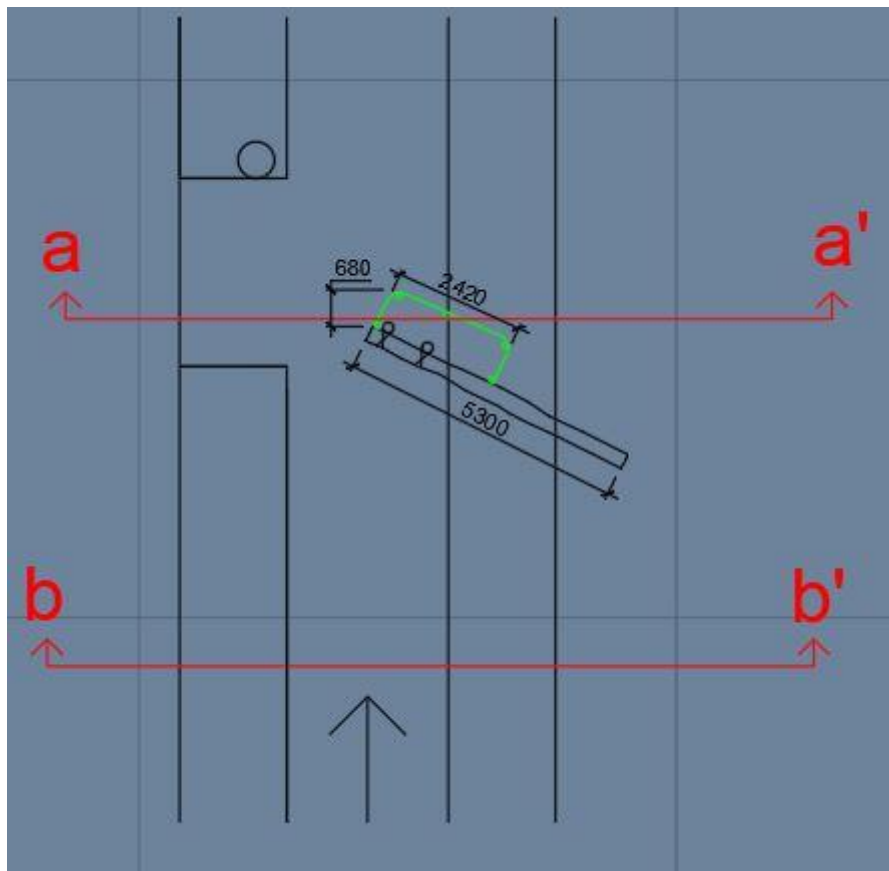
Obr. 21 - Půdorys koryta s navrženým opatřením, kde je překážka tvořena kmenem stromu se zachovaným kořenovým systémem, který je zajištěn dvěma pilotami a ocelovým lanem



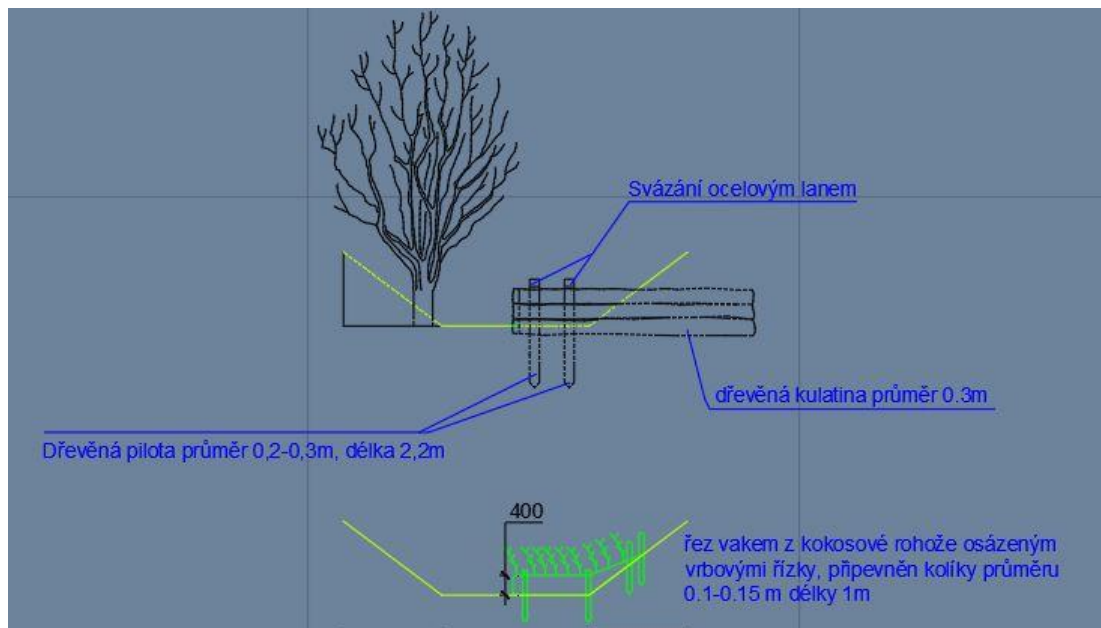
Obr. 22 - Řez variantou překážky z kmenu a pilota svázaných ocelovým lanem

6.2.7 Varianta 5

Obdobné variantě 2, s tím, že je za příčnou překážkou umístěn vak z kokosové rohože, který je vyplněn místním materiálem a osázen vrbovými řízký.



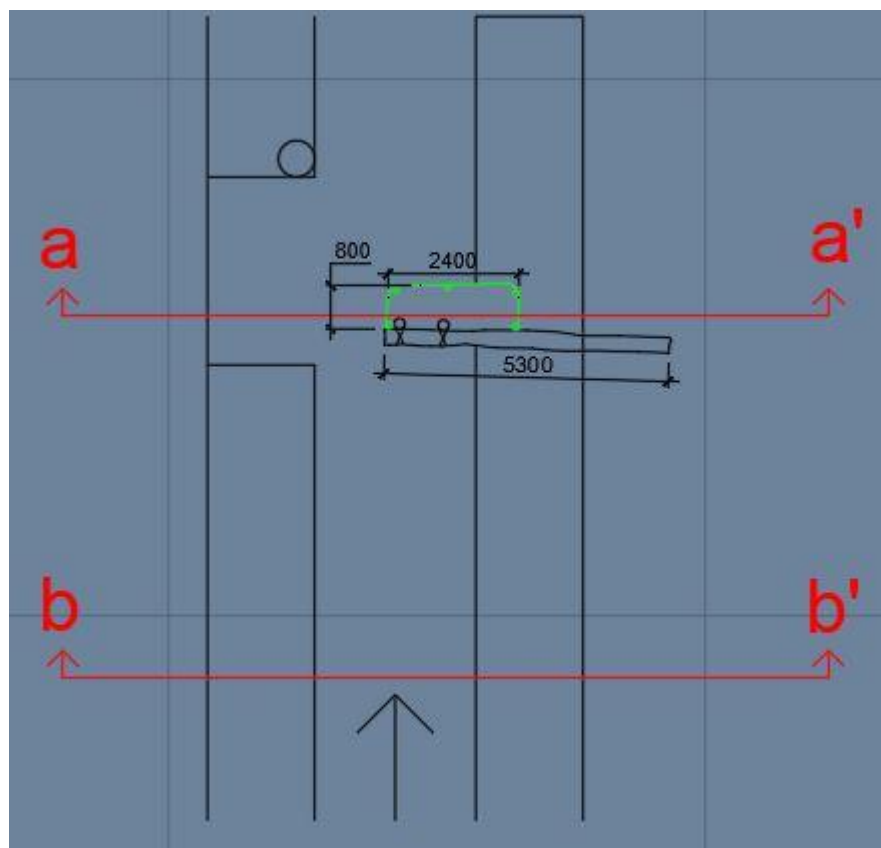
Obr. 23 - Půdorys koryta s navrženým opatřením obdobným obr. č. 17 s rozdílem, kdy je ta překážkou umístěn vak z kokosové rohože (zelená barva)



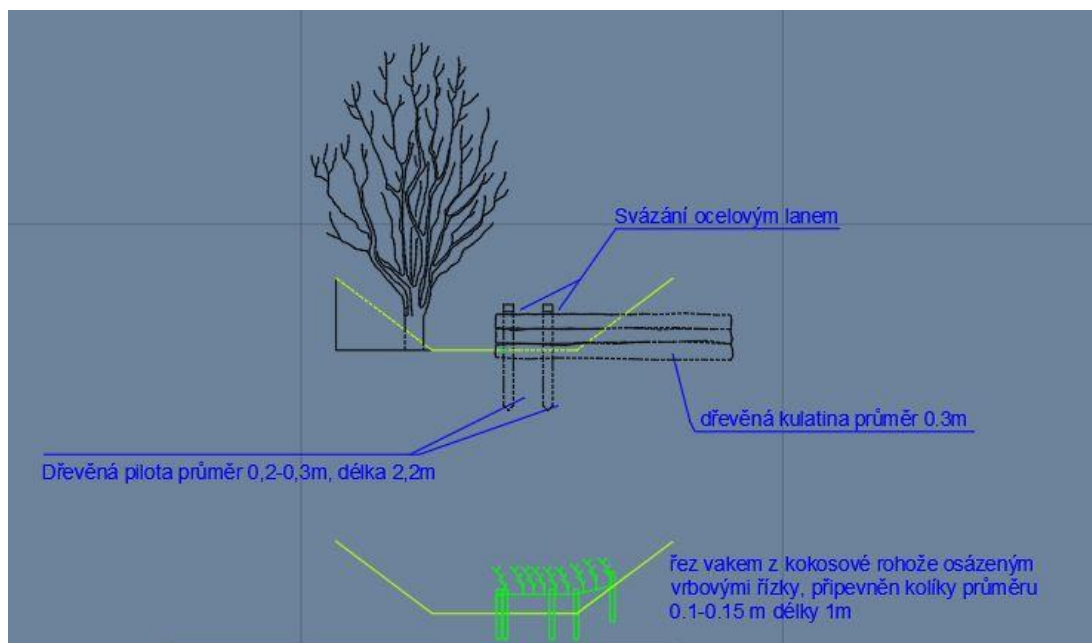
Obr. 24 - Řezy variantou s překážkou a vakem. Horní řez znázorňuje příčnou překážku, spodní řez je samotným vakem z kokosové rohože osázeným vrbovými řízký

6.2.8 Varianta 6

Obdoba předchozí varianty. Rozdíl je v natočení příčné překážky. Tato je natočená kolmo na směr toku.



Obr. 25 - Půdorys koryta s navrženým opatřením obdobným jako u obr. 23. Rozdílem je natočení překážky kolmo na směr toku



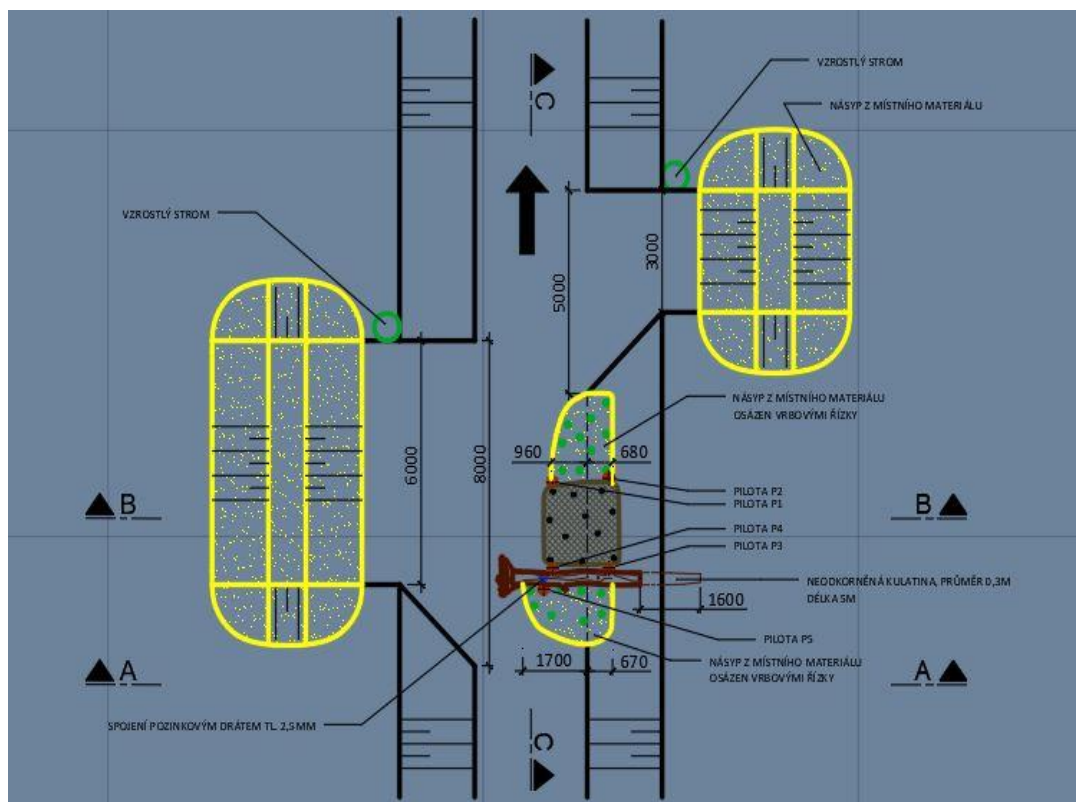
Obr. 26 – Řezy variantou s kolmou překážkou na směr toku a vakem z kokosové rohože

6.2.9 Výsledný návrh

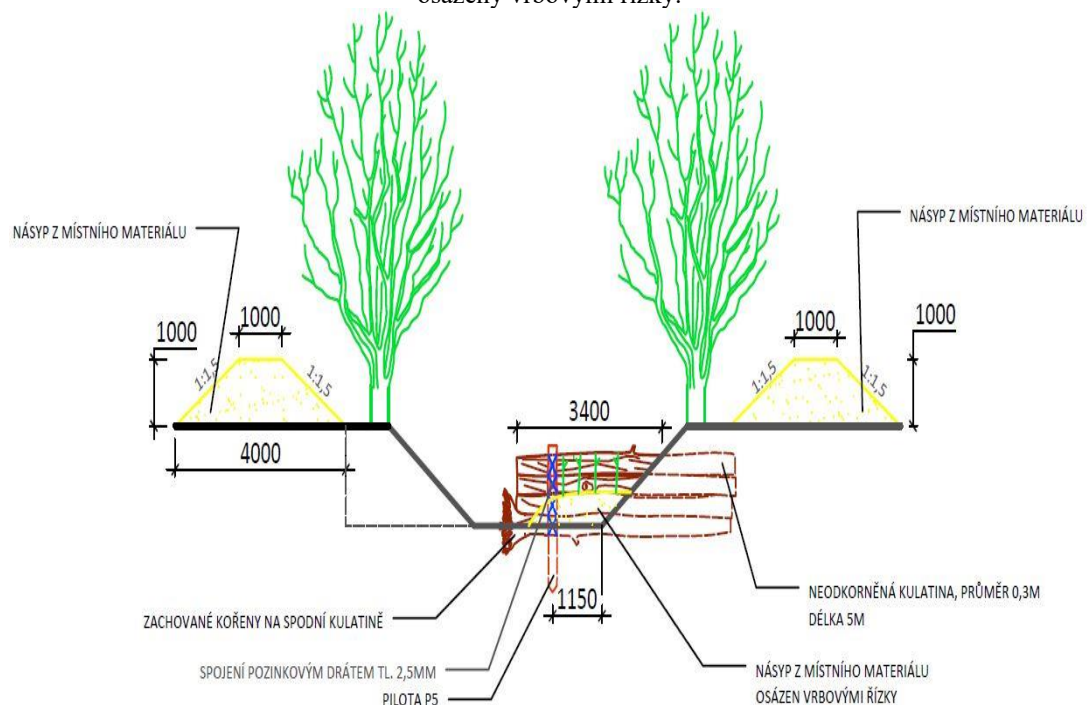
Po konzultaci v řešitelské skupině se dospělo k finálnímu řešení. (viz obr. 27-30). Projektovány budou objekty překážkou kolmou na směr toku tvořenou čtyřmi neodkorněnými kulatinami průměru 0,3 m a délky 5 m, které budou minimálně 1,5 m zapuštěny do břehu. Kulatina ležící ve spodu by měla mít směrem do koryta zachovaný kořenový systém. Tyto kulatiny jsou stabilizovány dřevěnými pilotami. Kulatiny jsou k pilotě přivázány pozinkovaným drátem o tloušťce 2,5 mm a to k pilotě umístěné proti směru proudu řeky.

Za stěnou z kulatin bude umístěn vak ze dvou vrstev kokosové rohože vyplněný místním materiálem. Spojení rohoží se provede sešitím. Tento vak bude umístěn mezi čtyřmi piloty a bude protlučen vrbovými kolíky. (Viz. obr. 31 – 34.)

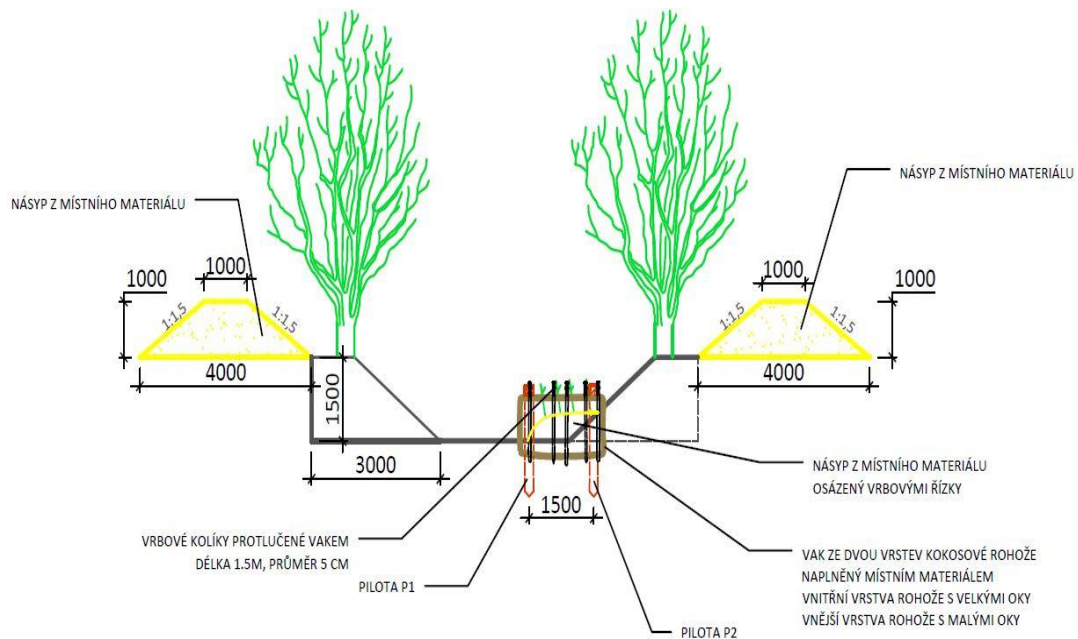
Břehové usměrňovací výkopy budou dva (viz. Obr. 27 - situace. Situování by mělo být provedeno tak, aby vždy za výkopem byl vzrostlý strom. Nad výkopy bude umístěn násyp z místního materiálu, který bude sloužit k „*přikrmování koryta*“ (Cílek a kol., 2017), viz obr. 27. Odtěžený místní materiál bude umístěn též před stěnu z kulatin a za vakem (viz situace Obr. 27 – situace) a tento místní materiál bude oživen osázením vrbovými řízkami.



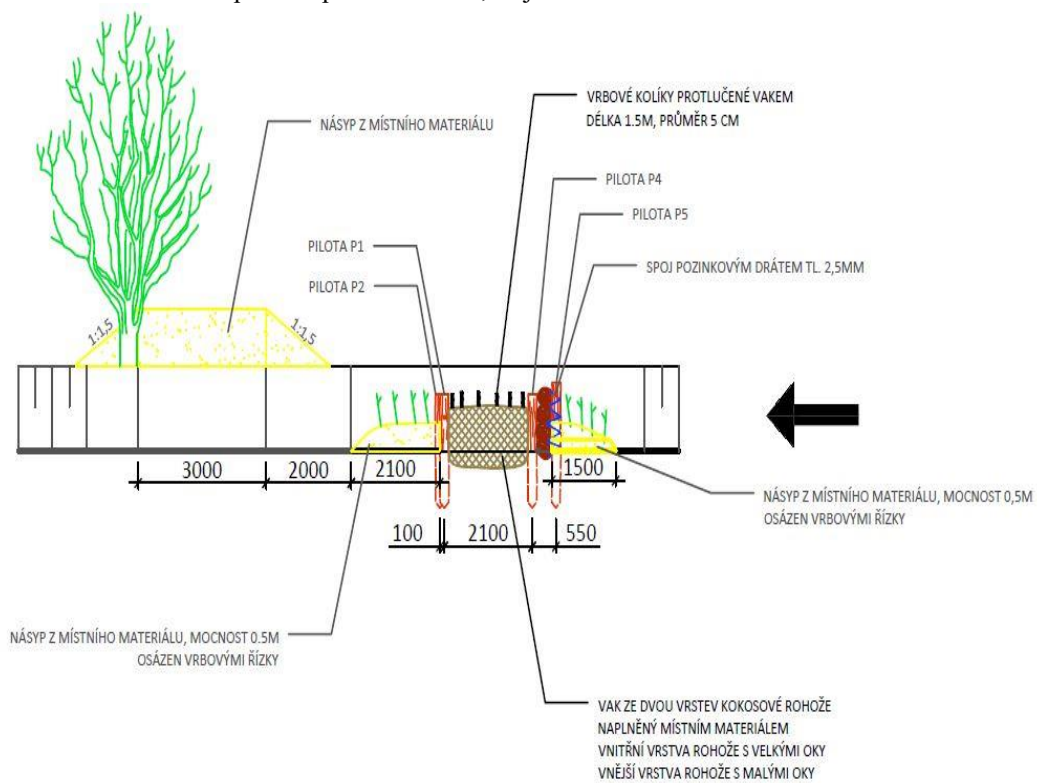
Obr. 27 – Situace výsledného návrhu. Znázorněny jsou dvě břehové nátrže s nátokovými částmi, nad kterými jsou umístěny žlutě znázorněné násypy z místního materiálu. Proti delší nátrži je umístěna příčná překážka, za kterou se nachází vak z kokosové rohože zajištěný čtyřmi pilotami a protlučený vrbovými kolíky. Před a za příčnou překážkou je žlutě znázorněný násyp z místního materiálu osázený vrbovými řízký.



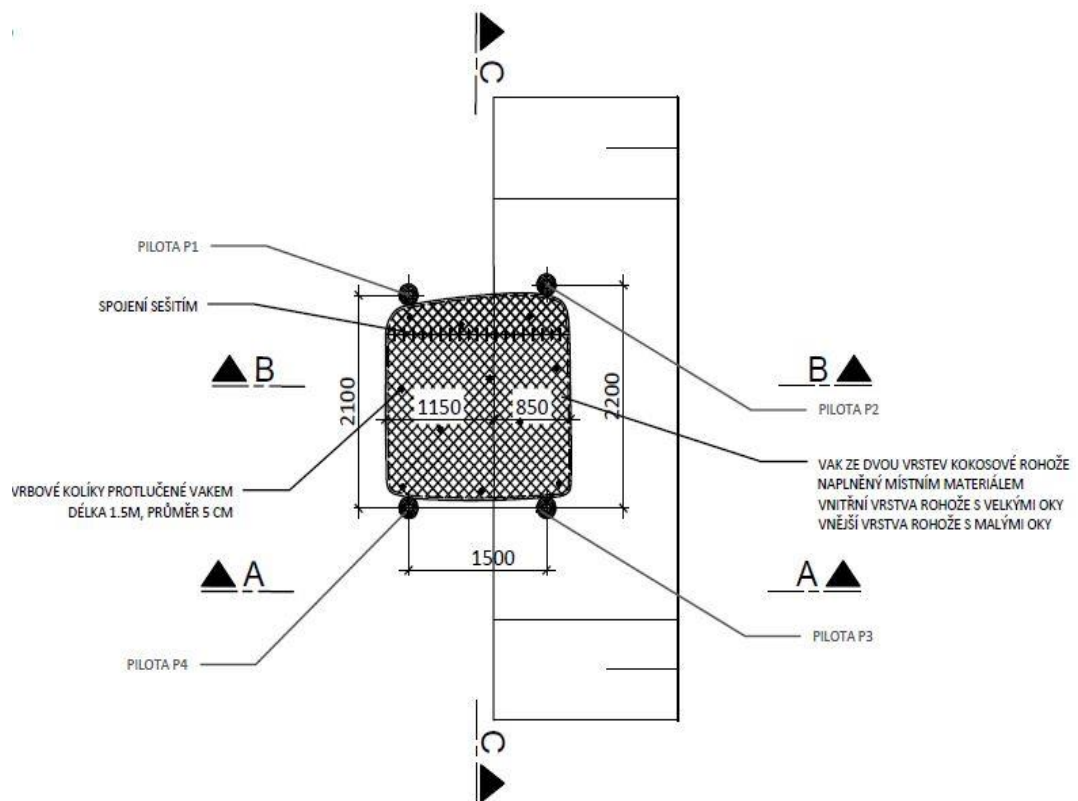
Obr. 28 – Řez A. Na řezu jsou viditelné násypy z místního materiálu a pohled po směru toku na příčnou překážku. Patrný je zde i kořenový systém ponechaný na nejspodnější kulatině



Obr. 29 – Řez B znázorňující pohled za příčnou překážkou. Rozdíl v řezu na obr. 28 je v posunutí řezové linie za příčnou překážkou. Tzn., že je řez veden vakem z kokosové rohože

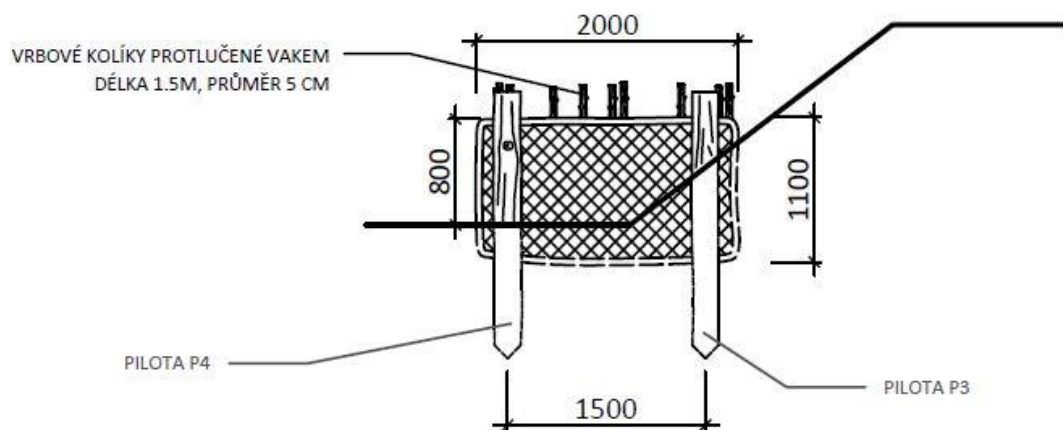


Obr. 30 – Řez C představuje podélný řez příčnou překážkou a vakem z kokosové rohože



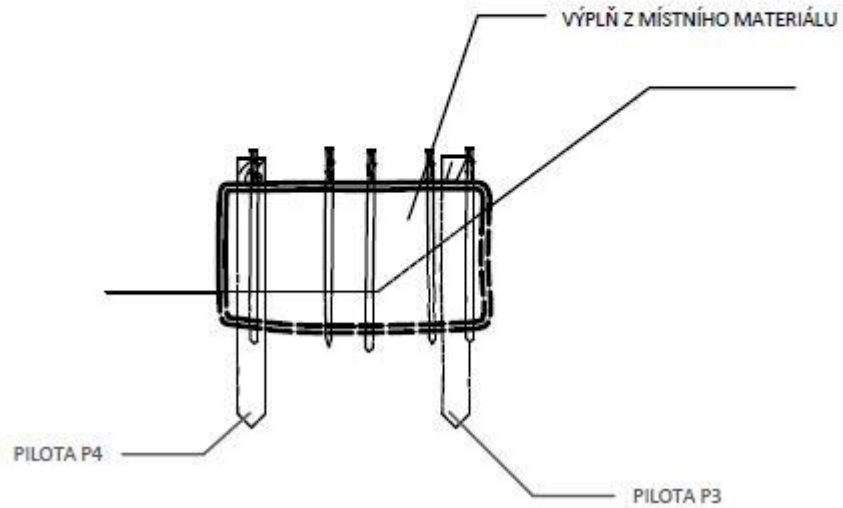
Obr. 31 - Situace vaku z kokosové rohože, vak, znázorněný šrafov, je zajištěn čtyřmi pilotami a protlučen vrbovými kolíky

ŘEZ A-A



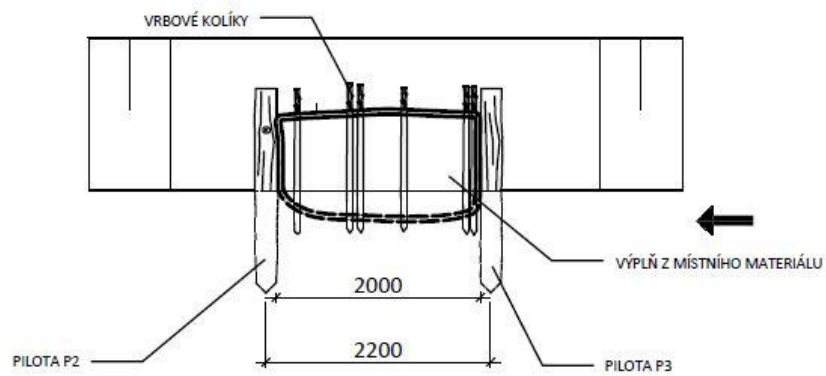
Obr. 32 – Řez A znázorňuje pohled na vak zepředu po směru proudu

ŘEZ B-B



Obr. 33 - Řez B představuje řez vakem z kokosové rohože. Viditelné jsou vrbové kolíky protlučené vakem

ŘEZ C-C



Obr. 34 - Řez C představující podélný řez. Viditelné je zajištění dřevěnými pilotami P2 a P3

6.3 Výpočet kapacity koryta

Před samotným modelováním v softwaru HEC – RAS je nutné stanovit předběžnou kapacitu koryta, která je důležitá pro znalost kapacity plného koryta. Při modelování se uvažuje s maximálním průtokem, které je koryto schopno pojmout bez vybřežení. Pro hydrotechnicky neznalého čtenáře je výpočet kapacity koryta pro přehled uveden níže v kapitolách 6.3.1 a 6.3.2.

Pro tento výpočet slouží kombinace dvou rovnic 1) a 2). Jsou to:

- 1) Chézyho rovnice
- 2) Rovnice kontinuity

6.3.1 Chézyho rovnice

Tato rovnice se používá pro výpočet tzv. střední průřezové rychlosti.

$$v = C * \sqrt{R \cdot i}$$

- v – střední průřezová rychlost [$m \cdot s^{-1}$]
- C – Chézyho rychlostní součinitel [$m^{0.5} \cdot s^{-1}$]
- i – podélný sklon hladiny – při rovnoměrném proudění je roven sklonu dna i_0 [-]
- R – hydraulický poloměr [m]

Chézyho rychlostní součinitel C není konstantní. Určuje se podle řady empirických vztahů. Pro tento výpočet je používán vzorec dle Manninga, kde:

$$C = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}}$$

- n – stupeň drsnosti dle Manninga [-]

Hydraulický poloměr R se vypočítá dle vzorce:

$$R = \frac{S}{O}$$

- S – plocha průtočného průřezu – obsah plochy rovinného řezu vedeného kolmo na převládající směr proudění [m^2]
- O – omočený obvod - součet délek, kde se kapalina v průtočném průřezu dotýká pevných stěn [m]

V případě výpočtu tohoto koryta se jedná o lichoběžník. Proto se průtočný průřez a omočený obvod vypočítají následovně:

$$S = (b + m * h) * h$$
$$O = b + 2 * h * \sqrt{1 + m^2}$$

- b – šířka ve dně [m]
- $1 : m$ – sklon svahů [-]
- h – hloubka vody [m]

6.3.2 Rovnice kontinuity

Tato rovnice se používá pro výpočet průtoku v korytě. Pro vodohospodářské výpočty se využívá v následujícím tvaru:

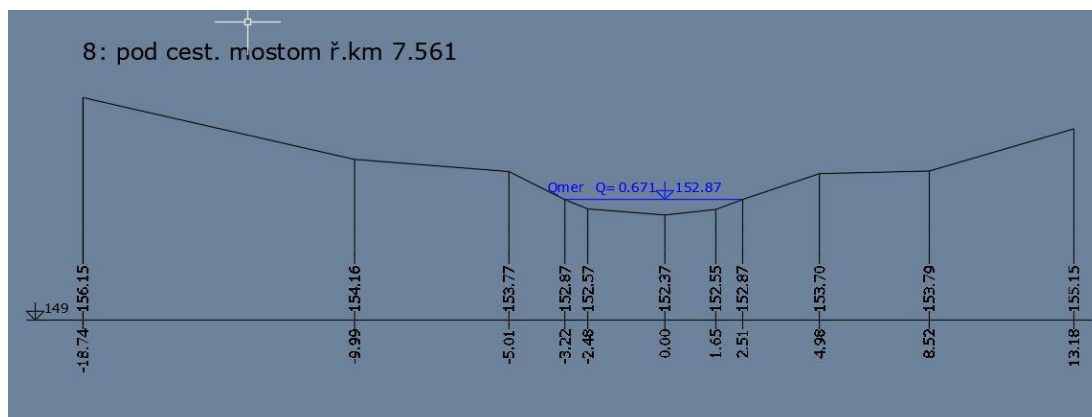
$$Q = v * S$$

- Q – průtok [m^3*s^{-1}]
- v – průřezová rychlost [$m*s^{-1}$]
- S – průtočná plocha [m^2]

(Havlík, Marešová, 1994; Pech a Roub, 2014)

6.3.3 Výpočet

Pro výpočet byl vybrán zaměřený profil č.8.



Obr. 35 – Zaměřený příčný příčný profil č.8

B = 7,8	[m]	Šířka v břehových hranách
b = 2,9	[m]	Šířka ve dně
h = 1,55	[m]	Hloubka v korytě
m_l = 1,4	[-]	Sklon levého svahu
m_p = 1,7	[-]	Sklon pravého svahu
n_{dno} = 0,025	[-]	Stupeň drsnosti dna
n_p = 0,04	[-]	Stupeň drsnosti pravého břehu
n_l = 0,04	[-]	Stupeň drsnosti levého břehu
i₀ = 0,0019	[-]	Podélný sklon dna

Tab. 1 -Tabulka hodnot a parametrů zadávaných do Chézyho rovnice

Tyto hodnoty z tabulky č. 1 byly dosazeny do programu MS Excel 2007, kde proběhl výpočet. Hodnoty výsledné rychlosti a průtoku jsou znázorněny v tabulce č. 2.

h	S	O	R	n	y	C	Q	v
[m]	[m ²]	[m]	[m]	[-]	[-]	[m ^{0,5} /s]	[m ³ /s]	[m/s]
0.00	0.00	2.90	0.000	0.0250	0.265	0.000	0.00	0.000
0.16	0.49	3.48	0.140	0.0275	0.266	21.554	0.17	0.352
0.31	1.05	4.06	0.259	0.0293	0.271	23.684	0.55	0.525
0.47	1.69	4.64	0.364	0.0306	0.274	24.771	1.10	0.652
0.62	2.41	5.22	0.461	0.0317	0.275	25.515	1.82	0.755
0.78	3.20	5.80	0.551	0.0325	0.276	26.104	2.70	0.845
0.93	4.07	6.38	0.637	0.0332	0.276	26.606	3.76	0.926
1.09	5.01	6.96	0.719	0.0337	0.276	27.054	5.01	1.000
1.24	6.03	7.54	0.799	0.0342	0.276	27.463	6.45	1.070
1.40	7.12	8.12	0.877	0.0346	0.275	27.842	8.09	1.136
1.55	8.29	8.70	0.953	0.0350	0.274	28.196	9.95	1.200

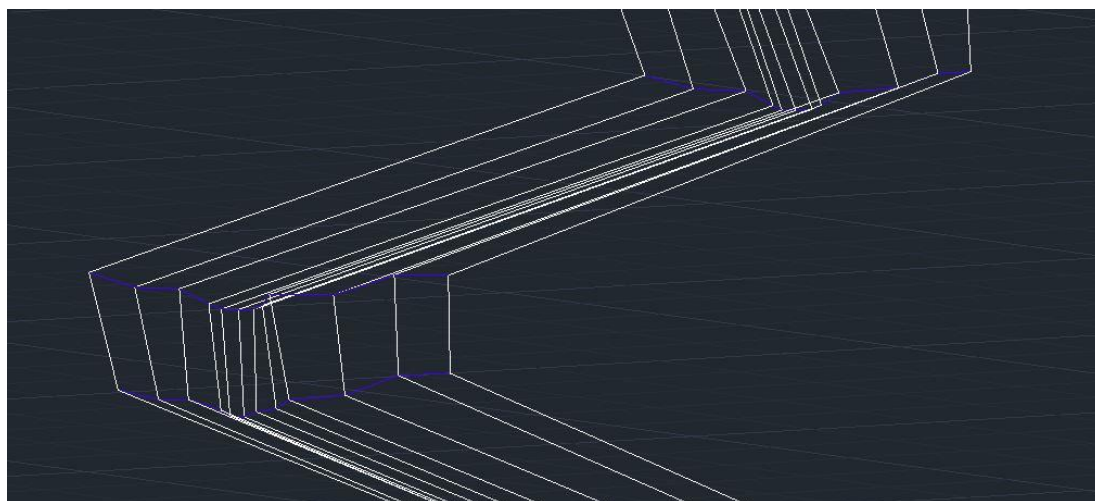
Tab. 2 - Tabulka vypočtených hodnot kapacity koryta z programu MS Excel

6.4 Modelování v softwaru HEC - RAS

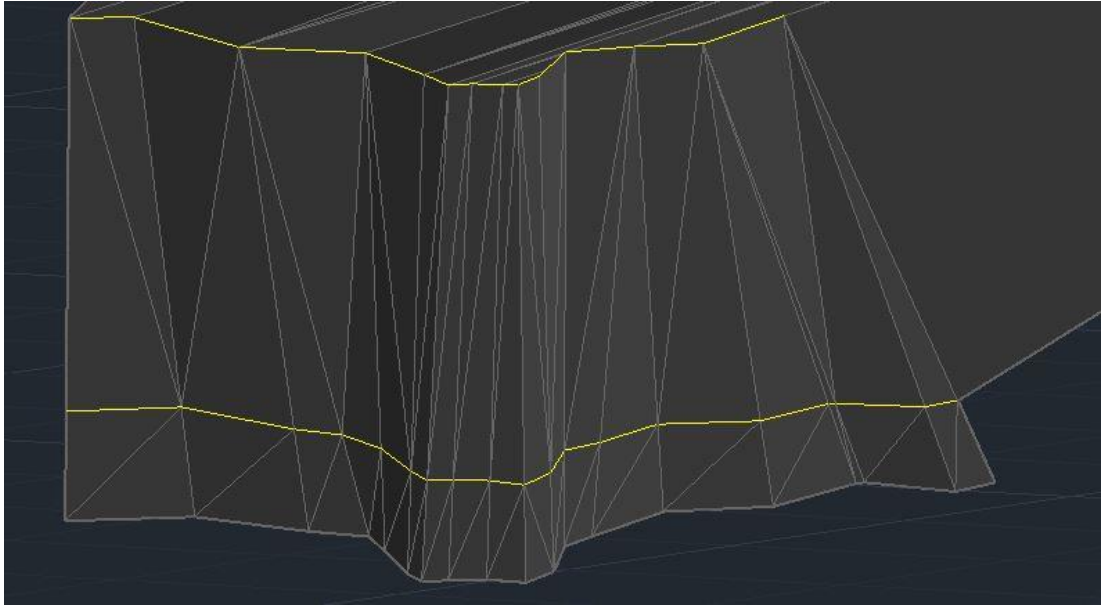
6.4.1 Tvorba modelu terénu

Pro vytvoření 2D modelu v softwaru HEC – RAS bylo zapotřebí vytvořit digitální model terénu (dále DMT). Tento model koryta byl vytvořen na základě zaměřených profilů v programu AutoCad Civil 3D. Do programu byly importovány zaměřené body se souřadnicemi x, y, z. Tyto body byly pospojovány za vzniku drátového modelu, ze kterého se později vytvoří TINový (trojúhelníkový) model povrchu.

Tento povrch lze exportovat do DEM (digital elevation model), který je kompatibilní s programem HEC – RAS. U tohoto modelu terénu již lze nastavit velikost buňky rastru. Pro potřeby této práce byla zvolena na 0,2 m. Pro potřeby modelování objektů je zbytečné používat model celého koryta, proto byl vybrán rovný úsek mezi zaměřenými profily 10 – 13, kde byly vymodelovány objekty popsané v kapitole 6.1.



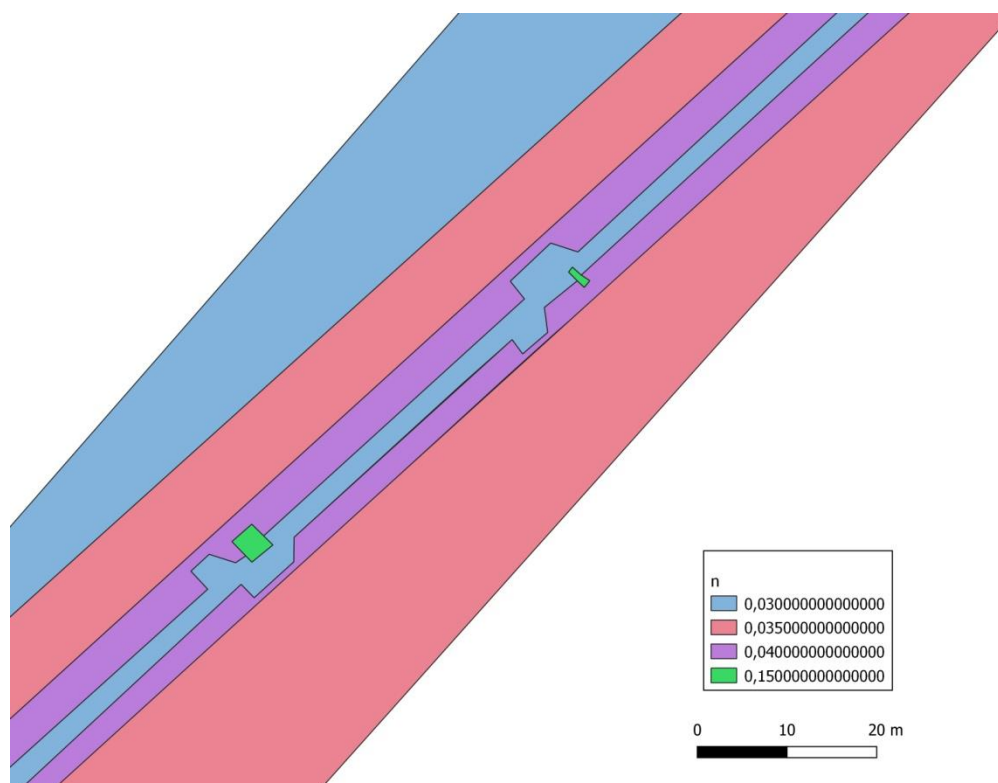
Obr. 36 – Drátová model koryta vytvořený v softwaru Civil 3D. Modře jsou znázorněny příčné profily, bíle podélné spojnice příčných profilů, které představují model koryta



Obr. 37 – TINový model povrchu koryta v programu Civil 3D, TIN představuje povrch tvořený trojúhelníky, které jsou znázorněny šedě, žlutě pak příčné profily.

6.4.2 Tvorba polygonu drsnosti

Pro tvorbu 2D modelu v programu HEC – RAS je nezbytné vytvořit polygon plošné drsnosti. Tyto polygony byly vektorizovány ve freeware softwaru QGIS 3.6.2 (viz obr. 38). Jako podkladová vrstva posloužila vrstva modelu terénu v kombinaci s ortofoto mapou. Tyto hodnoty byly doplněny o poznatky z terénního mapování provedeného autorem práce 1. června 2019. Po vektorizaci byly jednotlivé hodnoty drsností zapsány do atributové tabulky do sloupce s názvem Manning.



Obr. 38 – Mapa drsností koryta, jednotlivé hodnoty drsností jsou znázorněny v legendě v jednotlivých barvách, např. břehové hrany s dřevinami – 0,04, písčité dno – 0,03 apod., zeleně jsou znázorněny příčné překážky

6.4.3 Práce v programu HEC – RAS

Než započaly práce na 2D modelu, bylo nutné změnit formát data a času na formát používaný ve Spojených státech a změnit v záložce „Options“ používané jednotky z „US Customary“ na metrický systém „SI Units“. Po těchto krocích už může být založen nový projekt.

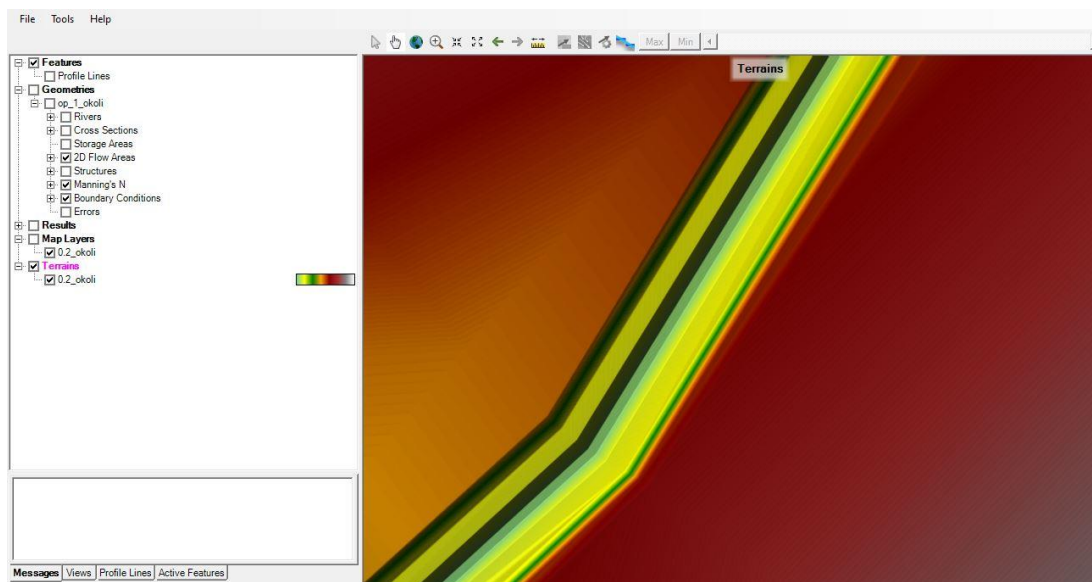
6.4.3.1 Tvorba modelu terénu

Téměř všechny následující úkony jsou prováděny v okně „RAS Mapper“. Před tvorbou je třeba nastavit koordinační systém záložce „Tools“, ve které je záložka „Set Projection for project“, ve které se zvolí příslušný koordinační systém. Následuje samotná tvorba terénu. Ten se tvoří na liště „Tools“ v záložce „New terrain“. Byl načten DEM vytvořený v Civilu 3D s rozlišením 0,2 m ve formátu *TIF, ze kterého byl vytvořen model terénu pro HEC s koncovkou *HDF.

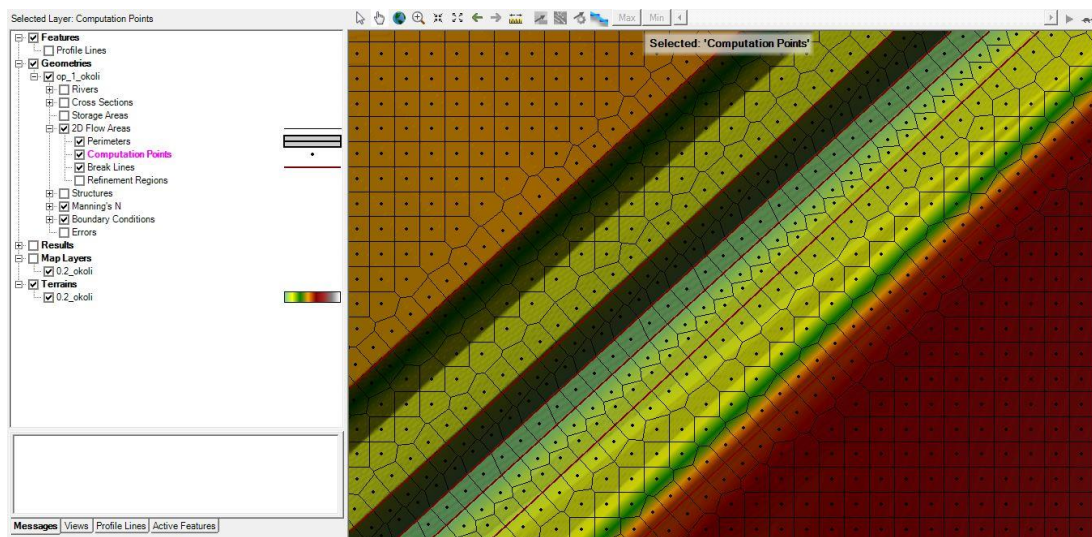
6.4.3.2 Výpočtový mesh

Jako synonymum pro mesh lze použít také termín výpočtová mřížka. Mesh je tvořen strukturovaným a nestructurovaným meshem. Nestructurovaný tvoří elementy se

třemi až osmi stranami, strukturovaný pravidelné čtverce. Při tvorbě meshe se volí rozlišení jednotlivých buněk, pro tento model bylo zvoleno 2 x 2 m. Pro zpřesnění výpočtu se využívá nástroje „Breaklines“, který vytvoří povinné hrany. Přidají se přes „Add new breakline“. Samotná mřížka se potom vytvoří přes „Computation points“.



Obr. 39 - Vytvořený model terénu pro 2D model znázorňující nadmořskou výšku



Obr. 40 – Výpočtový mesh, buňky pro výpočet

6.4.3.3 Tvorba Land cover

Pro vytvoření 2D modelu je nutné do HECu nahrát vytvořený shapefile s hodnotami drsností. Dělá se tak přes záložku „Tools“, kde je záložka „New land cover“. Ve vzniklé tabulce se vybere soubor *.shp ze složky. Je nutné vybrat, že mapa zobrazuje drsnosti výběrem hodnoty „Manning“.

6.4.3.4 Okrajové podmínky

Zadání okrajových podmínek se pro 2D model provádí v editoru „Geometric data“ pomocí ikony „SA/2D area BC lines“. Kliknutím na tuto ikonu se zobrazí editor pro kreslení křivky, která byla nakreslena v koncových bodech 2D oblasti. Počáteční, nebo také horní křivka byla pojmenována „UpstreamBC, spodní pak „DownstreamBC“.

V nastavení neustálého proudění „View/ Edit unsteady flow data“ lze nastavit typy okrajové podmínky. Pro horní profil byl zvolen typ „Flow hydrograph“, kde je možné nastavit v jednotlivých časech simulace různé průtoky (viz Obr. 41).

Před zahájením výpočtu v záložce „Unsteady flow analysis“ je nutné nastavit povolené odchylky, počty iterací apod., dále nastavení časového kroku výpočtu, který byl pro vyšší přesnost nastaven na 10 sekund.

The screenshot shows two windows from a software application. The left window is titled 'Unsteady Flow Data - op_1_okolí' and displays the 'Boundary Conditions' tab. It features a grid of 'Boundary Condition Types' with 'Flow Hydrograph' selected. Below this is a table for 'Storage/2D Flow Areas' with two entries: '1 obvod_okolí BCLine: UpstreamBC' and '2 obvod_okolí BCLine: DownstreamBC'. The right window is titled 'Flow Hydrograph' and shows a table of 'Hydrograph Data' with columns for 'Date', 'Simulation Time (hours)', and 'Flow (m3/s)'. The data table contains 15 rows of time-series data.

No. Ordinates	Date	Simulation Time (hours)	Flow (m3/s)
1	24Jul2019 0001	00:00	0.1
2	24Jul2019 0002	00:01	0.1
3	24Jul2019 0003	00:02	0.1
4	24Jul2019 0004	00:03	0.1
5	24Jul2019 0005	00:04	0.1
6	24Jul2019 0006	00:05	0.1
7	24Jul2019 0007	00:06	0.1
8	24Jul2019 0008	00:07	0.1
9	24Jul2019 0009	00:08	0.1
10	24Jul2019 0010	00:09	0.2
11	24Jul2019 0011	00:10	0.2
12	24Jul2019 0012	00:11	0.2
13	24Jul2019 0013	00:12	0.2
14	24Jul2019 0014	00:13	0.2
15	24Jul2019 0015	00:14	0.2

Obr. 41 – Nastavení okrajových podmínek a počátečního průtoky

6.5 Výsledky modelování

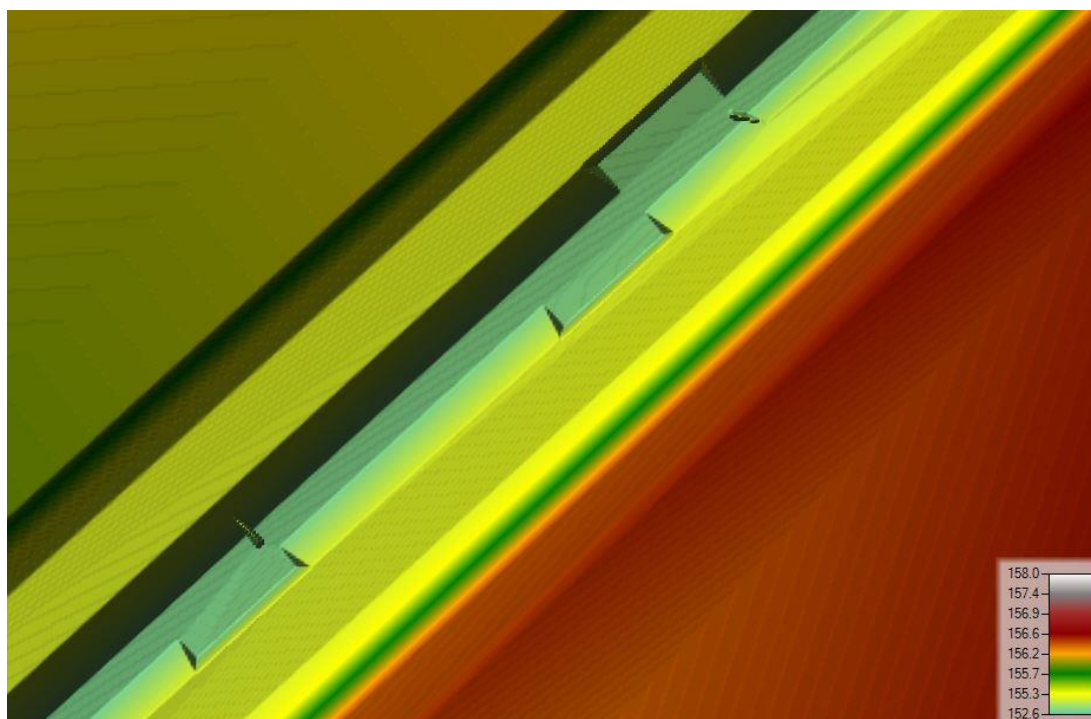
Celkově byly vytvořeny tři modely na zkráceném vzorovém úseku vodního toku. Každý model v sobě zahrnuje dvě opatření. Pro všechny tři modely byly použity stejné součinitele drsnosti a stejný průtok pro plné koryto, který byl vypočten v kapitole 6.3.

HEC – RAS umožňuje porovnání modelů na základě různých výstupů. Mezi nejzákladnější patří například:

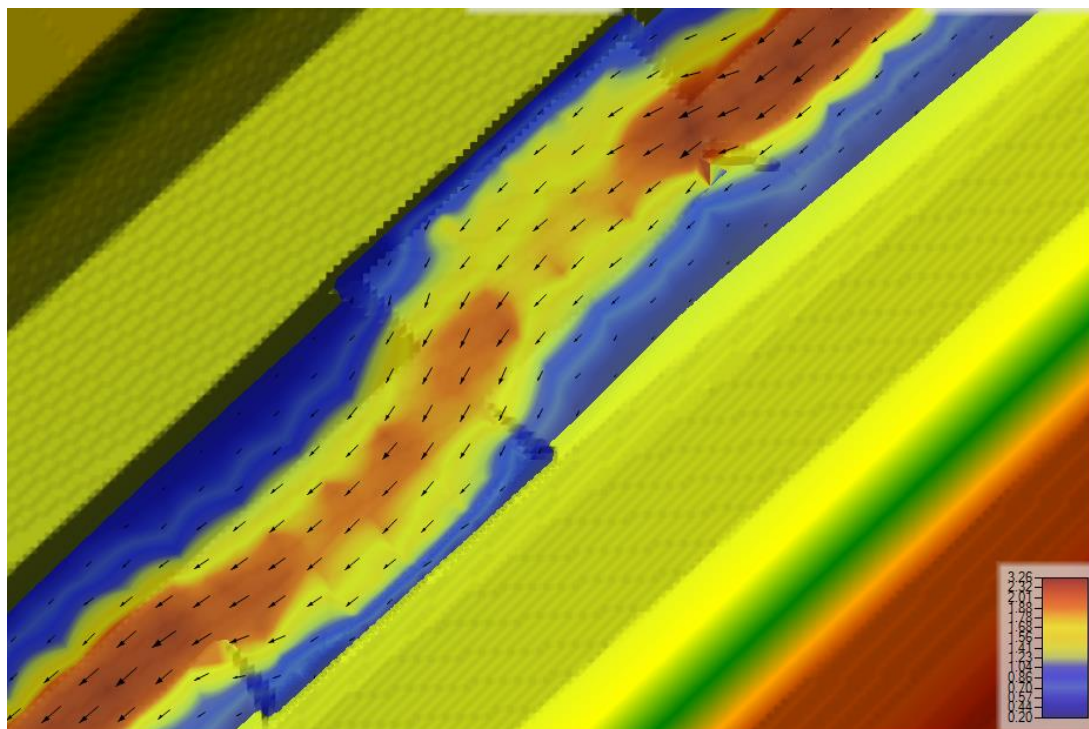
- hloubka (Depth);
- rychlost (Velocity);
- tečné napětí (Shear stress);
- proudová energie (Stream power).

6.5.1 Model č.1

V tomto modelu byly vytvořeny dvě příčné překážky, první šikmá se dvěma nátržemi, druhá kolmá na osu toku s jednou nátrží. Délky jednotlivých nátrží byly zvoleny 10 m.



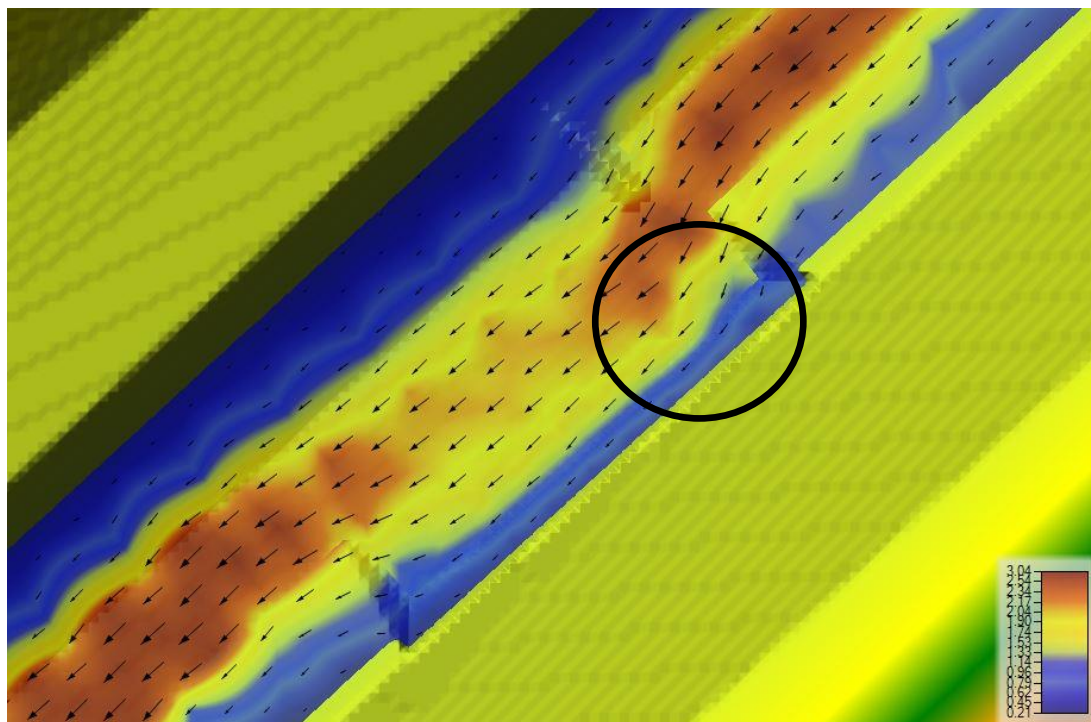
Obr. 42 – model koryta, kde je v legendě znázorněna nadmořská výška terénu



Obr. 43 – Rychlost v korytě se šipkami znázorňující směr proudu. Po krajích koryta jsou nízké rychlosti (modrá barva), ve prostřed koryta jsou rychlosti výrazně vyšší (červená barva)

Na obr. 43, znázorňujícím rychlost v korytě, je dobře vidět, že rozvlnění koryta má za následek snížení rychlosti. Za použití směrových šipek je patrné nasměrování proudu příčnou překážkou. Ovšem díky dlouhým břehovým nátržím bude výrazně erodována pouze nátrž hned za překážkou, kam proud usměrní biotechnický objekt. Z tohoto modelu je patrné, že jsou nátrže příliš dlouhé a v pořadí druhé nátrži za překážkou chybí nátoková část, která byla doplněna v modelu 3 (kapitola 6.5.3). Kolem této nátrže má proud dostatečnou rychlost, chybí ale výraznější usměrnění proudu.

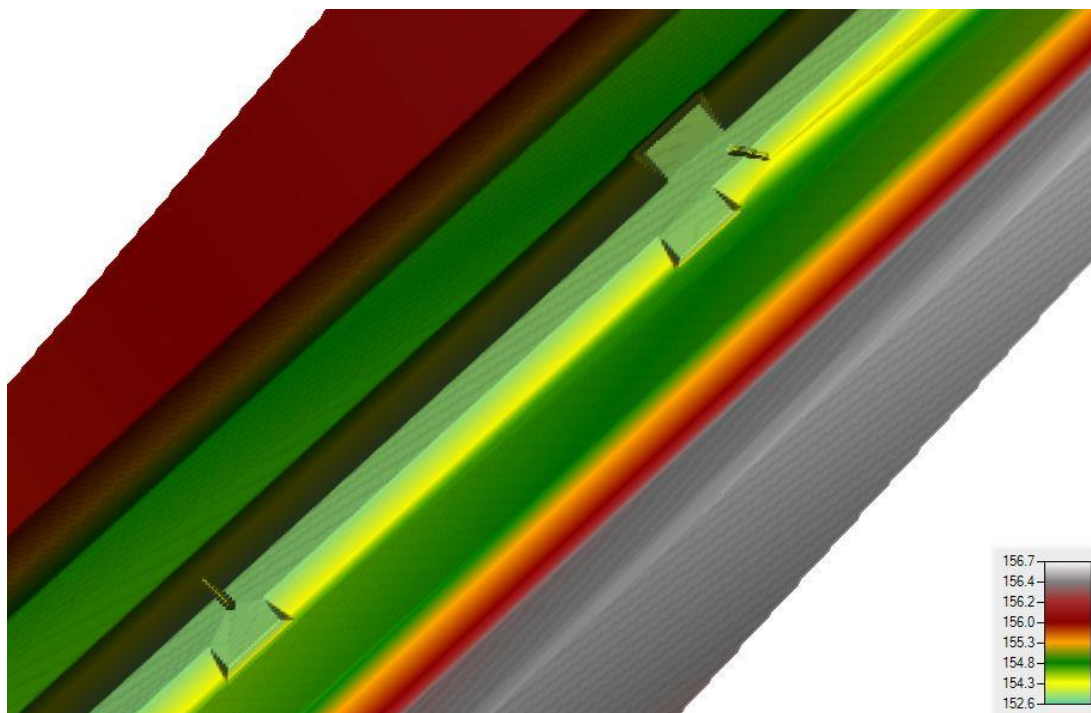
Na obr. 44 je dle proudových šipek opět velmi dobře vidět přílišná délka nátrže. K erozi bude docházet kvůli vyšším rychlostem po celé délce nátrže, ale k výraznému erodování bude docházet jen v její počáteční třetině, kam nasměrovaný proud narazí (na obr. 44 vyznačeno černým kroužkem). I zde je vidět absence nátoku, který by proud lépe usměrňoval.



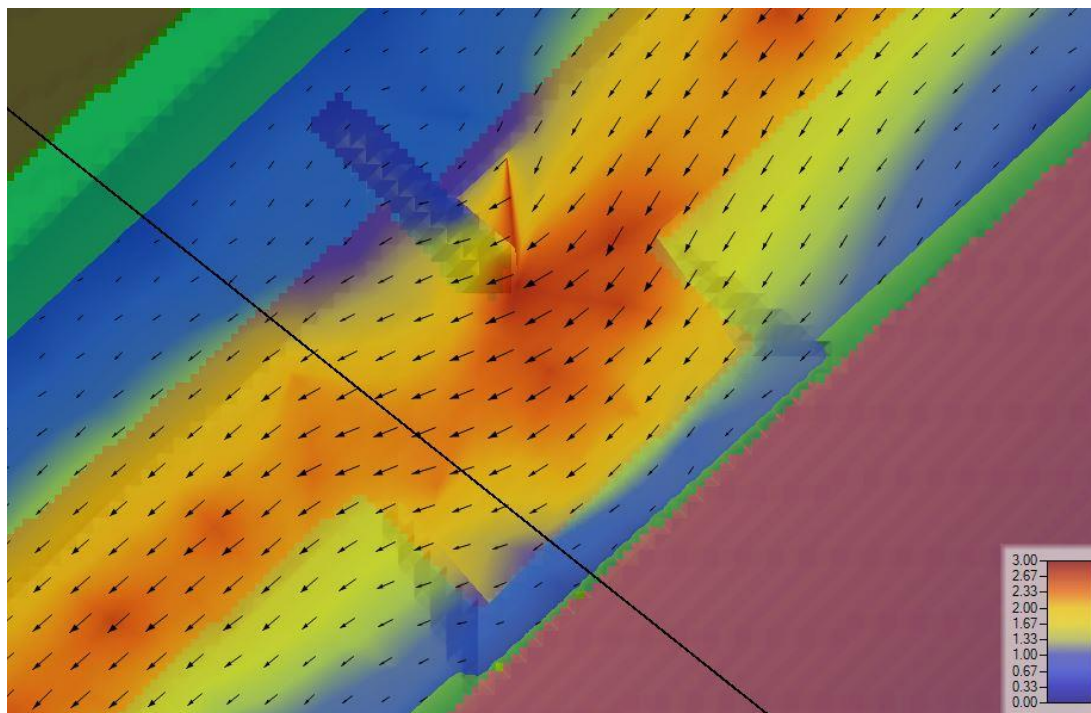
Obr. 44 - rychlost v korytě se šipkami znázorňující směr proudu se znázorněnou absencí nátokové části.

6.5.2 Model č. 2

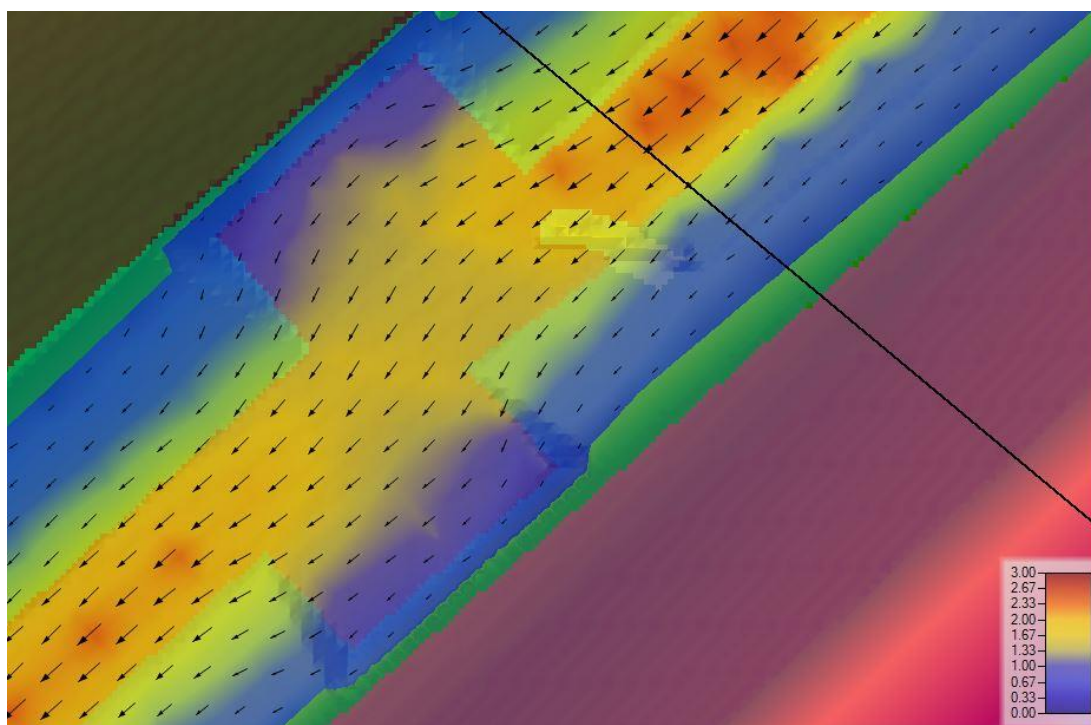
Tento model vychází z předchozího modelu č. 1. Rozdílem je délka nátrží, která byla zkrácená na polovinu, tzn. na 5 m.



Obr. 45 – Model koryta, kde jsou barevně znázorněny nadmořské výšky terénu



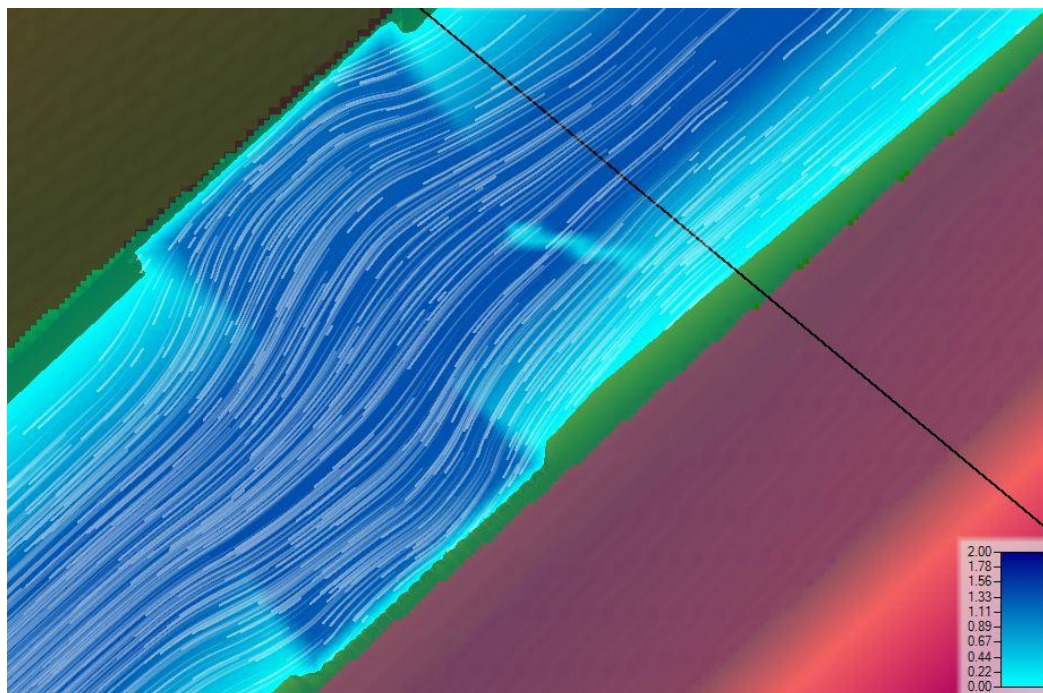
Obr. 46 - rychlost v korytě se šipkami znázorňující směr proudu při obtoku příčné překážky, legenda ukazuje rychlosti proudění, od modrých minimálních po červené maximální



Obr. 47 – Rozložení rychlostí a nasměrování proudu při obtoku šikmé příčné překážky se dvěma nátržemi

U tohoto modelu jsou jeho nedostatky viditelné na první pohled. Dochází sice k mírnému nasměrování proudu příčnou překážkou. Proud má sice dostatečnou rychlost, ale má kvůli absenci nátoky spíše tendenci překážku obtékat a vracet se

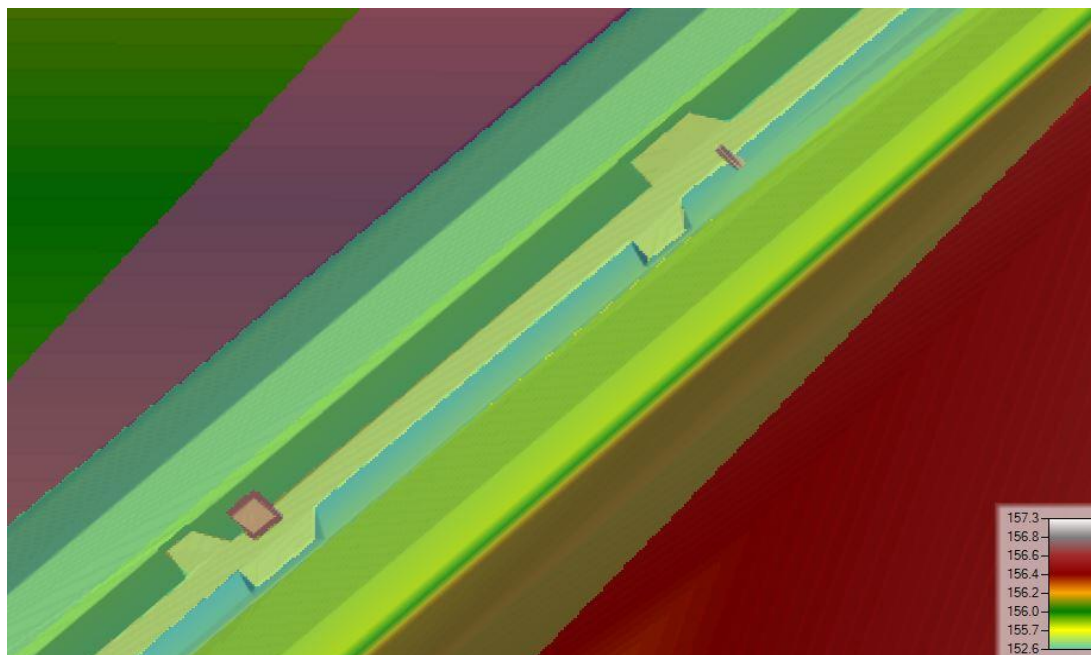
zpět do původního směru. Kvůli absenci nátokové části není usměrnění tak markantní jako v modelu 3 (kap. 6.5.3.).



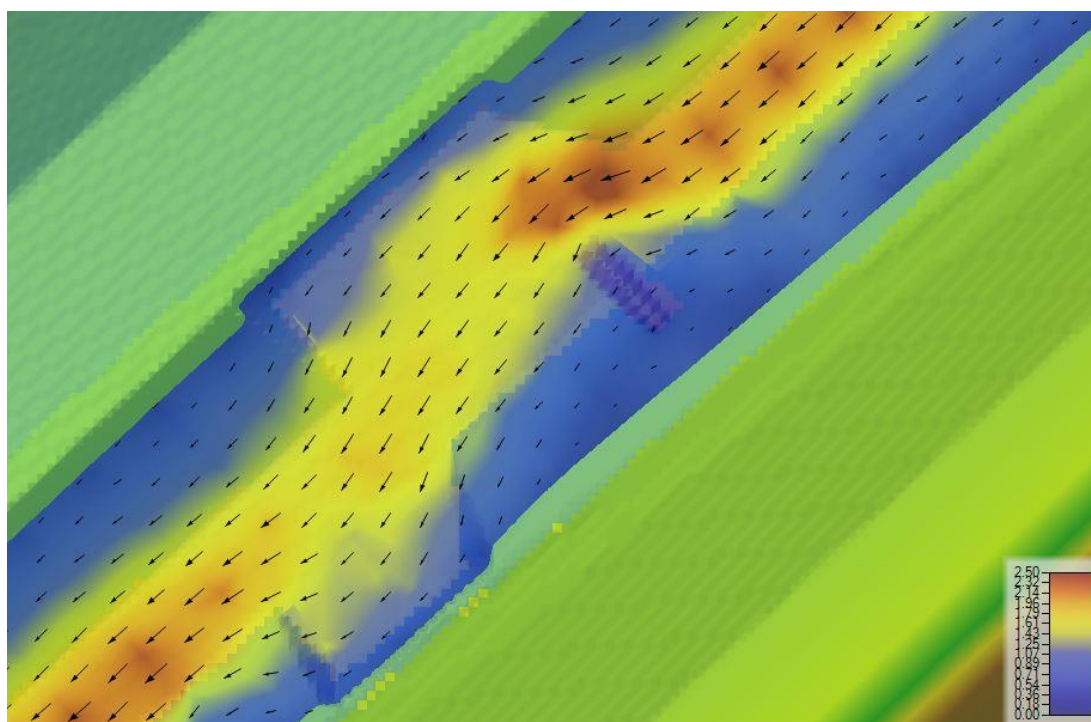
Obr. 48 – Trajektorie proudových částic podložené mapou hloubky koryta. Čím je barva tmavší, tím je koryto hlubší.

6.5.3 Model č. 3

Finální model, kde byl v jedné části jako překážka navržen vak, k němu dvě nátrže, jednu delší (rozměr viz kap. 6.5.1. model 1) a následnou zkrácenou na polovinu (viz. (rozměr viz. kap. 6.5.2. model 2)). Navržení těchto rozměrů ovlivňují zkušenosti z předchozích modelů. V tomto modelu již bylo uvažováno s nátoky do nátrží, které výrazně ovlivnily usměrnění proudu a erodování nátrže.



Obr. 49 – model koryta s barevně znázorněnou nadmořskou výškou terénu, patrné jsou příčné překážky, proti kterým jsou umístěny břehové nátrže



Obr. 50 – rychlost v korytě znázorňující směr proudu obtékající příčnou překážku bez vaku umístěného za ní

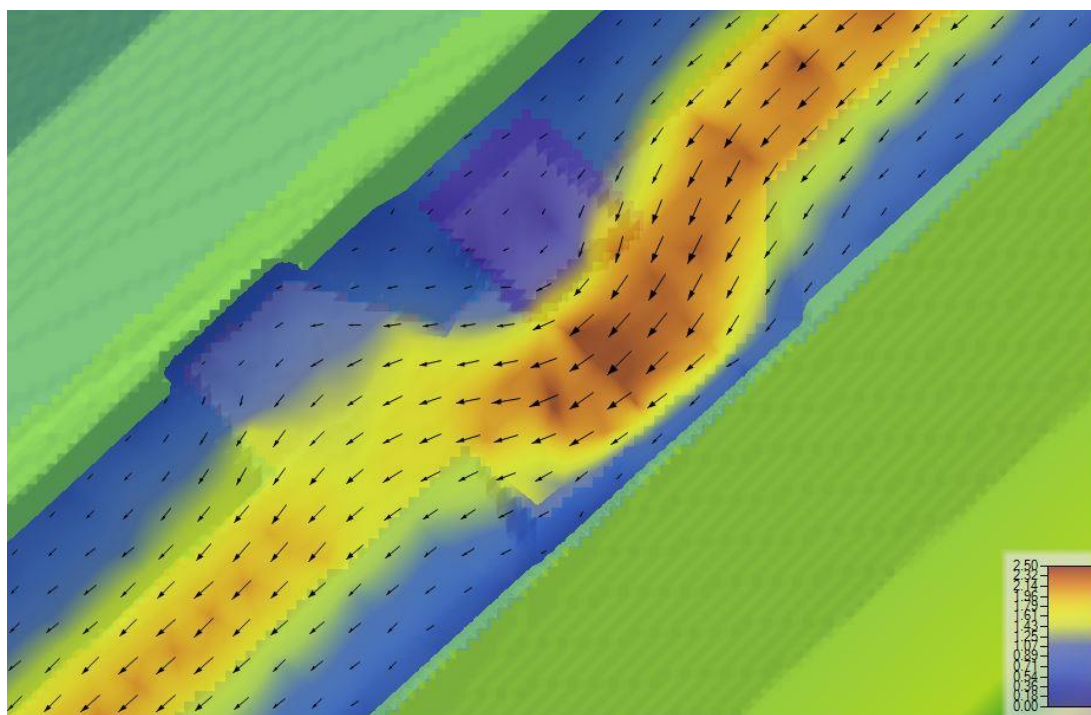
Obr. 50 znázorňuje rychlost v korytě při průtoku přes příčnou překážkou tvořenou jen kulatinami. Je vidět funkčnost nátoků, ale proud při obtékání překážky ztrácí na rychlosti oproti překážce s vakem (obr. 51).

Na obr. 51 je velmi dobře vidět účinnost navrženého biotechnického objektu (vaku s překážkou z kulatiny). I ze je patrná účinnost nátokových částí, které výrazně napomáhají ke vtoku do nátrží. Voda obtéká usměrňovací objekt s dostatečnou

rychlostí, která je schopna dobře erodovat nátrž a tvarovat tak koryto do požadovaných tvarů.

Díky nutnosti obtékat usměrňovací objekt je udržována rychlost, která má výrazně větší potenciál k erodování nátrže.

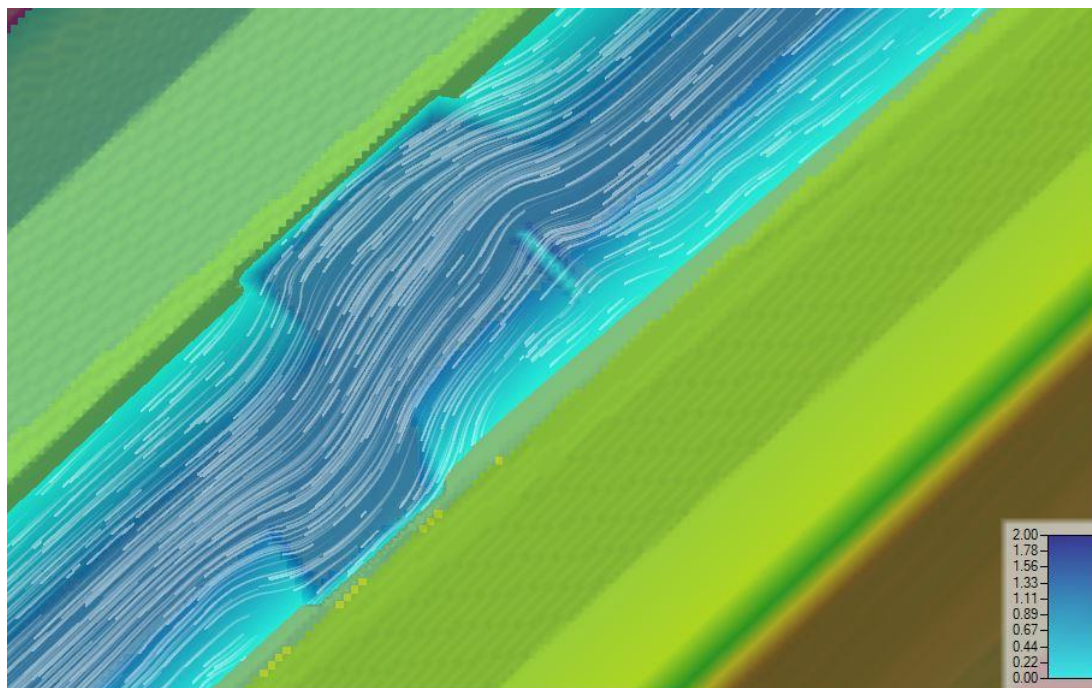
Do druhé nátrže již voda vtéká o něco pomaleji, ale díky nasměrování proudu a stále dostatečné rychlosti bude docházet k erozi.



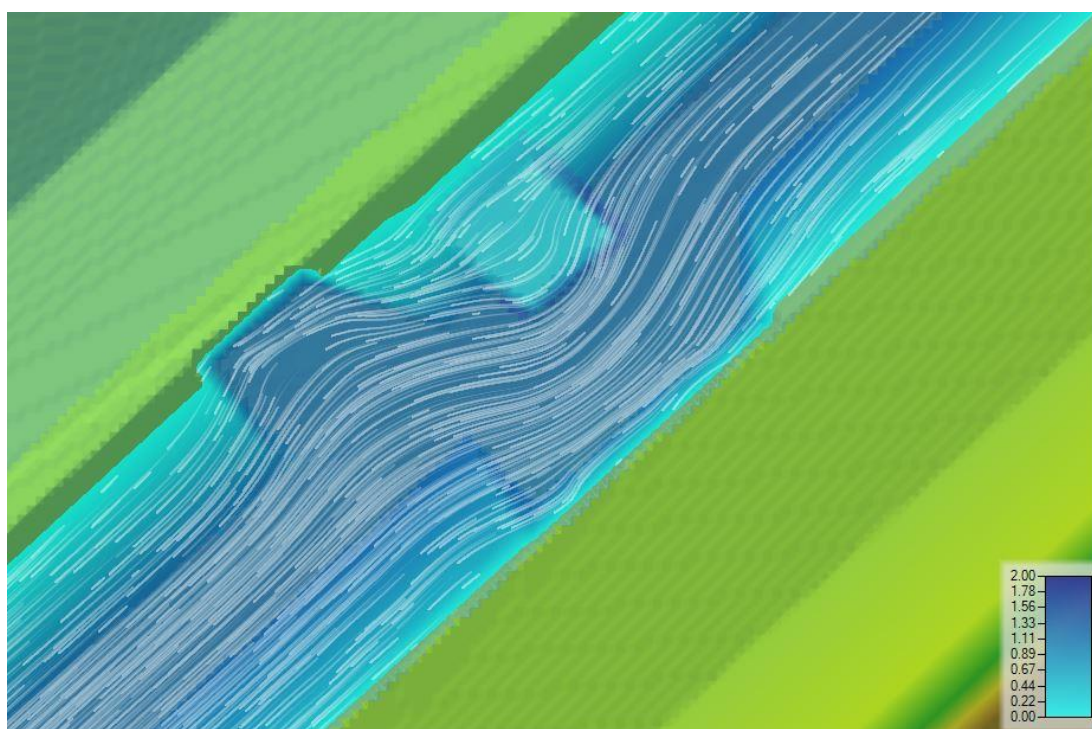
Obr. 51 – rychlost v korytě znázorňující směr proudu okolo vaku. V břehové nátrži naproti vaku je viditelná červenohnědá barva (vysoká rychlost), kde bude pravděpodobně docházet k výraznému erodování břehu

Na obr. 52 a obr. 53 jsou vidět trajektorie proudových částic, které ještě výrazněji znázorňují usměrňování proudu a je tak lépe viditelné usměrňování do nátrží, kde proud plní svou funkci, a to erozi. Díky této erozi se koryto vyvíjí a formuje.

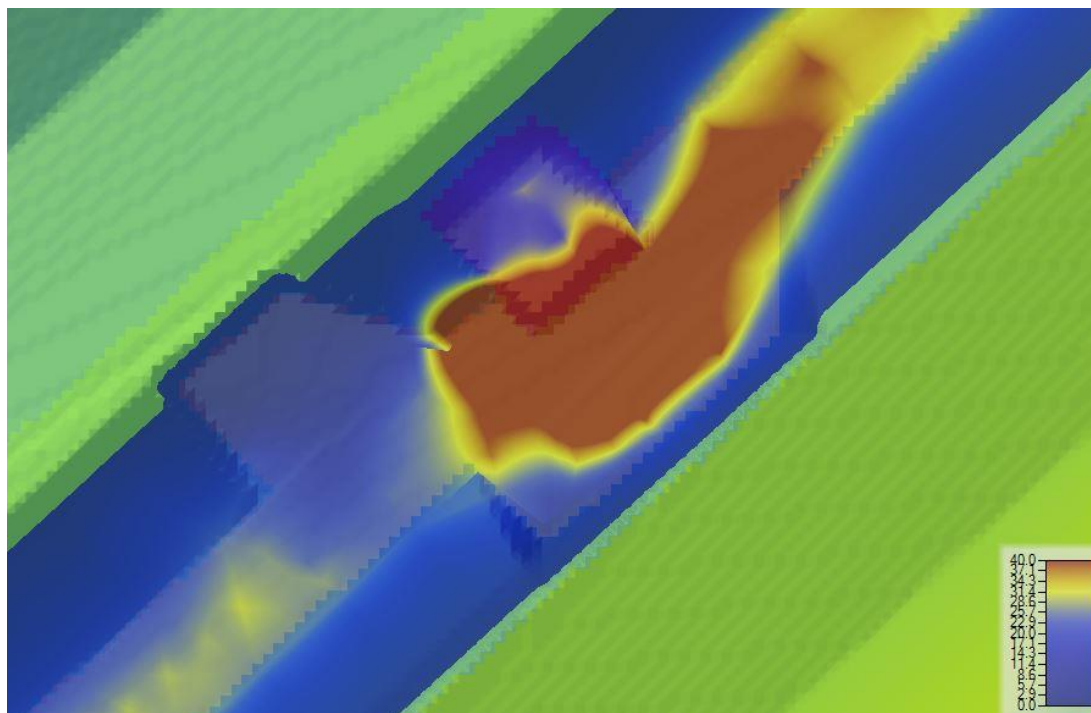
Na obr. 54 je znázorněna proudová energie. Obrázek je vložen z důvodu názorné ukázky udržení energie proudu při obtoku usměrňovacího objektu a vtoku do nátrže, a s tím související schopnosti erodování břehu.



Obr. 52 – zobrazení proudových částic při obtoku příčné překážky bez vaku, podkladem je mapa hloubky



Obr. 53 - zobrazení proudových částic při obtoku příčné překážky v podobě vaku, podkladem je mapa hloubky



Obr. 54 – Energie proudu okolo vaku, při obtoku dosahuje proud velké energie – červeně znázorněné

7. Závěry a doporučení vycházející z modelování

Na výstupech z modelů jsou velmi pěkně vidět nedostatky, které první dva modely nemají. Jedná se o **absenci nátokových částí** do břehových nátrží. Příčná překážka sice proud nutí překážku obtékat, ale v místech, kde by mělo docházet k erozi, je rychlost minimální. Nátoková část proud lépe navede do břehové nátrže při ponechání vyšších rychlostí, viz obrázek 46 versus 50.

Z modelu dále vyplývá, že proud lépe usměrňuje **překážka kolmá** na směr proudění než překážka šikmá, viz obrázky 43 versus 44.

Dále je lze dobře **vidět vyšší účinnost dvou nátrží místo jedné**. Dvě nátrže lépe usměrňují proud. Ten si při obtoku překážky ve formě vaku zachovává poměrně vysokou energii, se kterou vtéká do druhé, kratší nátrže, viz obrázek 54.

8. Diskuze

Cílem této diplomové práce byla spolupráce na projektu revitalizace vodního toku Rudava na západě Slovenska. Dílčím úkolem pak vyhotovit 2D model pro posouzení účinnosti navrhovaných opatření. Proto je nutné nejdříve revitalizacím a jejím způsobům porozumět. To bylo podrobně popsáno v rešeršní části v kapitole 3.

V současné době je již způsob revitalizací vodních toků celkem rozšířená záležitost. V České republice se úspěšně revitalizuje od přelomu tisíciletí. Velmi dobrým příkladem jedné z prvních úspěšných revitalizací je revitalizace potoka Borová na Českokrumlovsku (viz kapitola 3. 4.), která první povodni čelila hned rok po svém zhotovení. A obstála. Potvrdily se předpoklady o tlumení povodňové vlny a vesměs všechny zkušenosti odborníků z Německa, kteří takto úspěšně revitalizují už od osmdesátých let.

Existuje revitalizační způsob v České republice téměř nepoužívaný. Jedná se o renaturační způsoby spočívající v přirozené obnově koryta vodního toku. V případě ponechání koryta, ať se samo vyvine, není finančně vůbec náročné. Ale ne vždy to ale jde a funguje. Některá koryta jsou opevněna takovým způsobem, že si s ním tok neporadí. V těchto případech se přistupuje k tzv. řízené renaturaci, kdy se vodnímu toku jistým způsobem pomůže. Např. odstraněním opevnění, jistým způsobem směřovanou údržbou (např. střídavé vyžínání, střídavé vykácení dřevin apod.) nebo způsobem, kterým se zabývá tato diplomová práce, a to usměrněním proudu ve vodním toku za pomoci usměrňovacích, v tomto případě biotechnických, objektů. Návrh usměrňovacích objektů byl jednou z dílčích částí této práce (viz kapitola 6.2). Výsledný návrh biotechnického usměrňovacího objektu je podrobně popsán v kapitole 6.2.9. Součástí kapitoly jsou i schémata (obr. 27 až obr. 34).

S biotechnickými objekty úzce souvisí aplikace dřevní hmoty do vodního toku. V České republice je v současnosti z vodohospodářského hlediska dřevo ve vodním toku i přes své výhody bráno jako průtočná překážka a ve Vodním zákoně stojí povinnost udržovat koryta vodních toků dostatečně průtočná, což si ve své podstatě protiče s vkládáním dřeva do vodních toků. I přes nenáklonnost legislativy dochází při revitalizačních pracích k umístování prvků do vodního toku či do jeho blízkosti (do říční nivy). Dřevo přináší do vodního toku bezesporu velké výhody. Za zásadní lze považovat zvýšení biodiverzity a zlepšení hydromorfologického stavu.

Dřevo ve vodním toku představuje krytové příležitosti pro vodní živočichy, hlavně pro ryby, a bezesporu i významný potravní zdroj.

Ovšem vložení dřevní hmoty tak, aby správně plnila hydromorfologickou funkci, vyžaduje znalosti fluviální morfologie. Bez těchto znalostí by účinky dřeva z hlediska morfologie nebyly tak efektivní.

Velké pozitivum představuje ověření tohoto hydromorfologického účinku za pomoci hydrotechnického modelu, jako například výstup 2D modelu z programu HEC – RAS. Výhodu představují viditelné případné nedostatky, které mohou být změnou návrhových parametrů přehodnoceny a následně upraveny. Například viditelnost velmi dobrého účinku vaku z kokosové rohože umístěného za příčnou překážkou z kulatin. Proud si při obtékání vaku zachovává rychlost a je tak schopen lépe erodovat vytvořenou břehovou nátrž. (viz obr. 51) Dobře viditelné jsou i nedostatky některých navrhovaných opatření viz např. absence nátokových částí do vytvořených břehových nátrží.

9. Závěr

Tato práce se zabývala hydrotechnickou podporou experimentální revitalizace vodního toku Rudava na Slovensku. Ta do sebe zahrnovala návrh biotechnických usměrňovacích objektů a posouzení jejich vlivu na renaturační postupy pomocí hydrotechnického modelu, které bylo hlavním cílem práce.

Samotnému návrhu biotechnických objektů předcházelo mapování terénu, které bylo provedeno autorem práce 1. 6. 2019. Fotodokumentace je přiložena formou příloh. Při tomto průzkumu byl zjištěn nevyhovující stav v minulosti upraveného vodního toku, obložení paty svahu betonovými dlažicemi, a tak je prováděná revitalizace na místě. Též byla zjištěna tendence toku v některých místech erodovat břehy a vytvářet tak různé výmoly a nátrže v březích. **Skutečnost, že říčka Rudava protéká oblastí vátých písků ještě umocňuje výhodu použití renaturační metody, protože písky, eventuálně štěrkopísky, jsou dobře erodovatelné materiály.** (viz. příloha č. 5)

Po návrhu biotechnických objektů a konzultací v řešitelské skupině byla na základě hydrotechnického 2D modelu v softwaru HEC – RAS posouzena funkčnost jednotlivých opatření a jejich vliv na renaturační funkci na celkem třech modelech.

Jako nejlepší řešení usměrňovacího objektu se ukázal vak z kokosové rohože naplněný místním materiálem, který v kombinaci s příčnou překážkou ze čtyř neodkorněných kulatin tvoří ideální kombinaci. **Na spodní kulatině bylo navrženo zachování kořenového systému, kde je předpoklad přínosu hlavně po biologické stránce.**

V renaturačních metodách při navracování přírodního charakteru vodním tokům je jistě do budoucna velký potenciál. Je jednoznačné, že by si většina upravených toků zasloužila navrátit přírodní charakter. **Renaturace představují finančně nenáročnou variantu což je dle mého názoru velmi přínosné.** Na druhou stranu projev účinků chce svůj čas.

10. Seznam zdrojů a použité literatury

10.1 Odborné publikace a články

ABBE, T.B., D.R. MONTGOMERY, AND C. PETROFF (1997), *Design of stable in-channel wood debris structures for bank protection and habitat restoration: an example from the Cowlitz River, WA*. Proceedings of the Conference on Management of Landscapes Disturbed by Channel Incision. Edited by Wang, S.S.Y., Langendoen, E.J., and Shields, F.D., Jr., Univ. of Miss., Oxford, MS, pp. 809–816.

ABBE, T.B., PESS G., D. R. MONTGOMERY, K. L. FETHERSON (2003): *Integrating Engineered Log Jam Technology*, In: *Restoration of puget sound rivers* by David R. Montgomery, Susan Bolton, Derek B. Booth, and Leslie Wall University of Washington Seattle, WA, and London, UK 512 pages ISBN 0-295-98295-0

ABBE, T.B. – MONTGOMERY, D.R. (2003): *Patterns and processes of wood debris accumulation in the Queets river basin*, Washington. *Geomorphology*, 51, s. 81-107.

ABBE, T. A., A. P. BROOKS, and D. R. MONTGOMERY (2003): *Wood in river rehabilitation and management*. Pages 367-389 in S.V. Gregory, K.L. Boyer, and A. M. Gurnell, editors. *The ecology and management of wood in world rivers*. American Fisheries Society, Symposium 37, Bethesda, Maryland.

BRIERLEY, G.J. – FRYIRS, K. – TAYLOR, M.P. – BROOKS, A.P. (2005): *Did humid-temperate rivers in the Old and New Worlds respond differently to clearance of riparian vegetation and removal of woody debris?* *Progress in Physical Geography*, 29, s. 27-49.

BOOTH, D.B. – MONTGOMERY, D.R. – BETHEL, J. (1997): *Large woody debris in urban streams of the Pacific Northwest*. In: *Proceedings of the Engineering Foundation Conference*. s. 178-197.

BROŽA, V., (2017): Úvahy o možnostech přispět k rozvoji vodních zdrojů (vodního bohatství) v ČR. Vodní hospodářství. 8/2017: 24-26 s.

BUREAU OF RECLAMATION AND U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, (2015): *National Large Wood Manual: Assessment, Planning, Design, and Maintenance of Large Wood in Fluvial Ecosystems: Restoring Process, Function, and Structure*. 628 pages + Appendix.

CÍLEK, V., JUST, T., SŮVOVÁ, Z., a kol., (2017): Voda a krajina. Kniha o životě s vodou a návratu k přirozené krajině. Dokořán, Praha, 198 s.

CLARKE, R.T. (1973): *Mathematical models in hydrology: Irrigation and Drainage paper No. 19*. Rome: FAO.

DAŇHELKA, J. (2003): *Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR*. Vyd. 1. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 196 s. ISBN 80-866-9003-2

DOSTÁL T., (2008): *Zásady revitalizace drobných vodotečí: Principles of revitalization of small streams*. Praha: České vysoké učení technické, 22 s. ISBN 978- 80-01-04033-1.

DIEHL, T.H. (1997): *Potential drift accumulation at bridges*. US Department of Transportation, Federal Highway Transportation, FHWA-RD-97-028.

EHLICH, P., GERGEL, J., ZUNA, J., NOVÁK, L., MERUŇKA, K. (1996): Metodické pokyny pro revitalizaci potoků. Projekt GA ČR 526/96/1040 a NAZV ČR RE 0960986278. VÚMOP. Praha, 72 s.

FALK a kol. (2006): *Foundations of Restoration Ecology*. Washington DC: Island. In: PALMER, M. A. a kol. (2014): *Ecological Restoration of Streams and Rivers: Shifting Strategies and Shifting Goals*. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 4, s. 247-269.s

FLANAGAN, S.A. – FURNISS, M.J. – LEDWITH, T.S. – THEISSEN, S. – LOVE, M. – MOORE, K. – ORY, J. (1998): *Methods for inventory and environmental risk assessment of road drainage crossings*. USDA Forest Service, Pacific Southwest Region, Research paper, 56 s.

FRYIRS, K A. -- BRIERLEY, G J.(2013): *Geomorphic analysis of river systems : an approach to reading the landscape*. Chichester, West Sussex, UK ; Hoboken, NJ: Wiley, ISBN 9781405192743.

GARY W. a BRUNNER. *HEC-RAS River Analysis system: Hydraulic Reference Manual* [online]. Version 5.0 Davis California, 2017 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HECRAS%205.0%202D%20Modeling%20Users%20Manual.pdf>

GEBLER R. J. (2005) *Entwicklung naturnaher Bäche und Flüsse*. Massnahmen zur Strukturverbesserung.

GERHARD, M. – REICH, M. (2000): *Restoration of streams with large wood: Effects of accumulated and built-in wood on channel morphology, habitat diversity and aquatic fauna*. International Review of Hydrobiology, 85, s. 123-137.

GREGORY, S.V. – BOYER, K.L. – GURNELL, A.M. (2003): *The ecology and management of wood in world rivers*. International Conference on Wood in World Rivers. American Fisheries Society 37, Bethesda, Maryland, s. 444.

GREŠKOVÁ, A. (1997), *Hydrological regime of the riparian landscape of the Morava river in the light of the past and recent ganges* In : Moravian geographical reports, volume 5, number 2, 1997, ISSN: 1210- 8812

GREŠKOVÁ, A. (2005A): *Geomorfologické účinky dreva v korytách riek – úvod do problematiky*. In: Rypl, J. (Ed.): *Stav geomorfologických výskumů v roce 2005*. Jihočeská univerzita, České Budějovice, Nové Hrady, s. 59-62.

GREŠKOVÁ, A. (2005B): *Zvyšky dreva v korytách riek:interakcie s korytovou morfológiou a fluviálnymi procesmi*. Geomorphologia Slovaca, 5, s. 21-33.

GREŠKOVÁ, A. (2006): *Využitie akumulácií zvyškov dreva (Large Woody Debris) pri revitalizácii riečnych korýt*. In: Herber, V. (Ed.): Fyzickogeografický zborník 4, Fyzická geografia - teorie a aplikace. Masarykova univerzita, Brno, s. 113-119.

GROLL, M., (2017). *The passive river restoration approach as an efficient tool to improve the hydromorphological diversity of rivers – Case study from two river restoration projects in the German lower mountain range*. *Geomorphology* [online]. ISSN 0169555X. Dostupné z: doi:10.1016/j.geomorph.2017.05.004

HABERSACK, H. (2005): *Posudek týkající se vegetace a povodní v Podyjí - management mrtvého dřeva*. Hainersdorf, 29 s.

HAVLÍK, V., MAREŠOVÁ, I. (1994). *Hydraulika II, Příklady*, ČVUT Praha. 1994,

JUST, T. (2003): *Revitalizace vodního prostředí*. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. Praha, 144 s.

JUST, T. (2005): *Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi*. Česko: Český svaz ochránců přírody, Praha, 359 s.

JUST, T. – VALENTOVÁ, M. (2006): *Mrtvé dřevo přináší život do řek a potoků*. Přeloženo z německého originálu autorů von Siemens, M.; Hanfland, S., Bavorský zemský úřad pro životní prostředí a AOPK ČR, 47 s.

JUST, T. (2010): *Přírodě blízké úpravy vodních toků v intravilánech a jejich význam v ochraně před povodněmi*. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. Praha, 213 s.

JUST, T. (2016): *Ekologicky orientovaná správa vodních toků v oblasti péče o jejich morfologický stav*. Metodika - Agentury ochrany přírody a krajiny ČR. Praha, 81 s.

JUST, T. (2019): *Prohlídka některých starších revitalizací vodních toků*, Vodní hospodářství 4/2019, str. 23-28.

KOŽENÝ, P. – SIMON, O. (2006): *Analýza naplavené dřevní hmoty na nádrži Znojmo po jarní povodni 2006*. In: Říční krajina 4. Olomouc, 1. vydání, Univerzita Palackého, Olomouc, 2006, s. 111 – 117. ISBN 80-244-1495-3

Machar I. (2007): *Biodiverzita ptáků lužního lesa*. In: Měkotová J., Štěrbá O. (eds.), Říční krajina 5. Sborník příspěvků z vědecké konference, Univerzita Palackého v Olomouci a Česká společnost pro ekologii krajiny: 185 – 189.

KOŽENÝ P, BALVÍN P, KULT A, SIMON O, SUCHARDA M, MÁČKA Z. (2011). *Význam a management dřevní hmoty v tocích*. Manuscript dep. in Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka Praha, 99 s. + přílohy.

KRÁLOVÁ, H. (2001) *:Řeky pro život: revitalizace řek a péče o nivní biotopy*. Brno: Veronica, 439 s. ISBN 80-238-8939-7.

KEJČÍ L. (2010): *Struktura, dynamika a geomorfologické účinky dřevní hmoty v korytech vodních toků lesních vegetačních stupňů ČR*. Disertační práce, Masarykova univerzita, 224 s.

KUJANOVÁ, K., MATOUŠKOVÁ, M., (2017): *Typy vodních toků na území České republiky z pohledu hydromorfologie*. Vodní hospodářství. 12/2017: 2-5 s

LANGHAMMER, J. (ed.), 2008. *Údolní niva jako prostor ovlivňující průběh a následky povodní*. PřF UK Praha, MŽP ČR, Praha, 278 pp.

LANGHAMMER J. (ed.), 2007. *Povodně a změny v krajině*. PřF UK a MŽP, Praha, 350 pp.

MACURA, Lukáš, (1966). *ÚPRAVY TOKOV*. Bratislava: SVTL,n.p. ISBN 63-552-66

MÁČKA, Z. a KREJČÍ L.,(2011): *Říční dřevo ve vodních tocích čr.* Brno: Masarykova univerzita. ISBN 9788021056244.

MÁČKA, Z. – KREJČÍ, L. (2006): *Prognóza geomorfologického vývoje řeky Moravy v úseku od jezu Hynkov po Kenickou lávku (NPR Ramena řeky Moravy, CHKO Litovelské Pomoraví).* Brno. 63 s. + 17 s. (přílohy).

MADSEN, B. L. a TENT, L. (2000): *Bessere Bache.* Edmund Siemers Stiftung, 2000.

MÁCHOVÁ, Jana a Petr HOVORKA.(2013): *Protipovodňová opatření.* Vodňany: Střední rybářská škola a Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie. ISBN 978-80-87096-17-8.

MATHESON, A., Thoms M. a REID M. (2017): *Does reintroducing large wood influence the hydraulic landscape of a lowland river system?* Geomorphology [online]. ISSN 0169555X. Dostupné z: doi:10.1016/j.geomorph.2017.03.035)

MATOUŠEK, V., (2002): *Stoletá povodeň na revitalizovaném potoce Borová.* Vodní hospodářství. 10/2002: 5-11 s.

MATOUŠKOVÁ, M. (2007): *Revitalizace vodních ekosystémů a jejich význam v protipovodňové ochraně,* Povodně a změny v krajině, Praha, 343-355

MATOUŠKOVÁ, M., MATTAS, D., (2003): *Hydroekologické hodnocení vodních toků.* Vodní hospodářství, 10/2003: 279–282 s.

NAIMAN, R.J. – BALIAN, E.V. – BARTZ, K.K. – BILBY, R.E. – LATTERELL, J.J. (2002): *Dead wood dynamics in stream ecosystems.* USDA Forest Service General technical report PSW-GTR-181, s. 23-48.

NĚMEC, J., HLADNÝ, J. a kol. (2006): *Voda v České republice.* Consult, Praha, 253 s.

PECH P., ROUB R. (2014): *Hydraulika - příklady: pro posluchače Fakulty životního prostředí a Fakulty lesnické a dřevařské* - Vyd. 1. - V Praze : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2014. - 155 s. ISBN 978-80-213-2485-5

POKORNÝ, J. (2009): *Vodní hospodářství: stavby v rybářství*. Praha: Informatorium, ISBN 978-80-7333-071-2.

SATRAPA, L., HAVLÍK A. a PICEK T. (2014): *Vodní hospodářství: vodní toky a vodní stavby*. Vodňany: Střední rybářská škola a Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie. ISBN 978-80-87096-18-5.

SEEHORN M. E. (1985): *Stream habitat improvement handbook*, USDA Forest Service Southern Region 1720 Peachtree Road, N.W. Atlanta, Georgia 30367-9102

SUCHARDA M.,(2018): *Říční dřevo jako biotechnický objekt pro revitalizaci vodních toků*, Sborník konference Říční krajina 12 se zaměřením na problematiku řek a okolní krajiny, Praha 2018

ŠEDIVÝ V., VRÁNA K. (2011): *Vodní hospodářství: hydraulika, malé vodní nádrže, revitalizace krajiny*. Vodňany: Střední rybářská škola a Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie

ŠINDLAR, Miloslav (2012): *Geomorfologické procesy vývoje vodních toků. Část I., Typologie korytotvorných procesů*. Vyd. 2. Hradec Králové: Sindlar Group. 148 s. ISBN 9788025424452.

ŠLEZINGR, M. a L. ÚŘADNÍČEK, (2009): *Vegetační doprovod vodních toků*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. ISBN 978-80-7375-349-8.

ŠLEZINGR M., (2010), *Revitalizace toků: Příspěvek k problematice úprav vodních toků*

ŠTĚRBA, O. et. al.(2008): *Říční krajina a její ekosystémy*. UP Olomouc. 226 s.

ÚRADNÍČEK, L., ŠLEZINGR, M. (2007): *Stabilizace břehů* CERM Brno

VRÁNA, Karel (2004): *Revitalizace malých vodních toků: součást péče o krajinu*. 1. vyd. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR, 60 s. ISBN 8090213294.

VRÁNA, K., VEJVALKOVÁ, M. (2015): *Vývoj oboru revitalizace drobných vodních toků*. Fórum ochrany přírody. 2, s. 24-27.

YOCHUM Steven E. (2018). *Guidance for Stream Restoration*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, National Stream & Aquatic Ecology Center, Technical Note TN-102.4. Fort Collins, CO.

WOHL, E., (2016). *Bridging the gaps: An overview of wood across time and space in diverse rivers*. Geomorphology.

WOHL, E., ANGERMEIER, P. L., BLEDSOE, B., KONDOLF, M. G., MACDONNELL, L., MERRITT, D. M., PALMER, M. A., LEROY POFF, N., TARBOTON, D. (2005): *River restoration*. Water resources research, 41, 12 s.

10.2 Internetové zdroje:

AOPK (2016): Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. Vodní toky – otázky k revitalizacím. [online, cit. 2020-3-2]. Dostupné z: <http://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/revitalizace-vodnich-toku/odborne-clanky-k-metodice-revitalizaci/>

EKOLOGICKÉ CENTRUM MOST, 2013: Revitalizace vodních toků [online]. [vid. 2020-03-15]. Dostupné z: http://www.ecmost.cz/clanky.php?page=revitalizace_voda

ŠTÁTNA OCHRANA PŘÍRODY SR (2020), [online]. [vid. 2020-03-12]. Dostupné z: <http://www.sopsr.sk/web/>

ŠTÁTNA OCHRANA PŘÍRODY SR (2020), Rudava, Natura 2000 [online]. [vid. 2020-03-18] Dostupné z: http://www.sopsr.sk/natura/doc/inf_brozury/Rudava.pdf

RUDAVA, KLENOT ZAHORIE (2019), [online]. [vid. 2020-03-18] Dostupné z: <https://muskarenie.sk/muskarske-rybarske-reviry/rieka-rudava-rybarsky-revir/>

AOPK (2020): Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. Přírodě blízká protipovodňová opatření [online]. [vid. 2020-03-20] Dostupné z: <http://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/prirode-blizka-protipovodnova-ochrana-pbppo/>

POVODNĚ V PRAZE (2013) Deník metro, Galerie pražských povodní [online]. [vid. 2020-02-20] Dostupné z: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. https://www.metro.cz/galerie-podivejte-se-jak-vypadala-zaplavena-praha-pred-100-lety/pto/praha.aspx?c=A130606_122415_metro-extra_row

10.3 Podklady

Mapy.cz [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z www.mapy.cz

Mapa.sk [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z www.mapa.zoznam.sk

10.4 Legislativa

Zákon č. 254/2001 Sb. ve znění pozdějších předpisů – Zákon o vodách

Zákon č. 364/2004 Sb. ve znění neskorších předpisů – Vodný zákon

11. Seznam příloh

Příloha č.1 – Koryto Rudavy v části pod mostem silnice I/2 (foto: V. Podlaha)

Příloha č.2 – Vodoměrná stanice (foto: V. Podlaha)

Příloha č.3 – Pohled na bermu s břehovou vegetací (foto: V. Podlaha)

Příloha č.4 – Nátok do upravené části pod mostem dálnice D2 (foto: V. Podlaha)

Příloha č.5 – Erodování břehu (foto: V. Podlaha)

Příloha č.6 – Snížená ochranná hráz, v pozadí další břehová eroze (foto: V. Podlaha)

Příloha č.7 – Neupravené přírodní koryto Rudavy (foto: V. Podlaha)

Příloha č.8 – Neupravené přírodní koryto Rudavy s přítomným říčním dřevem (foto: V. Podlaha)

11.1 Přílohy



Příloha č.1 – Koryto Rudavy v části pod mostem silnice I/2 (foto: V. Podlaha)



Příloha č.2 – Vodoměrná stanice (foto: V. Podlaha)



Příloha č.3 – Pohled na bermu s břehovou vegetací (foto: V. Podlaha)



Příloha č.4 – Nátok do upravené části pod mostem dálnice D2 (foto: V. Podlaha)



Příloha č.5 – Erodivání břehu (foto: V. Podlaha)



Příloha č.6 – Snížená ochranná hráz, v pozadí další břehová eroze (foto: V. Podlaha)



Příloha č.7 – neupravené přírodní koryto Rudavy (foto: V. Podlaha)



Příloha č.8 – neupravené přírodní koryto Rudavy s přítomným říčním dřevem(foto: V. Podlaha)