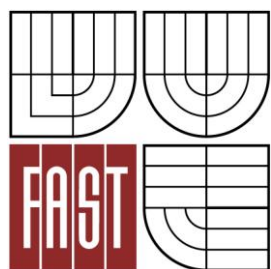




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

PŘÍRODNÍ SPÁDOVÝ STUPEŇ NA ŘECE MORÁVCE PO 4 LETÉM PROVOZU

NATURAL DROP STRUCTURE ON MORÁVKA RIVER AFTER 4 YEARS FUNCTIONING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

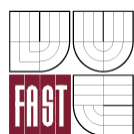
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ONDŘEJ SEDLÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ZBYNĚK ZACHOVAL, Ph.D.

BRNO 2012



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	Ondřej Sedláček
Název	Přírodní spádový stupeň na řece Morávce po 4 letém provozu
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2011
Datum odevzdání bakalářské práce	25. 5. 2012
V Brně dne 30. 11. 2011	

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

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

Podklady a literatura

Hunzinger L., 1999. Morphology in River Widenings of Limited Length. 28th IAHR Congress. Graz, 1999.
Raplík M., Výbora P., Mareš K., 1989. Úprava tokov. Alfa, 1989. ISBN 80-05-00128-2.
Veselý a kol., 2001. Fyzikální model přírodního spádového stupně na řece Morávce. Závěrečná zpráva. Brno, 2001.
HEC-RAS. User's Manual. Version 4.1. 2010

Zásady pro vypracování

Rešerše materiálů zabývajících se přírodním spádovým stupněm.
Místní šetření stavu realizovaného přírodního spádového stupně.
Vytvoření topografie návrhového a stávajícího stavu přírodního spádového stupně.
Vytvoření mapy nánosů a výmolů s udáním celkové změny objemu materiálu ve dně.
Vytvoření 1D numerického modelu úseku toku s přírodním spádovým stupněm za návrhového a stávajícího stavu.
Zhodnocení hladinových poměrů, stavu opevnění, stavu vegetace a splaveninového režimu.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací.
Pojednání o přírodním spádovém stupni.
Popis návrhového a stávajícího stavu přírodního spádového stupně.
Analýza historického vývoje dna a hladiny.
Závěr a zhodnocení.

.....
Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Autor bakalářské práce se zaměřuje na problematiku výstavby lokálních rozšíření a zúžení koryt. Pro lepší porozumění textu provádí rešerši základů obecné hydrauliky k dané problematice a uvádí zahraniční poznatky pro návrh lokálních rozšíření a zúžení koryt. Dále se zaměřuje na prostředky ke zpracování a vyhodnocení dat. V praktické části popisuje přírodní spádový stupeň na řece Morávce, kde porovnává původní stav se současným stavem po 4 letech provozu a doporučuje možné změny a úpravy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Místní rozšíření a zúžení koryta, přírodní spádový stupeň, transport splavenin, Morávka

ABSTRACT

The author of bachelor's thesis deals construction local river widening. For a better understanding of the text he perform search retrieval basis of hydraulics and result research dealing with the local river widening. The next section he deals with facility to processing and evaluation data. In the practical part he describe nature drop structure on the Morávka river, where he compare original state with actual state after four years functioning and he recommend changes and repairs.

KEYWORDS

Local river widening, nature drop structure, sediments transport, Morávka river

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

SEDLÁČEK, Ondřej. *Přírodní spádový stupeň na řece Morávce po 4 letém provozu*. Brno, 2011. 56 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 23. 5. 2012

.....
podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Zbyňku Zachovalovi, Ph.D. za velmi cenné rady a připomínky.

Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům Severomoravských vodovodů a kanalizací Ostrava a.s. za pomoc při měření dna současného stavu objektu.

OBSAH

1	ÚVOD	10
1.1	Úvodní slovo.....	10
1.2	Cíl práce.....	10
2	PROUDĚNÍ VODY A TRANSPORT SPLAVENIN	11
2.1	Typy proudění v říčním korytě	11
2.1.1	Ustálené a neustálené proudění	11
2.1.2	Laminární a turbulentní proudění	11
2.1.3	Proudění říční, kritické a bystřinné.....	12
2.2	Drsnost	13
2.2.1	Mikrodrsnost	13
2.2.2	Makrodrsnost	13
2.2.3	Drsnost od vegetace.....	13
2.3	Splaveniny a plaveniny v říčním korytě	14
2.3.1	Počátek pohybu a průtok splavenin	15
2.4	Lokální rozšíření a zúžení koryta.....	17
2.4.1	Metodika návrhu konstrukce.....	19
2.4.2	Morfologický vývoj dna	20
2.4.3	Opevnění.....	22
2.4.4	Výhony	22
2.4.5	Realizované stavby.....	23
3	POUŽITÉ PROSTŘEDKY PRO ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ DAT	25
3.1	SMS 10.1.....	25
3.1.1	Základní moduly	25
3.2	HEC-RAS.....	25
3.2.1	Princip výpočtu	26
4	PŘÍRODNÍ SPÁDOVÝ STUPEŇ NA ŘECE MORÁVCE	28
4.1	Popis lokality.....	28
4.2	Stav v roce 2008	29
4.3	Stav v roce 2011	30
4.4	Objemové změny dna	35
4.5	Určení drsností.....	39
4.5.1	Mikrodrsnost	39
4.5.2	Celková drsnost.....	41

4.6 Průběh hladin	45
4.7 Návrh změn a úprav	46
5 ZÁVĚR	48
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	49
SEZNAM TABULEK	51
SEZNAM OBRÁZKŮ	52
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	54

1 ÚVOD

1.1 ÚVODNÍ SLOVO

Vodní toky jsou nenahraditelnou součástí naší planety. Z historie je zřejmé, že se lidé zdržovali a budovali kolonie v jejich blízkosti. Voda je nedílnou součástí naší existence. Již dříve zajišťovaly vodní toky podmínky pro život a zlepšovaly lidem jejich produkci v zemědělství. Vodní toky měly a stále mají i nepříznivé účinky v podobě povodní, které ničí obydlí lidí či odplavují úrodu z polí [19]. Voda v této podobě dokáže být zničujícím živlem. Člověk proto přestal využívat čistě přírodního koryta toku a začal ho upravovat ke svým potřebám a ve svůj prospěch.

V minulém století se často realizovalo napřímení vodních toků a tedy jejich zkrácení, což způsobilo zvětšení podélného sklonu a zvětšení tečného napětí na dně koryta. Důsledkem je prohlubování koryta toku spojené se zvýšeným postupem sedimentů. Uvedenému jevu lze zabránit např. opětovným snížením podélného sklonu dna koryta spádovým stupněm. Autor práce se zaměřuje na analýzu stavu spádového stupně, který je svého druhu v České republice jediný a to přírodního spádového stupně na řece Morávce.

1.2 CÍL PRÁCE

Cílem práce je zhodnocení stavu přírodního spádového stupně po 4 letém provozu. V praktické části je na základě místního šetření zdokumentován současný stav a úroveň dna v přírodním spádovém stupni na řece Morávce. Porovnáním realizovaného a současného stavu jsou vyhodnoceny změny a navrženy možné úpravy.

2 PROUDĚNÍ VODY A TRANSPORT SPLAVENIN

Popis proudění vody přírodním spádovým stupněm je složitý jev. Pro jeho porozumění je nutné provést souhrn poznatků zabývajících se prouděním vody v říčním korytě.

2.1 TYPY PROUDĚNÍ V ŘÍČNÍM KORYTĚ

Pro popis proudění vody v řešené oblasti byl použit jednorozměrný (1D) model proudění. Jednorozměrný model předpokládá konstantní rychlost a konstantní polohu hladiny po celém průtočném profilu [8]. Typy proudění v otevřeném korytě lze rozdělit do těchto skupin:

- **Ustálené a neustálené.**
- **Laminární a turbulentní.**
- **Říční, kritické a bystrinné.**

2.1.1 Ustálené a neustálené proudění

Při **ustáleném** (stacionárním) proudění jsou hydraulické veličiny v čase neměnné, při **neustáleném** (nestacionárním) proudění jsou proměnné v čase. Ustálené proudění lze rozdělit na další dvě podskupiny:

- *Rovnoměrné proudění* se vyskytuje výhradně u prizmatických koryt, kdy průtočný průřez je po celé délce proudu neměnný (tvar i velikost plochy) a také drsnost omočeného obvodu a proto i průřezová rychlost je neměnná. Rovnoměrné proudění se v přírodě takřka nevyskytuje. Je možné se s ním setkat v upravených dlouhých umělých kanálech [4].
- *Nerovnoměrné proudění* je proudění, kde se hydraulické veličiny mění po délce proudu. Uvedené může způsobit proměnlivý sklon dna, proměnlivost příčných profilů a drsností [4].

V přírodě se nejčastěji vyskytuje neustálené proudění. Při návrhu koryt je možné pro krátký časový interval uvažovat ustálené proudění nerovnoměrné.

2.1.2 Laminární a turbulentní proudění

Způsob pohybu jednotlivých částic kapaliny při proudění vazkých tekutin značně ovlivňuje odpor kapaliny. Dle Reynoldse se rozlišují dva základní způsoby proudění:

- **Laminární**, kde dochází k proudění v jednotlivých a navzájem rovnoběžných vrstvách (lamelách) a jednotlivé vrstvy se nemísí (molekulární difúze se neuvažuje).
- **Turbulentní**, kde dochází k mísení jednotlivých vrstev turbulentními víry, které vyvolávají změnu rychlosti a tlaku. U říčních koryt se nejčastěji vyskytuje turbulentní pohyb.

Základním kritériem pro rozlišení uvedených proudění je Reynoldsovo kritérium

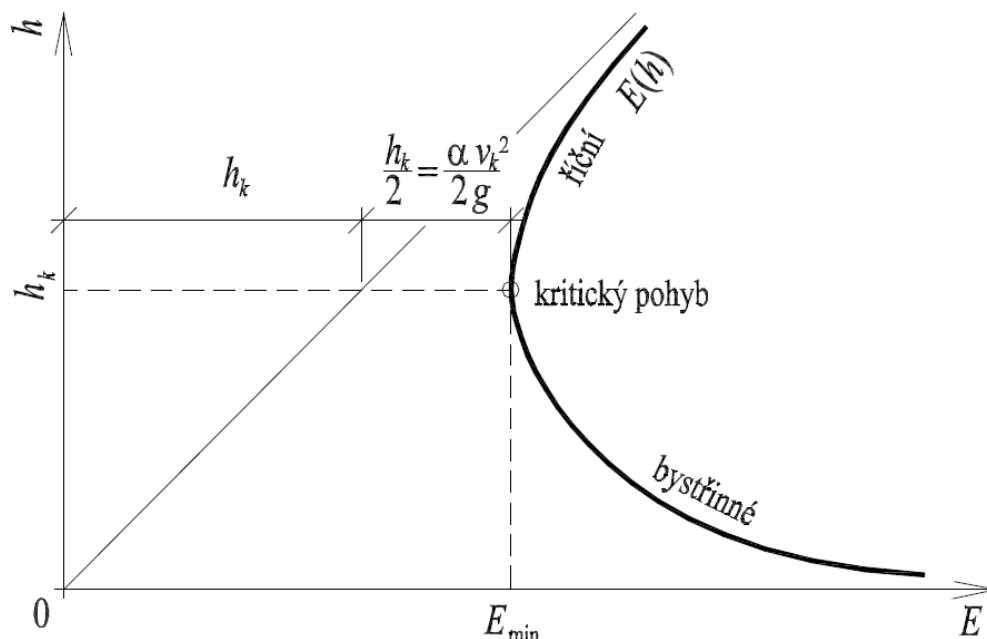
$$Re = \frac{vl}{\nu}, \quad (2.1)$$

kde: ν je charakteristická (obvykle průřezová rychlost) [m/s],
 l je charakteristický délkový rozměr (obvykle hydraulický poloměr R) [m],
 ν je kinematická viskozita kapaliny [m²/s].

V případě proudění s volnou hladinou je hranice dána hodnotou $Re \approx 580$. Hranice pro plně rozvinuté turbulentní proudění, což je jedním ze způsobů turbulentního proudění, je závislá na relativní drsnosti a Reynoldsově kritériu.

2.1.3 Proudění říční, kritické a bystrinné

U otevřených koryt se rozděluje proudění i z hlediska energie průřezu (Obr. 2.1), kterou je nutné znát při výpočtu průběhu hladin [4].



Obr. 2.1 Energetická výška průřezu [5]

Pro určení režimu proudění je vhodné použít výpočet dle Froudova kritéria

$$Fr = \frac{\alpha v^2}{gh_s}, \quad (2.2)$$

kde: α součinitel kinetické energie (Coriolisovo číslo) [-],
 g tíhové zrychlení [m/s²],
 h_s střední hloubka [m].

Froudovo kritérium určuje režim proudění:

- **Kritický**, kde $Fr = 1$.
- **Říční**, kde $Fr < 1$.
- **Bystrinný**, kde $Fr > 1$.

2.2 DRSNOST

Drsnost je důležitým podkladem pro výpočet průtoku, protože vyjadřuje odpor proudění. Může být charakterizována např. součinitelem drsnosti n [-], součinitelem tření λ [-], hydraulickou drsností Δ [m] a velikostí průměru zrna d [m] [20]. Pro praktický výpočet drsnosti vodních toků lze drsnost rozdělit na mikrodrsnost, mezodrsnost, makrodrsnost a drsnost od vegetace. Mezodrsnost, představuje přechodovou oblast mezi mikrodrsností a makrodrsností.

2.2.1 Mikrodrsnost

Mikrodrsnost, lze vyjádřit již zmiňovaným součinitelem drsnosti n , který je obsažen např. v Pavlovského a Manningově vztahu pro výpočet Chézyho rychlostního součinitele [19]. V návaznosti na Manningův výraz udává Strickler součinitel drsnosti, jenž závisí na velikosti zrna materiálu

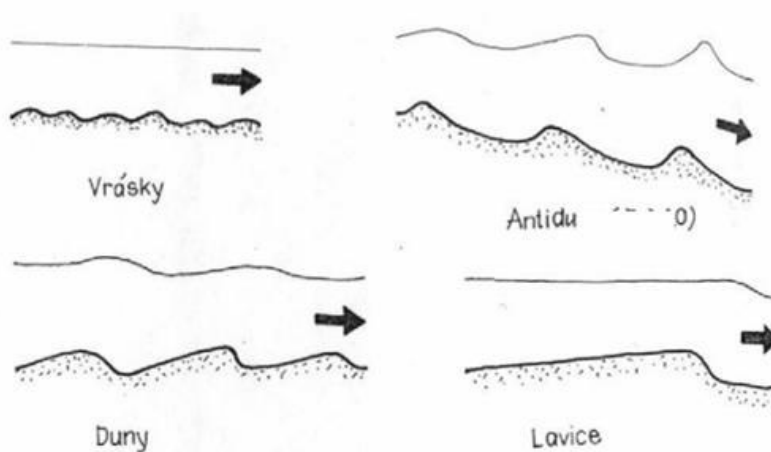
$$n = \frac{d_{90}^{1/6}}{26}, \quad (2.3)$$

kde: d_{90} je velikost zrna při 90% propadu [m].

Problematikou dalších možností vyjádření součinitelů drsnosti vyjadřujících mikrodrsnost se autor bakalářské práce vzhledem k rozsahu nezabývá a doporučuje pro bližší objasnění odbornou literaturu např. [19].

2.2.2 Makrodrsnost

Dno koryta toku je zřídka kdy rovné. Především jemnozrnné materiály vytváří na říčním dně dnové útvary (vrásky, duny, antiduny a lavice) (Obr. 2.2). Zvrásnění dna je tak význačné, že převažuje často nad zrnitostí materiálu [19].



Obr. 2.2 Dnové útvary [10]

2.2.3 Drsnost od vegetace

Porosty travin, keřů a stromů v říčním korytě značně ovlivňují celkový odpor proudění v toku. Důležité je rozlišovat, zdali se drsnost určuje ve vegetačním období či v zimních měsících. Právě to dominantně určuje velikosti odporu. Drsnost od vegetace je závislá

na jejím druhu, hustotě, stáří, olistění, polehnutí, uschnutí zelené nadzemní hmoty a délce vzrůstu, která je proměnná s časem [8].



Obr. 2.3 Přírodní spádový stupeň na řece Morávce ve vegetačním období zarostlý travními porosty a dřevinami výrazně zvyšující celkovou drsnost koryta [14]

2.3 SPLAVENINY A PLAVENINY V ŘÍČNÍM KORYTĚ

Síla proudu vody působí erozivně na dno a svahy koryta. Pokud materiál povrchu koryta neodolá účinkům těchto sil, dochází k pohybu jednotlivých zrn dna či svahů. V místech, kde je unášecí síla toku malá, dochází k ukládání splavenin. Nejdříve se usazují hrubé částice a později jemné částice [8]. Dle způsobu pohybu těchto částic se rozlišují:

- **Splaveniny**, které mají hrubší frakci a pohybují se po dně. Vytvářejí značné nánosy v korytě a způsobují tzv. divočení toků [12]. Dle ČSN 70 1001 lze rozdělit velikosti splavenin do skupin, které popisuje Tab. 3.1.

Tab. 2.1 Dělení splavenin dle ČSN 70 1001 [1]

název	velikost zrna [mm]
balvany	nad 250
kameny	130-250
štěrk hrubý	30-130
štěrk střední	8-30
štěrk drobný	2-8
písek hrubý	1-2
písek střední	0,25-1
písek jemný	0,06-0,25

- **Plaveniny**, které se pohybují ve vznosu. Částice vytváří s proudící vodou v korytě suspenzi [8].

Základní vlastnosti splavenin a plavenin vychází z křivky zrnitosti, kde důležitou charakteristikou je efektivní zrno d_{ef} [m]. Z křivky zrnitosti se dále určuje číslo stejnozrnnosti U [-] atd. [20].

2.3.1 Počátek pohybu a průtok splavenin

Počátek pohybu zrn lze vyjádřit několika způsoby.

Metoda tečného napětí je založena na základě stanovení tečného napětí τ [Pa] působícího po omočeném obvodu koryta. Pro stabilní koryto musí být splněna podmínka

$$\tau < \tau_k. \quad (2.4)$$

Pro stanovení kritického napětí τ_k [Pa] lze použít např. rovnic následujících autorů, kde *Schoklitsch* [5], doporučuje vztah

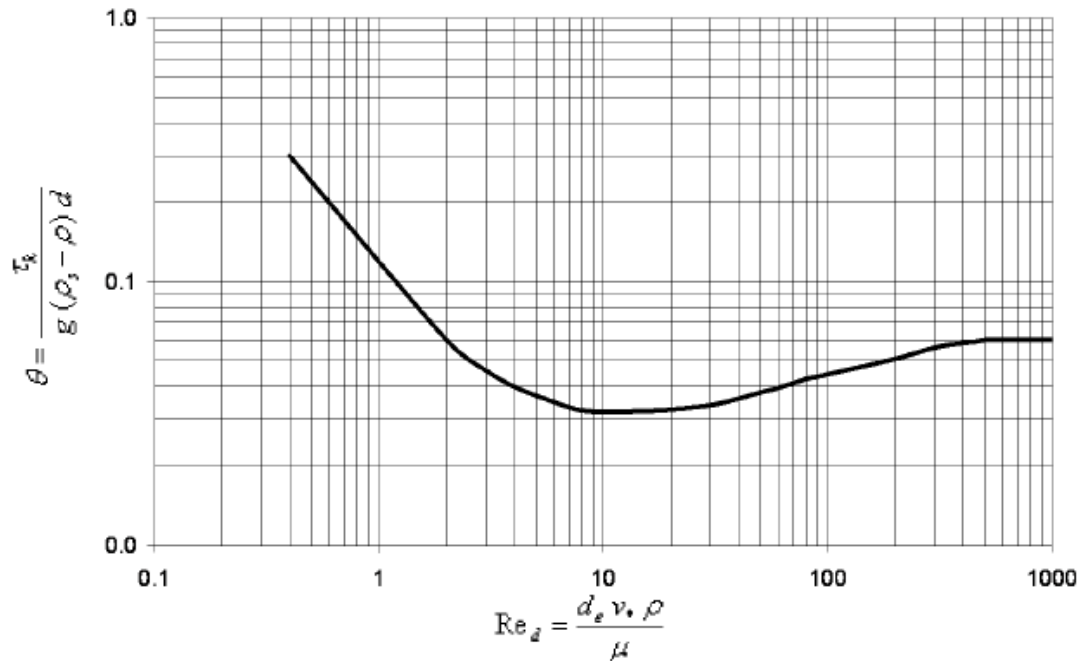
$$\tau_k = g[0,201(\rho_s - \rho)\rho C_t d_{ef}^3]^{1/2}, \quad (2.5)$$

kde: ρ_s je hustota materiálu splavenin [kg/m³],
 ρ je hustota vody [kg/m³],
 C_t je tvarový součinitel zrna, kde $C_t = 1$ pro kulová zrna $C_t = 4,4$ pro plochá zrna.

Krey [5], pro zrna větší, než $d_{ef} \geq 0,006$ mm doporučuje vztah

$$\tau_k = 0,076g(\rho_s - \rho)d_{ef} \quad (2.6)$$

Namísto rovnic se často používá i grafů a to např. *Shieldsův graf* [5], který zobrazuje Obr. 2.4.



Obr. 2.4 *Shieldsův graf vyjadřuje závislost Shieldsova parametru θ v závislosti na Reynoldsově kritériu splavenin Re_d [5]*

Metoda svislicové rychlosti [20], kde pro stabilní koryto je nutné splnění podmínky

$$v_{sn} < v_s < v_{sv}, \quad (2.7)$$

kde: v_{sn} je svislicová nezanášecí rychlost [m/s],
 v_s je svislicová rychlost [m/s],
 v_{sv} je svislicová nevymílací rychlost [m/s].

Metoda průřezové rychlosti [20], kde pro stabilní koryto je nutné splnění podmínky

$$v_n < v < v_v, \quad (2.8)$$

kde: v_n je průřezová nezanášecí rychlost [m/s],
 v je průřezová rychlost [m/s],
 v_v je průřezová nevymílací rychlost [m/s].

Průtok splavenin vyjadřuje objem transportovaných splavenin za jednotku času vztažených na jednotku šířky (specifický objemový průtok). Celkový specifický objemový průtok splavenin q_t se skládá z průtoku dnových splavenin q_b a průtoku plavenin q_s .

Pro výpočet průtoku dnových splavenin lze použít např. vztah dle *Mayer-Petera a Müllera* [5], který doporučuje

$$\rho \frac{Q_d}{Q} \left(\frac{k_s}{k_r} \right)^{\frac{3}{2}} h i = 0,047 \rho_s d_e + 0,25 \left(\frac{\rho}{g} \right)^{\frac{1}{3}} q_s^{\frac{2}{3}}, \quad (2.9)$$

kde: k_s je celkový součinitel drsnosti [-],
 k_r je součinitel drsnosti dle Stricklera [-].

Celkový průtok splavenin lze vyjádřit např. dle *Bangolda* [5], který doporučuje vztah

$$q_t = q_b + q_s, \quad (2.10)$$

$$q_b = \frac{0,13}{\tan \varphi - i_0} \frac{\rho f v^3}{(\rho_s - \rho) g}, \quad (\beta < \varphi), \quad (2.11)$$

$$q_s = \frac{0,01}{w_s / v - i_0} \frac{\rho f v^3}{(\rho_s - \rho) g}, \quad (i_0 < w_s / v), \quad (2.12)$$

kde: φ je úhel vnitřního tření [°],
 w_s je usazovací rychlost [m/s],
 i_0 je sklon dna.

2.4 LOKÁLNÍ ROZŠÍŘENÍ A ZÚŽENÍ KORYTA

Lokální rozšíření a zúžení koryta je moderním ekologickým prvkem v toku oblíbeným především v Evropě, který zvyšuje biologickou diverzitu. Využívá se k zabránění degradace dna. Umožňuje zvýšit sklon dna, aniž se výrazně naruší celkový transport splavenin v toku. Rozšířením koryta je obnovena původní divokost a dynamika říčního toku. Zvýšením dynamiky se zvýší různorodost rybí obsádky a bezobratlých živočichů [3].

Dělení dle varianty objektu:

- **Krátký objekt**, kde se energie proudu toku mění na ztráty především vlivem tření při rotačním proudění v objektu. Využívá se hlavně u méně vodnatých toků.
- **Dlouhý objekt**, kde se energie proudu toku přeměňuje na ztráty hlavně vlivem tření mělkého proudu kapaliny o dno. Využívá se hlavně na vodnatých tocích.

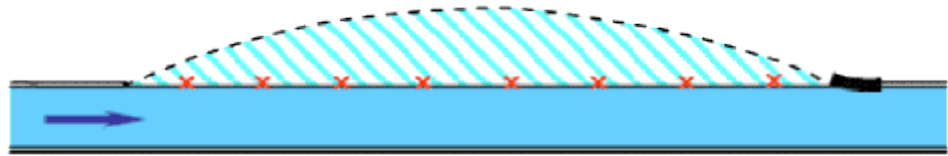
Při návrhu objektu není vyloučena kombinace předchozích uvedených variant [20].

Proudění v objektech místního rozšíření a zúžení koryta je složitý hydraulický jev, kde se jedná o nerovnoměrné proudění v nepravidelném korytě [13]. V dlouhém objektu lze pozorovat tři charakteristické úseky proudění:

- **Část rozšíření**, kde dochází k rozšíření proudu. Z hlediska dlouhodobého se zde deformuje dno.
- **Rozšířená část**, kde dochází k disipaci energie třením proudu vody o velkou plochu dna.
- **Část zúžení**, která koncentruje proud vody zpět do původního koryta [20].

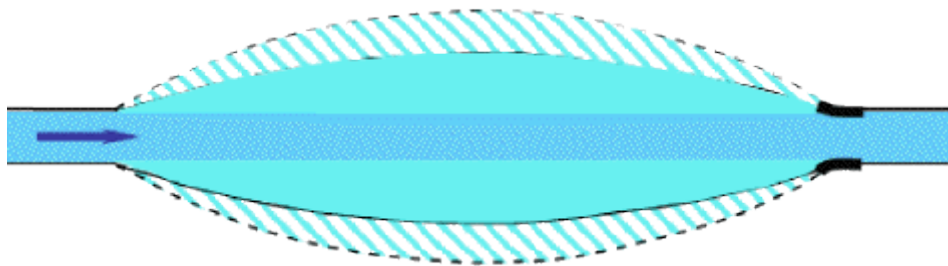
Dělení dle postupu výstavby (stupně lidského zásahu):

- **Vlastní dynamický vývoj**, kde je koryto řeky rozšířeno oboustranně, případně jednostranně odstraněním opevnění na obou nebo jednom ze břehů (Obr. 2.5). Břehy je třeba neustále monitorovat. Vývoj rozšíření může trvat několik let a závisí především na velikosti povodňových průtokových vln. Ve zužující se části je nutné provést opevnění zužujících se, respektive zužujícího se břehu [9].



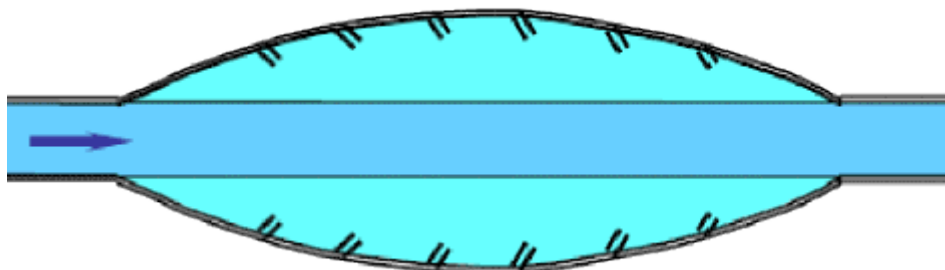
Obr. 2.5 Schéma lokálního rozšíření a zúžení koryta vytvořeného dle vlastního dynamického vývoje koryta toku [9]

- **Vlastní dynamický vývoj s počátečním opatřením**, kde je struktura vývoje objektu závislá na povodňových průtokových vlnách jako v předchozím případě. Průběh vývoje je na počátku uměle urychlen např. snížením břehové čáry, či výstavbou umělých ostrůvků z usazenin (Obr 2.6). Ve zužující se části je nutné provést opevnění obou břehů [9].



Obr. 2.6 Schéma lokálního rozšíření a zúžení koryta vytvořeného dle vlastního dynamického vývoje koryta toku s počátečním opatřením [9]

- **Mechanizací vytvořené rozšíření**, kde je tvar koryta tvarován uměle mechanizací (stavebními stroji) (Obr. 2.7). Opevnění břehů je provedeno po celé délce konstrukce, aby se zabránilo boční erozi [9].



Obr. 2.7 Schéma lokálního rozšíření a zúžení koryta vytvořeného uměle mechanizací (stavebními stroji) [9]

2.4.1 Metodika návrhu konstrukce

Výchozím předpokladem pro návrh konstrukce je velikost tečného napětí ve dně toku, na kterém závisí počátek pohybu materiálu po dně toku a jeho množství

$$\tau = \rho g h i_e, \quad (2.13)$$

kde: h je hloubka vody [m],
 i_e je sklon čáry mechanické energie [-].

Při rozvinutém pohybu splavenin je možno hodnotu tečného napětí τ na toku rozdělit na dvě části

$$\tau = \tau_0 + \tau_s. \quad (2.14)$$

Část τ_0 (pro homogenní materiál platí $\tau_0 = \tau_k$) je spotřebována na překonání počátečního odporu dna a uvedení splavenin do pohybu, část τ_s na udržení určitého množství splavenin v pohybu. Změna hodnoty τ na toku znamená tedy změnu splaveninových parametrů. K pohybu dna dojde při hodnotě $\tau > \tau_0$ a množství materiálu v pohybu je potom závislé na velikosti hodnot τ_s [17].

Zvětšením šířky toku, dojde k výraznému snížení hloubky h a za předpokladu konstantního sklonu dna i_0 rovněž k výraznému snížení hodnoty τ , a tedy i k pohybu splavenin. K zachování současné hodnoty τ a současnému charakteru pohybu splavenin je třeba výrazně zvýšit sklon dna a tím vytvořit přírodní spádový stupeň [17].

Objekt přírodního spádového stupně je doposud poměrně neprobádaný. Metodika návrhu není z dlouhodobého hlediska ověřena. Její postupný vývoj je níže shrnut.

Hunzinger a kol. jsou průkopníky dané problematiky a na základě svých experimentů odvodili zásady pro návrh. Pro rozšiřující se část navrhuje volit bezrozměrný parametr

$$\lambda_w = \frac{2L_w}{B_A - B_K}, \quad (2.15)$$

kde: B_A je šířka rozšířené části objektu [m],
 B_K je šířka původního koryta [m],
 L_w je délka rozšiřující se části objektu [m].

Parametr λ_w nabývá hodnot 2,9 až 6,6. Další parametr vyjadřuje poměr mezi kinetickou a potenciální energií v místě rozšíření

$$F = \left(\frac{v_A}{v_K} \right)^{1.1} \left(\frac{h_A - s + dz_{bw}}{h_k} \right)^{2.1}, \quad (2.16)$$

kde: v_A je průřezová rychlost v rozšířené části objektu [m/s],
 v_K je průřezová rychlost v původním korytě [m/s],
 h_A je střední hloubka v rozšířené části [m],
 s je přírůstek spádu dna [m],
 dz_{bw} je rozdíl úrovně dna způsobený objektem oproti původnímu stavu [m].

Na fyzikálním modelu byly zjištěny hodnoty $0,4 < F < 0,83$. Pro prizmatické koryto je hodnota $F = 1$ a $\lambda_w = \infty$ [3].

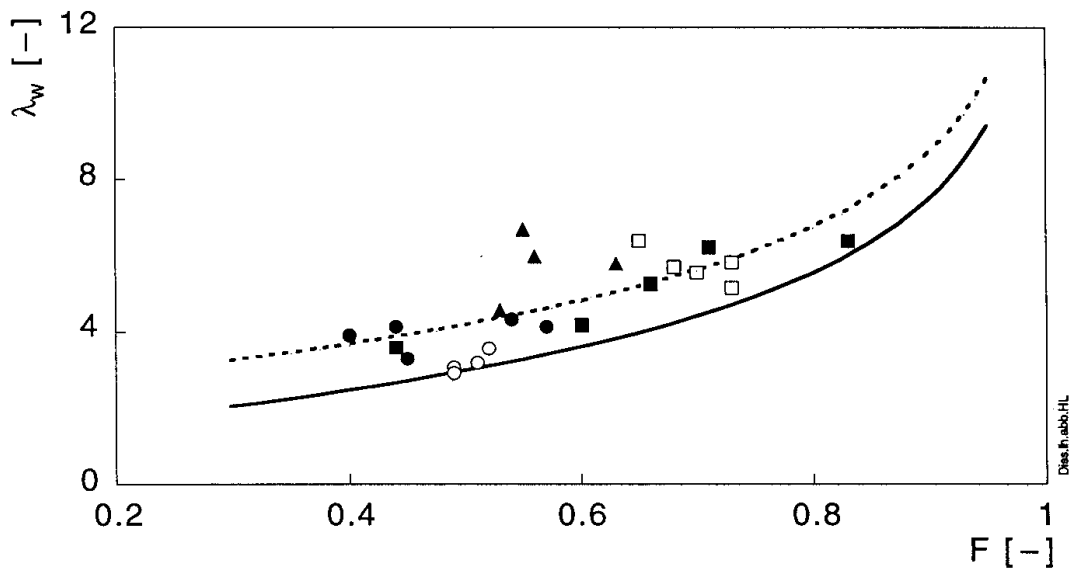
Hunzinger a kol. uvedl vztah mezi jednotlivými parametry λ_w a F , kde pro případ s transportem splavenin platí

$$\lambda_w = 2,2 - 2,8 \ln(F - 1) \quad (2.17)$$

a pro případ bez transportu splavenin (dolní obálka změřených hodnot)

$$\lambda_w = 1,0 - 2,8 \ln(F - 1). \quad (2.18)$$

Vztahy bohužel nelze použít, protože při dosazení hodnot F v daném rozmezí, vzniká přirozený logaritmus záporného čísla, proto je třeba použít graf na Obr. 2.8 [3].



Obr. 2.8 Výsledky laboratorního výzkumu, $\lambda_w=f(F)$ dle vztahu (2.17) a (2.18) [3]

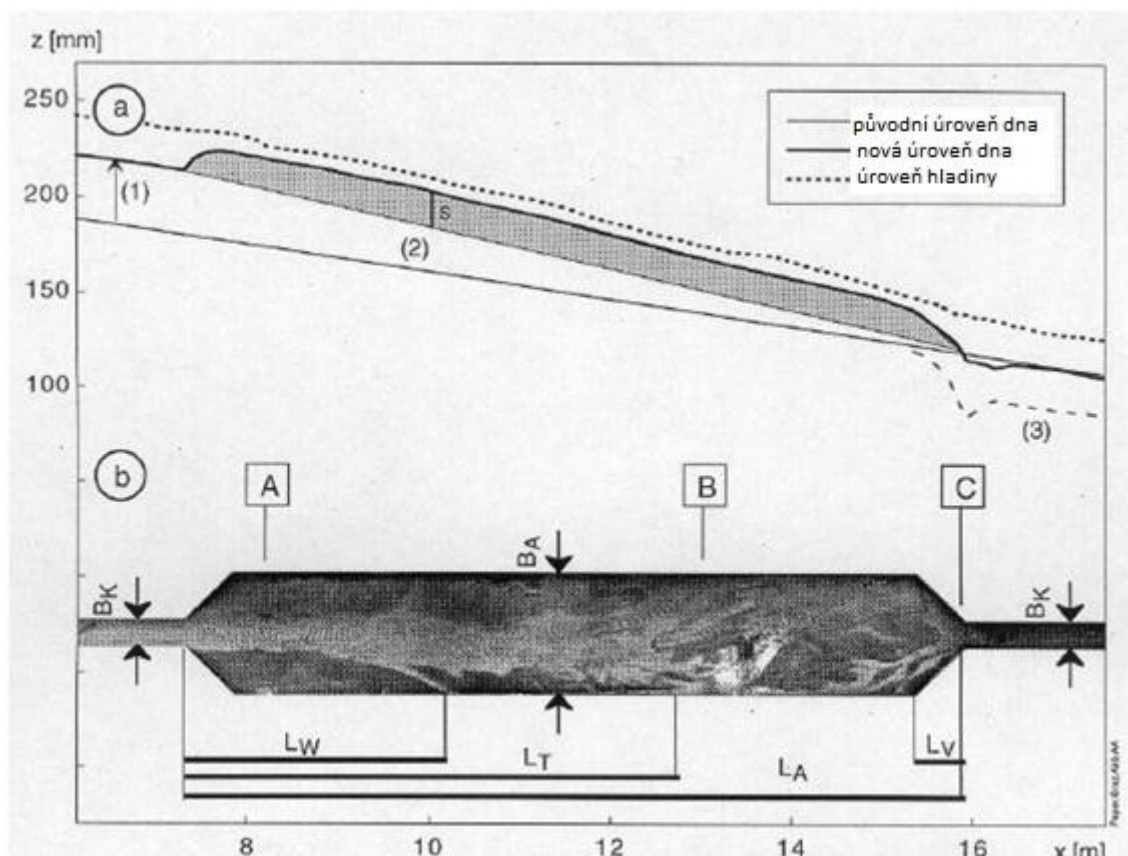
2.4.2 Morfologický vývoj dna

Při vývoji objektu rozšíření jsou pozorovatelné tyto změny (Obr 2.9 a):

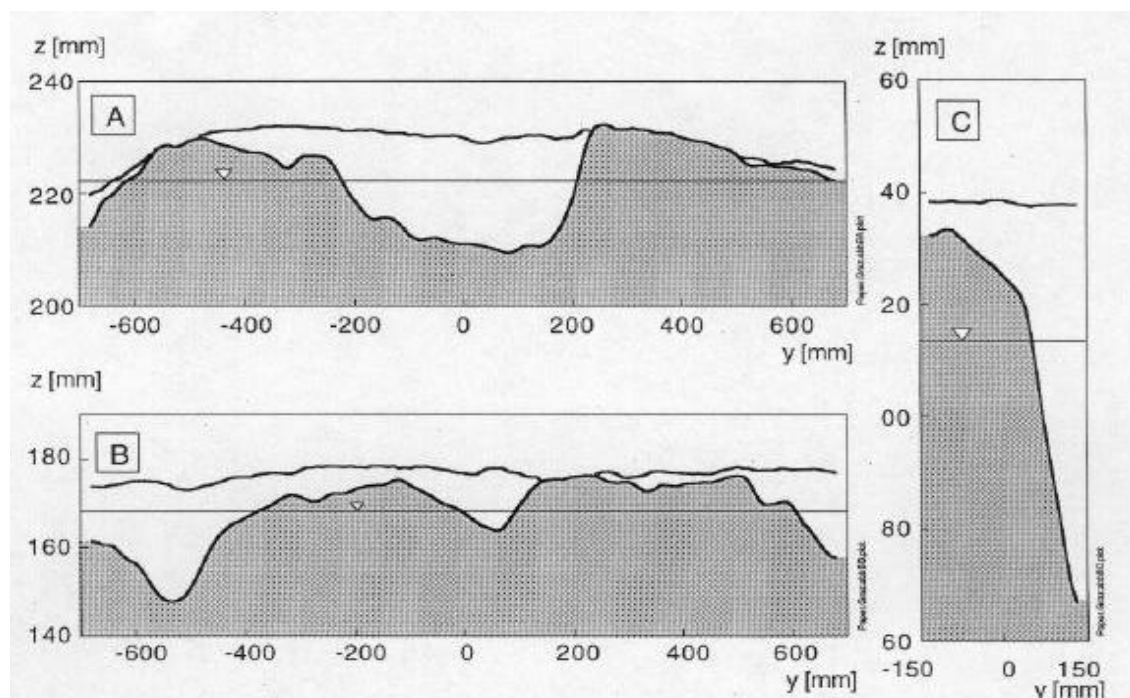
- Zvětšení podélného sklonu oproti původnímu sklonu koryta (Obr. 2.9 a-1).
- Retence sedimentů způsobí zhoršení plynulé návaznosti úrovně nivelety dna v oblasti zúžení a nivelety dna navazujícího koryta (Obr. 2.9 a-3).

Na Obr. 2.10 jsou zřejmé trojrozměrné deformace koryta. Dno koryta před rozšiřující se částí je ploché, avšak následným rozšiřováním objektu dochází k rozšíření hlavního řečiště. Zde se splaveniny usazují a tvoří se dnové nánosy, které zužují průtočný profil při malých průtocích (Obr. 2.10 a) [3].

Vzhledem k pozvolnému rozšíření toku se divočení koryta formuje pouze v dolní části přechodové oblasti L_T , kde je její délka přibližně dvakrát větší než délka L_w . V úseku s divočením se průtok rozděluje do několika řečišť (Obr. 2.10 b). V místě zúžení přechází řečiště do navazujícího koryta, kde se tok koncentruje a dochází k výraznému vymílání dna (Obr. 2.10 c) [3].



Obr. 2.9 Schéma výsledků fyzikálního modelu lokálního rozšíření a zúžení koryta [3]



Obr. 2.10 Příčné řezy fyzikálním modelem viz Obr 3.3 [3]

V případě krátkého objektu nedojde k divočení toku, protože tok je celistvý a stabilní a nerozšíří se na celou šířku objektu. Podmínkou vzniku divočení toku je překročení přechodné délky L_T zvětšenou o délku zúžení L_V [3]. *Hunzinger a kol.* doporučuje vztah

$$L \geq L_T + L_V \approx 2L_W + L_V, \quad (2.19)$$

kde: L je délka potřebná ke vzniku divočení toku [m],
 L_T je přechodná délka [m],
 L_V je délka zúžení [m],
 L_W je délka rozšiřující se části objektu [m].

2.4.3 Opevnění

Především v místě zúžení přírodního spádového stupně působí proud vody na břehy svahů, které musí být opevněny. Opevnění se dělí na:

- **Vegetační**, což je např. travní porost, vrbový pokryv, rohož, zápleťový plůtek a haťový válec.
- **Nevegetační**, což je např. pohož, zához, rovinanina, kamenná dlažba, betonová dlažba, betonové desky, betonové matrace, gabionové matrace a nábrežní zdi.
- **Kombinovaná**, což je vhodná kombinace předešlých druhů [20].

2.4.4 Výhony

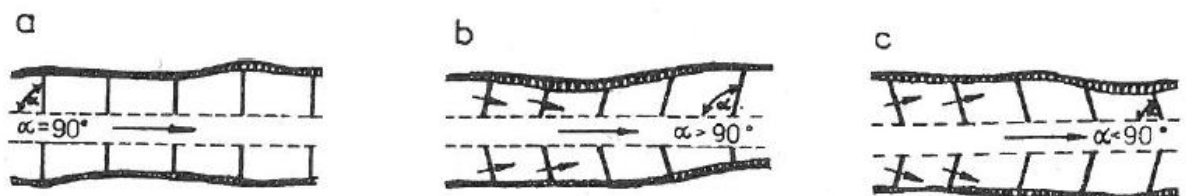
Výhony jsou stavby postavené napříč k ose koryta a využívají se u toků s větším pohybem splavenin. Pomáhají usměrňovat proud z širokých přírodních koryt do užšího koryta. Budují se ve skupinách. Mezi jednotlivými výhony dochází ke snížení rychlosti, což má za následek vznik nánosů.

Výhon se skládá z kořene, čela a trupu. Kořen je začátek výhonu zavázaný do břehu. Čelo je konec výhonu, který zasahuje do koncentrovaného proudu. Trup je tělo výhonu, na kterém se rozlišuje povodní a návodní strana [20].

Dělí se dle toho, jaký úhel svírají s osou toku na:

- **Kolmé** výhony (Obr. 2.11 a) postavené kolmo k ose toku ($\alpha = 90^\circ$),
- **Inklnantní** výhony (Obr. 2.11 b) postavené šikmo proti směru proudu ($\alpha > 90^\circ$),
- **Deklinantní** výhony (Obr. 2.11 c) postavené šikmo po směru proudu ($\alpha < 90^\circ$).

Dále se dělí na propustné a nepropustné [8].

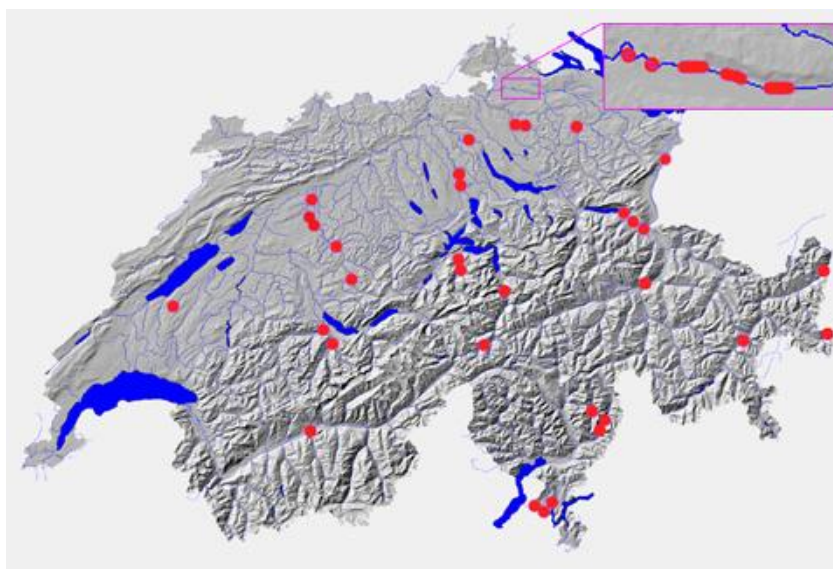


Obr. 2.11 Druhy provedení výhonů, kolmé (a), inklnantní (b), deklinantní(c) [8]

2.4.5 Realizované stavby

V České republice je doposud jediným objektem tohoto typu přírodní spádový stupeň na řece Morávce v km 10,700. Účelem objektu je zajištění hydrodynamických podmínek proudění a režimu splavenin pod balvanitým skluzem.

V alpských zemích je uvedeného způsobu úpravy využíváno ve větším počtu. Zejména ve Švýcarsku je k roku 2012 realizováno 39 lokálních rozšíření a zúžení koryt (Obr. 2.12). První realizovanou stavbou v roce 1991 byl objekt místního rozšíření a zúžení na řece Thur v oblasti Pfy/Felbenu (Obr. 2.13). Následovala výstavba objektů na řekách Emme, Seez, Kander a dalších [14].



Obr. 2.12 Lokalizace objektů místního rozšíření a zúžení koryta [16]



Obr. 2.13 Lokální rozšíření a zúžení koryta na řece Emmu (vlevo) a na řece Kander (vpravo) [15]

3 POUŽITÉ PROSTŘEDKY PRO ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ DAT

3.1 SMS 10.1

SMS (Surface Modelling System) je softwarový prostředek – prostředí pro 1D a 2D modely určené k analýze proudění vody s volnou hladinou, založené na metodě konečných prvků a diferenční metodě. Autor práce program nevyužil k výpočtu proudění, ale jako nástroj pro vytvoření modelů terénu a rozdílové mapy nánosů a výmolů.

3.1.1 Základní moduly

Scatter modul slouží k vizualizaci a zpracování různých typů dat, která pocházejí z digitálních map, přímých měření nebo z numerických analýz. Modul umožňuje spojení nepravidelně rozptýlených bodů lineárně do trojúhelníků a vytváří tak trojúhelníkovou nepravidelnou prostorovou síť. Síť je využívána jako zdroj batymetrických dat pro výpočty.

Map modul je nástroj pro tvorbu, správu, editaci vlastností objektů a k vytváření koncepčních modelů. Koncepční model je geometrická síť sloužící k definování atributů **mesh modulu**, kde se definují batymetrie, informace o materiálech, typ sítě a okrajové podmínky [11].

Mesh modul se užívá k manipulaci s 2D strukturovanou i nestrukturovanou sítí. Síť je složena z uzlů, které vytváří lineární či kvadratické čtyřúhelníkové i trojúhelníkové prvky. Pomocí nástroje **data calculator** lze vytvářet rozdílové mapy nánosů a výmolů.

3.2 HEC-RAS

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) je program sloužící k jednorozměrné hydraulické analýze proudění v říčních korytech nebo umělých kanálech. Program je vyvinut Americkým ministerstvem obrany (U. S. Army Corps of Engineers), ale od roku 1995 je volně dostupný [2].

Uživatelské rozhraní poskytuje následující funkce:

- **Správu souborů.**
- **Zadávání a editaci dat.**
- **Hydraulickou analýzu.**
- **Tabulkové a grafické zobrazení vstupních a výstupních dat.**
- **Nápovědu.**

Součástí hydraulické analýzy jsou čtyři moduly sloužící k výpočtu:

- **Ustáleného proudění.**
- **Neustáleného proudění.**
- **Transportu splavenin.**
- **Analýzy jakosti vody.**

3.2.1 Princip výpočtu

Programem je analyzován průběh hladin v přírodním spádovém stupni. Program využívá pro výpočet ustáleného nerovnoměrného proudění **metodu po úsecích**. Koryto toku je rozděleno na dílčí úseky ΔL_j . Hodnoty průtočného průřezu a rychlosti se mění spojitě (plynule) z hodnot A_i, v_i v horním profilu na hodnoty A_{i+1}, v_{i+1} v dolním profilu. Pro srovnávací rovinu proloženou dnem dolního profilu plyne z Bernoulliho rovnice pro všechna proudová vlákna profilů 1 a 2 (Obr. 3.1)

$$i_{0j}\Delta L_j + h_i + \frac{\alpha v_i^2}{2g} = h_{i+1} + \frac{\alpha v_{i+1}^2}{2g} + h_{zj}. \quad (3.1)$$

Rozdíl úrovní hladin v úseku j je Δh_j

$$\Delta h_j = i_{0j}\Delta L_j + h_i - h_{i+1}, \quad (3.2)$$

a po úpravě

$$\Delta h_j = \frac{\alpha(v_{i+1}^2 - v_i^2)}{2g} + h_{zj}, \quad (3.3)$$

kde: i_{0j} je podélný sklon dna dílčího úseku [-],
 ΔL_j je vzdálenost dílčího úseku j (mezi profily i a $i + 1$) [m],
 h_i je hloubka vody v horním profilu [m],
 v_i je průřezová rychlost v horním profilu [m/s],
 h_{i+1} je hloubka vody v dolním profilu [m],
 v_{i+1} je průřezová rychlost v dolním profilu [m/s],
 h_{zj} je celková ztráta energie v úseku j [m].

Vztah pro výpočet celkových ztrát energie v úseku h_{zj} je

$$\Delta h_{zj} = h_{mj} + h_{tj}, \quad (3.4)$$

kde: h_{mj} je ztrátová výška místní [m],
 h_{tj} je ztrátová výška třením [m].

Místní ztráty vyjadřují změnu průřezu (rozšíření či zúžení) a jsou vyjádřeny absolutní hodnotou rozdílu rychlostních výšek a součinitele místní ztráty ξ vztahem

$$\Delta h_j = \xi \left| \frac{\alpha(v_{i+1}^2 - v_i^2)}{2g} \right|. \quad (3.5)$$

Ztráty třením pro úsek j lze vyjádřit vztahem

$$\Delta h_{zj} = i_{pj} + \Delta L_j, \quad (3.6)$$

kde: i_{pj} je průměrný sklon čáry mechanické energie [-].

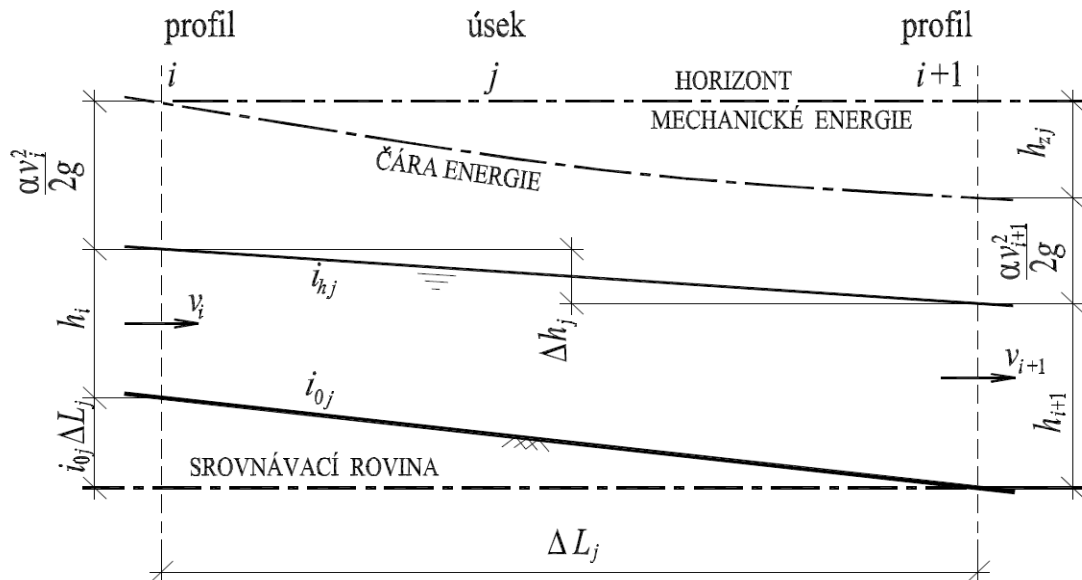
Výpočet průměrného sklonu čáry mechanické energie lze provést několika způsoby. HEC-RAS 3.1.3 využívá vztah

$$i_{pj} = \left(\frac{Q}{K_{pj}}\right)^2, \quad (3.7)$$

kde: Q je průtok v úseku j [m^3/s],
 K_{pj} je modul průtoku [m^3/s].

Výsledná rovnice pro výpočet rozdílu hladin Δh_j na úseku j , který je ohraničen profily i a $i+1$ je

$$\Delta h_j = \frac{\alpha(v_{i+1}^2 - v_i^2)}{2g} + i_{pj}\Delta L_j + \xi \left| \frac{\alpha(v_{i+1}^2 - v_i^2)}{2g} \right|. \quad (3.8)$$



Obr. 3.1 Schéma pro výpočet nerovnoměrného proudění [3]

Iterační řešení výpočtu v programu HEC-RAS:

1. Důležitá je znalost výšky hladiny v profilu i či $i + 1$ dle režimu proudění. Při říčním proudění je postup výpočtu směrem proti proudu vody. Výchozím profilem je dolní profil $i + 1$. V případě bystřinného proudění je postup směrem po proudu vody, kde výchozím profilem je profil i . Hodnota rozdílu hladin následujícího úseku $\Delta h_j^{(1)}$ je odhadnuta.
2. Na základě znalosti výšky počáteční hladiny program určí modul průtoku a rychlostní výšku.
3. Pomocí hodnot z kroku 2. vypočítá průměrný sklon čáry energie a následně vypočte celkové ztráty energie úseku h_{zj} dle rovnice (3.4).
4. V dalším kroku řeší rovnici (3.8) pomocí hodnot z kroku 2. a 3.
5. Porovná vypočtenou hodnotu Δh_j s hodnotou z kroku 1. V případě, kdy rozdíl hodnot mezi Δh_j a $\Delta h_j^{(1)}$ je větší než požadovaná hodnota se celý postup opakuje. Přesnost výpočtu může být uživatelsky nastavena [15].

4 PŘÍRODNÍ SPÁDOVÝ STUPEŇ NA ŘECE MORÁVCE

4.1 POPIS LOKALITY

Ve Vyšních Lhotách je vybudován segmentový jez v km 11,273, který rozděluje část průtoku toku Morávka do přivaděče pro přehradní nádrž Žermanice. Pod jezem je vybudován spádový betonový stupeň v km 11,056 a balvanitý skluz v km 10,817. Následně je vybudován přírodní spádový stupeň v km 10,700 (Obr. 4.1) [17]. Dále po toku se nachází národní přírodní památka (NPP) Skalická Morávka.



Obr. 4.1 Lokalita zájmového území [6]

Řeka Morávka je významným šterkonosným beskydským tokem. Pramení na úpatí hory Sulov (942 m) ve výšce 880 m n.m. u Česko-slovenských hranic. Nejvýznamnějším přítokem Morávky je řeka Mohelnice, která se do ní vlévá u Raškovice. Řeka je charakteristická svojí kolísavostí průtoků (Tab 4.1 a Tab. 4.2). Odvádí vodu z horské oblasti Beskyd, která patří k územím s nejvyšším ročním úhrnem srážek 1200 mm až 1300 mm [7].

Tab. 4.1 Přehled *m*-denních průtoků pro hydrologický profil Morávka Raškovice [18]

<i>m</i> dennost	30	90	180	270	330	355	364
Q_m (m ³ /s)	9,46	4,17	1,95	0,95	0,50	0,30	0,19

Tab. 4.2 Přehled N -letých průtoků pro hydrologický profil Morávka Raškovice [18]

N letost	1	2	5	10	20	50	100
Q_N (m ³ /s)	35,4	57,7	91,0	117,0	141,0	202,0	233,0

Plocha povodí je 149,3 km² o celkové délce toku 30,9 km, číslo hydrologického pořadí je 2-03-01-050. Řešená lokalita leží ve flyšové oblasti, tvořené vrstevnatými strukturami pískovců, břidlic a jílovců [7]. Vrstevnaté horniny jsou velmi náchylné k erozi a v místě přírodního spádového stupně se vyskytují v podobě skalních výchozů.

4.2 STAV V ROCE 2008

Podnětem k realizaci přírodního spádového stupně bylo zahlubování dna koryta pod balvanitým skluzem. Jednak bylo nutné zajistit stabilitu dna na hranici s NPP Skalická Morávka a dále stabilizovat dno pod betonovým stupněm.

Stavba se skládá ze 3 částí:

- **Část rozšíření** je dlouhá cca $L_W = 60$ m. Šířka koryta je rozšířena z původní šířky $B_K = 35$ m na šířku rozšířené části $B_A = 65$ m.
- **Rozšířená část** je dlouhá cca $L_R = 75$ m.
- **Část zúžení** je dlouhá cca $L_V = 70$ m. Šířka koryta je plynule zúžena z šířky rozšířené části $B_A = 65$ m na původní šířku koryta $B_K = 35$ m.

Opevnění paty svahu bylo provedeno kamennou rovnatinou hloubky 0,8 m a šířky 2,5 m z lomového kamene, kde sklon svahu byl v poměru 1:2.

V přírodním spádovém stupni byly vybudovány drátokamenné usměrňovací prvky:

- Dva deklinantní výhony nesymetricky čelem proti sobě. Výhony jsou situovány na začátku druhé poloviny délky stupně.
- Pět izolovaných prvků [17].

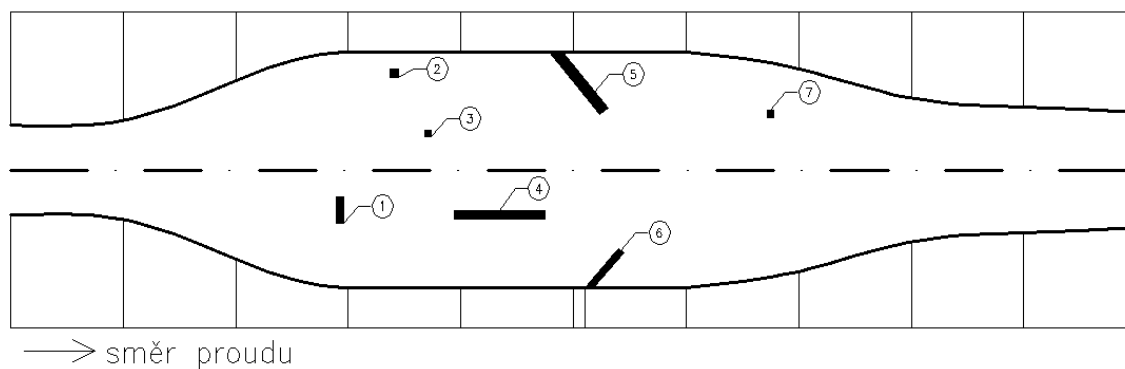
Vegetační pokryv tvořily pouze nízké traviny (Obr 4.2).



Obr. 4.2 Přírodní spádový stupeň na řece Morávce v dubnu 2008 (proti proudu) [14]

4.3 STAV V ROCE 2011

V roce 2011 je morfologie objektu narušena povodní z května roku 2010, kdy průtok povodňové vlny dosahoval $130 \text{ m}^3/\text{s}$. Došlo k výmolům v celém prostoru objektu, avšak nejvíce v místě zúžení. Patrný je odnos materiálu dna pod balvanitým skluzem v místě rozšíření (Obr. 4.4). Zřejmá je také divokost řeky, kdy v rozšířené části dochází při malých průtokových stavech k rozdělení do dvou řečišť. Usměrňovací drátokamenné prvky jsou vyobrazeny na Obr. 4.3.



Obr. 4.3 Lokalizace usměrňovacích prvků v přírodním spádovém stupni na řece Morávce



Obr. 4.4 Přírodní spádový stupeň na řece Morávce v srpnu 2011, kde došlo ke značným výmolům v místě rozšíření pod balvanitým skluzem (proti proudu) [14]

Prvek č. 1 (Obr. 4.5) je izolovaný usměrňovací prvek kolmý k ose toku. Kořen výhonu je zavázán do neporušeného opevnění. Stabilizační pata prvku je neporušená. Trup výhonu je porostlý vegetací a z návodní strany zakrytý nánosy, kde splývá s naplaveným dnem.

Prvky č. 2 a č. 3 jsou izolované usměrňovací prvky umístěné v rozšířené části. Stav je zřejmý z Obr. 4.6, kde prvek č. 2 je hustě porostlý vegetací a prvek č. 3 leží na náplavovém ostrůvku mezi dvěma řečišti. Stabilizační paty obou prvků jsou zakryty nánosy splavenin.

Prvek č. 4 je izolovaný usměrňovací prvek v rozšířené části, kde delší strana je rovnoběžná s osou toku a jeho stav je zřejmý z Obr. 4.7. Stabilizační pata prvku je neporušená, avšak na trupu jsou částečné poklesy způsobeny podemláním prvku vodou. Prvek je lokálně pokrytý vegetací.

Prvek č. 5 je deklinantní výhon umístěný v rozšířené části a je vyobrazen na Obr. 4.8. Kořen výhonu je zavázán do levého břehu. Stabilizační pata prvku je neporušená a jsou zřejmé nánosy splavenin u paty výhonu. Trup výhonu je oboustranně lokálně zarostlý vegetačním pokryvem.

Prvek č. 6 je deklinantní výhon umístěný v rozšířené části a je vyobrazen na Obr. 4.8. Kořen výhonu je zavázán do pravého břehu. Stabilizační pata prvku je neporušená a jsou zřejmé nánosy splavenin u paty výhonu. Trup výhonu je oboustranně lokálně zarostlý vegetačním pokryvem.

Prvek č. 7 je izolovaný usměrňovací prvek umístěný v části zúžení a je hustě porostlý vegetací. Stabilizační pata prvku je neporušená a jsou zřejmé nánosy splavenin u paty prvku.



Obr. 4.5 Usměrnovací prvek č. 1 stav v srpnu 2011 (černý obrys naznačuje jeho původní stav).



Obr. 4.6 Stav usměrňovacích prvků č. 2 a č. 3 v srpnu 2011 (proti proudu)



Obr. 4.7 Stav usměrňovacího prvku č. 4 v srpnu 2011 (proti proudu)



Obr. 4.8 Stav usměrňovacích prvků č. 4, č. 5 a č. 6 v srpnu 2011

V dolní části objektu (v místě zúžení) je velké množství skalních výchozů (Obr. 4.9), které jsou obnaženy vlivem odnosu materiálu ze dna toku. Opevnění svahů je porušeno a to nejvíce v místě zúžení. Celý objekt je neudržovaný, lokálně zarostlý travinami a keři.

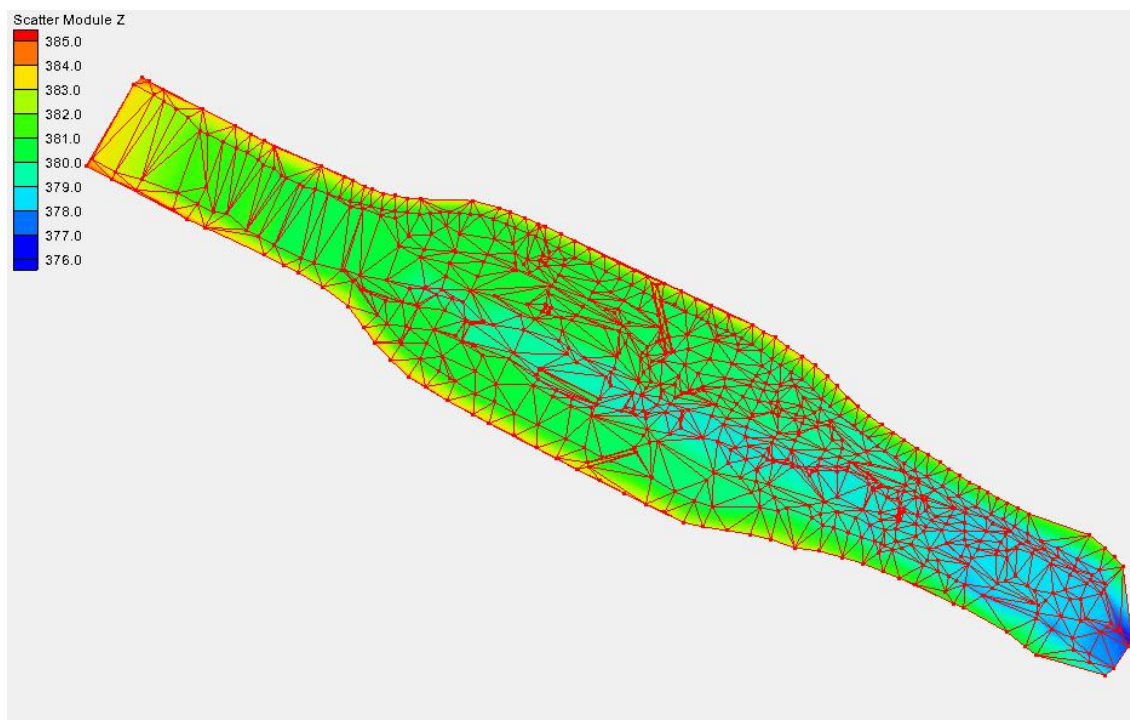


Obr. 4.9 Stav přírodního spádového stupně na řece Morávce v roce 2011, kde je patrný vznik skalních výchozů (proti proudu)

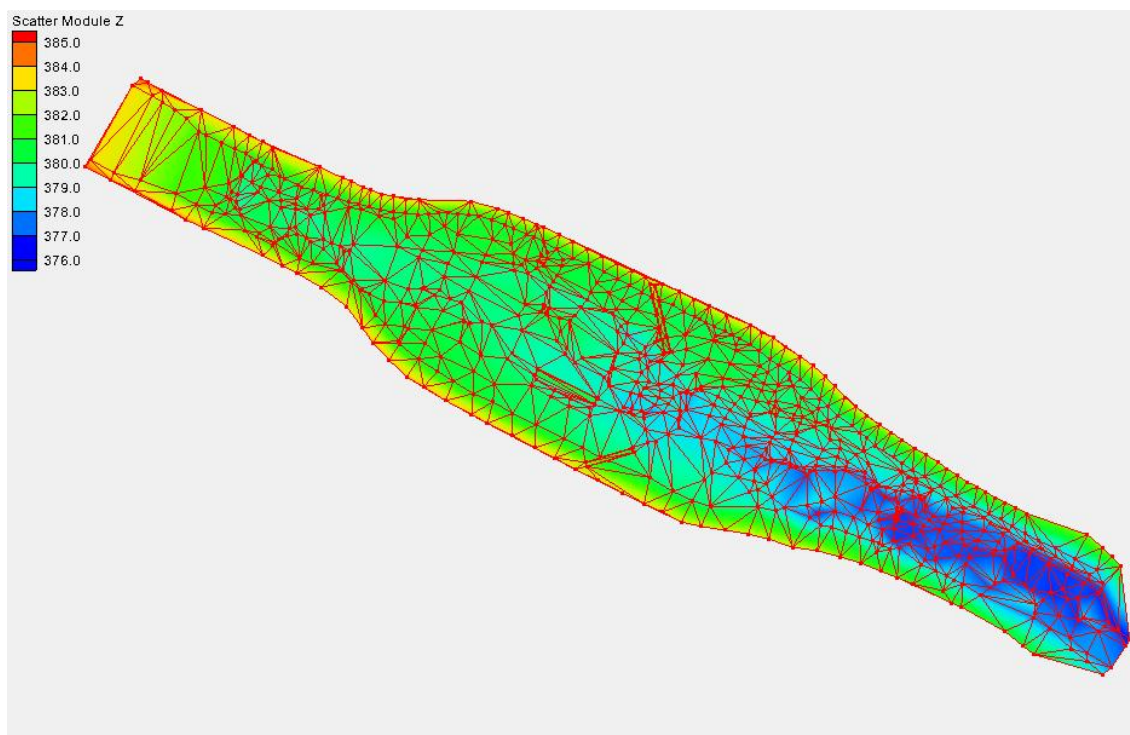
4.4 OBJEMOVÉ ZMĚNY DNA

Řešené území přírodního spádového stupně bylo zaměřeno v srpnu 2011 pomocí GPS (Global Positioning System) stanice. Souřadnice zaměřených bodů byly vyneseny do programu SMS 10.1 a byl vytvořen topografický model terénu. Stav objektu v roce 2011 byl tedy zřejmý, ale stav v roce 2008 bylo nutné dotvořit. Autor práce předpokládal, že při výstavbě byla voda odváděna původním řečištěm a poloha dna byla při výstavbě neměnná. Pomocí podélného profilu řešené lokality, datům z fyzikálního modelu a ortofotomapy byl dotvořen topografický model přírodního spádového stupně pro rok 2008, který zobrazuje Obr. 4.10.

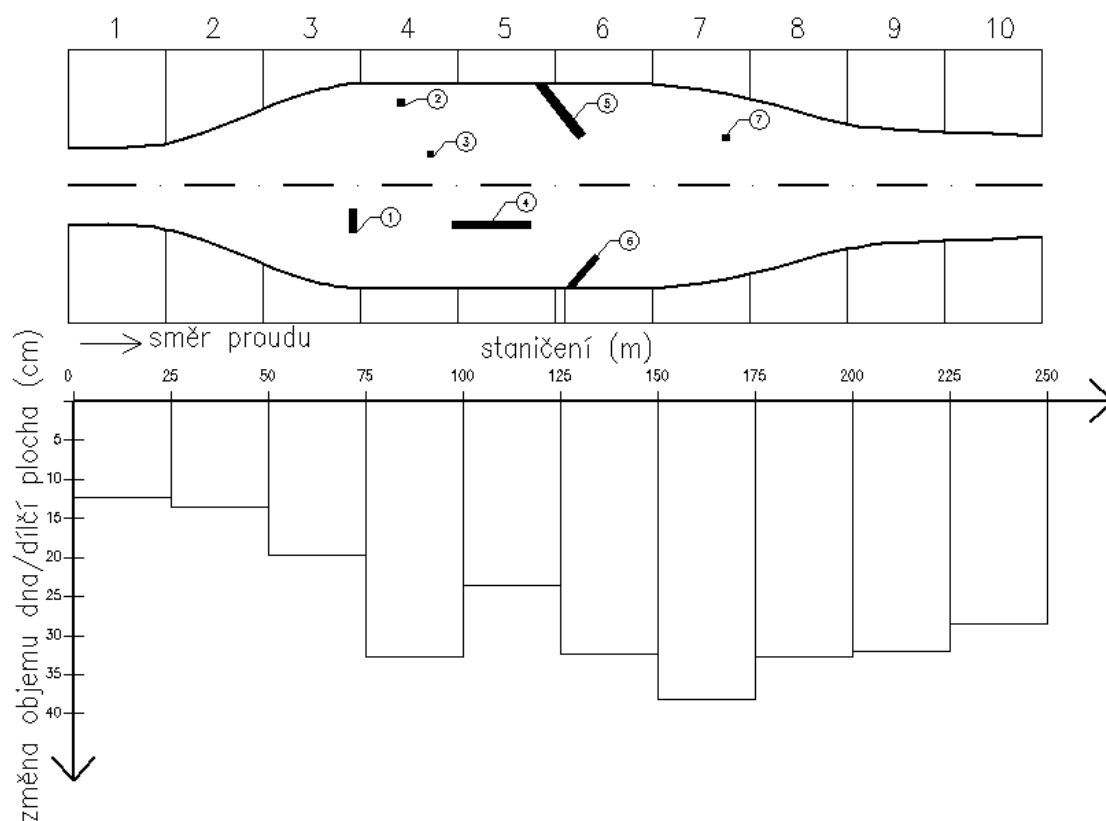
Na modelu z roku 2011 (Obr. 4.11) jsou zřejmé změny ve vzniku dvou řečišť a značné výmoly materiálu ve dně v dolní části objektu. Pomocí programu SMS 10.1 byla vytvořena síť pro úsek dlouhý 250 m o hustotě čtvercových polí 1 m x 1 m. Každému poli byla přiřazena hodnota úrovně pro stav v roce 2011, která byla následně odečtena od stavu v roce 2008. Výstupem byla hodnota odneseného materiálu ze dna a mapa výmolů a nánosů (Obr. 4.13) v přírodním spádovém stupni. Celková hodnota odneseného materiálu ze dna objektu byla **2760 m³**. Dále byl objekt rozdělen na dílčí úseky při zvoleném kroku 25 m a byla odečtena hodnota změny objemu (Tab. 4.3) v každém úseku. Hodnoty změny v objektu jsou vyneseny v poměru plochy jednotlivých úseků Obr. 4.12.



Obr. 4.10 Topografický model terénu přírodní spádového stupně na řece Morávce v roce 2008



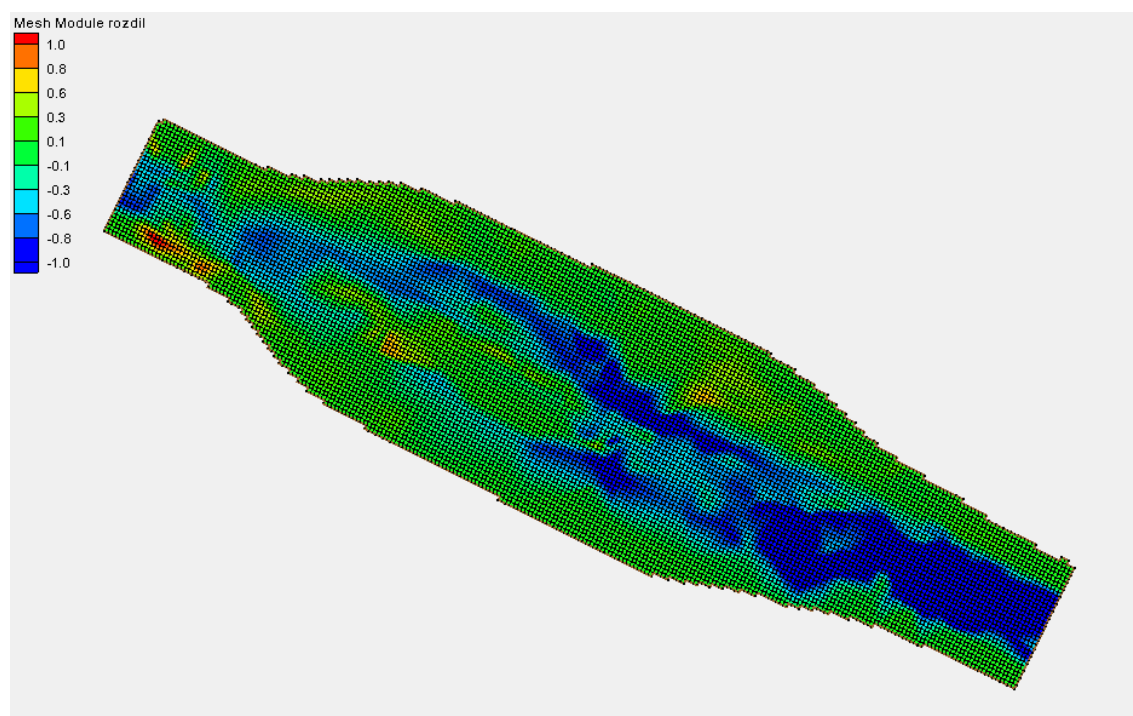
Obr. 4.11 Topografický model terénu přírodní spádového stupně na řece Morávce v roce 2011



Obr. 4.12 Zobrazení hloubky výmolů v dílčích úsecích

Tab. 4.3 Hodnoty změny objemů v dílčích úsecích

č. úseku	změna objemu dna (m ³)	změna objemu dna/dílčí plocha (cm)
1	-62,74	12
2	-100,45	14
3	-232,75	20
4	-434,37	33
5	-312,54	23
6	-428,34	32
7	-453,00	38
8	-313,92	33
9	-232,26	32
10	-189,82	28



Obr. 4.13 Mapa výmolů a nánosů

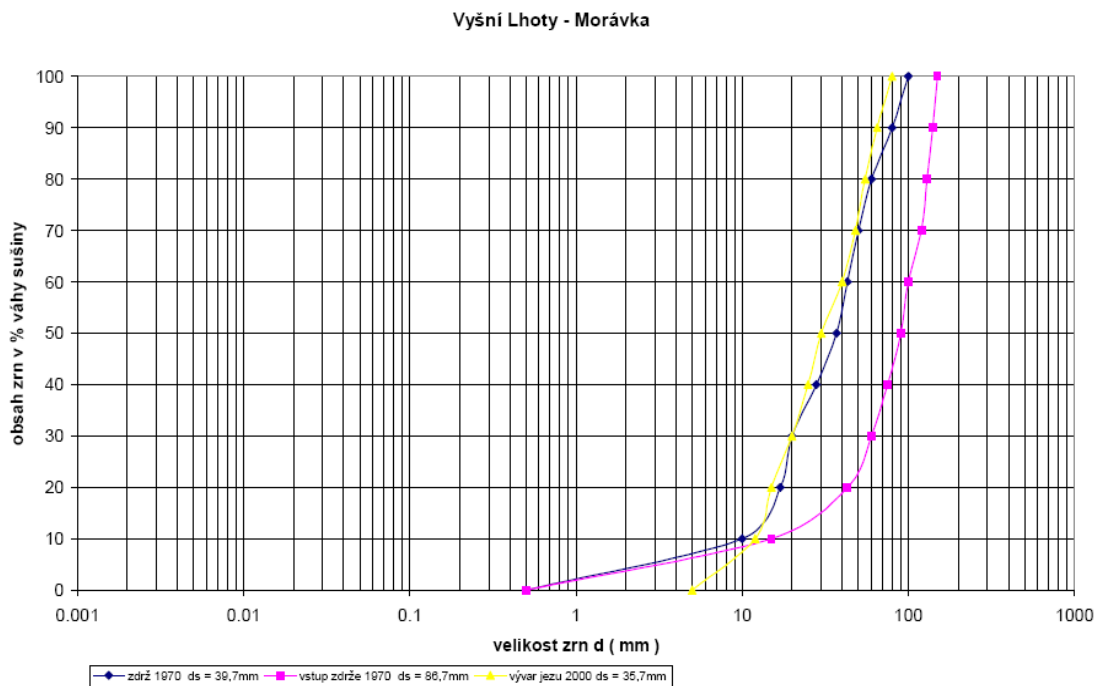
4.5 URČENÍ DRSNOSTI

4.5.1 Mikrodrsnost

V řešeném objektu byly odebrány ze dna tři vzorky zeminy. Síťový rozbor byl proveden na prosévacích sítích v Laboratoři vodohospodářského výzkumu na Fakultě stavební Vysokého učení technického v Brně.

Odebrané vzorky byly nejdříve rozdělány na jednotlivé obdélníkové plechové tácy. Vzorek byl prokypřený a uložený ve vrstvě cca 3 cm tak, aby došlo k dokonalému vysušení zeminy v sušičce. Plechové tácy se nevkládaly do sušičky na doraz, ale cca 2 cm od zadní stěny sušičky z důvodů plynulé cirkulace vzduchu. Vzorky byly vysušeny po 6 hodinách při teplotě 105°C, kdy se již nezměnila jejich hmotnost.

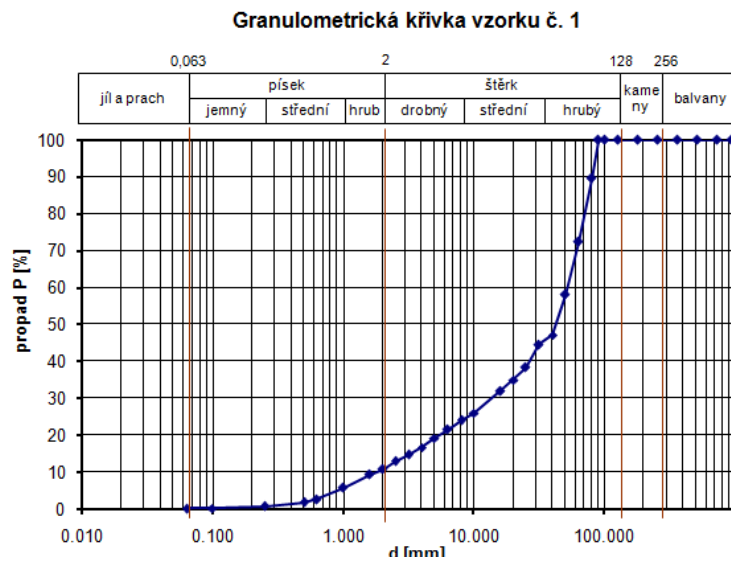
Po vysušení bylo provedeno očištění hrubých frakcí od přischlých drobných zrn a vzorky byly rozdělány do tří plastových přepravek. Sada sítí obsahovala sítia o rozměru od 128 mm do 0,063 mm. Jednotlivé vzorky byly prosévány a jednotlivý propad na každém síti byl zvážen na digitální váze. Pomocí hmotnosti propadů na jednotlivých sítích byla sestavena granulometrická křivka zrnitosti (Obr. 4.15, Obr. 4.16 a Obr. 4.17), dále byla provedena klasifikace zeminy a určení drsnosti dle Stricklerova vztahu (2.3). Drsnost pro původní stav v roce 2008 byla určena z křivky zrnitosti (Obr. 4.14).



Obr. 4.14 Granulometrická křivka vzorku z roku 2001

Klasifikace zeminy pro vzorek z roku 2001 je **šterk středně nestejnozrný, dobře zrněný**.

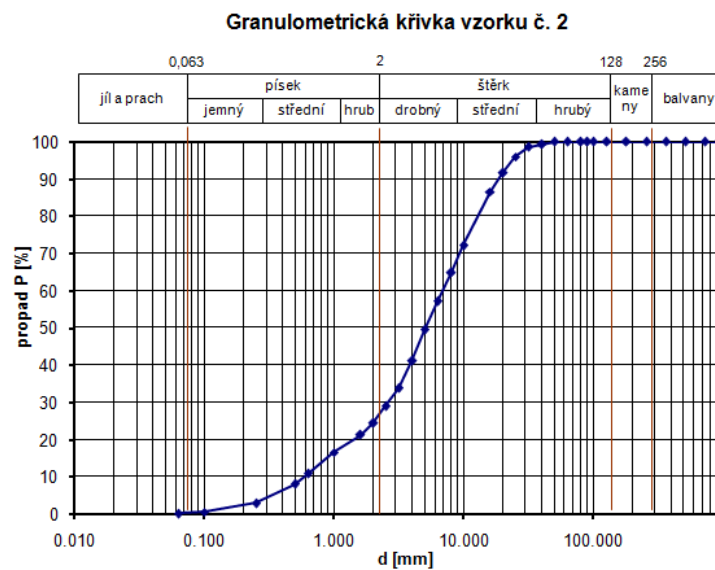
Drsnost dle Stricklera pro vzorek z roku 2001 je $n_{01} = \frac{d_{90}^{1/6}}{26} = \frac{0,080^{1/6}}{26} = 0,028$.



Obr. 4.15 Granulometrická křivka vzorku č. 1

Klasifikace zeminy pro vzorek č. 1 je **štěrk nestejnozrný, dobře zrněný**.

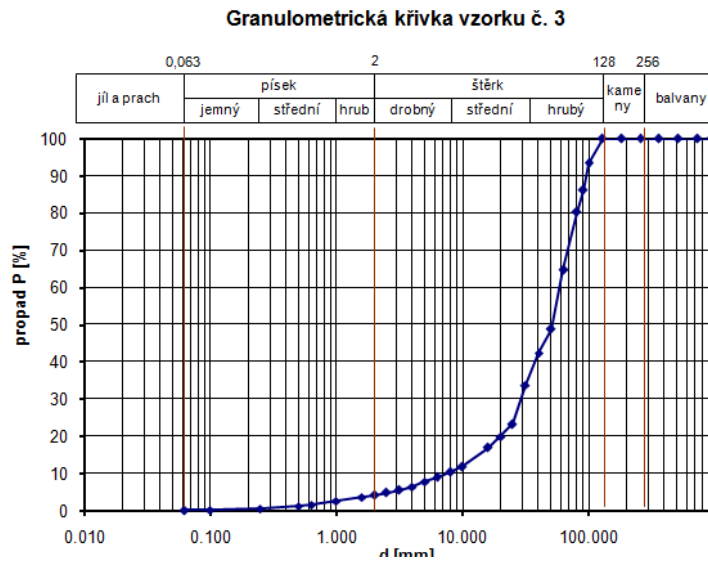
Drsnost dle Stricklera pro vzorek č. 1 je $n_1 = \frac{d_{90}^{1/6}}{26} = \frac{0,0805^{1/6}}{26} = 0,025$.



Obr. 4.16 Granulometrická křivka vzorku č. 2

Klasifikace zeminy pro vzorek č. 2 je **štěrk středně nestejnozrný, dobře zrněný**.

Drsnost dle Stricklera pro vzorek č. 2 je $n_2 = \frac{d_{90}^{1/6}}{26} = \frac{0,0186^{1/6}}{26} = 0,020$.



Obr. 4.17 Granulometrická křivka vzorku č. 3

Klasifikace zeminy pro vzorek č. 3 je **štěrky středně nestejnzrnny, dobře zrnny**.

Drsnost dle Stricklera pro vzorek č. 3 je $n_3 = \frac{d_{90}^{1/6}}{26} = \frac{0,0953^{1/6}}{26} = 0,026$.

4.5.2 Celková drsnost

Celková drsnost pro stav v roce 2008 a 2011 byla odvozena pomocí Cowanovy metody. Pro každý zaměřený profil byla určena dílčí drsnost pro stav v roce 2011 (Tab. 4.5 a Tab. 4.6). Jednotlivé dílčí stupně drsnosti byly určeny pomocí dostupné fotodokumentace řešené oblasti a průměrné hodnotě drsnosti $n_{2011} = 0,24$ určené ze vzorků č. 1 - č. 3. Drsnost balvanitého skluzy byla vypočtena dle Stricklerova vztahu

$$n_{bal} = \frac{d_{90}^{1/6}}{26} = \frac{1,000^{1/6}}{26} = 0,039.$$

Naopak pro stav v roce 2008 je drsnost stanovena pro všechny dílčí profily stejná (Tab. 4.4). Do celkové drsnosti bylo potřebné zahrnout mikrodrsnost, makrodrsnost a drsnost od vegetace, na což je vhodné použití Cowanovy metody.

Tab. 4.4 Drsnost v dílčích profilech dle Cowanovy metody pro stav v roce 2008

			staničení (m)	0,0-274,3	274,3-301,6
n_0	materál	sítový rozbor	hodnoty	0,028	0,039
n_1	povrch	hladký, urovnaný	0,000	0,005	0,005
		malé nepravidelnosti	0,005		
		střední nepravidelnosti	0,010		
		hrubý povrch, výmoly	0,020		
n_2	průřez	postupná plynulá změna	0,000	0,000	0,000
		ojedinělé změny	0,005		
		částečné změny	0,010		
n_3	překážky	zanedbatelné	0,000	0,000	0,000
		nevýrazné	0,010		
		citelné	0,020		
		značné	0,040		
n_4	povrch	nízké (ohebná tráva, proutí)	0,005	0,005	0,005
		střední (neohebné, buřeň)	0,010		
		velký (keře, buřeň)	0,025		
		výrazný (keře, buřeň, stromy)	0,050		
n_5	meandry	mírné	1,000	1,000	1,000
		střední	1,150		
		silné	1,300		
celková drsnost $n=(n_0+n_1+n_2+n_3+n_4)*n_5$				0,038	0,049

Tab. 4.5 Drsnost v dílčích profilech dle Cowanovy metody pro stav v roce 2011 – část 1

		0,0	25,0	50,0	78,5	80,0	81,7	83,4	100,4	114,5	118,0	126,1	131,6	141,5	151,4	155,8	157,5	
n_0	materál	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024
n_1	povrch	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
n_2	průřez	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
n_3	překážky	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
n_4	povrch	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,025	0,025	0,025	0,025	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
n_5	meandry	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
		0,074	0,074	0,074	0,074	0,074	0,074	0,074	0,079	0,089	0,089	0,089	0,074	0,074	0,074	0,074	0,074	0,074

Tab. 4.6 Drsnost v dílčích profilech dle Cowanovy metody pro stav v roce 2011 – část 2

		159,2	162,9	164,9	166,9	175,2	177,2	179,0	200,0	211,8	225,0	250,0	258,3	274,3	281,6	291,6	301,6
n_0	materál	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,039	0,039	0,039	0,039
n_1	povrch	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
n_2	průřez	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,005	0,005	0,005	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
n_3	překážky	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
n_4	povrch	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
n_5	meandry	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
		0,074	0,074	0,074	0,074	0,074	0,074	0,074	0,054	0,054	0,054	0,054	0,044	0,059	0,059	0,059	0,059

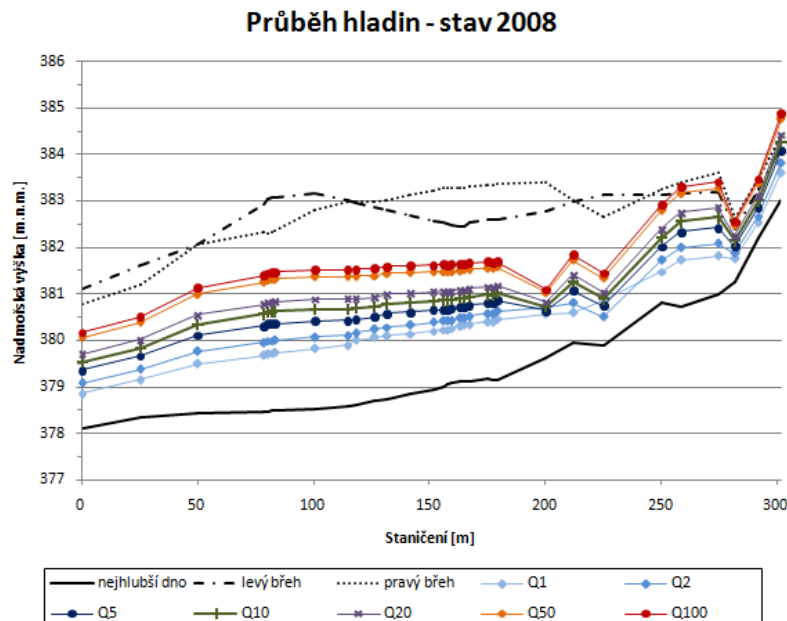
4.6 PRŮBĚH HLADIN

Důsledkem lokálních výmolů v přírodním spádovém stupni se předpokládá změna průběhu hladin v objektu. Výpočet byl proveden pomocí programu HEC-RAS 3.1.3.

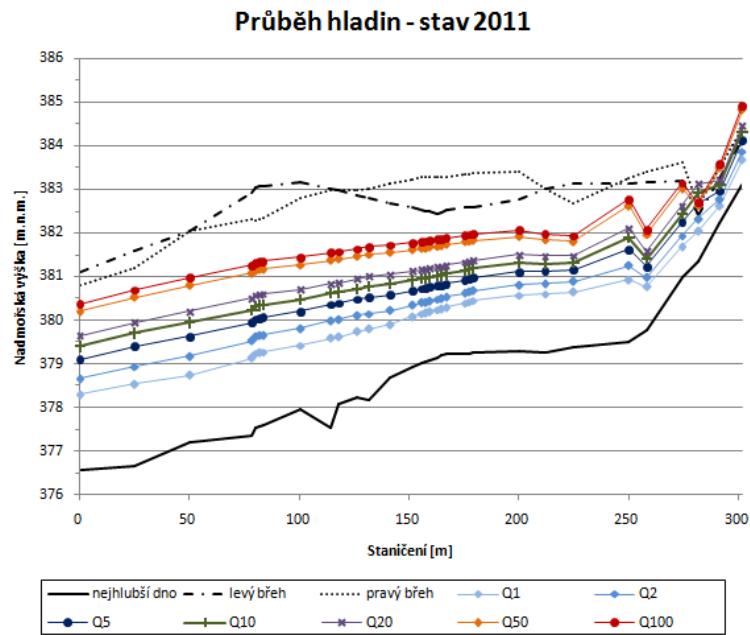
Vstupní data pro tvorbu geometrického modelu terénu byla získána z programu SMS 10.1, kde byly vytvořeny příčné profily modelem terénu pro stav v roce 2008 a stav v roce 2011. Následně byly vygenerovány hodnoty souřadnic jednotlivých příčných řezů a importovány do programu HEC-RAS 3.1.3. Příčné řezy byly voleny s ohledem na usměrňovací prvky v toku, tedy vždy byly příčné řezy zvoleny 1 metr před návodní stranou usměrňovacího prvku, dále středem prvku a poslední jeden metr za povodní stranou prvku. Výhony byly vytvořeny pomocí nástroje obstruction. Drsnost v jednotlivých příčných profilech je zřejmá z Tab. 4.4, Tab. 4.5 a Tab. 4.6.

Pro řešení nerovnoměrného proudění byly zvoleny dvě **okrajové podmínky**. Horní okrajová podmínka v lokálním staničení 301,6 m v koruně balvanitého skluzu dána kritickou hloubkou. Dolní okrajová podmínka v lokálním staničení 0,0 m byla dána rovnoměrným prouděním se sklonem hladiny odečteným z podélného profilu toku Morávky [17]. Pro výpočet nerovnoměrného proudění byly použity průtoky dle Tab. 4.2.

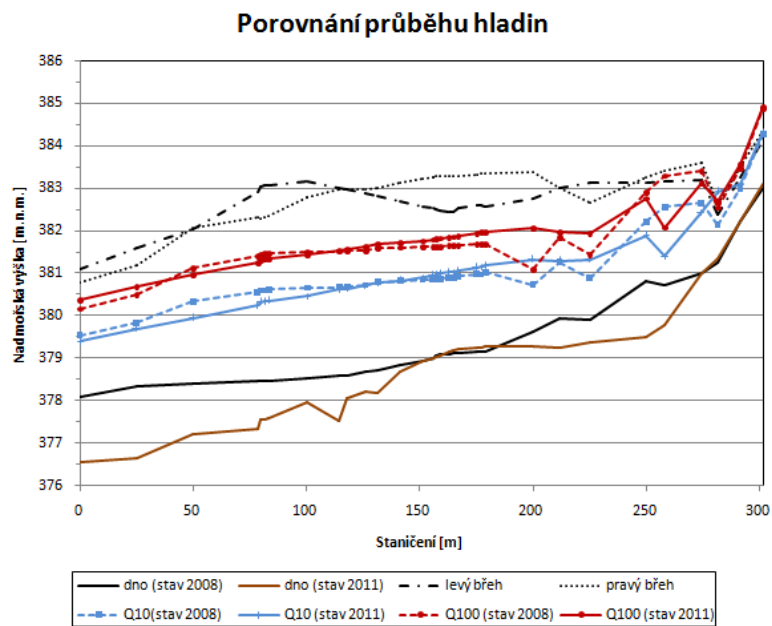
Vypočtené hodnoty byly vyneseny pro stav v roce 2008 (Obr. 4.18) a pro stav v roce 2011 (Obr. 4.19), kde objekt splnil hledisko kapacity pro oba dva stavy. V roce 2008 je úroveň dna výše než v roce 2011 a vegetační pokryv v průtočném profilu je tvořen pouze travním porostem. Naopak v roce 2011 je dno umístěno níže, čímž se dá předpokládat větší kapacita koryta, avšak odpor proudu vody je zvětšen skalními výchozy, travinami a hustými keři. Proto mají průběhy hladin pro oba dva řešené stavy podobný charakter. Na Obr. 4.20 je vyobrazeno porovnání hladin průtoků Q_{20} a Q_{100} pro stav v roce 2008 a 2011.



Obr. 4.18 Průběh hladin v přírodním spádovém stupni na řece Morávce pro stav v roce 2008



Obr. 4.19 Průběh hladin v přírodním spádovém stupni na řece Morávce pro stav v roce 2011



Obr. 4.20 Porovnání průběhu hladin průtoků Q_{20} a Q_{100} v přírodním spádovém stupni na řece Morávce pro stav v roce 2008 a 2011.

4.7 NÁVRH ZMĚN A ÚPRAV

Každé vodohospodářské dílo potřebuje během svého provozu pravidelnou údržbu, kterou by měl vykonávat příslušný správce toku na kterém je dílo umístěno. Přírodní spádový stupeň na řece Morávce v km 10,700 spravuje Povodí Odry, státní podnik.

Autor práce doporučuje odstranění dřevnatých keřů z omočeného obvodu profilu přírodního spádového stupně. Důvodem je zvyšování odporu proti proudění a následný vznik lokálních výmolů.

Nánosy sedimentu, který se usazuje mezi rozdělovacím objektem v km 11,273 a betonovým spádovým stupněm v km 11,056, by měly být, pokud je správce toku chce odstraňovat, přemístěny do prostoru pod balvanitým skluzem se značnými výmoly. Protože sediment uložený pod skluzem bude transportován dále po proudu a tímto bude celý objekt sanován. Postup by měl být opakován po každé významné povodňové události cca Q_{10} a vyšší, která vytváří významný transport splavenin.

Opevnění v dolní části objektu je značně poničené, což je zřejmé na (Obr. 4.21). Autor práce poukazuje na skutečnost, že porušením paty svahu může dojít k sesuvu břehu, proto je nutné paty svahů opravit. Kamenné kvádry z původní paty jsou rozmístěny v profilu přírodního spádového stupně a je vhodné je využít k opravě opevnění paty svahu.



Obr. 4.21 Výmol dna a poškozené opevnění paty svahu [14]

5 ZÁVĚR

Současným trendem v každém odvětví stavebnictví je realizace ekologických staveb, protože využití přírodních materiálů minimalizuje škodlivý vliv na životní prostředí. Přírodní spádový stupeň na řece Morávce je proveden především z materiálů přírodě blízkých a tvoří s okolím přirozenou část krajiny. Díky proměnlivé morfologii je unikátním biotopem pro několik vzácných a ohrožených druhů rostlin a živočichů. Právě v tomto ohledu spatřuje autor práce jedinečnost přírodního spádového stupně. Nevýhodu naopak vidí ve velikosti záboru plochy, která je nutná k výstavbě objektu oproti klasickým spádovým stupňům.

Součástí práce bylo vypracování teoretické části zabývající se prouděním vody a transportem splavenin, která slouží k lepšímu porozumění chování proudění v přírodním spádovém stupni. Autor práce dále provedl rešerši zabývající se metodikou návrhu lokálních rozšíření a zúžení koryt.

Praktická část práce je zaměřena na přírodní spádový stupeň na řece Morávce, kde byl srovnán původní stav z roku 2008 se stavem v roce 2011, kdy bylo provedeno zaměření topografie terénu objektu. Z vyhodnocených hodnot vyplývá značná změna morfologie terénu, kde došlo k lokálním výmolům o objemu **2760 m³** a obnažení skalních výchozů následkem povodně z května 2010. Porušena byla i opevnění paty svahu, ale usměrňovací prvky zůstaly takřka neporušeny. Dle modelového výzkumu a pozorování zahraničních objektů místního rozšíření a zúžení koryta je zřejmá deformace dna při prvním povodňovém průtoku, u kterého dojde k pohybu splavenin. Avšak z dlouhodobého hlediska je metodika návrhu výše uvedená správná. Autor práce navrhl možné opravy škod způsobených povodní, které přispějí ke zvýšení životnosti a zlepšení funkce objektu.

Objekty místních rozšíření a zúžení koryta jsou využívány ve velké míře především ve Švýcarsku a Rakousku. Přírodní spádový stupeň na řece Morávce je zatím jedinou realizovanou stavbou v České republice. Autor práce tedy doufá, že v budoucnosti bude těchto objektů přibývat a to např. v národních parcích či chráněných krajinných rezervacích.

Spolu s tímto věří, že jeho práce bude využita jako podklad pro další studii změn v přírodním spádovém stupni na řece Morávce.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BARVÍNEK, Richard et al.: *ČSN 73 1001 Základová půda pod plošnými základy*. Praha. Vydavatelství ÚNM. 1987. 80 s
- [2] HEC-RAS. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/HEC-RAS>
- [3] HUNZINGER, Lukas. *Morphology in river widenings of limited length*. 1998. Dostupné z: <http://www.iahr.org/membersonly/grazproceedings99/pdf/E015.pdf>
- [4] JANDORA, Jan a Jan ŠULC. *Hydraulika: modul 01*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 178 s. ISBN 978-80-7204-512-9.
- [5] JANDORA, Jan a Hana UHMANNOVÁ. *M01 – Proudění v systémech říčních koryt, studijní opora*, FAST VUT v Brně, Brno, 2006, 119 s.
- [6] Mapy.cz. MAPY.CZ, s.r.o. [online]. [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz/>
- [7] MORÁVKA: *Vodopis*. [online]. [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: <http://www.moravka.eu/pruvodce-moravkou/vodopis/>
- [8] RAPLÍK, Milan, Pavel VÝBORA a Karel MAREŠ. *Úprava tokov*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1989, 638 s. ISBN 80-050-0128-2.
- [9] ROHDE, Sigrun et al. *Local river widening: Types of structure and methods of construction*. [online]. [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: http://www.rivermanagement.ch/en/river_wideni/river_t.php
- [10] SMELÍK, Lukáš, Hana UHMANNOVÁ a Lucie FOLTÝNOVÁ. *Katalog drsností: E-learning*. [online]. Brno, 2012 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/katalogdrsnosti/e-learning>
- [11] SMS: Map Module. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.xmswiki.com/xms/SMS:Map_Module
- [12] STARÝ, Miloš. *Hydrologie*. BRNO: Skripta byla vydána v el. podobě, 2005.
- [13] ŠMÍDOVÁ, Michaela. *Vznik výmolu "hrušky" v tranzientní zóně proudu a jeho využití v revitalizačních úpravách*. Praha, 2002. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Petr Sklenář.
- [14] TUREČEK, Jan. *Fotodokumentace přírodního spádového stupně na řece Morávce 2011*.
- [15] U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, Hydrologic Engineering Center. *HEC-RAS Hydraulic Reference Manual* [online]. 2002 [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/hydrref/hydrref.exe>
- [16] *Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie* [online]. [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: <http://www.vaw.ethz.ch/>
- [17] VESELÝ, Jaroslav. a kol.: *Fyzikální model přírodního spádového stupně na řece Morávce pod jezem Vyšní Lhoty*, LVV ÚVST FAST VUT Brno, 2001

- [18] VODOHOSPODÁŘSKÝ DISPEČINK POVODÍ ODRY, státní podnik. *Manipulační řád pro jez ve Vyšních Lhotách: Manipulační řád pro jez ve Vyšních Lhotách na řece Morávce v km 10,850*. Frýdek - Místek, 2002, 19 s.
- [19] VÝBORA, Pavel. *Úpravy toků*. 1. vyd. Brno: VUT, 1978, 117 s.
- [20] ZACHOVAL, Zbyněk. *Využití fyzikálního modelování pro stanovení metodiky navrhování lokálních rozšíření a zúžení koryt*. Brno, 2003. Disertační práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Jaroslav Veselý, CSc.

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2.1</i>	<i>Dělení splavenin dle ČSN 70 1001</i>	<i>15</i>
<i>Tab. 4.1</i>	<i>Přehled m-denních průtoků pro hydrologický profil Morávka Raškovice..</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 4.2</i>	<i>Přehled N-letých průtoků pro hydrologický profil Morávka Raškovice.....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 4.3</i>	<i>Hodnoty změny objemů v dílčích úsecích</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 4.4</i>	<i>Drsnost v dílčích profilech dle Cowanovy metody pro stav v roce 2008</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 4.5</i>	<i>Drsnost v dílčích profilech dle Cowanovy metody pro stav v roce 2011 – část 1</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 4.6</i>	<i>Drsnost v dílčích profilech dle Cowanovy metody pro stav v roce 2011 – část 2</i>	<i>44</i>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1	<i>Energetická výška průřezu</i>	12
Obr. 2.2	<i>Dnové útvary</i>	13
Obr. 2.3	<i>Přírodní spádový stupeň na řece Morávce ve vegetačním období zarostlý travními porosty a dřevinami výrazně zvyšující celkovou drsnost koryta ...</i>	14
Obr. 2.4	<i>Schielsův graf vyjadřuje závislost Schieldsova parametru θ v závislosti na Reynoldsově kritériu splavenin Re_d.....</i>	16
Obr. 2.5	<i>Schéma lokálního rozšíření a zúžení koryta vytvořeného dle vlastního dynamického vývoje koryta toku.....</i>	18
Obr. 2.6	<i>Schéma lokálního rozšíření a zúžení koryta vytvořeného dle vlastního dynamického vývoje koryta toku s počátečním opatřením.....</i>	18
Obr. 2.7	<i>Schéma lokálního rozšíření a zúžení koryta vytvořeného uměle mechanizací (stavebními stroji).....</i>	18
Obr. 2.8	<i>Výsledky laboratorního výzkumu, $\lambda w=f(F)$ dle vztahu (2.17) a (2.18).....</i>	20
Obr. 2.9	<i>Schéma výsledků fyzikálního modelu lokálního rozšíření a zúžení koryta ..</i>	21
Obr. 2.10	<i>Příčné řezy fyzikálním modelem viz Obr 3.3.....</i>	21
Obr. 2.11	<i>Druhy provedení výhonů, kolmé (a), inklanantní (b), deklinantní(c).....</i>	22
Obr. 2.12	<i>Lokalizace objektů místního rozšíření a zúžení koryta</i>	23
Obr. 2.13	<i>Lokální rozšíření a zúžení koryta na řece Emmu (vlevo) a na řece Kander (vpravo).....</i>	24
Obr. 3.1	<i>Schéma pro výpočet nerovnoměrného proudění</i>	27
Obr. 4.1	<i>Lokalita zájmového území.....</i>	28
Obr. 4.2	<i>Přírodní spádový stupeň na řece Morávce v dubnu 2008 (proti proudu) ...</i>	30
Obr. 4.3	<i>Lokalizace usměrňovacích prvků v přírodním spádovém stupni na řece Morávce</i>	30
Obr. 4.4	<i>Přírodní spádový stupeň na řece Morávce v srpnu 2011, kde došlo ke značným výmolům v místě rozšíření pod balvanitým skluzem (proti proudu)</i>	31
Obr. 4.5	<i>Usměrňovací prvek č. 1 stav v srpnu 2011 (černý obrys naznačuje jeho původní stav).</i>	32
Obr. 4.6	<i>Stav usměrňovacích prvků č. 2 a č. 3 v srpnu 2011 (proti proudu).....</i>	33
Obr. 4.7	<i>Stav usměrňovacího prvku č. 4 v srpnu 2011 (proti proudu).....</i>	33
Obr. 4.8	<i>Stav usměrňovacích prvků č. 4, č. 5 a č. 6 v srpnu 2011</i>	34
Obr. 4.9	<i>Stav přírodního spádového stupně na řece Morávce v roce 2011, kde je patrný vznik skalních výchozů (proti proudu)</i>	35
Obr. 4.10	<i>Topografický model terénu přírodní spádového stupně na řece Morávce v roce 2008.....</i>	36
Obr. 4.11	<i>Topografický model terénu přírodní spádového stupně na řece Morávce v roce 2011</i>	36
Obr. 4.12	<i>Zobrazení hloubky výmolů v dílčích úsecích.....</i>	37
Obr. 4.13	<i>Mapa výmolů a nánosů.....</i>	38
Obr. 4.14	<i>Granulometrická křivka vzorku z roku 2001.....</i>	39
Obr. 4.15	<i>Granulometrická křivka vzorku č. 1</i>	40
Obr. 4.16	<i>Granulometrická křivka vzorku č. 2</i>	40
Obr. 4.17	<i>Granulometrická křivka vzorku č. 3</i>	41
Obr. 4.18	<i>Průběh hladin v přírodním spádovém stupni na řece Morávce pro stav v roce 2008.....</i>	45

<i>Obr. 4.19</i>	<i>Průběh hladin v přírodním spádovém stupni na řece Morávce pro stav v roce 2011</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 4.20</i>	<i>Porovnání průběhu hladin průtoků Q_{20} a Q_{100} v přírodním spádovém stupni na řece Morávce pro stav v roce 2008 a 2011.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 4.21</i>	<i>Výmol dna a poškozené opevnění paty svahu.....</i>	<i>47</i>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

B_A	šířka rozšířené části objektu	[m]
B_K	šířka původního koryta	[m]
C_t	tvarový součinitel zrna	[-]
d	průměr zrna	[m]
d_{90}	velikost zrna při 90% propadu	[m]
d_{ef}	efektivní zrno	[m]
$d_{z,bw}$	rozdíl úrovně dna způsobený objektem oproti původnímu stavu	[m]
F	Hunzingerův parametr poměru kinetické a potenciální energie v místě rozšíření	[-]
Fr	Froudovo kritérium	[-]
g	tíhové zrychlení	[m/s ²]
h	hloubka vody	[m]
h_A	střední hloubka v rozšířené části	[m]
h_i	hloubka vody v horním profilu	[m]
h_{i+1}	hloubka vody v dolním profilu	[m]
h_{mj}	ztrátová výška místní	[m]
h_s	střední hloubka	[m]
h_{zj}	celková ztráta energie v úseku j	[m]
h_{zt}	ztrátová výška třením	[m]
Δh_j	rozdíl úrovní hladin	[m]
i_0	podélný sklon dna	[-]
i_{0j}	podélný sklon dna dílčího úseku	[-]
i_e	sklon čáry mechanické energie	[-]
i_{pj}	průměrný sklon čáry mechanické energie	[-]
K_{pj}	modul průtoku	[m ³ /s]
k_r	součinitel drsnosti dle Stricklera	[-]
k_s	celkový součinitel drsnosti dna	[-]
L	délka potřebná ke vzniku divočení toku	[m]
ΔL_j	vzdálenost dílčího úseku j (mezi profily i a $i + 1$)	[m]
l	charakteristický délkový rozměr (obvykle hydraulický poloměr R)	[m]
L_T	přechodná délka	[m]
L_V	délka zúžení	[m]

L_w	délka rozšiřující se části objektu	[m]
L_W	délka rozšiřující se části objektu	[m]
n	součinitel drsnosti	[-]
Q	průtok v úseku j	[m ³ /s]
Q_m	m-denní průtok	[m ³ /s]
Q_N	N-letý průtok	[m ³ /s]
s	přírůstek spádu dna	[m]
U	číslo stejnozrnnosti	[-]
v	charakteristická rychlost	[m/s]
v	průřezová rychlost	[m/s]
v_A	průřezová rychlost v rozšířené části objektu	[m/s]
v_i	průřezová rychlost v horním profilu	[m/s]
v_{i+1}	průřezová rychlost v dolním profilu	[m/s]
v_K	průřezová rychlost v původním korytě	[m/s]
v_n	průřezová nezanášecí rychlost	[m/s]
v_s	svislicová rychlost	[m/s]
v_{sn}	svislicová nezanášecí rychlost	[m/s]
v_{sv}	svislicová nevymílací rychlost	[m/s]
v_v	průřezová nevymílací rychlost	[m/s]
w_s	usazovací rychlost	[m/s]
α	součinitel kinetické energie (Coriolisovo číslo)	[-]
Δ	hydraulická drsnost	[m]
λ	součinitel tření	[-]
λ_w	Hunzingerův parametr rozšíření	[-]
ν	kinematická viskozita kapaliny	[m ² /s]
ρ	hustota vody	[kg/m ³]
ρ_s	hustota materiálu splavenin	[kg/m ³]
τ	tečné napětí	[Pa]
τ_0	tečné napětí pro počátek pohybu splavenin	[Pa]
τ_k	kritické tečné napětí	[Pa]
τ_s	tečné napětí určující množství splavenin v pohybu	[Pa]
φ	úhel vnitřního tření	[°]

GPS Global Positioning System
HEC-RAS Hydrologic Engineering Centers River Analysis System
NPP Národní přírodní památka
SMS 10.1 Surface Modelling System