

BEČVA, OSEK NAD BEČVOU POSOUZENÍ STABILITY KORYTA, NÁVRH ÚPRAV A STABILIZAČNÍCH OBJEKTŮ

STUDIE

TECHNICKÁ ZPRÁVA

VODNÍ DÍLA – TBD a. s., Hybernská 40, 110 00 Praha 1

Telefon 221 408 111 Fax 224 212 803 www.vdtbd.cz

Pracoviště Studená 2, 638 00 Brno

Telefon 544 222 434 Fax 544 222 642

Ředitel

Ing. Miloš Sedláček

Vedoucí útvaru 403

Ing. Jiří Hodák, PhD.

Vypracoval

Ing. Tomáš Kantor

Spolupráce

Ing. Karel Adam, Ing. Stanislav Žatecký, Ing. Jiří Petr

**BEČVA, OSEK NAD BEČVOU
POSOUZENÍ STABILITY KORYTA, NÁVRH ÚPRAV A
STABILIZAČNÍCH OBJEKTŮ – STUDIE**

TECHNICKÁ ZPRÁVA

Objednatel

Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 932/11, Brno 602 00

Číslo projektu

P 2425

Archivní číslo

2680 / 403

Vypracováno

V Brně, září 2016

OBSAH

1	IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE	3
1.1	Údaje o lokalitě	3
1.2	Údaje o objednateli	3
1.3	Údaje zpracovatele dokumentace	3
2	SEZNAM VSTUPNÍCH PODKLADŮ	3
3	ÚVOD	4
4	POPIS SOUČASNÉHO STAVU	5
4.1	Hydrologické údaje	5
4.2	Technický popis současného stavu koryta	5
4.3	Stručný vývoj a poznámky k dosavadnímu stavu	6
4.4	Geodetické zaměření	6
4.4.1	Polohové připojení:	7
4.4.2	Výškové připojení :	7
4.4.3	Popis podrobného měření:	7
4.4.4	Zpracování výsledků, přesnost měření:	7
4.5	Geotechnické poměry v podloží koryta	7
4.6	Staničení stávajících objektů a křížení s inženýrskými sítěmi	8
5	POROVNÁNÍ GEODETICKÉHO ZAMĚŘENÍ S PŘEDCHOZÍM	9
6	METODIKA ZPRACOVÁNÍ	11
6.1	Digitální model terénu	11
6.2	Matematický a numerický model	11
6.3	Objekty na toku	12
6.4	Místní šetření	12
6.5	Horní okrajové podmínky	13
6.6	Počáteční podmínky	13
6.7	Stanovení nevymílacích rychlostí	13
6.8	Stanovení průměrných rychlostí a hloubek	13
7	STÁVAJÍCÍ STAV	14
8	NAVROVANÝ STAV	16
8.1	Varianta V1	16
8.2	Varianta V2	18
8.3	Varianta V3	20
8.4	Varianta V4	23
8.5	Varianta V5	26
8.6	Varianta V6	28
8.7	Varianta V7	30
8.8	Varianta V8	33
9	ODHAD NÁKLADŮ	36
10	ZÁVĚR	37
11	SEZNAM PŘÍLOH	38

1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název: Bečva, Osek nad Bečvou – Posouzení stability koryta, návrh úprav a stabilizačních objektů

1.1 Údaje o lokalitě

Místo: Bečva, Osek nad Bečvou
Tok: Bečva
Č. hydrologického pořadí: 4-11-02-062
Katastr. území: Osek nad Bečvou 713015
Kraj: Olomoucký
Vlastník VD: Česká republika (právo hospodařit s majetkem státu: Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 932/11, Brno 602 00)

1.2 Údaje o objednateli

Investor: Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 932/11, 602 00 Brno (IČ: 70890013)
Číslo smlouvy objednatele: PM 08595/20/6-04
Číslo smlouvy zhotovitele: A1682/16
Provozovatel a správce VD: Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 932/11, 602 00 Brno (závod Horní Morava, U Dětského domova 263772 11 Olomouc)

1.3 Údaje zpracovatele dokumentace

Zpracovatel dokumentace: VODNÍ DÍLA – TBD, a.s. Hybernská 40, 110 00 Praha, pracoviště Brno: Studená 2, 638 00 Brno (IČ: 49241648)
Zodpovědný projektant: Ing. Stanislav Žatecký, autorizovaný inženýr pro stavby vodního hospodářství a krajinného inženýrství (ČKAIT - ev. č. 1000535)
Stupeň dokumentace: Studie

2 SEZNAM VSTUPNÍCH PODKLADŮ

- 1) JANDORA, J., Tabulky z hydrauliky, VUT v Brně, prosinec 2001.
- 2) HEC-RAS River Analysis System - User's Manual, US Army Corps of Engineers (Hydrologic Engineers Center), January 2010
- 3) POVODÍ MORAVY s.p., - Geodetické zaměření zájmové lokality (Brno, 05-07/1998)
- 4) POVODÍ MORAVY s.p., Řeka Bečva – Zaměření skutečného stavu (Brno, 04/2011)
- 5) POVODÍ MORAVY s.p., Studie úpravy Bečvy v úseku pod jezem v Oseku po Grymovský most (Přerov, 01/1969)
- 6) HYDROPROJEKT s.p., Spojená Bečva, Stupeň u Oseku (Brno, 12/1957)
- 7) VH-atelier, spol. s.r.o., Spojená Bečva, lokalita „Osek nad Bečvou“, km 19,561 – 21,845 (Brno. 08/2001)
- 8) ČHMU, Hydrologické údaje povrchových vod (Ostrava, 08/2016)
- 9) VODNÍ DÍLA-TBD a.s., Geodetické zaměření zájmové lokality (Brno, 08/2016)
- 10) PATOČKA, Cyril a MACURA Lukáš. A KOL., Úpravy toků. (Praha, 1989. ISBN 80-03-00203-6)

3 ÚVOD

Předmětem tohoto dokumentu je v souladu se Smlouvou o dílo (č. objednatele PM 08595/10/6-504) vypracování studie pro zajištění stability dna toku Bečvy v úseku od stupně Osek (ř. km 24,4) po balvanitý skluz (ř. km 21,851) v délce cca 2,55 km. V rámci prací byl posouzen stávající stav s následným návrhem variantního řešení zajištění stability dna toku.

Na základě zadání objednatele jsou základní požadavky pro studii na opravu koryta shrnuty do následujících celků:

- Geodetické zaměření zájmové lokality.
- Hydrotechnické a stabilitní posouzení stávajícího stavu.
- Porovnání s předchozím zaměřením z roku 1998.
- Na základě výsledku posouzení provést variantní návrh podélných a příčných staveb zajišťujících stabilitu dna.
- U případně navržených spádových objektů zvážit reálné využití jejich hydroenergetického potenciálu.

4 POPIS SOUČASNÉHO STAVU

Předmětem prací je koryto VVT Bečva od stupně v Oseku nad Bečvou (ř. km 24,4) do části s kamenným skluzem (ř. km 21,851), přičemž celková délka úseku činí cca 2,55 km. Tento úsek spadá do úpravy ústí – Osek nad Bečvou a byl předmětem regulace na počátku 20. století.

4.1 Hydrologické údaje

Tab. č. 1: Hydrologická data

Hydrologická data	Profil balv. skluzu, cca km 21,800 (pod přítokem Lubeň)
Hydrologické číslo povodí:	4-11-02-062
Plocha povodí:	1523,53 km ²
Průměrná dlouhodobá roční výška srážky Hs:	884 mm
Průměrný dlouhodobý roční průtok Qa :	17,1 m ³ /s

Tab. č. 2: M- denní průtoky

M-denní průtoky Q _{Md} m ³ /s														
30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364	Třída	
43,0	26,5	19,2	14,3	11,3	8,96	7,12	5,79	4,76	3,86	2,90	2,00	1,14	II.	

M-denní průtoky jsou odvozeny z pozorovaných průtoků ve vodoměrných stanicích za referenční období 1981 – 2010.

Tab. č. 3: N-leté průtoky

N-leté průtoky Q _N m ³ /s								
1	2	5	10	20	50	100	Třída	
237	336	497	566	665	796	897	II.	

N-leté průtoky jsou odvozeny za maximální dostupné období pozorování.

4.2 Technický popis současného stavu koryta

Koryto je provedeno jako lichoběžníkové se sklony svahů 1:1 až 1:3. Šířka koryta u dna činí ze zaměření cca 22 - 47 m, se spádem cca 1,0-1,3 ‰. Opevnění paty svahu je převážně řešeno patkou z těžkého kamenného záhozu. Periodická údržba koryta v podobě sečení je řešena v úseku oboustranné cyklostezky – tj. od stupně po silniční most Osek – Oldřichov.

Stávající břehové opevnění toku je v některých částech břehů významně narušeno, což je pravděpodobně dáno koncentrovanými průtoky a zahlubujícím se dnem. V dolní části řešeného úseku (od silničního mostu po balvanitý skluz) je značně hustý břehový porost a koryto je zde více zpřírodněno. V tomto úseku se nacházejí výše zmíněné nátrže.

Konkávní břehy byly zpevněny betonovými bloky opřenými o dřevěné piloty. Za nimi byl kamenný zához a o něj se opírala kamenná dlažba, vrch svahu byl zpevněn vrbovým krytem. Přímé trati byly opevněny v patě záhozem, o která se opírala dlažba na sucho. Horní část svahu byla zpevněna vrbovým krytem a drnováním. Konvexní břehy měly v patě plůtek, nad ním kamennou dlažbu na sucho a zbytek svahu opevněn opět vrbovým krytem a drnováním.

V předešlých projektových dokumentacích je zmíněno, že koryto bylo provedeno ve spádu 1,4‰, s průměrnou hloubkou 3,5 m, šířkou při dně 26 m a sklonem svahů 1:3. Již ve fázi projektové přípravy spádového stupně Osek bylo konstatováno, že místy dosahuje koryto více než

dvojnásobné hloubky, než bylo původní provedení úpravy. Původní kapacita úpravy byla Q_5 , dnes je díky erozní činnosti mnohem větší (řešený úsek cca Q_{100} , bez započtení rozlivů způsobených vzdutím hladiny u pevných jezů), což má dopad právě na stabilitu koryta toku. Původně byly v daném úseku navrhovány 3 stupně, z nichž ten nejakutnější (v ř. km 24,4 sloužící pro stabilizaci podjezí jezu Osek) byl i stavebně realizován v 70. letech 20. století. Tento je ve správě Povodí Moravy, s.p.. Mimo stabilizaci dna je od roku 2000 využíván k provozu MVE soukromého vlastníka.

Výše zmíněné úpravy začínají u tohoto objektu, resp. u jeho vývařiště. Konec posouzení, resp. návrh stabilizace dna je poté u objektu zdrsněného kamenného skluzu v ř. km 21,851. Tento objekt byl proveden z těžkého kamenného záhozu o délce cca 15 m.

4.3 Stručný vývoj a poznámky k dosavadnímu stavu

V roce 1931 až 1932 byl postaven na spojené Bečvě jez v místech na hranicích katastrů Lipník a Osek nad Bečvou a to asi 50 m pod starým dřevěným jezem, jenž byl zrušen. Osecký jez je tvořen pevným přelivem délky 56 m a 2 poli po 18 m hrazených klapkami.

V roce 1944 až 1948 byla provedena rekonstrukce jezu, spočívající v zaražení štětové stěny před přelivným tělesem, vybrání a vybetonování ostruhy až pod základ jezu. Tímto se dosáhlo utěsnění podloží pod jezovou konstrukcí.

Původní regulace Bečvy navazovala na starý dřevěný jez, avšak erozní činností záhy došlo ke značnému prohlubování. Takže nový jez, přizpůsobený prohlubování, byl závěrečným prahem o 1,7 m pod úpravou v původním provedení. Již do roku 1940 se dno v trati pod jezem prohloubilo asi o 1 m. Do roku 1953 se prohloubení o 1 m projevilo i u Grymovského mostu, zatím pod oseckým jezem dostoupilo snížení již o 4 m, takže hloubka koryta se zdvojnásobila. Již v roce 1953 došlo pod Oseckým jezem pod prahem vývařiště ke snížení o 2 m. Proces prohlubování byl již od počátku úpravy. Lze se domnívat, že je prohlubování je výsledkem nesprávně navrženého příčného profilu koryta, kde přílišnou koncentrací dochází k vysokému specifickému průtoku a překročení přípustných nevymílacích rychlostí. Výsledkem je poté nestabilita dna koryta toku Bečvy.

Další závažnou závadou bylo vývařiště u Oseckého jezu. Vývařiště mělo nedostatečnou kapacitu (délku). Toto bylo zčásti odstraněno vybudováním dalšího stupně u Oseku nad Bečvou v 70. letech 20. století. Vybudováním tohoto pevného jezu došlo k omezení přechodu splavenin přes tento objekt (především štěrků) a tím k zhoršení situace v úseku pod tímto jezem.

V roce 2001-2003 byl navržen a posléze vybudován drsný balvanitý skluz v km 21,821 (dle PD km 21,643). Tento balvanitý skluz je tvořen ze dvou čelních stěn provedených z dřevěné kulatiny na výšku 1,9 a 0,9 m ukotvených na zaberaněných pilotách. Prostor mezi stabilizačními stěnami je vyplněn těžkým kamenným záhozem v podélném sklonu 1:15 a min. výšce kamene 0,8 m. Výška skluzu je cca 1,0 m. Návodní stěna je utěsněna geotextilií pro zamezení průtoku přes konstrukci objektu a negativního účinku proudící vody. Čelní stěna je provedena do tvaru V s vytvořenou kynetou pro převádění m- denních průtoků a skloněna proti proudu ve sklonu 1 :7:5. Samotný balvanitý skluz je tvořen kaskádou z jednotlivých kamenů stavěných na štět tak, aby tvořily drsný skluz se soustavou na sebe navazujících tůňek umožňující migraci obojživelníků a rybí osádky po toku.

4.4 Geodetické zaměření

Geodetické měření bylo provedeno od 12.-23.8.2016, po opadnutí zvýšených průtoků z přelomu 07-08/2016. Ve vybraných profilech byla navíc zaměřena úroveň hladiny při takto

zvýšených průtocích. Tyto výšky byly poté využity při kalibraci numerického modelování v programu HEC-RAS.

4.4.1 Polohové připojení:

Měření bylo připojeno do souřadnicového systému JTSK metodou GPS s použitím přijímače GPS Trimble R4GNSS, bodů ZhB (zahušťovací body) a bodů PBPP (body podrobného bodového pole), které se nacházejí v blízkosti koryta (ZhB: bod č. 220 a PBPP bod č. 601).

Podrobné body byly určeny polární metodou totální stanicí STONEX R6.

Souřadnicový systém: JTSK

4.4.2 Výškové připojení :

Výškově bylo měření rovněž připojeno metodou GPS a zpřesněno připojením na body ZhB (zahušťovací body) a bodů PBPP (body podrobného bodového pole), které se nacházejí v blízkosti koryta (ZhB: bod č. 220 a PBPP bod č. 601).

Výškový systém : Balt p.v.

4.4.3 Popis podrobného měření:

Pro měření byla vybudována síť pomocných měřických bodů. Body měřické sítě byly stabilizovány pouze dočasně. Příčné profily koryta Bečvy byly měřeny v rovných úsecích po cca 50-100 metrech, v zatáčkách a vybraných místech četněji. Rovněž byla zaměřena poloha mostu, profily toku v místech křížení se sítěmi (plyn, voda, elektřina) a jiná vybraná místa.

4.4.4 Zpracování výsledků, přesnost měření:

Výšky zpevněných ploch a objektů jsou uváděny na centimetry, u nezpevněných ploch na decimetry.

Naměřená data byla početně zpracována programem FileConvertor – geodätischer Datenwandler v5.03 by Michael Lösler a pro kresbu byl použit program AutoCAD Civil 3D 2013.

4.5 Geotechnické poměry v podloží koryta

Podloží je tvořeno předkvárterním podkladem, tvořeným vesměs vápnitými, zelenošedými jíly s tuhou až měkkou konzistencí. Lze tedy usuzovat, že tento materiál se nestává překážkou v pokračující erozní činnosti.

Toto je dáno tím, že povrch jílu (i když ve větších hloubkách tuhé konzistence) na svém povrchu pod hladinou zvětrává a rozbředá v přítomnosti vody. Tím dochází k rozpadu a postupnému odplavování. Přítomnost šterkových náplavů, které jsou v pohybu, celý proces patrně urychlují – vydíráním a rozvolňováním jílového podloží.

4.6 Staničení stávajících objektů a křížení s inženýrskými sítěmi

Tab. č. 4: Staničení stávajících objektů

POPIS OBJEKTU	STANIČENÍ [km]		POZNÁMKY
	Stávající zaměření (PM)	Nové ^{#)} zaměření (VDTBD)	
Spádový stupeň	24,202 (24,400) *	24,246	
Práh vývaru stupně	24,182	24,226	Konec prahu vývaru (štetová stěna), začátek úseku úpravy
Levostranný přítok - bezejmenný	-	23,892	
Elektrické vedení nadzemní	-	23,833	VVN 2x220 kV
Plynovod podzemní	(23,985) *	23,776	Projekt
Plynovod podzemní	(23,920) *	23,754	
Sdělovací vedení podzemní	-	23,703	
Plynovod podzemní	(23,839) *	23,692	VTL (RWE)
Vodovod nadzemní	-	22,873	
Železobetonový most - osa	22,785	22,867	
Elektrické vedení nadzemní	-	22,858	VN do 35 kV
Plynovod podzemní	(22,939) *	22,815	Nefunkční (RWE)
Pravostranný přítok - Lubeň	21,826	21,872	
Balvanitý skluz – přelivná hrana	21,821 (21,851) *	21,729	konec úseku úpravy

^{*)} Staničení uvedené v investičním záměru.

^{#)} Staničení vztaženo ke kilometrůžce z DIBAVODu.

5 POROVNÁNÍ GEODETICKÉHO ZAMĚŘENÍ S PŘEDCHOZÍM

Z porovnání podélných profilů dna koryta, které byly geodeticky zaměřeny v letošním roce (2016) a zaměření z roku 1940, 1968 a 1998 vyplývá:

Tab. č. 5: Minimální, průměrné a maximální zahlubování koryta v čase.

ČASOVÝ ÚDAJ (Od zaměření z roku 1940)	DOLNÍ ÚSEK Most (Osek n. B. - Oldřichov) - balvanitý skluz, délka úseku 1138 m			HORNÍ ÚSEK Stupeň Osek - most (Osek n. B. - Oldřichov), délka úseku 1359 m		
	Minimální zahloubení [m]	Průměrné zahloubení [m]	Maximální zahloubení [m]	Minimální zahloubení [m]	Průměrné zahloubení [m]	Maximální zahloubení [m]
Do zaměření z 1968 (28 let)	1,0	1,5	2,1	0,4	1,0	1,4
Do zaměření z 1998 (58 let)	2,2	3,0	3,7	1,5	2,4	3,6
Do zaměření z 2016 (76 let)	1,5	2,0	2,6	1,7	2,6	3,2

Tab. č. 6: Zahlubování koryta v čase ve významnějších profilech.

ČASOVÝ ÚDAJ (Od zaměření z roku 1940)	POD VÝTOKEM Z MVE	V PROFILU MOSTU	PŘED BALVAN. SKLUZEM
	Zahloubení [m]	Zahloubení [m]	Zahloubení [m]
Dle zaměření z 1968	1,3	1,0	1,6
Dle zaměření z 1998	1,5	2,5	3,0
Dle zaměření z 2016	3,0	2,2	2,6

Pozn.: Pod stupněm Osek v roce 2000 vybudována MVE. Balvanitý skluz postaven až v roce 2003.

Z výše uvedeného přehledu vyplývá, že před výstavbou balvanitého skluzu došlo k maximálnímu zahloubení koryta o cca 4 m (od roku 1940 do roku 1998). K vyššímu průměrnému zahlubování koryta docházelo především v dolním úseku (úsek od mostu po balvanitý skluz), a to o cca 0,6 m.

Po výstavbě balvanitého skluzu došlo v tomto dolním úseku k mírnému navýšení dna koryta toku Bečvy v průměru o cca 1 m. U horního úseku po výstavbě balvanitého skluzu docházelo stále k prohlubování dna koryta v průměru o cca 0,2 m. Avšak pravděpodobně vlivem výstavby MVE (koncentrujících se rychlostí z ní) došlo v její blízkosti k prohloubení koryta od roku 1998 po současnost (2016) o cca 1,6m.

Lze předpokládat, že usazený materiál před balvanitým skluzem je jemnozrnného charakteru. Původ tohoto materiálu předpokládáme z natrží, které jsou v dolním úseku ve velkém počtu. Šterkový materiál, který řeka Bečva splavuje z povodí nad zájmovým úsekem, se s velkou pravděpodobností usazuje ve zdržích horních jezů. Nelze tedy předpokládat, že materiál usazený v dolním úseku napomáhá ke stabilizaci dna. Tento materiál se v důsledku zvýšených průtoků

(překročení nevymílacích rychlostí) dává do pohybu. Z části je odplaven dále po toku, zčásti se mění konfigurace dna.

V důsledku neopevnění dna pod balvanitým skluzem došlo k prohloubení koryta od roku 1998 do roku 2011 o cca 1,7 m.

Výsledky porovnání z geodetického zaměření z let 2016, 1998, 1968 a 1940 jsou vyneseny na grafických přílohách č. 0.1 (situace), 0.2 (podélný profil toku) a 0.3 (příčné řezy korytem).

6 METODIKA ZPRACOVÁNÍ

Metodika zpracování využívá softwarové aplikace umožňující, přehledné zpracování řešené problematiky. Pro popis řešeného území je využita GIS aplikace AutoCAD Civil 3D a program (nástavby) hydraulického modelu HEC – RAS pro sestavení kostry matematického modelu. Pro výpočet proudění v korytě toku je využit jednorozměrný hydraulický model HEC – Ras 4.1.0, který je schopen počítat nerovnoměrné ustálené proudění v otevřených korytech.

Postup prací byl následující:

- získání a studium dostupných podkladů o zájmovém území;
- podrobné místní šetření v lokalitě;
- příprava geodetických mapových, výškopisných a fotografických podkladů v AutoCAD Civil 3D;
- zpracovávání geodetických podkladů, tvorba digitálního modelu terénu (DMT) v programu AutoCAD Civil 3D;
- definování osy toku a příčných profilů;
- import geometrických dat z programu AutoCAD Civil 3D do programu pro výpočet proudění povrchové vody HEC-RAS;
- úprava příčných profilů dle místního šetření, definice hydraulických drsností, okrajových (definice průtoků) a počátečních podmínek;
- hydraulický výpočet ustáleného proudění v programu HEC-RAS v korytě toku Bečvy.

6.1 Digitální model terénu

Digitální model terénu (DMT) byl zpracován v rozsahu od stupně Osek na řece Bečvě po balvanitý skluz. Podkladem pro vyhotovení DMT bylo podrobné geodetické zaměření zájmového území (včetně mostu) v příčných profilech (celkově zaměřeno 41 profilů).

6.2 Matematický a numerický model

HEC-RAS je matematický program vyvinutý USACE (Hydrologic Engineering Center-HEC). Slouží k jednorozměrnému (1D) matematickému modelování říčních systémů (River Analysis System- RAS). Požadavek na jednorozměrný výpočet ze strany objednatele byl v zadání v rámci Smlouvy o dílo.

Předpoklady výpočtu

- Průtok vody v korytě je buď nerovnoměrný ustálený anebo nerovnoměrný neustálený.
- Proudění je pozvolna měnící se. Nedochází k náhlým změnám v příčném průřezu.
- K náhlé změně průřezu může dojít pouze v objektech, jako jsou jezy, mosty nebo propustky.
- Sklon řeky je menší než $i = 0,1$
- Proudění je jednorozměrné, proud vody má směr vždy kolmý na zadaný příčný profil.
- Voda jako proudící medium je nestlačitelná.
- Podélný sklon dna koryta je malý, tj. předpokládá se, že proudění v korytě je téměř horizontální.
- Předpokládá se hydrostatické rozdělení tlaku po svislici.
- Odporový člen pro neustálené proudění lze aproximovat Chézyho vztahem.

Řešené území je pro řešení ustáleného proudění vody nahrazeno geometrickým modelem reliéfu koryta. Řešený úsek zájmového území má délku cca 2,686 km. Příčné profily byly

odvozeny z výškopisných podkladů, resp. z digitálního modelu terénu (dále jen DMT), který byl pro účely této práce vytvořen z dostupných geodetických podkladů. Počet a rozložení příčných profilů byl volen dle geodetického zaměření a úměrně potřebám řešení. Pokrytí zájmového území příčnými profily považujeme za odpovídající charakteru úlohy.

Geometrický model byl dále upraven dle geodetického zaměření a podkladu mostu. Tyto podklady poskytly detailnější geometrické parametry mostu a profilů a byly využity pro posouzení kapacity vybraných objektů.

Při numerickém modelování a obecně výpočtech proudění vody hraje značnou roli určení Manningova drsnostního součinitele (hydraulická drsnost) povrchu protékajícího profilu. Jedná se o tzv. makrodrsnosti, při jejichž určení a zavedení do výpočtu, resp. modelu je nutno přistoupit k jisté míře zjednodušení. Stávající povrch zájmového území je velmi pestrý s neustále se střídající hydraulickou drsností. Tato skutečnost byla zjednodušena tak, že byly zvoleny jisté charakteristické typy povrchů s odpovídajícími hodnotami drsností. Tyto druhy povrchů odpovídají jejich zemědělskému a urbanistickému využití. Tento způsob zavedení hydraulické drsnosti do výpočtu dostatečně přesně vystihuje vliv různého typu povrchů při průtoku vody korytem. Hodnoty drsností byly stanoveny na základě místního šetření a kalibrací modelu pro zaměřené úrovně hladiny vody při průtoku cca 200 m³/s z 08/2016, zkušeností řešitele a s přihlédnutím k tabulkovým hodnotám [1].

Tab. č. 6: Tabulka drsností

POVRCH	PŮVODNÍ STAV (n)	NÁVRHOVÝ STAV (n)
Dno koryta	0,020 – 0,030	-
Svahy - travní pokryv	0,040 – 0,050	
Svahy – porost z jednotlivých keřů	0,060 – 0,080	
Svahy – smíšený les	0,080 – 0,100	
Dno upravené lomovým kamenem frakce 0-500 mm	-	0,030 - 0,050

6.3 Objekty na toku

V řešeném území se nachází 2 významnější objekty ovlivňující proudění (jako objekty jsou chápány jezy, mosty, prahy, apod.) v trase koryta. Objekty tvoří příčnou překážku v proudění vody, mohou vzdouvat vodu a může docházet k přelévání samotné mostovky v případě mostů. Dále se v zájmovém území nachází množství břehových nátrží, které průběh průtoků významně neovlivní. Proto byly takovéto objekty zanedbány.

Objekty:

- Balvanitý skluz: 1x;
- Most: 1x.

6.4 Místní šetření

Místní šetření proběhlo 26. 07.2016 a 12.08 – 23.08.2016. V rámci místního šetření bylo provedeno:

- podrobná prohlídka zájmového území koryta;
- geodetické měření zájmové lokality v profilech;
- pořízena podrobná fotodokumentace území a objektů;
- průzkum a záznamy o hydraulických parametrech koryta a přilehlého území (drsnost, stav vegetace, vliv zástavby na průtokové poměry);

- zhodnocení vlivu objektů na toku jako jsou mosty, prahy atd. na průchod návrhových průtoků.

6.5 Horní okrajové podmínky

Horní okrajové podmínky definují průběh nadmořské výšky hladiny nebo průtoků (ustálené proudění) na horním okraji sestaveného modelu. Jako horní okrajová podmínka jsou definovány tyto průtoky Q (m^3/s): 4; 8; 50; 100; 200^{*)}; 237; 336; 497; 566; 665; 796; 897

*) Průtok na přelomu července a srpna 2016.

6.6 Počáteční podmínky

Počáteční podmínky definují charakteristiky proudění v horní a dolní části sestaveného modelu. Vzhledem k tomu, že se jedná o nerovnoměrné ustálené proudění, byly zvoleny tyto podmínky:

Horní počáteční podmínka – hladina odpovídající průměrnému sklonu koryta ($i = 0,0013$)

Dolní počáteční podmínka – hladina odpovídající průměrnému sklonu koryta ($i = 0,00107$)

6.7 Stanovení nevymílacích rychlostí

Tato metoda porovnává průřezové rychlosti s nevymílacími průřezovými rychlostmi stanovenými pro omočený obvod. Obecně se požaduje, aby byla splněna nerovnost $v_n < v < v_v$. Důležité hledisko v této metodě je hodnota zrnitosti dnového materiálu, jelikož nevymílací průřezová rychlost je závislá na zrnitosti materiálu dna. Nezanášecí rychlost se určí dle vztahu $v_n = 0,7 \cdot v_v$. [10]

kde: v_n nezanášecí rychlost,
 v_v nevymílací rychlost.

Ve stabilitním posouzení dna byly použity tyto vztahy pro výpočet nevymílacích rychlostí:

- **Neilova rovnice** - rovnici platná za předpokladu $d_e > 3$ mm a $0,5 > d_e/h > 0,01$
- **Šamova rovnice**
- **J.J. Leviho rovnice** - pro stejnozrný materiál, pro $R/d_{60} > 60$
- **Gončarova rovnice** - pro $d_e = 1,5 - 20$ mm
- **Meyer - Peterova rovnice** - v praxi je vhodná pro rozmezí zrn 4 – 30 mm.

Na základě v minulosti provedeného granulometrického rozborů štěrků v údolní nivě vychází průměrné střední (efektivní) zrno $d_e = 13$ mm. Dle geologické zprávy „Úprava Bečvy“ z roku 1968 je střední zrno z materiálu koryta Bečvy 20 – 40 mm.

6.8 Stanovení průměrných rychlostí a hloubek

Jelikož se jednalo o hydrotechnické posouzení v 1D matematickém modelování, bylo přistoupeno z důvodu jednoduší prezentace výsledků (případně efektivnosti navržené úpravy), vytvoření průměrné rychlosti (případně hloubky vody) pro řešený úsek. Jednalo se o zprůměrování vypočtených rychlostí (resp. hloubek vody) z jednotlivých výpočetních profilů (vyjma profilů na začátku a konci zájmové oblasti). Krajiní profily nebyly zahrnuty z důvodu rozdílných režimů proudění, a tedy výrazně odlišných hodnot jak pro rychlosti, tak i pro hloubky vody.

7 STÁVAJÍCÍ STAV

U stávajícího stavu se jednalo především o určení stupně drsnosti v zájmovém území. Koryto je v současnosti ve špatném stavu. Břehy koryta jsou v převážné části zarostlé náletem (keře, vzrostlé stromy, atd.), které zasahují do průtočného profilu koryta.

Převládající režim proudění v prověřovaných průtocích je říční ($h > h_k$). Pouze v úseku těsně pod stupněm resp. na balvanitém skluzu dochází k bystrinnému proudění při nízkých průtocích (do cca Q_1).

V okolí mostu poté dochází k zvýšené rychlosti proudění. Kapacita mostu je dostačující i pro převedení Q_{100} .

Graficky je stávající stav (2016) s historickým zaměřením (1998, 1968 a 1940) vyneseno na přílohách č. 0.1 (situace), 0.2 (podélný profil toku) a 0.3 (příčné řezy korytem).

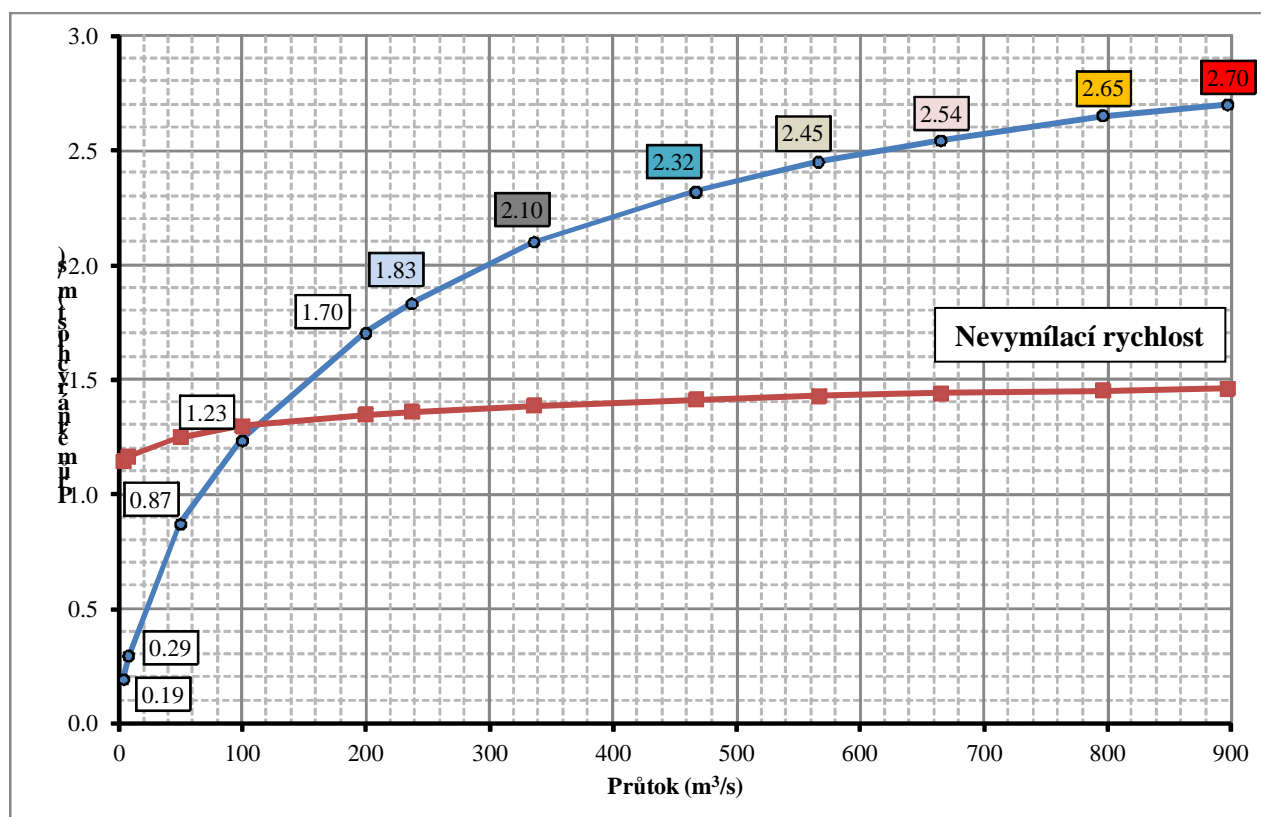
Na přelomu července a srpna 2016 korytem protékal průtok cca $200 \text{ m}^3/\text{s}$. Tento průtok byl pro kalibraci zadán do numerického modelu koryta a následné výsledky prokázaly dobrou shodu modelu se skutečností (rozdíl skutečné a vypočtené hladiny byl řádově v cm – s tím, že skutečná úroveň hladiny vody byla geodeticky zaměřena ve vybraných profilech).

Tab. č. 7: Tabulka s výsledky modelování v 1D – STÁVAJÍCÍ STAV

N-letost	Průtok	Průměrná rychlost	Průměrná hloubka vody	Průměrná nevymílací rychlost
-	(m^3/s)	(m/s)	(m)	(m/s)
-	4	0,19	1,2	1,15
-	8	0,29	1,3	1,16
-	50	0,87	1,9	1,25
-	100	1,23	2,4	1,30
-	200 ^{*)}	1,70	3,1	1,35
Q_1	237	1,83	3,3	1,36
Q_2	336	2,10	3,7	1,39
Q_5	467	2,32	4,3	1,41
Q_{10}	566	2,45	4,6	1,43
Q_{20}	665	2,54	4,8	1,44
Q_{50}	796	2,65	5,1	1,45
Q_{100}	897	2,70	5,4	1,46

*) Průtok z přelomu 07-08/2016

Z níže uvedeného grafu (obr. č. 1) je zřejmé, že k pohybu materiálu dna dochází už při průtoku cca $105 \text{ m}^3/\text{s}$ ($< Q_1$) resp. při rychlostech proudění větších než cca $1,3 \text{ m/s}$ (za předpokladu, že materiál dna má efektivní zrno $d_e = 13 \text{ mm}$). V obloucích a místech s koncentrující se rychlostí vody je pak nevymílací rychlost nižší (tedy průtok resp. rychlost vody), kdy dochází již k pohybu materiálu dna.



Obr. č. 1: Graf rychlostí v závislosti na průtoku – STÁVAJÍCÍ STAV

Tab. č. 8: Tabulka úrovně hladiny pod MVE z 1D (km 24,140) – STÁVAJÍCÍ STAV

Průtok	Hladina vody pod MVE
(m³/s)	(m n.m.)
4	214,78
8	214,94
50	216,05
100	216,93

8 NAVRHOVANÝ STAV

Jedná se o posouzení navržených variant dle nově stanovených parametrů (především stupeň drsnosti n , sklonu dna, vložení příčných objektů).

V níže uvedených variantách je použito staničení odpovídající ze zaměření z roku 2016 (08/2016, VODNÍ DÍLA-TBD a.s.).

8.1 Varianta V1

Cílem této varianty (V1) bylo vyrovnaní podélného sklonu 0,37‰ za pomoci dvou příčných staveb (balvanitých skluzů). Průměrný podélný sklon 0,37‰ vychází kóty prahu vývaru pevného stupně (215,40 m n.m.) a přelivné hrany stávajícího balvanitého skluzu (214,48 m n.m.) na vzdálenosti 2497,3 m.

Tyto balvanité skluzy jsou umístěny v km 23,130 a km 22,630. První ze skluzů (v km 23,130) má průměrnou výšku cca 1,9 m, při kótě přelivné hrany cca 215,00 m n.m.. Druhý skluz (km 22,630) má poté průměrnou výšku cca 0,8 m s kótou přelivné hrany 214,81 m n.m.

Vyrovnaní podélného sklonu by bylo docíleno přirozeným procesem sedimentace před navrženými skluzy (tak jak je tomu u stávajícího balvanitého skluzu).

Převládající režim proudění v prověřovaných průtocích je říční ($h > h_k$). Pouze v úseku těsně pod pevným stupněm resp. na balvanitých skluzech dochází k bystrinnému proudění při nízkých průtocích (do cca Q_1).

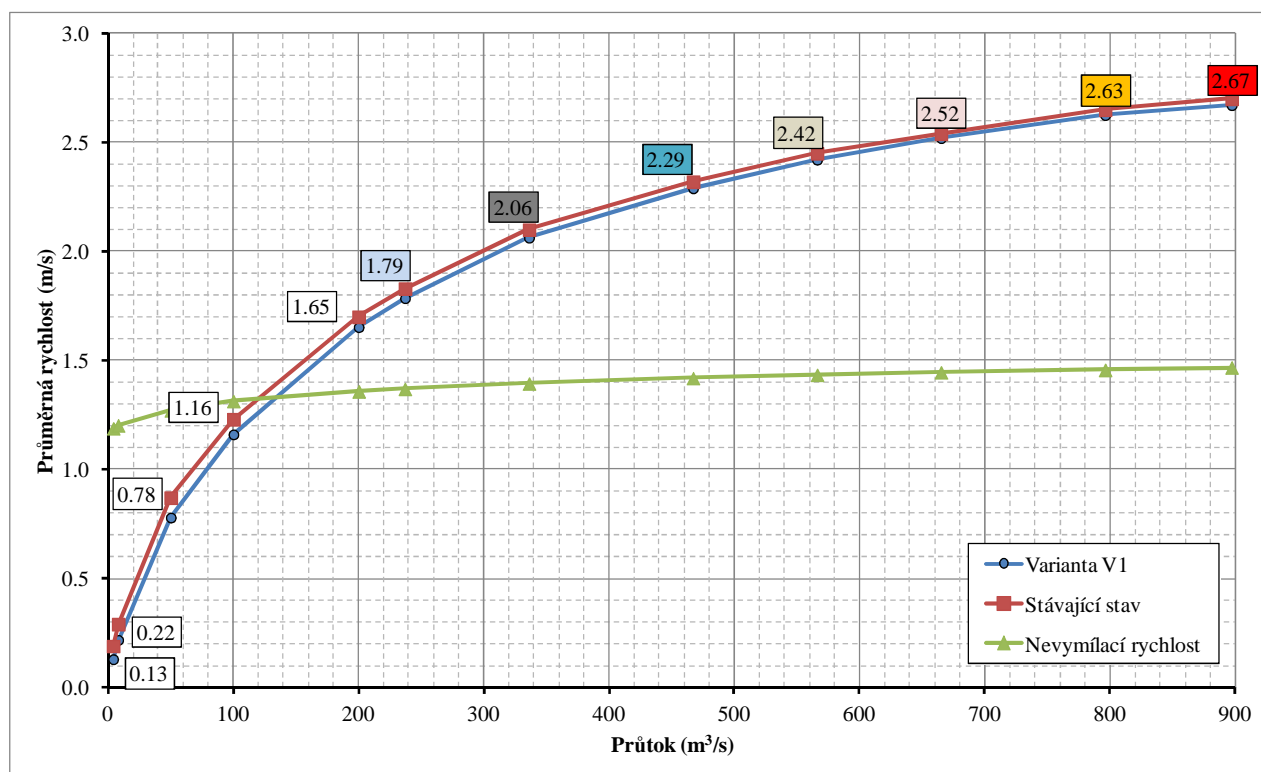
Varianta V1 je graficky (schématicky) zpracovaná na příloze 1.1 (podélný profil toku).

Výsledky výpočtů jsou poté uvedeny v digitální podobě na příloženém CD.

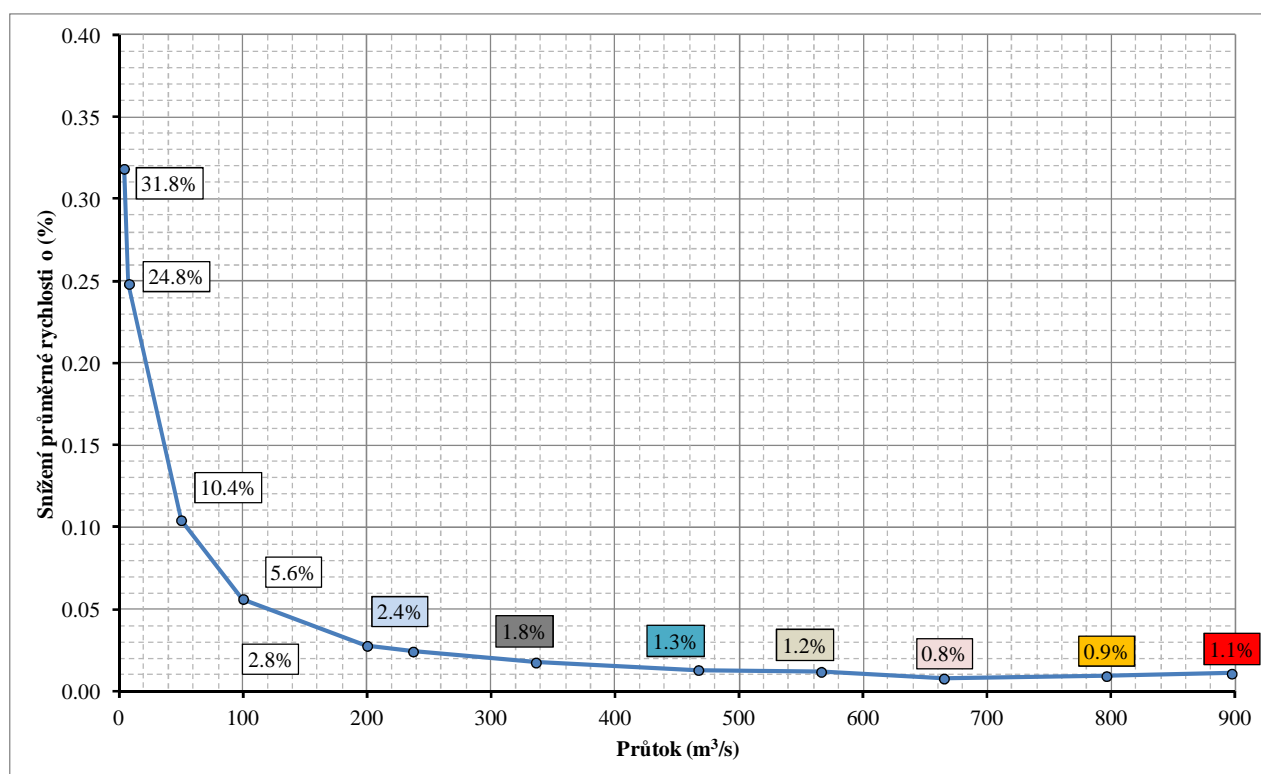
Tab. č. 9: Tabulka s výsledky modelování v 1D – VARIANTA V1

N-letost	Průtok	Průměrná rychlost Stávající stav	Průměrná hloubka vody	Průměrná nevymílací rychlost	Průměrná rychlost	Snížení rychlosti o
			Varianta V1			
-	(m ³ /s)	(m/s)	(m)	(m/s)	(m/s)	(%)
-	4	0,19	1,4	1,19	0,13	31,8%
-	8	0,29	1,5	1,20	0,22	24,8%
-	50	0,87	2,1	1,27	0,78	10,4%
-	100	1,23	2,5	1,31	1,16	5,6%
-	200 ^{*)}	1,70	3,2	1,36	1,65	2,8%
Q ₁	237	1,83	3,3	1,37	1,79	2,4%
Q ₂	336	2,10	3,8	1,39	2,06	1,8%
Q ₅	467	2,32	4,3	1,42	2,29	1,3%
Q ₁₀	566	2,45	4,6	1,43	2,42	1,2%
Q ₂₀	665	2,54	4,9	1,45	2,52	0,8%
Q ₅₀	796	2,65	5,1	1,46	2,63	0,9%
Q ₁₀₀	897	2,70	5,4	1,47	2,67	1,1%

*) Průtok z přelomu 07-08/2016



Obr. č. 2: Graf rychlostí v závislosti na průtoku – VARIANTA V1



Obr. č. 3: Graf procentuálního snížení rychlostí v závislosti na průtoku – VARIANTA V1

Z výše uvedeného grafu (obr. č. 2) je zřejmé, že k pohybu materiálu dna dochází už při průtoku cca 125 m³/s (<Q₁) resp. při rychlostech proudění větší jak cca 1,3 m/s (za předpokladu, že materiál dna má efektivní zrna d_e = 13 mm). Opět zde platí, že v obloucích a místech

s koncentrující se rychlostí vody je nevymílací rychlost nižší (tedy průtok resp. rychlost vody), kdy dochází již k pohybu materiálu dna.

Tab. č. 10: Tabulka úrovně hladiny pod MVE z 1D (km 24,140) – VARIANTA V1

Průtok	Hladina vody pod MVE		Průměrné zvýšení hladiny pod MVE
	Stáv. stav	VARIANTA V1	
(m ³ /s)	(m n.m.)	(m n.m.)	(m)
4	214,78	215,23	+0,45
8	214,94	215,37	+0,43
50	216,05	216,35	+0,30
100	216,93	217,16	+0,23

V důsledku vybudování dvou balvanitých skluzů by došlo ke zvýšení hladiny vody (ve srovnání se stávajícím stavem) v korytě v profilu pod MVE: u průtoku 4,0 m³/s o cca 0,5 m a u průtoku 8,0 m³/s o cca 0,4 m.

8.2 Varianta V2

Cílem této varianty (V2) bylo snížení stávajícího podélného sklonu 0,37‰ za pomoci navýšení stávajícího balvanitého skluzu v km 21,729. Navržený průměrný podélný sklon 0,20‰ vychází z kóty prahu vývaru pevného stupně (215,40 m n.m.) a navýšené přelivné hrany stávajícího balvanitého skluzu (214,48 m n.m.) na vzdálenosti 2497,3 m.

Stávající balvanitý skluz bude navýšen o cca 0,4 m. Přelivná hrana bude poté na kótě 214,90 m n.m..

Vyrovnání podélného sklonu by bylo opět docíleno přirozeným procesem sedimentace před stávajícím stupněm.

Převládající režim proudění v prověřovaných průtocích je říční ($h > h_k$). Pouze v úseku těsně pod pevným stupněm resp. na balvanitých skluzech dochází k bystrinnému proudění při nízkých průtocích (do cca Q_1).

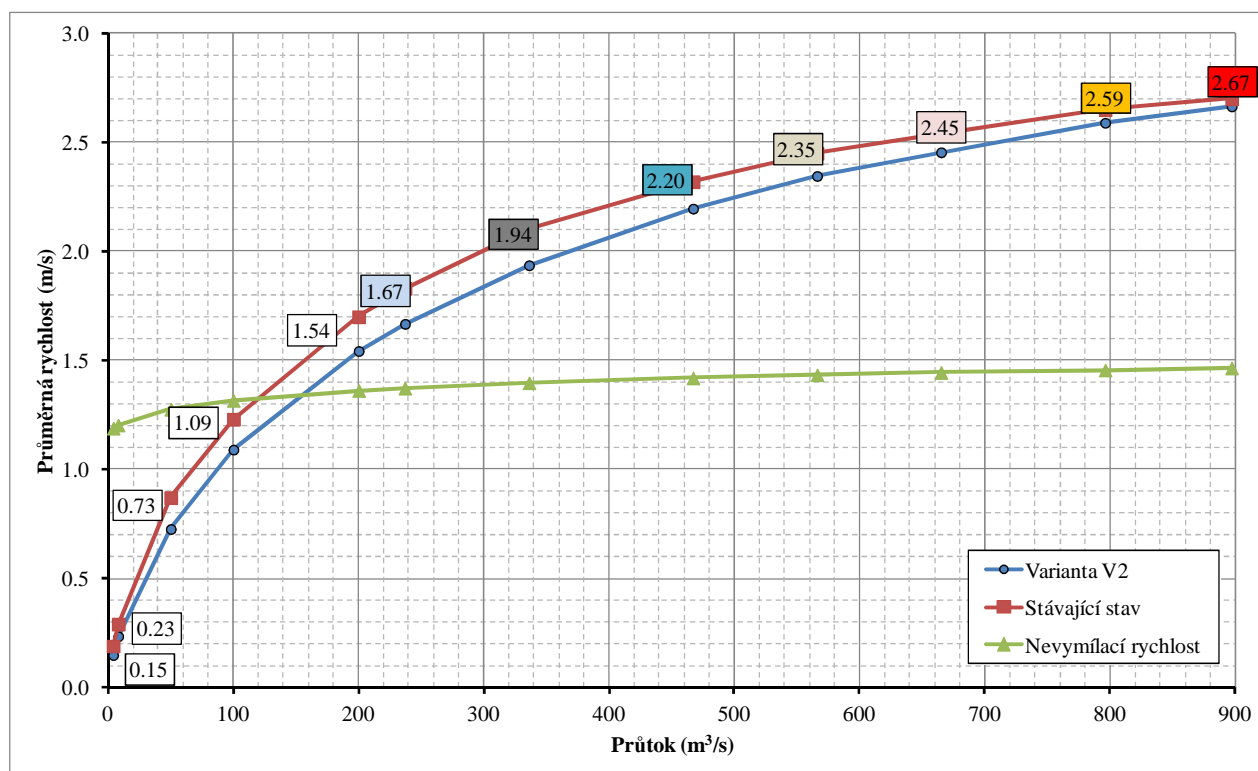
Varianta V2 je graficky (schématicky) zpracovaná na příloze 2.1 (podélný profil toku).

Výsledky výpočtů jsou poté uvedeny v digitální podobě na příloženém CD.

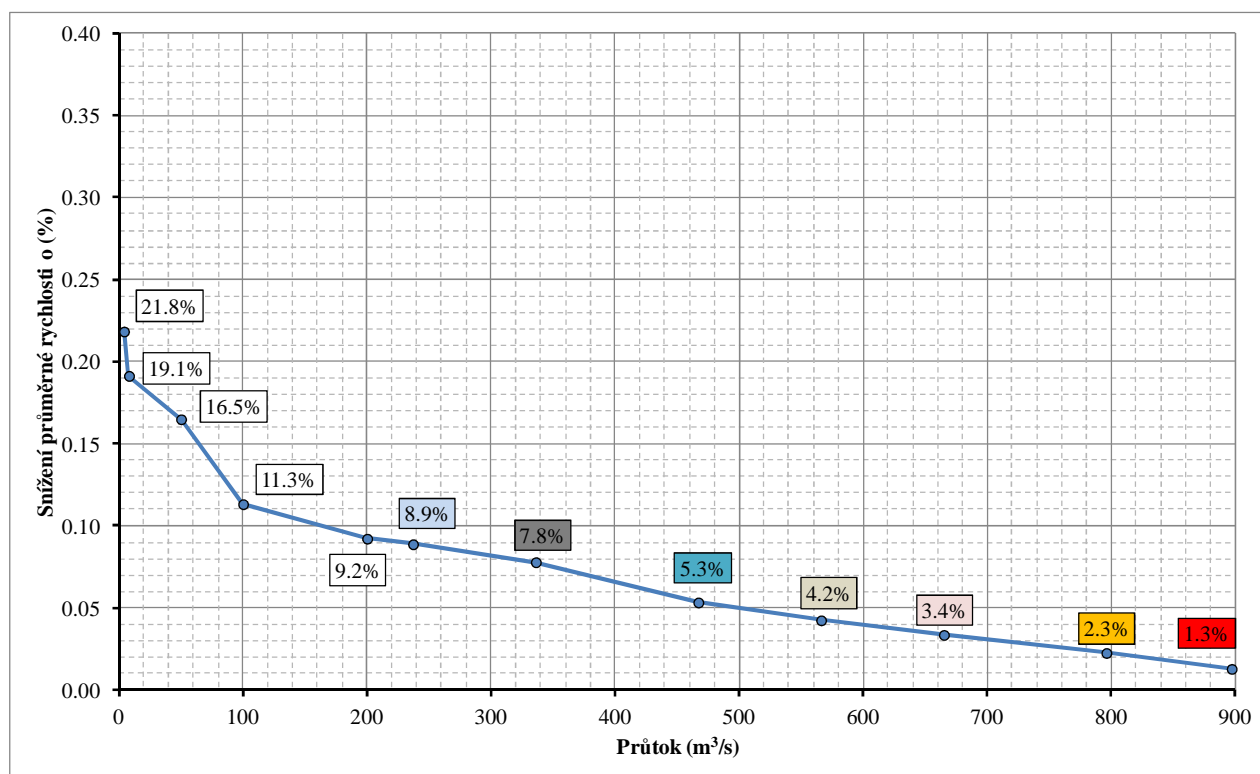
Tab. č. 11: Tabulka s výsledky modelování v 1D – VARIANTA V2

N-letost	Průtok	Průměrná rychlost Stávající stav	Průměrná hloubka vody	Průměrná nevymílací rychlost	Průměrná rychlost	Snížení rychlosti o
			Varianta V2			
-	(m ³ /s)	(m/s)	(m)	(m/s)	(m/s)	(%)
-	4	0,19	1,4	1,19	0,13	31,8%
-	8	0,29	1,5	1,20	0,22	24,8%
-	50	0,87	2,1	1,27	0,78	10,4%
-	100	1,23	2,5	1,31	1,16	5,6%
-	200 ^{*)}	1,70	3,2	1,36	1,65	2,8%
Q ₁	237	1,83	3,3	1,37	1,79	2,4%
Q ₂	336	2,10	3,8	1,39	2,06	1,8%
Q ₅	467	2,32	4,3	1,42	2,29	1,3%
Q ₁₀	566	2,45	4,6	1,43	2,42	1,2%
Q ₂₀	665	2,54	4,9	1,45	2,52	0,8%
Q ₅₀	796	2,65	5,1	1,46	2,63	0,9%
Q ₁₀₀	897	2,70	5,4	1,47	2,67	1,1%

*) Průtok z přelomu 07-08/2016



Obr. č. 4: Graf rychlostí v závislosti na průtoku – VARIANTA V2



Obr. č. 5: Graf procentuálního snížení rychlostí v závislosti na průtoku – VARIANTA V2

Z výše uvedeného grafu (obr. č. 5) je zřejmé, že k pohybu materiálu dna dochází už při průtoku cca 160 m³/s ($<Q_1$) resp. při rychlostech proudění větších než cca 1,35 m/s (za předpokladu, že materiál dna má efektivní zrno $d_e = 13$ mm). Opět zde platí, že v obloucích a místech s koncentrující se rychlostí vody je nevymílací rychlost nižší (tedy průtok resp. rychlost vody), kdy dochází již k pohybu materiálu dna.

Tab. č. 12: Tabulka úrovně hladiny pod MVE z 1D (km 24,140) – VARIANTA V2

Průtok	Hladina vody pod MVE		Průměrné zvýšení hladiny pod MVE
	Stáv. stav	VARIANTA V2	
(m³/s)	(m n.m.)	(m n.m.)	(m)
4	214,78	215,08	+0,30
8	214,94	215,21	+0,27
50	216,05	216,22	+0,17
100	216,93	217,06	+0,13

V důsledku navýšení stávajícího balvanitého skluzu by došlo ke zvýšení hladiny vody (ve srovnání se stávajícím stavem) v korytě v profilu pod MVE: u průtoku 4,0 m³/s o cca 0,3 m a u průtoku 8,0 m³/s o cca 0,4 m.

8.3 Varianta V3

Varianta (V3) je kombinací výše uvedených variant (V1 a V2). Cílem této varianty bylo snížení stávajícího podélného sklonu 0,37‰ za pomoci navýšení stávajícího balvanitého skluzu v km 21,729 a doplnění o další dva. Navržený průměrný podélný sklon 0,20‰ vychází z kóty

prahu vývaru pevného stupně (215,40 m n.m.) a navýšené přelivné hrany stávajícího balvanitého skluzu (214,48 m n.m.) na vzdálenosti 2497,3 m.

Stávající balvanitý skluz bude navýšen o cca 0,4 m. Přelivná hrana bude poté na kótě 214,90 m n.m.. Nově umístěné skluzy jsou umístěny opět v km 23,130 a km 22,630. První ze skluzů (v km 23,130) má průměrnou výšku cca 2,0 m, při kótě přelivné hrany cca 215,18 m n.m.. Druhý skluz (km 22,630) má poté průměrnou výšku cca 1,1 m s kótou přelivné hrany 215,08 m n.m.

Vyrovnaní podélného sklonu by bylo docíleno přirozeným procesem sedimentace před navrženými stupni (tak jak je tomu u stávajícího balvanitého skluzu).

Převládající režim proudění v prověřovaných průtocích je říční ($h > h_k$). Pouze v úseku těsně pod pevným stupněm resp. na balvanitých skluzech dochází k bystrinnému proudění při nízkých průtocích (do cca Q_1).

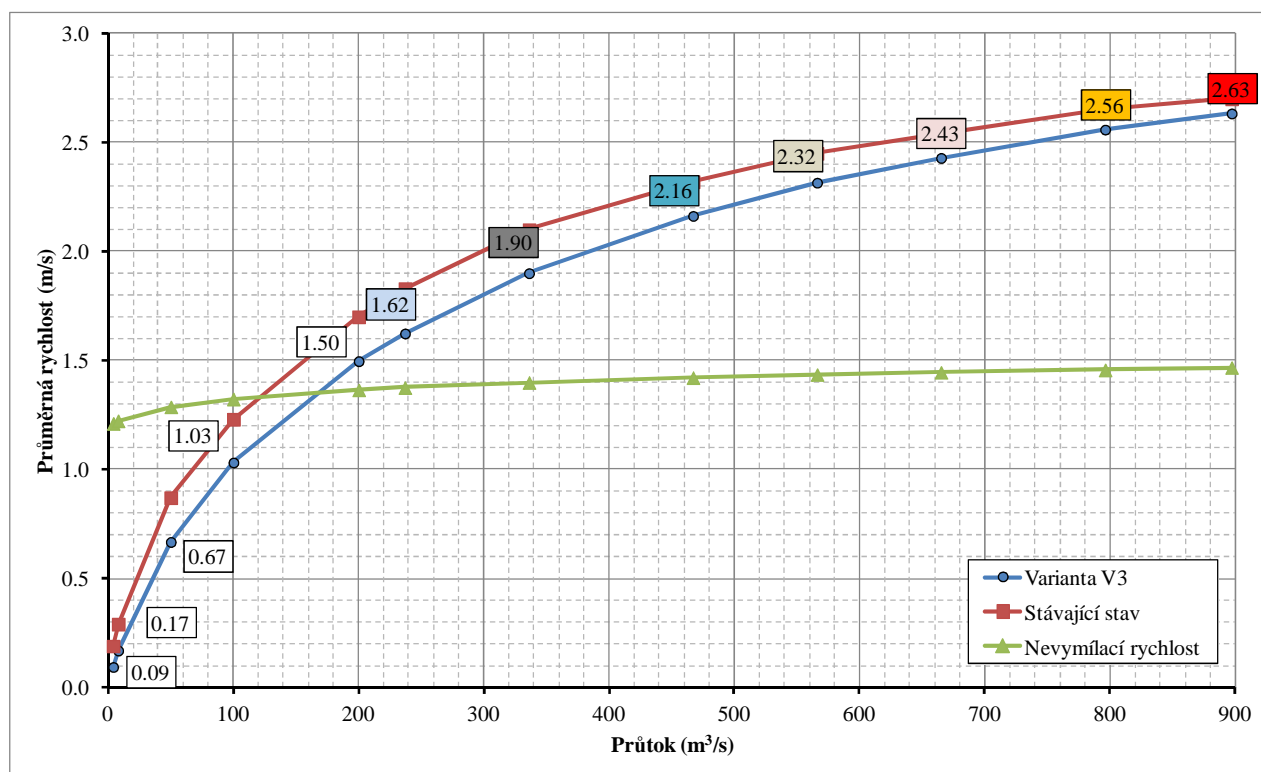
Varianta V3 je graficky (schématicky) zpracovaná na příloze 3.1 (podélný profil toku).

Výsledky výpočtů jsou poté uvedeny v digitální podobě na přiloženém CD.

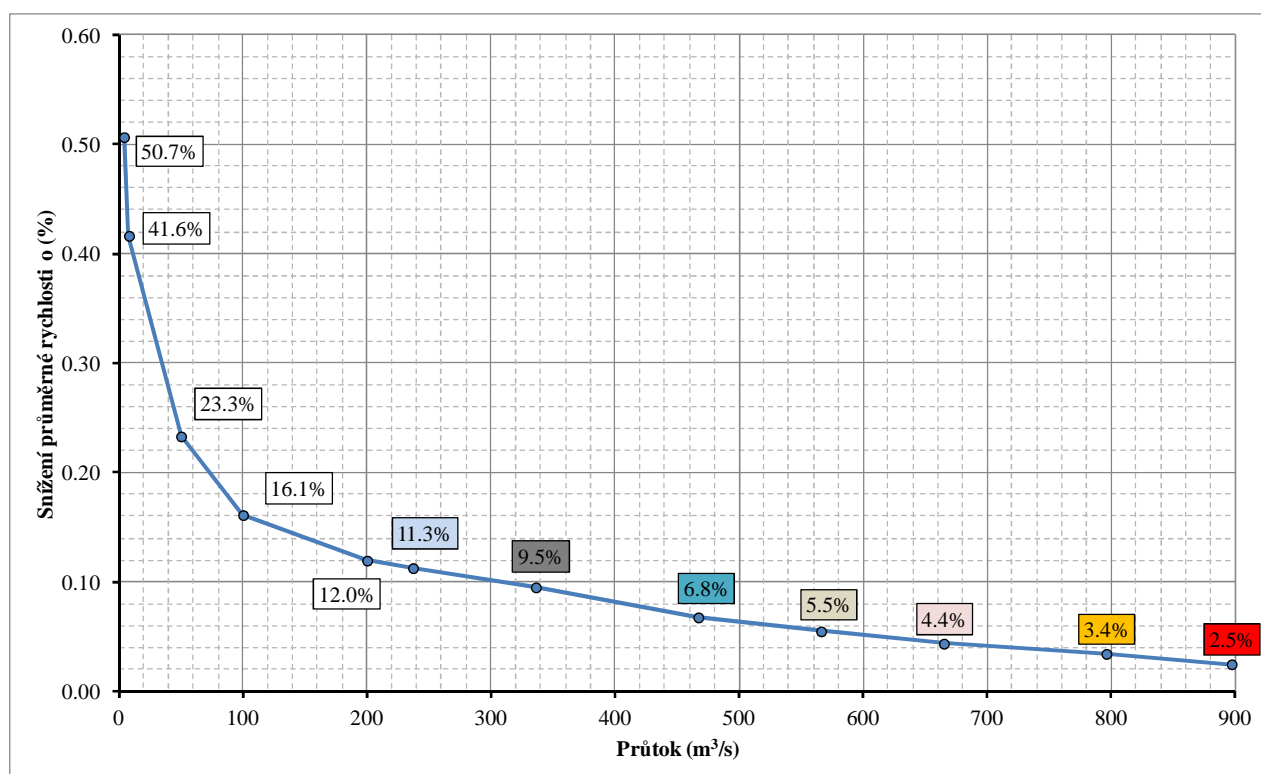
Tab. č. 13: Tabulka s výsledky modelování v 1D – VARIANTA V3

N-letost	Průtok	Průměrná rychlost Stávající stav	Průměrná hloubka vody	Průměrná nevymílací rychlost	Průměrná rychlost	Snížení rychlosti o
-	(m ³ /s)	(m/s)	(m)	(m/s)	(m/s)	(%)
-	4	0,19	1,6	1,21	0,09	50,7%
-	8	0,29	1,7	1,22	0,17	41,6%
-	50	0,87	2,3	1,29	0,67	23,3%
-	100	1,23	2,7	1,32	1,03	16,1%
-	200 ^{*)}	1,70	3,4	1,36	1,50	12,0%
Q ₁	237	1,83	3,5	1,38	1,62	11,3%
Q ₂	336	2,10	4,0	1,40	1,90	9,5%
Q ₅	467	2,32	4,4	1,42	2,16	6,8%
Q ₁₀	566	2,45	4,7	1,43	2,32	5,5%
Q ₂₀	665	2,54	5,0	1,45	2,43	4,4%
Q ₅₀	796	2,65	5,2	1,46	2,56	3,4%
Q ₁₀₀	897	2,70	5,5	1,47	2,63	2,5%

*) Průtok z přelomu 07-08/2016



Obr. č. 6: Graf rychlostí v závislosti na průtoku – VARIANTA V3



Obr. č. 7: Graf procentuálního snížení rychlostí v závislosti na průtoku – VARIANTA V3

Z výše uvedeného grafu (obr. č. 6) je zřejmé, že k pohybu materiálu dna dochází už při průtoku cca 170 m³/s ($<Q_1$) resp. při rychlostech proudění větších než cca 1,35 m/s (za předpokladu, že materiál dna má efektivní zrno $d_e = 13$ mm). Opět zde platí, že v obloucích a

místech s koncentrující se rychlostí vody je nevymílací rychlost nižší (tedy průtok resp. rychlost vody), kdy dochází již k pohybu materiálu dna.

Tab. č. 14: Tabulka úrovně hladiny pod MVE z 1D (km 24,140) – VARIANTA V3

Průtok	Hladina vody pod MVE		Průměrné zvýšení hladiny pod MVE
	Stáv. stav	VARIANTA V3	
(m ³ /s)	(m n.m.)	(m n.m.)	(m)
4	214,78	215,40	+0,62
8	214,94	215,54	+0,60
50	216,05	216,49	+0,44
100	216,93	217,28	+0,35

V důsledku vybudování dvou dalších balvanitých skluzů by došlo ke zvýšení hladiny vody (ve srovnání se stávajícím stavem) v korytě v profilu pod MVE: u průtoku 4,0 m³/s o cca 0,6 m a u průtoku 8,0 m³/s o cca 0,6 m.

8.4 Varianta V4

Cílem této varianty (V4) bylo snížení stávajícího podélného sklonu 0,37‰ za pomoci navýšení stávajícího balvanitého skluzu v km 21,729. Navržený průměrný podélný sklon 0,0‰ vychází z kóty prahu vývaru pevného stupně (215,40 m n.m.) a navýšené přelivné hrany stávajícího balvanitého skluzu (215,40 m n.m.) na vzdálenosti 2497,3 m.

Stávající balvanitý skluz bude navýšen o cca 0,9 m. Přelivná hrana bude poté na kótě 215,40 m n.m..

Vyrovnání podélného sklonu by bylo opět docíleno přirozeným procesem sedimentace před stávajícím stupněm.

Převládající režim proudění v prověřovaných průtocích je říční ($h > h_k$). Pouze v úseku těsně pod pevným stupněm resp. na balvanitých skluzech dochází k bystrinnému proudění při nízkých průtocích (do cca Q_1).

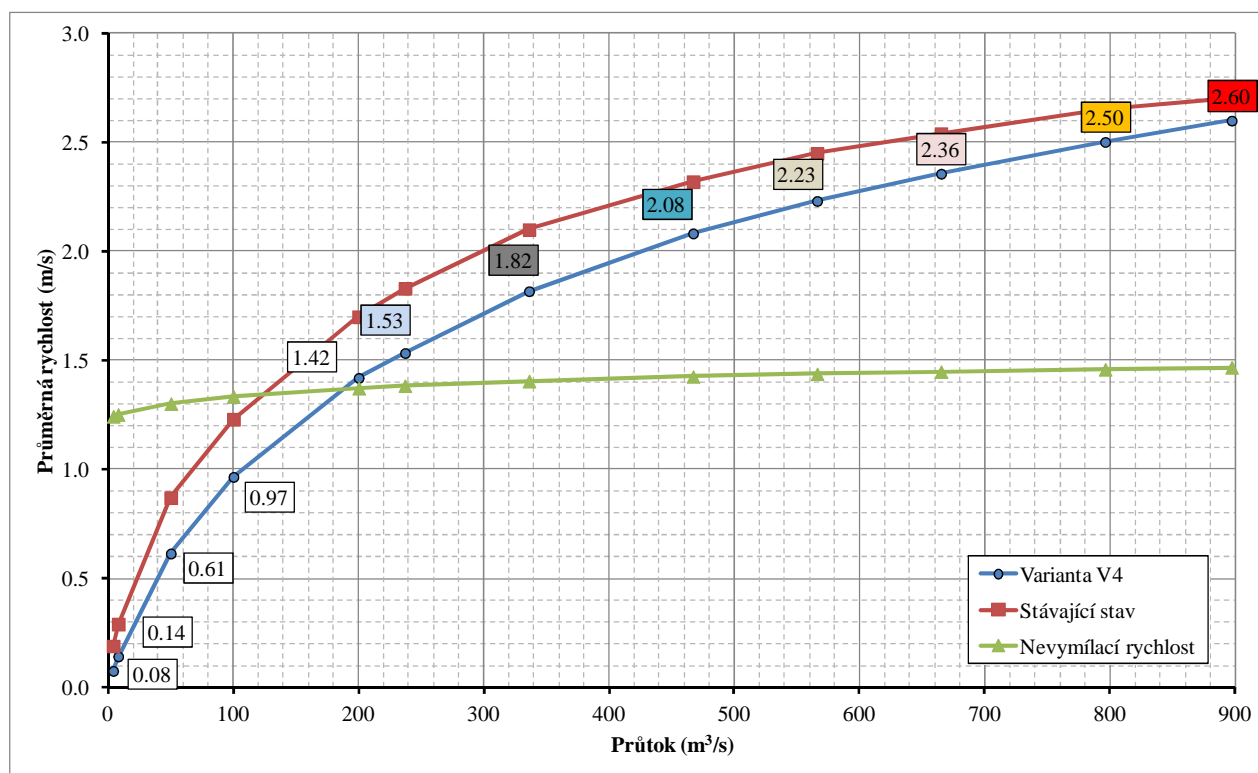
Varianta V4 je graficky (schématicky) zpracovaná na příloze 4.1 (podélný profil toku).

Výsledky výpočtů jsou poté uvedeny v digitální podobě na příloženém CD.

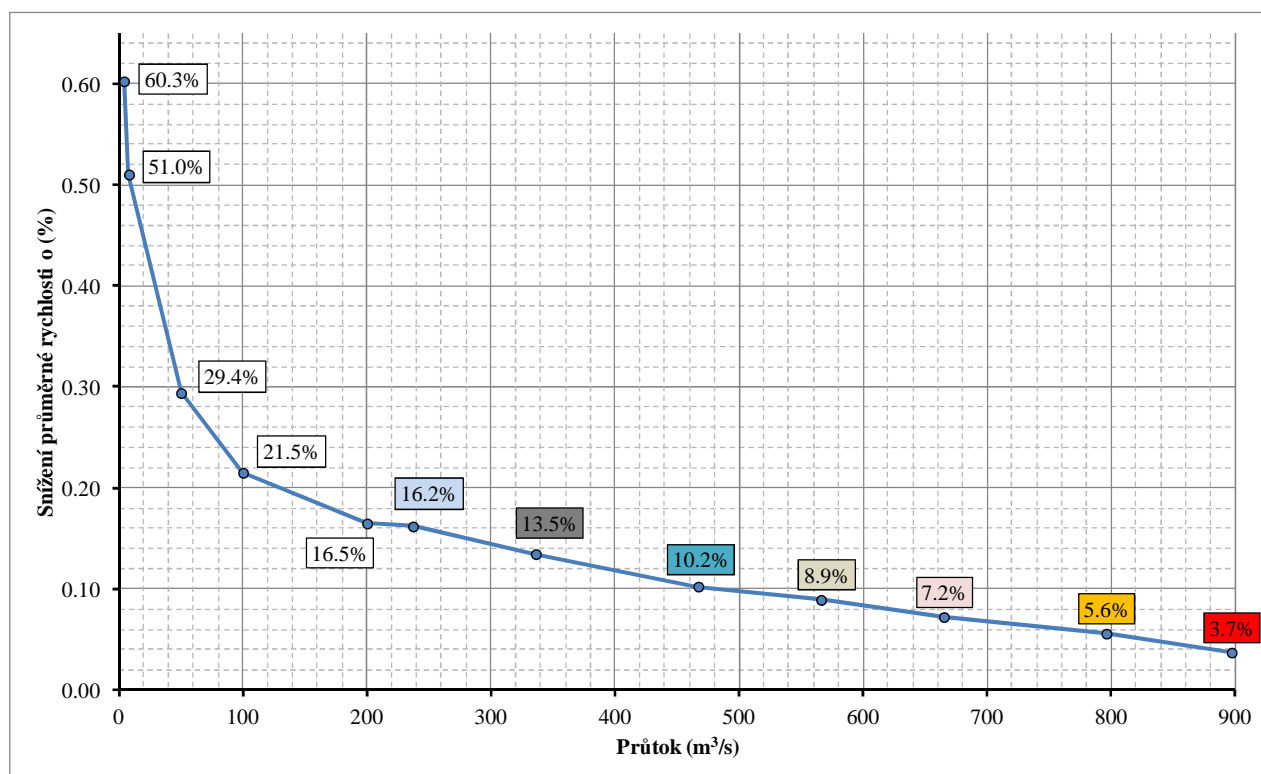
Tab. č. 15: Tabulka s výsledky modelování v 1D – VARIANTA V4

N-letost	Průtok	Průměrná rychlost Stávající stav	Průměrná hloubka vody	Průměrná nevymílací rychlost	Průměrná rychlost	Snížení rychlosti o
			Varianta V4			
-	(m ³ /s)	(m/s)	(m)	(m/s)	(m/s)	(%)
-	4	0,19	1,9	1,24	0,08	60,3%
-	8	0,29	1,9	1,25	0,14	51,0%
-	50	0,87	2,5	1,30	0,61	29,4%
-	100	1,23	2,9	1,33	0,97	21,5%
-	200 ^{*)}	1,70	3,5	1,37	1,42	16,5%
Q ₁	237	1,83	3,7	1,38	1,53	16,2%
Q ₂	336	2,10	4,1	1,40	1,82	13,5%
Q ₅	467	2,32	4,5	1,43	2,08	10,2%
Q ₁₀	566	2,45	4,8	1,44	2,23	8,9%
Q ₂₀	665	2,54	5,0	1,45	2,36	7,2%
Q ₅₀	796	2,65	5,3	1,46	2,50	5,6%
Q ₁₀₀	897	2,70	5,5	1,47	2,60	3,7%

*) Průtok z přelomu 07-08/2016



Obr. č. 8: Graf rychlostí v závislosti na průtoku – VARIANTA V4



Obr. č. 9: Graf procentuálního snížení rychlostí v závislosti na průtoku – VARIANTA V4

Z výše uvedeného grafu (obr. č. 8) je zřejmé, že k pohybu materiálu dna dochází už při průtoku cca 190 m³/s ($<Q_1$) resp. při rychlostech proudění větší jak cca 1,4 m/s (za předpokladu, že materiál dna má efektivní zrna $d_e = 13$ mm). Opět zde platí, že v obloucích a místech s koncentrující se rychlostí vody je nevymílací rychlost nižší (tedy průtok resp. rychlost vody), kdy dochází již k pohybu materiálu dna.

Tab. č. 16: Tabulka úrovně hladiny pod MVE z 1D (km 24,140) – VARIANTA V4

Průtok	Hladina vody pod MVE		Průměrné zvýšení hladiny pod MVE
	Stáv. stav	VARIANTA V4	
(m³/s)	(m n.m.)	(m n.m.)	(m)
4	214,78	215,56	+0,78
8	214,94	215,66	+0,72
50	216,05	216,49	+0,44
100	216,93	217,26	+0,33

V důsledku navýšení stávajícího balvanitého skluzu by došlo ke zvýšení hladiny vody (ve srovnání se stávajícím stavem) v korytě v profilu pod MVE: u průtoku 4,0 m³/s o cca 0,8 m a u průtoku 8,0 m³/s o cca 0,7 m.

8.5 Varianta V5

Cílem této varianty (V5) bylo snížení stávajícího podélného sklonu 0,37‰ za pomoci odstranění stávajícího balvanitého skluzu v km 21,729 a jeho nahrazení pevný přelivným stupněm. Navržený průměrný podélný sklon je záporný -0,024‰. Vychází z kóty prahu vývaru pevného stupně (215,40 m n.m.) a nové přelivné hrany navrženého stupně (216,00 m n.m.) na vzdálenosti 2497,3 m. Výška stupně by činila 2,5 m, přelivná hrana by měla poté délku 51,4 m.

Vyrovnaní podélného sklonu by bylo opět docíleno přirozeným procesem sedimentace před navrženým stupněm.

Převládající režim proudění v prověřovaných průtocích je říční ($h > h_k$). Pouze na nově navrženém pevném stupni dochází k bystrinnému proudění.

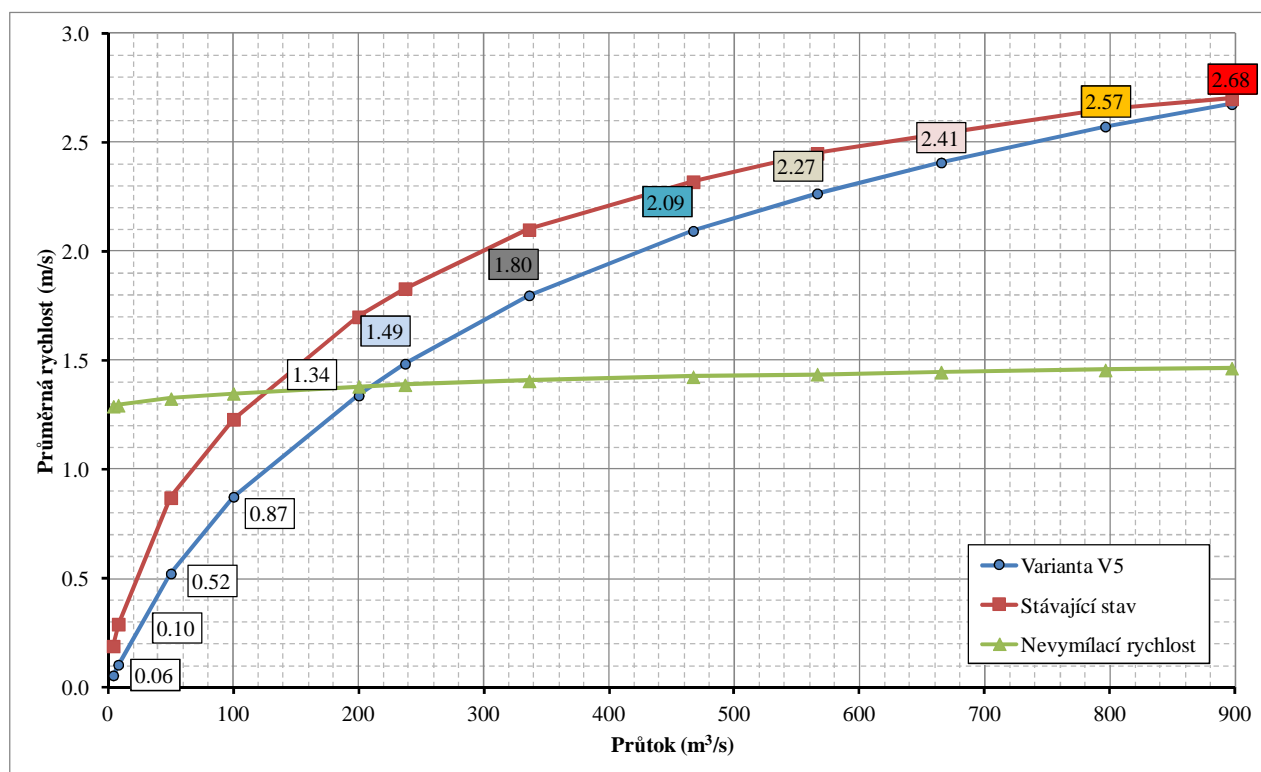
Varianta V5 je graficky (schématicky) zpracovaná na příloze 5.1 (podélný profil toku).

Výsledky výpočtů jsou poté uvedeny v digitální podobě na přiloženém CD.

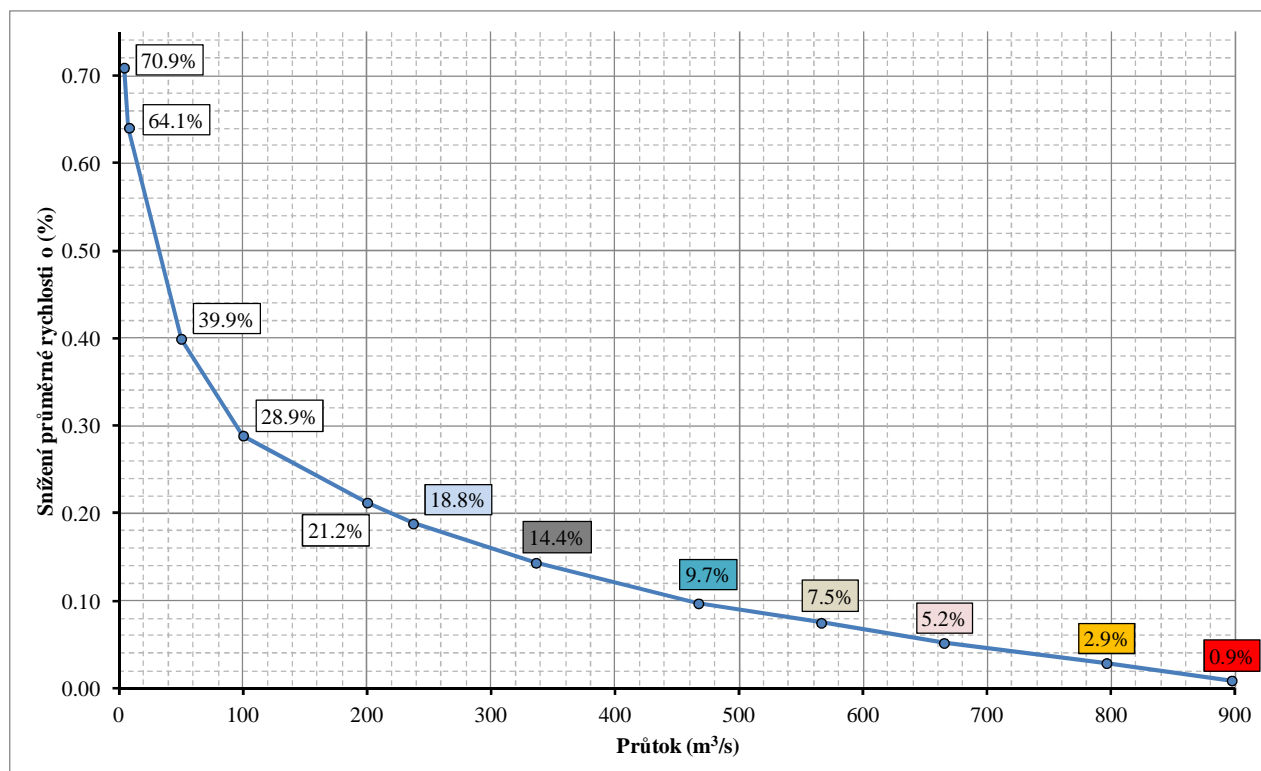
Tab. č. 17: Tabulka s výsledky modelování v 1D – VARIANTA V5

N-letost	Průtok	Průměrná rychlost Stávající stav	Průměrná hloubka vody	Průměrná nevymílací rychlost	Průměrná rychlost	Snížení rychlosti o
-	(m ³ /s)	(m/s)	(m)	(m/s)	(m/s)	(%)
-	4	0,19	2,3	1,29	0,06	70,9%
-	8	0,29	2,4	1,29	0,10	64,1%
-	50	0,87	2,8	1,33	0,52	39,9%
-	100	1,23	3,1	1,35	0,87	28,9%
-	200 ^{*)}	1,70	3,6	1,38	1,34	21,2%
Q ₁	237	1,83	3,8	1,39	1,49	18,8%
Q ₂	336	2,10	4,1	1,41	1,80	14,4%
Q ₅	467	2,32	4,5	1,43	2,09	9,7%
Q ₁₀	566	2,45	4,7	1,44	2,27	7,5%
Q ₂₀	665	2,54	5,0	1,45	2,41	5,2%
Q ₅₀	796	2,65	5,2	1,46	2,57	2,9%
Q ₁₀₀	897	2,70	5,4	1,46	2,68	0,9%

*) Průtok z přelomu 07-08/2016



Obr. č. 10: Graf rychlostí v závislosti na průtoku – VARIANTA V5



Obr. č. 11: Graf procentuálního snížení rychlostí v závislosti na průtoku – VARIANTA V5

Z výše uvedeného grafu (obr. č. 10) je zřejmé, že k pohybu materiálu dna dochází už při průtoku cca 205 m³/s ($<Q_1$) resp. při rychlostech proudění větších než cca 1,4 m/s (za předpokladu, že materiál dna má efektivní zrno $d_e = 13$ mm). Opět zde platí, že v obloucích a

místech s koncentrující se rychlostí vody je nevymílací rychlost nižší (tedy průtok resp. rychlost vody), kdy dochází již k pohybu materiálu dna.

Tab. č. 18: Tabulka úrovně hladiny pod MVE z 1D (km 24,140) – VARIANTA V5

Průtok	Hladina vody pod MVE		Průměrné zvýšení hladiny pod MVE
	Stáv. stav	VARIANTA V5	
(m ³ /s)	(m n.m.)	(m n.m.)	(m)
4	214,78	216,12	+1,34
8	214,94	216,20	+1,26
50	216,05	216,82	+0,77
100	216,93	217,47	+0,54

V důsledku navýšení vybudování pevného stupně by došlo ke zvýšení hladiny vody (ve srovnání se stávajícím stavem) v korytě v profilu pod MVE: u průtoku 4,0 m³/s o cca 1,3 m a u průtoku 8,0 m³/s o cca 1,3 m.

V případě vybudování pevného jezu v této variantě by bylo možné využití hydroenergetického potenciálu cca 2,5 m pro vybudování MVE.

8.6 Varianta V6

U této varianty se vycházelo se zachováním stávajících parametrů jak samotného koryta (podélného sklonu, šířky) tak i konstrukcí (balvanitý skluz, mostní objekt). Cílem této varianty (V6) bylo ponechání podélného sklonu 0,37‰. Dno koryta toku by bylo po celém úseku doplněno vhodným materiálem, tak aby byla zajištěna stabilita dna. Tímto by došlo k zlepšení parametrů efektivního zrna a tím k zvýšení odolnosti (stability) dna. Jako materiál, který by byl použit pro doplnění, byl zvolen lomový kámen frakce 0-500 mm. Pod vrstvou lomového kamene by bylo nutné provést technické opatření k zabránění vyplavování stávajícího materiálu dna (např. položením geotextílie).

Potřebný objem materiálu vychází cca 38 600 m³.

Převládající režim proudění v prověřovaných průtocích je říční ($h > h_k$). Pouze v úseku těsně pod pevným stupněm resp. na balvanitém skluzu dochází k bystřinnému proudění při nízkých průtocích (do cca Q_1).

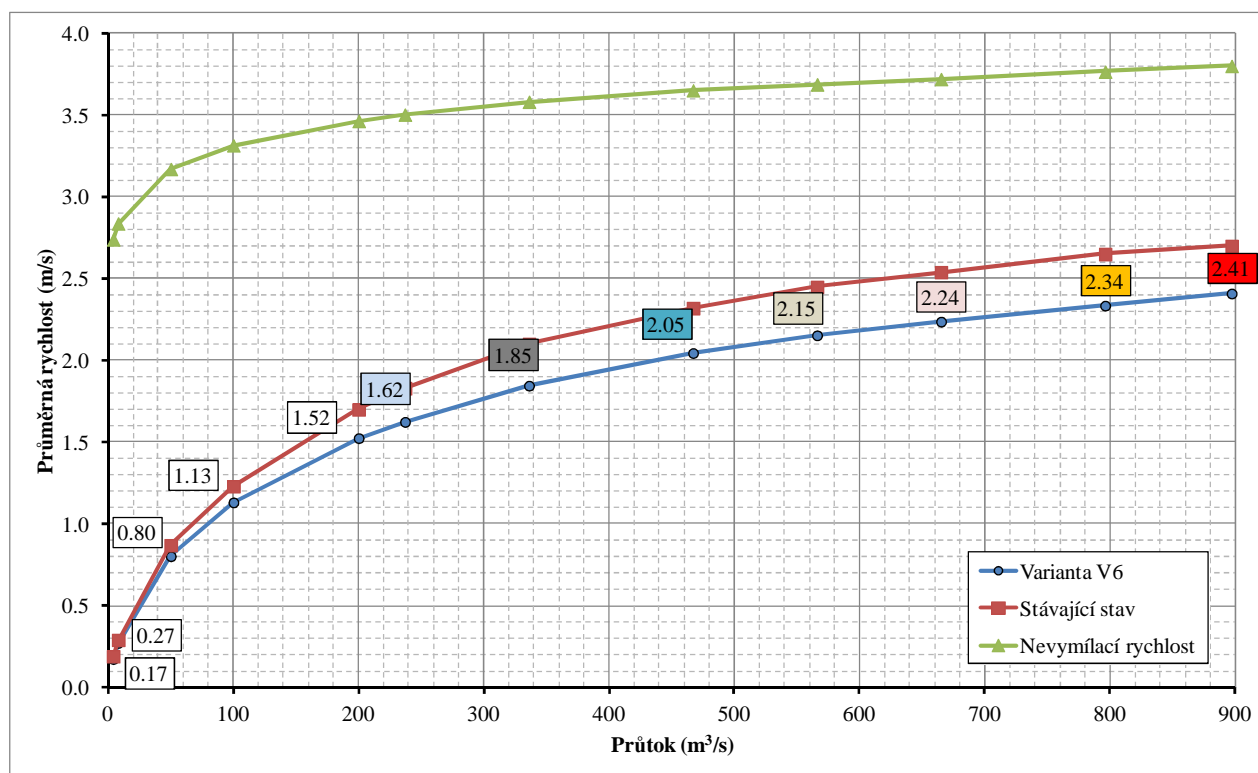
Varianta V6 je graficky (schématicky) zpracovaná na příloze 6.1 (podélný profil toku).

Výsledky výpočtů jsou poté uvedeny v digitální podobě na příloženém CD.

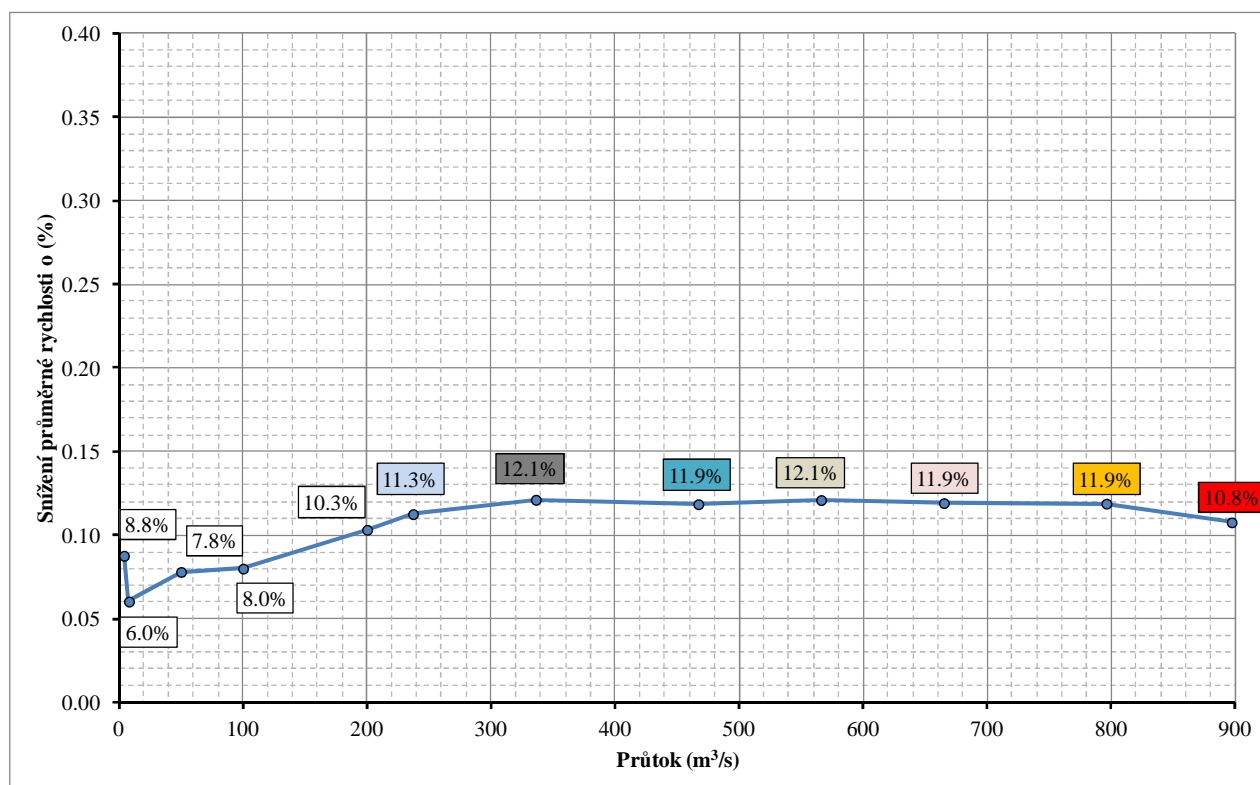
Tab. č. 19: Tabulka s výsledky modelování v 1D – VARIANTA V6

N-letost	Průtok	Průměrná rychlost Stávající stav	Průměrná hloubka vody	Průměrná nevymílací rychlost	Průměrná rychlost	Snížení rychlosti o
-	(m ³ /s)	(m/s)	(m)	(m/s)	(m/s)	(%)
-	4	0,19	0,8	2,74	0,17	8,8%
-	8	0,29	1,0	2,84	0,27	6,0%
-	50	0,87	1,8	3,17	0,80	7,8%
-	100	1,23	2,4	3,32	1,13	8,0%
-	200 ^{*)}	1,70	3,2	3,46	1,52	10,3%
Q ₁	237	1,83	3,4	3,50	1,62	11,3%
Q ₂	336	2,10	3,9	3,58	1,85	12,1%
Q ₅	467	2,32	4,4	3,65	2,05	11,9%
Q ₁₀	566	2,45	4,7	3,69	2,15	12,1%
Q ₂₀	665	2,54	5,0	3,72	2,24	11,9%
Q ₅₀	796	2,65	5,4	3,77	2,34	11,9%
Q ₁₀₀	897	2,70	5,8	3,80	2,41	10,8%

*) Průtok z přelomu 07-08/2016



Obr. č. 12: Graf rychlostí v závislosti na průtoku – VARIANTA V6



Obr. č. 13: Graf procentuálního snížení rychlostí v závislosti na průtoku – VARIANTA V6

Z výše uvedeného grafu (obr. č. 12) je zřejmé, že nahrazením (zvýšením efektivního zrna) materiálu dna dochází k významnému zvýšení odolnosti (stability) dna.

Tab. č. 20: Tabulka úrovně hladiny pod MVE z 1D (km 24,140) – VARIANTA V6

Průtok	Hladina vody pod MVE		Průměrné zvýšení hladiny pod MVE
	Stáv. stav	VARIANTA V6	
(m³/s)	(m n.m.)	(m n.m.)	(m)
4	214,78	215,12	+0,34
8	214,94	215,31	+0,37
50	216,05	216,69	+0,64
100	216,93	217,67	+0,74

V důsledku doplnění materiálu dna frakci cca 0-500 mm by došlo ke zvýšení hladiny vody (ve srovnání se stávajícím stavem) v korytě v profilu pod MVE: u průtoku 4,0 m³/s o cca 0,3 m a u průtoku 8,0 m³/s o cca 0,4 m.

8.7 Varianta V7

Varianta V7 je ilustrativní. U této varianty bylo počítáno s rozšířením koryta o 10,0 m. Rozšíření by bylo provedeno pouze u levého břehu. Sklon nově vzniklého levého svahu koryta byl volen 1:2. Podélný sklon koryta byl ponechán 0,37‰.

Objem materiálu potřebný k odtěžení vychází cca 184 000 m³.

Při této variantě by bylo nutné přeložit cyklostezku na levém břehu. Dále by bylo nutné provést rozšíření silničního mostu (Oldřichov – Osek nad Bečvou).

Převládající režim proudění v prověřovaných průtocích je říční ($h > h_k$). Pouze v úseku těsně pod stupněm resp. na balvanitém skluzu dochází k bystřinnému proudění při nízkých průtocích (do cca Q_1).

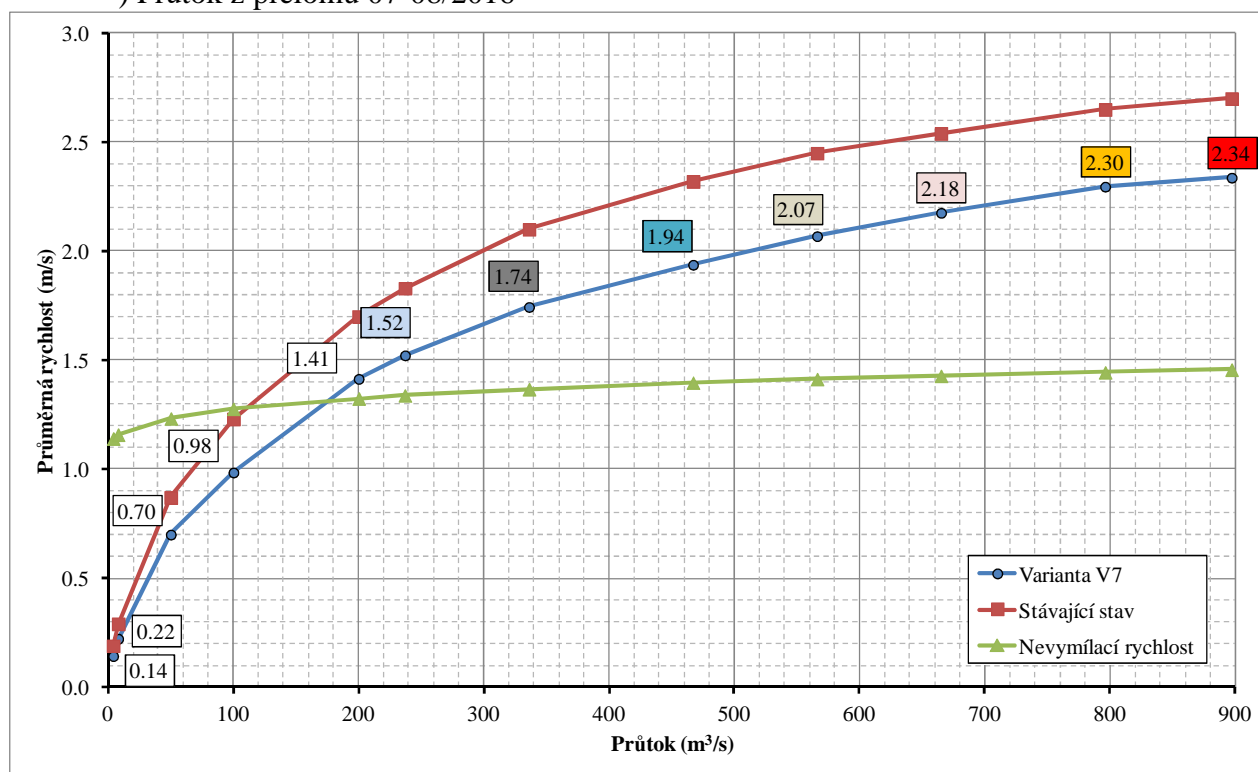
Varianta V7 je graficky (schématicky) zpracovaná na příloze 7.1 (příčný profil koryta).

Výsledky výpočtů jsou poté uvedeny v digitální podobě na příloženém CD.

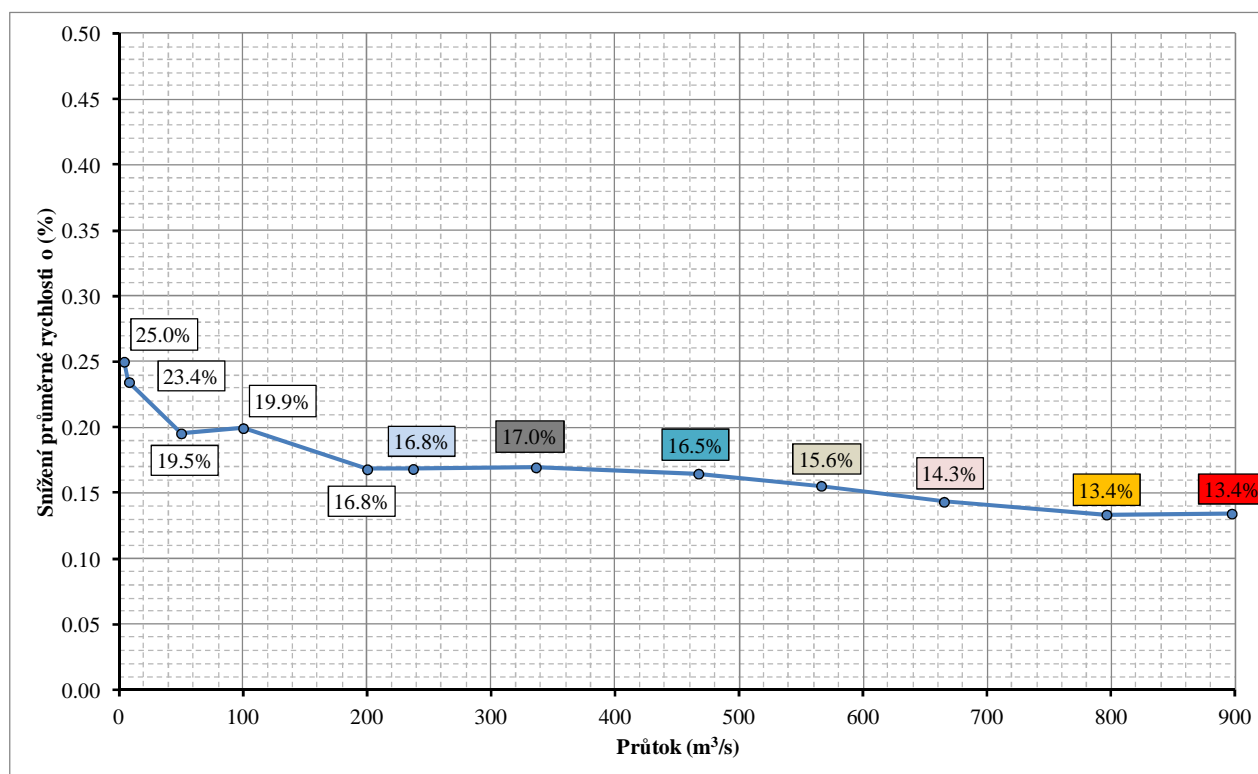
Tab. č. 21: Tabulka s výsledky modelování v 1D – VARIANTA V7

N-letost	Průtok	Průměrná rychlost Stávající stav	Průměrná hloubka vody	Průměrná nevymílací rychlost	Průměrná rychlost	Snížení rychlosti o
-	(m ³ /s)	(m/s)	(m)	(m/s)	(m/s)	(%)
-	4	0,19	1,1	1,14	0,14	25,0%
-	8	0,29	1,2	1,16	0,22	23,4%
-	50	0,87	1,7	1,23	0,70	19,5%
-	100	1,23	2,2	1,28	0,98	19,9%
-	200 ^{*)}	1,70	2,7	1,32	1,41	16,8%
Q ₁	237	1,83	2,9	1,34	1,52	16,8%
Q ₂	336	2,10	3,4	1,37	1,74	17,0%
Q ₅	467	2,32	3,9	1,40	1,94	16,5%
Q ₁₀	566	2,45	4,2	1,41	2,07	15,6%
Q ₂₀	665	2,54	4,5	1,43	2,18	14,3%
Q ₅₀	796	2,65	4,9	1,44	2,30	13,4%
Q ₁₀₀	897	2,70	5,2	1,46	2,34	13,4%

*) Průtok v přelomu 07-08/2016



Obr. č. 14: Graf rychlostí v závislosti na průtoku – VARIANTA V7



Obr. č. 15: Graf procentuálního snížení rychlostí v závislosti na průtoku – VARIANTA V7

Z výše uvedeného grafu (obr. č. 14 15a) je zřejmé, že rozšířením koryta dna dojde k zvýšení stability dna v celém spektru průtoků. K pohybu materiálu dna dochází u této varianty při průtoku cca 180 m³/s ($<Q_1$) resp. při rychlostech proudění větších než cca 1,3 m/s (za předpokladu, že materiál dna má efektivní zrno $d_e = 13$ mm). Opět zde platí, že v obloucích a místech s koncentrující se rychlostí vody je nevymílací rychlost nižší (tedy průtok resp. rychlost vody), kdy dochází již k pohybu materiálu dna.

Tab. č. 22: Tabulka úrovně hladiny pod MVE z 1D (km 24,140) – VARIANTA V7

Průtok	Hladina vody pod MVE		Průměrné zvýšení hladiny pod MVE
	Stáv. stav	VARIANTA V7	
(m³/s)	(m n.m.)	(m n.m.)	(m)
4	214,78	214,75	-0,03
8	214,94	214,88	-0,06
50	216,05	215,70	-0,35
100	216,93	216,37	-0,56

V důsledku rozšíření koryta o 10 m by došlo ke snížení hladiny vody (ve srovnání se stávajícím stavem) v korytě v profilu pod MVE: u průtoků 4,0 m³/s a 8,0 m³/s o cca 0,0-0,1 m.

8.8 Varianta V8

Cílem této varianty (V8) bylo snížení stávajícího podélného sklonu 0,37‰ za pomoci navýšení stávajícího balvanitého skluzu v km 21,729 a dále snížení ovlivnění hladiny v profilu pod stávající MVE. Navržený průměrný podélný sklon 0,0‰ vychází z kóty prahu vývaru pevného stupně (215,40 m n.m.) a navýšené přelivné hrany stávajícího balvanitého skluzu (214,48 m n.m.) na vzdálenosti 2497,3 m.

Stávající balvanitý skluz bude navýšen o cca 0,9 m. Přelivná hrana bude poté na kótě 215,40 m n.m.. Délka přelivné hrany je při této variantě rozšířena o 10 m doprava.

U této varianty je dále nutné provést úpravu (hydraulicky vhodnou) pravého břehu před a pod stávajícím balvanitým skluzem. V místech pravého zavázání je počítáno s rybím přechodem pro volnou migraci obojživelníků a rybí osádky po toku.

Vyrovnaní podélného sklonu by bylo opět docíleno přirozeným procesem sedimentace před stávajícím stupněm.

Převládající režim proudění v prověřovaných průtocích je říční ($h > h_k$). Pouze v úseku těsně pod pevným stupněm resp. na balvanitém skluzu dochází k bystřinnému proudění při nízkých průtocích (do cca Q_1).

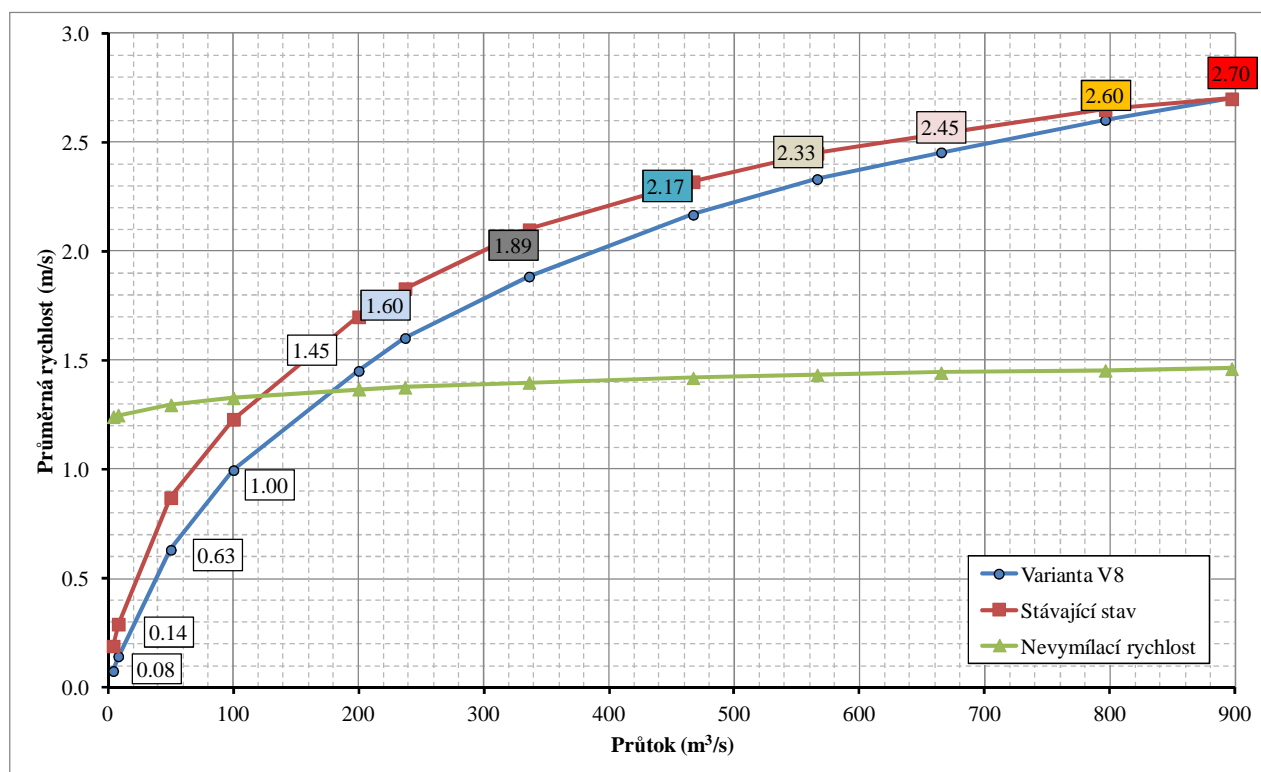
Varianta V8 je graficky (schématicky) zpracovaná na příloze 8.1 (situace).

Výsledky výpočtů jsou poté uvedeny v digitální podobě na přiloženém CD.

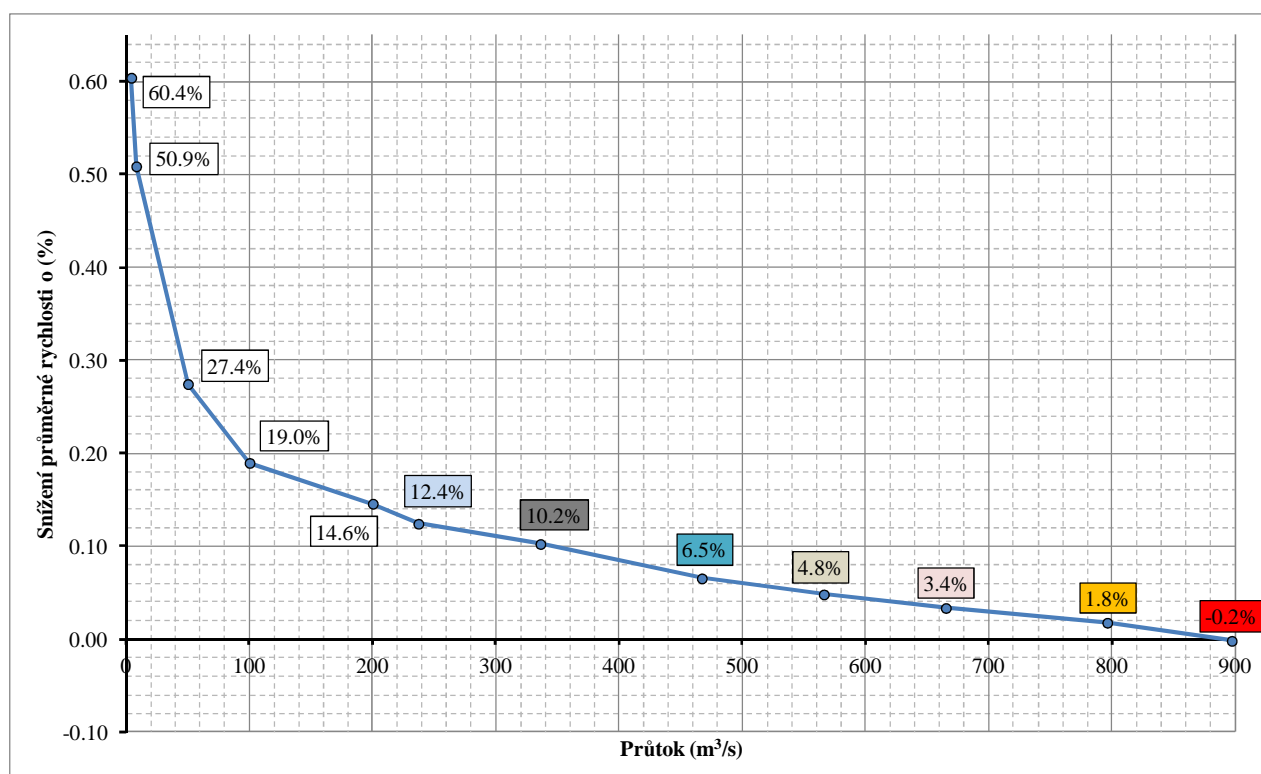
Tab. č. 23: Tabulka s výsledky modelování v 1D – VARIANTA V8

N-letost	Průtok	Průměrná rychlost Stávající stav	Průměrná hloubka vody	Průměrná nevymílací rychlost	Průměrná rychlost	Snížení rychlosti o
-	(m ³ /s)	(m/s)	(m)	(m/s)	(m/s)	(%)
-	4	0,19	1,8	1,24	0,08	60,4%
-	8	0,29	1,9	1,25	0,14	50,9%
-	50	0,87	2,4	1,30	0,63	27,4%
-	100	1,23	2,8	1,33	1,00	19,0%
-	200 ^{*)}	1,70	3,4	1,37	1,45	14,6%
Q ₁	237	1,83	3,6	1,38	1,60	12,4%
Q ₂	336	2,10	4,0	1,40	1,89	10,2%
Q ₅	467	2,32	4,4	1,42	2,17	6,5%
Q ₁₀	566	2,45	4,7	1,43	2,33	4,8%
Q ₂₀	665	2,54	4,9	1,44	2,45	3,4%
Q ₅₀	796	2,65	5,2	1,45	2,60	1,8%
Q ₁₀₀	897	2,70	5,4	1,46	2,70	-0,2%

*) Průtok z přelomu 07-08/2016



Obr. č. 16: Graf rychlostí v závislosti na průtoku – VARIANTA V8



Obr. č. 17: Graf procentuálního snížení rychlostí v závislosti na průtoku – VARIANTA V8

Z výše uvedeného grafu (obr. č. 8) je zřejmé, že k pohybu materiálu dna dochází už při průtoku cca 180 m³/s ($<Q_1$) resp. při rychlostech proudění větší jak cca 1,35 m/s (za předpokladu, že materiál dna má efektivní zrno $d_e = 13$ mm). Opět zde platí, že v obloucích a místech

s koncentrující se rychlostí vody je nevymílací rychlost nižší (tedy průtok resp. rychlost vody), kdy dochází již k pohybu materiálu dna.

Tab. č. 24: Tabulka úrovně hladiny pod MVE z 1D (km 24,140) – VARIANTA V4 a V8

Průtok	Hladina vody pod MVE			Průměrné zvýšení hladiny pod MVE (V8)	Průměrné zvýšení hladiny pod MVE (V8-V4)
	Stáv. stav	VARIANTA V4	VARIANTA V8		
(m ³ /s)	(m n.m.)	(m n.m.)	(m n.m.)	(m)	(m)
4	214,78	215,56	215,54	+0,76	-0,02
8	214,94	215,66	215,63	+0,69	-0,03
50	216,05	216,49	216,42	+0,37	-0,07
100	216,93	217,26	217,18	+0,25	-0,08

V důsledku navýšení a rozšíření stávajícího balvanitého skluzu by došlo ke zvýšení hladiny vody (ve srovnání se stávajícím stavem) v korytě v profilu pod MVE: u průtoku 4,0 m³/s o cca 0,8 m a u průtoku 8,0 m³/s o cca 0,7 m. Oproti variantě V4, kde pouze dochází k navýšení stávajícího balvanitého skluzu, jsou pak rozdíly zanedbatelné (do průtoku 100 m³/s činí rozdíly do cca 0,1 m).

9 ODHAD NÁKLADŮ

V této kapitole jsou souhrnně uvedeny cenové kalkulace jednotlivých variant. V cenách nejsou zahrnuty vynucené položky (např. opevnění koryta pod řešeným úsekem, opevnění svahů koryta, výkup pozemků, atd.). Jedná se pouze o orientační kalkulaci na základě kubatur potřebného materiálu.

Tab. č. 22: Orientační náklady

Ozn. varianty	Cena ^{*)} za vytvoření konstrukce opevnění dna koryta	Pozn.
V1	1 700 000 Kč	2 x nový balvanitý skluz
V2	200 000 Kč	navýšení stav. bal. skluzu
V3	1 900 000 Kč	navýšení stav. bal. skluzu + 2 x nový balvanitý skluz
V4	400 000 Kč	navýšení stav. bal. skluzu
V5	17 000 000 Kč	nový pevný stupeň (jez)
V6	49 500 000 Kč	doplnění materiálu dna
V7	129 300 000 Kč	rozšíření koryta toku
V8	6 600 000 Kč	navýšení a rozšíření stav. bal. skluzu

*) náklady zaokrouhlené na 100 000 Kč

10 ZÁVĚR

Cílem této dokumentace bylo vypracování studie pro zajištění stability dna koryta toku Bečvy v úseku od pevného stupně (Osek) po balvanitý skluz. Pro zvýšení odolnosti (stability) dna se vycházelo z 3 základních typů úprav, z nichž některé byly ještě dopracovány ve více variantách.

Základní typy úprav části koryta jsou:

- a) Snížení nivelety dna
- b) Doplnění dna odolnějším materiálem
- c) Rozšíření koryta

Obecně lze říci, že na základě zadaných podmínek jsou všechny varianty technicky proveditelné v rámci běžných stavebních činností prováděných dodavatelskými firmami v ČR.

Pro stávající stav dochází k překročení nevymílacích rychlostí dna již při průtoku cca 105 m³/s. Při tomto průtoku jsou průměrné rychlosti v korytě cca 1,3 m/s.

Z pohledu celkové odolnosti (stability) dna koryta Bečvy v řešeném úseku je čistě technicky nejúčinnější variantou doplnění dna odolnějším materiálem (Varianta V6). Touto variantou by došlo k přímému zlepšení parametrů materiálových vlastností, jež jsou pro stabilitu dna nejvýznamnější. Jedná se však o druhou nejdražší variantu z řešených v této studii.

Pouhým snížením podélného sklonu dna nelze docílit stability (nepřekročení nevymílacích rychlostí) ani pro průtok o velikosti $Q_1 = 237$ m³/s. Varianty, řešící snížení podélného sklonu dna jsou V2, V3, V4, V5 a V8. Jedná se o technicky nenáročné a relativně levné varianty (vyjma varianty V5 a V8).

Další možností použitou v této studii (varianta V7), která řeší zvýšení odolnosti dna koryta, bylo jeho rozšíření. Takováto možnost je zde uvedena jako pouze ilustrativní, jelikož v zadání od objednatele tato možnost byla vyloučena. Rozšířením koryta o 10 m při dně taktéž nezajistí stabilitu dna ani do průtoku velikosti $Q_1 = 237$ m³/s. Tato varianta je ze všech řešených nejdražší a technicky náročná. Dále u této varianty dochází k dodatečným (vyvolaným) nákladům (např. rozšíření stávajícího silničního mostu, výkup pozemků, napojení rozšířeného úseku toku na původní, atd.).

V Brně, září 2016

Vypracovali:

Ing. Tomáš Kantor
projektant

Spolupracovali:

Ing. Karel Adam

Ing. Jiří Petr

Ing. Stanislav Žatecký
zodpovědný projektant

Schválil:

Ing. Jiří Hodák, Ph.D.
vedoucí útvaru 403
Vodní díla na Moravě a Slezsku

11 SEZNAM PŘÍLOH

0.1	Stávající stav – situace	1 : 2000
0.2	Stávající stav – podélný profil toku	1 : 2000/200
0.3	Stávající stav – příčné řezy korytem toku	1 : 500
1.1	Varianta V1 – podélný profil toku	1 : 2000/200
2.1	Varianta V2 – podélný profil toku	1 : 2000/200
3.1	Varianta V3 – podélný profil toku	1 : 2000/200
4.1	Varianta V4 – podélný profil toku	1 : 2000/200
5.1	Varianta V5 – podélný profil toku	1 : 2000/200
6.1	Varianta V6 – podélný profil toku	1 : 2000/200
7.1	Varianta V7 – vzorový příčný řez korytem toku	1 : 500
8.1	Varianta V8 – situace	1 : 2000