

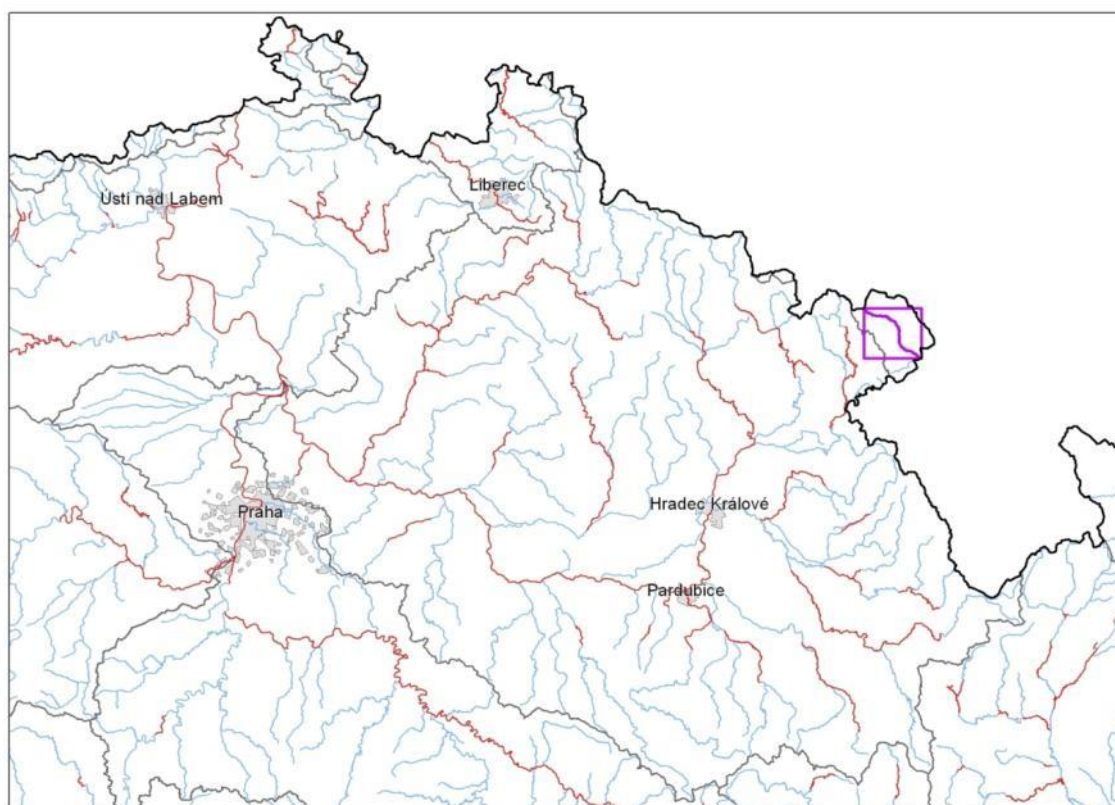


TVORBA MAP POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ A POVODŇOVÝCH RIZIK V OBLASTI POVODÍ HORNÍHO A STŘEDNÍHO LABE A UCELENÉHO ÚSEKU DOLNÍHO LABE

DÍLČÍ POVODÍ HORNÍ A STŘEDNÍ LABE

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

STĚNAVA - 10100289_1 - Ř. KM 27,00 - 48,00 (PL-22)



PROSINEC 2012



OPERAČNÍ PROGRAM
ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ



EVROPSKÁ UNIE
Fond soudržnosti

Pro vodu,
vzduch a přírodu

TVORBA MAP POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ A POVODŇOVÝCH RIZIK V OBLASTI POVODÍ HORNÍHO A STŘEDNÍHO LABE A UCELENÉHO ÚSEKU DOLNÍHO LABE

DÍLČÍ POVODÍ HORNÍ A STŘEDNÍ LABE

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

STĚNAVA - 10100289_1 - Ř. KM 27,00 - 48,00 (PL-22)

Pořizovatel:



Povodí Labe, státní podnik
Víta Nejedlého 951
Hradec Králové
500 03

Zhotovitel: sdružení „VRV + HDP + DHI“



Vodohospodářský rozvoj a výstavba a. s.
Nábřeží 4
Praha 5
150 56



Sweco Hydroprojekt a.s.
Táborská 31
Praha 4
140 16



DHI a.s.
Na Vrších 1490/5
Praha 10
100 00



OPERAČNÍ PROGRAM
ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ



EVROPSKÁ UNIE
Fond soudržnosti

Pro vodu,
vzduch a přírodu

Řešitel:



Vodohospodářský rozvoj a výstavba a. s.
Nábřeží 4
Praha 5
150 56

V PRAZE, PROSINEC 2012.

Obsah:

1	Základní údaje	7
1.1	Seznam zkratk a symbolů	7
1.2	Cíle prací	7
1.3	Předmět práce	7
1.4	Postup zpracování a metoda řešení	7
2	Popis zájmového území	8
2.1	Všeobecné údaje	9
2.2	Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)	9
3	Přehled podkladů	11
3.1	Topologická data	11
3.1.1	Vytvoření (aktualizace) DMT	11
3.1.2	Mapové podklady	11
3.1.3	Geodetické podklady	12
3.2	Hydrologická data	13
3.3	Místní šetření	13
3.4	Doplňující podklady – technické a provozní informace, zprávy, studie, dokumenty, literatura	13
3.5	Normy, zákony, vyhlášky	14
3.6	Vyhodnocení a příprava podkladů	14
4	Popis koncepčního modelu	15
4.1	Schematizace řešeného problému	15
4.2	Posouzení vlivu nestacionarity proudění	21
4.3	Způsob zadávání OP a PP	21
5	Popis numerického modelu	22
5.1	Použité programové vybavení	22
5.2	Vstupní data numerického modelu	22
5.2.1	Morfologie vodního toku a záplavového území	22
5.2.2	Drsnosti hlavního koryta a inundačních území	25
5.2.3	Hodnoty okrajových podmínek	25
5.2.4	Hodnoty počátečních podmínek	26
5.2.5	Diskuze k nejistotám a úplnosti vstupních dat	26
5.3	Popis kalibrace modelu	27
6	Výstupy z modelu	28
6.1	Záplavové čáry pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	28
6.2	Hloubky pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	29
6.3	Rychlosti pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	29
6.4	Zhodnocení nejistot ve výsledcích výpočtů	29

1 Základní údaje

1.1 Seznam zkratek a symbolů

Tabulka – Seznam zkratek a symbolů

Zkratka	Vysvětlení
ADM	Administrativní
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DMT	Digitální model terénu
JTSK	Souřadný systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
SOP	Studie odtokových poměrů
VÚV TGM	Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, v.v.i.
ZÚ	Záplavová území
RD	Realizační dokumentace (stavby)
MŘ	Manipulační řád
MVE	Malá vodní elektrárna
OP, PP	Okrajová podmínka, počáteční podmínka

1.2 Cíle prací

Cílem prací je vyjádření povodňového nebezpečí na základě stanovení těchto charakteristik průběhu povodně:

- hranice rozlivů,
- hloubky vody v záplavovém území,
- rychlosti proudění vody v záplavovém území.

Podstatou vyjádření povodňového nebezpečí je určení prostorového rozdělení uvedených charakteristik povodně a zpracování těchto údajů do podoby tzv. map povodňového nebezpečí. Ty slouží v dalším kroku jako podklad pro vyjádření povodňového rizika semikvantitativní metodou uvedenou v „Metodice tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik“.

1.3 Předmět práce

Předmět práce zahrnuje tyto činnosti:

- Popis postupů souvisejících se zajištěním vstupních podkladů – stávající + nové (dodatečné zaměření profilů, objektů atd.)
- Sestavení (aktualizace) hydrodynamických modelů a příslušné simulace
- Zpracování výsledků numerického modelování a vytvoření map povodňového nebezpečí (mapy rozlivů, hloubek a rychlostí).

1.4 Postup zpracování a metoda řešení

Potřebné průtokové stavy byly řešeny na nově sestaveném matematického 1D modelu v zájmové oblasti. K řešení úlohy byl použit 1D model HEC-RAS (podrobněji viz kapitola 5.1).

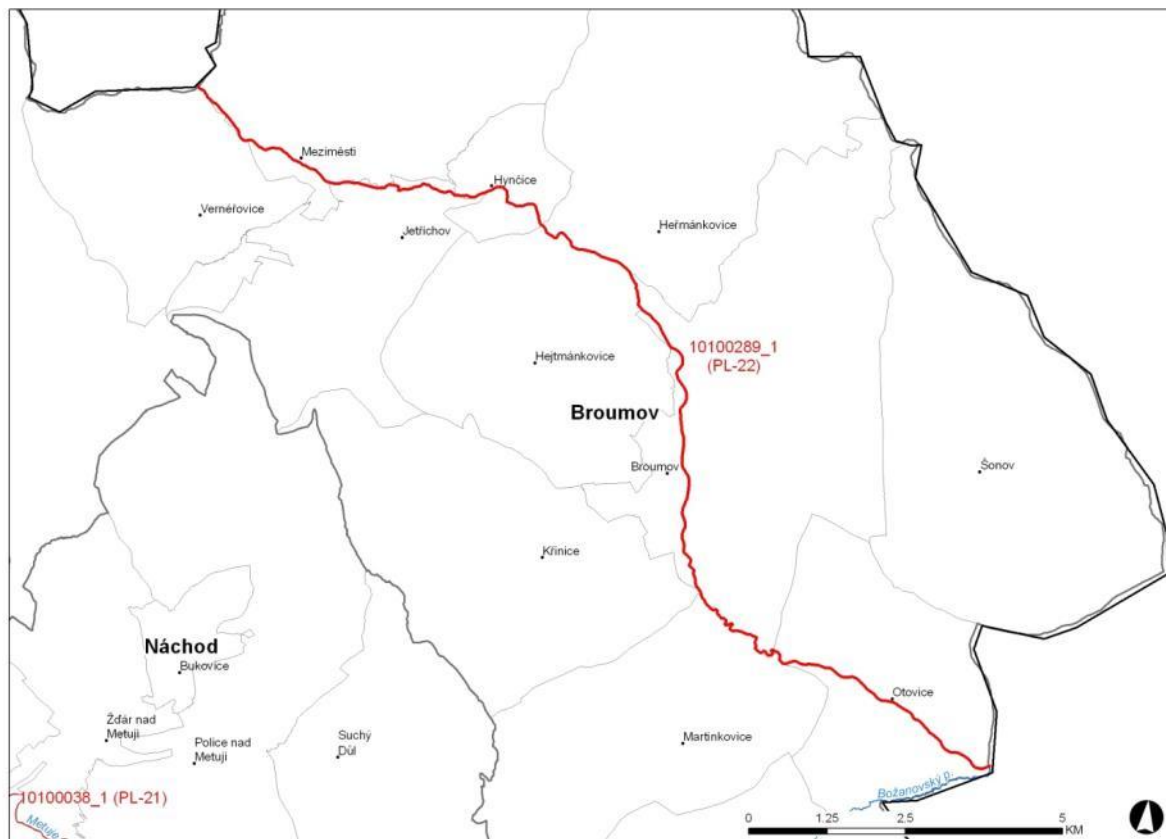
2 Popis zájmového území

Název vodního toku: Stěnavá
IDVT (CEVT): 10100289_1
Číslo hydrologického pořadí: 2-04-03-002
2-04-03-004
2-04-03-006
2-04-03-008
2-04-03-010
2-04-03-012
2-04-03-013/2
2-04-03-014
2-04-03-016
2-04-03-018
2-04-03-020
2-04-03-022

Začátek zájmového úseku: adm ř. km 27,075
Konec zájmového úseku: adm ř. km 47,724

Významné přítoky: Lipový potok, (adm ř.km 48.233)
Starostínský potok, (adm ř.km 47.55)
Dobrohošť (Višňovský potok), (adm ř.km 45.341)
Dobrohošťský p., (adm ř.km 44.566)
Verněřovský potok, (adm ř.km 44.266)
Ruprechtický potok, (adm ř.km 42.847)
Uhlířský p., (adm ř.km 40.981)
Heřmánkovický potok, (adm ř.km 38.846)
Kravský potok, (adm ř.km 37.83)
Svinský potok, (adm ř.km 37.565)
Liščí potok, (adm ř.km 35.096)
Křínický potok, (adm ř.km 33.512)
Martínkovický potok, (adm ř.km 31.049)
Černý p., (adm ř.km 29.837)
Božanovský potok, (adm ř.km 27.075)
Šonovský p., (adm ř.km 25.107)

Obrázek – Přehledná mapa řešeného území



Výčet objektů uvádí kapitola 5.2.1, V zájmovém úseku Úpy se nenacházejí žádné údolní nádrže (vodní díla).

Podklady:

Vrstvu a informace o navržených úsecích s významným povodňovým rizikem vlastní Ministerstvo životního prostředí. Názvy toků - spravuje VÚV TGM, v.v.i.; IDVT CEVT – spravuje Ministerstvo zemědělství. Říční kilometráž spravuje Povodí Labe, státní podnik.

2.1 Všeobecné údaje

Zájmového území je vymezeno kilometráží vodního toku (ř. km) 27,075 až 47,724. Jedná se o digitální říční kilometráž (DKM), která byla poskytnuta podnikem Povodí Labe, státní podnik. Tato osa byla upravena dle aktualizovaného geodetického zaměření, a proto se veškeré staničení dále vztahuje k nově vytvořené ose. Řešený úsek vodního toku prochází intravilánem několika sídel (viz kapitola 5.2.1).

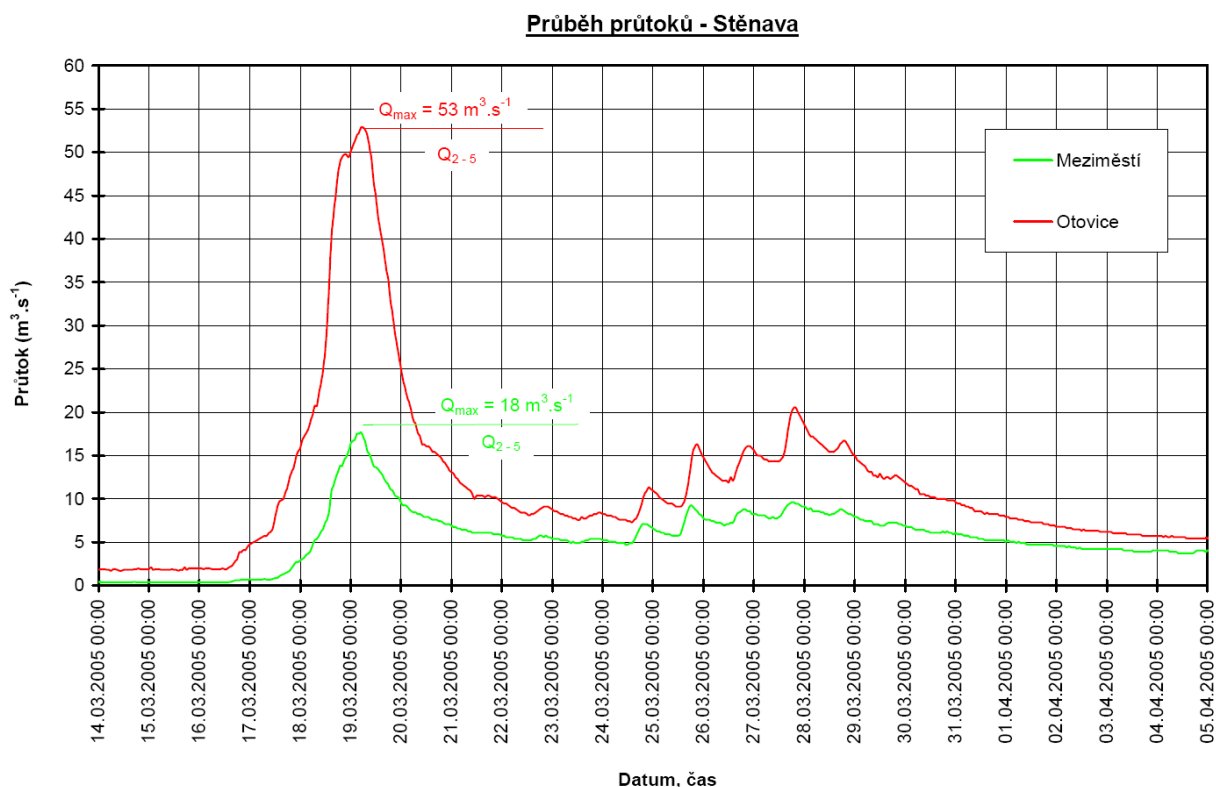
2.2 Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)

Dle pořizovatele poskytnutých zpráv o povodních se na Stěnavě vyskytly tyto povodně:

červenec 1997: N = 20-50, (Otovice - H = 324 cm, Q = 120m³/s)

listopad 1998:	N = 2-5 (Otovice - H = 187 cm, Q = 30 m ³ /s)
březen 1999:	N = 1-2 (Otovice - H = 187 cm, Q = 31 m ³ /s)
červenec 2001:	N = 2 (Otovice - H = 201 cm, Q = 34 m ³ /s),
srpen 2002:	N = 1 (Meziměstí - H = 75 cm, Q = 7 m ³ /s), N = 2-5 (Otovice - H = 236 cm, Q = 45 m ³ /s)
březen 2005:	N = 2-5 (Meziměstí - H = 126 cm, Q = 21,2 m ³ /s), N = 5 (Otovice - H = 262 cm, Q = 52,9 m ³ /s)
březen 2006:	N = 2-5 (Meziměstí - H = 130 cm, Q = 23 m ³ /s), N = 2-5 (Otovice - H = 256 cm, Q = 45 m ³ /s)
srpen 2006:	N = 2 (Meziměstí - H = 117 cm, Q = 17 m ³ /s), N = 1 (Otovice - H = 146 cm, Q = 21 m ³ /s)
červen 2009:	N = 2 (Meziměstí - H = 115 cm, Q = 16,1 m ³ /s),

Max. doba opakování těchto evidovaných povodní je 20-50 let (Otovice).



3 Přehled podkladů

3.1 Topologická data

Hlavními topologickými daty byl digitální model terénu (DMT), který byl vytvořen z geodetického zaměření příčných profilů a objektů popisující koryto vodního toku a digitálního modelu reliéfu (DMR) popisujícího inundační území. Dalšími podklady vstupující do vytváření DMT byly projektové dokumentace, příp. skutečné zaměření již postavených staveb, které ovlivňují průtokové poměry. V některých případech bylo využito podkladů, které poskytly správci komunikací (evidenční listy mostních objektů).

Mezi další důležité topologické podklady patří některé vrstvy z GIS, jako je vrstva budov získaná z vektorového ZABEGEDu příp. upravená za pomoci leteckých snímků.

3.1.1 Vytvoření (aktualizace) DMT

Digitální model terénu (DMT) byl vytvořen v softwaru ArcGIS a charakterizuje řešené území pomocí trojúhelníkové nepravidelné sítě (TIN). DMT v tomto formátu slouží pro sestavení geometrie hydrodynamického modelu. Pro vytváření map hloubek byl převeden do rastrového formátu s velikostí mřížky 2x2 metry.

Vstupní data pro vytvoření DMT byla v textovém formátu (DMR a geodetické zaměření), nebo ve formátu .dwg (povinné spojnice s výškovou hodnotou).

Digitální model terénu je v polohovém souřadném systému S-JTSK a výškovém systému Bpv.

3.1.2 Mapové podklady

Základní Mapa – rastrový mapový podklad byl využit pro tisky mapových atlasů v měřítku 1:10 000 v celém rozsahu zájmového území.

Ortofoto snímky oblastí kolem vodních toků byly využity jako jeden ze zdrojů informací pro určování drsnostních charakteristik inundačních území. Tyto snímky byly k dispozici na celém řešeném úseku.

Vektorový ZABAGED sloužil k lokalizaci budov, které byly zadávány do hydrodynamického modelu.

Základní vodohospodářská mapa 1:50 000

Státní mapové dílo pro oblast vodního hospodářství.

zdroj: VÚV T.G.M. v.v.i. ve spolupráci se Zeměměřickým úřadem

datum zpracování: 1989

měřítko: 1 : 50 000

Základní mapa ČR 1:10 000

Základní státní mapové dílo obsahující polohopis (sídla, objekty, komunikace, vodstvo, porost, povrch půdy, atd.), výškopis (vrstevnice a terénní stupně) a popis.

zdroj: Zeměměřický úřad

datum zpracování: aktualizace 2009

měřítko: 1 : 10 000

Ortofoto České republiky

Sada periodicky aktualizovaných barevných ortofot v rozměrech a kladu mapových listů Státní mapy 1:5 000 .

zdroj: Zeměměřický úřad

datum zpracování: aktualizace 2011

měřítko: 1 : 5 000

3.1.3 Geodetické podklady

Pro popis inundačního území byl použit podklad fotogrammetrie, který poskytla firma GEOREAL spol. s r.o..

Digitální model terénu byl vytvořen pomocí metod letecké digitální fotogrammetrie. Pomocí stereoskopického vyhodnocení byla vygenerována mřížka bodů a charakteristické hrany modelu terénu, které představují zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskrétních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) bodů o souřadnicích X, Y, Z. Souřadnice Z reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou výšky 0,13 m.

Pro popis koryta vodního toku bylo využito stávající geodetické zaměření z 11/ 2008 (adm ř. km 27,075 – 40,420). Toto zaměření bylo doplněno o nové geodetické zaměření z 01/2009 (adm ř. km 47,724 – 39,520).

V obci Broumov je realizováno protipovodňové opatření, které je navrženo na Q100 a je zahrnuto do digitálního modelu terénu i do výpočtů.

Veškeré geodetické podklady byly v polohovém souřadném systému S-JTSK a výškovém systému Bpv.

Letecká digitální fotogrammetrie

datum pořízení: 03/2012
výškový systém: Balt p.v.
souřadnicový systém: JTSK
pořizovatel zaměření: VRV a.s.

Geodetické zaměření příčných profilů koryta (pro modelaci dna koryta) a objektů

datum pořízení: 11/2008, 01/2009
výškový systém: Balt p.v.
souřadnicový systém: JTSK
pořizovatel zaměření: Povodí Labe, státní podnik

Projektová dokumentace – „Stěna, Broumov – Velká Ves, Úprava toku a rekonstrukce úpravy“

datum pořízení: 06/2000
výškový systém: Balt p.v.
souřadnicový systém: JTSK
pořizovatel zaměření: Povodí Labe, státní podnik

Obrázek – PPO Broumov



3.2 Hydrologická data

Hydrologická data, standartní N-leté vody doplněné o Q_{500} , byla objednána od ČHMÚ ve vybraných profilech. Tyto průtoky představují okrajové podmínky hydrodynamického modelu.

Tabulka - N-leté průtoky (Q_N) v $m^3.s^{-1}$

Hydrologický profil	Datum pořízení	Říční kilometr (DKM)	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	Třída přesnosti
nad ústím Ruprechtického pot.	19.12. 2011	42,775	34.6	61.4	103	156	I
nad ústím Svinského pot.	19.12. 2011	37,396	41.9	73.9	123	186	II
nad ústím Křinického pot.	19.12. 2011	33.422	45.9	80.5	133	201	II
limn. stan. Otovice	19.12. 2011	27.445	54	94.1	155	234	I

3.3 Místní šetření

Místnímu šetření předcházelo podrobné seznámení s veškerými získanými podklady. Zejména se jednalo o stávající geodetické zaměření popř. i další podklady (studie odtokových poměrů, projektové dokumentace). Dále proběhla schůzka s úsekovým technikem s představením stávajících podkladů a konzultací o jejich aktuálnosti příp. doplněním o podklady a informace, které nebyly doposud získány.

S těmito informacemi a podklady bylo provedeno v řešené lokalitě místní šetření předmětného vodního toku a přilehlého inundačního území. Byla vytvořena fotodokumentace objektů a provedena základní představa schematizace hydraulického modelu na základě předpokládaného proudění vody v řece a inundačním území. Při zjištění nedostatečnosti/neaktuálnosti geodetických podkladů byla v terénu vytipována lokalizace zadání dalších geodetických prací.

Místní šetření bylo provedeno dne 12, 13, 14, 25. 10. 2011 a 22. 3. 2012.

3.4 Doplnující podklady – technické a provozní informace, zprávy, studie, dokumenty, literatura

Při zpracování DMT i hydrodynamického modelu byly dále využity tyto podklady (není-li uvedeno jinak poskytnuté pořizovatelem):

- Projektová dokumentace – „Stěnova, Broumov – Velká Ves, Úprava toku a rekonstrukce úpravy“.
- Hydrodynamický model HEC-RAS Stěnavy (Otovice – Meziměstí adm ř.km 27,092 – 47,724)

Manipulační řády jezů

- Martínkovice, adm. ř.km 32,341
- Otovice, adm. ř.km 30,338

Údaje o použitém hydrodynamickém modelu lze najít v dokumentaci, která je přímo implementována do tohoto softwaru (HEC-RAS 4.1 – viz dále kap. 5.1):

- HEC-RAS, River analysis system user's manual, version 4.1, Brunner G. W., CEIWR-HEC, 2010
- HEC-RAS, River analysis system hydraulic reference manual, version 4.1, Brunner G. W., 2010

3.5 Normy, zákony, vyhlášky

Postupy zpracování jsou v souladu s následujícími dokumenty v jejich platném znění:

1. Zákon 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu
2. Zákon 254/2001 Sb., o vodách
3. Vyhláška 470/2001 Sb., seznam významných vodních toků
4. ČSN 73 2103 Úpravy řek
5. ČSN 75 0120. Vodní hospodářství - Terminologie hydrotechniky
6. ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod
7. TNV 75 2910 Manipulační řady vodních děl na vodních tocích
8. TNV 75 2931 Povodňové plány

3.6 Vyhodnocení a příprava podkladů

Původní zaměření, které je v rozsahu celého řešeného úseku (koryta), je stále aktuální a bylo doplněno pouze o doměření koryta ve vytipovaných lokalitách, kde byly zjištěny změny (nové nebo zjevně rekonstruované objekty). Všechny dostupné podklady byly pro sestavení DMT a hydrodynamického modelu dostačující.

4 Popis koncepčního modelu

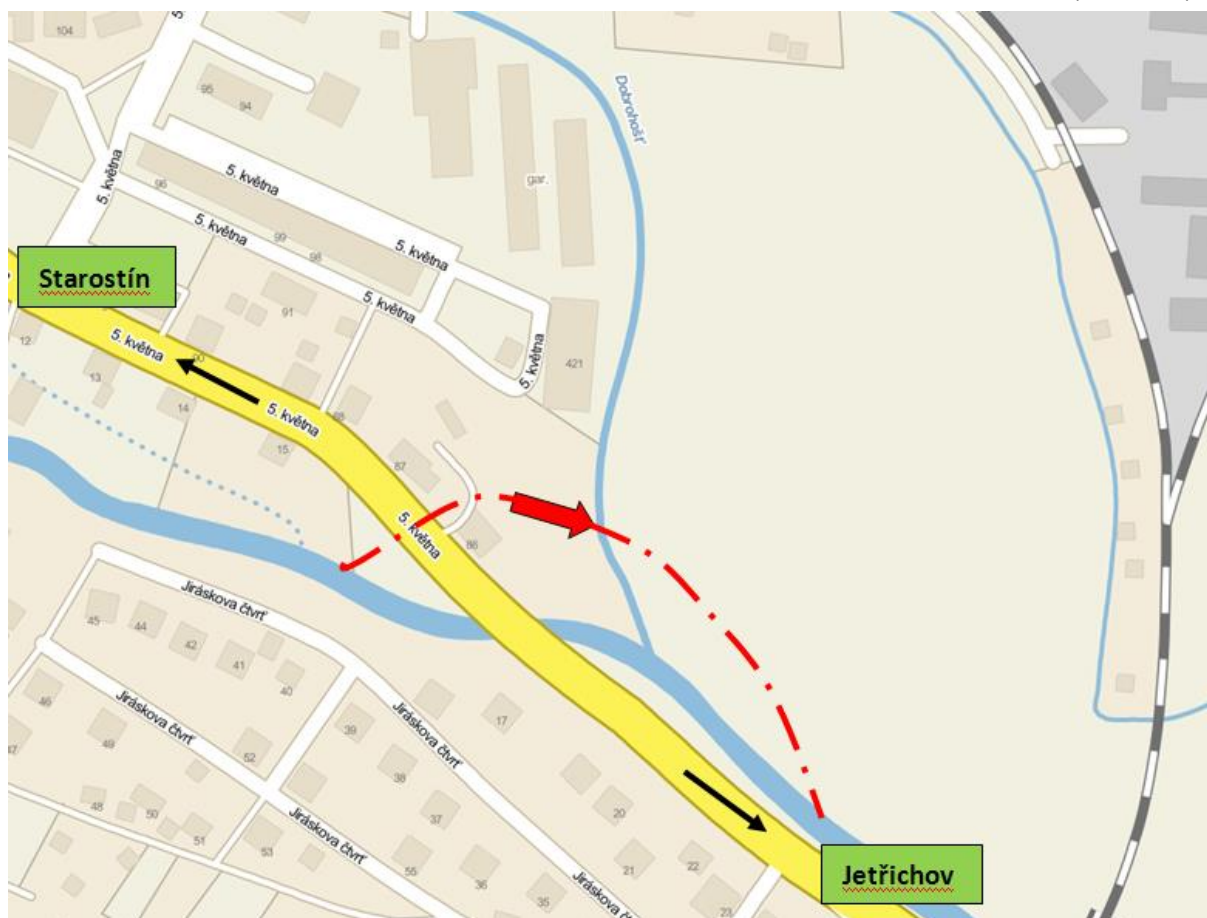
Pro hydraulické výpočty je použit matematický 1D model proudění. Model je podrobně popsán ve výše uvedené dokumentaci (HEC-RAS *user's manual*, *hydraulic reference manual*)

4.1 Schematizace řešeného problému

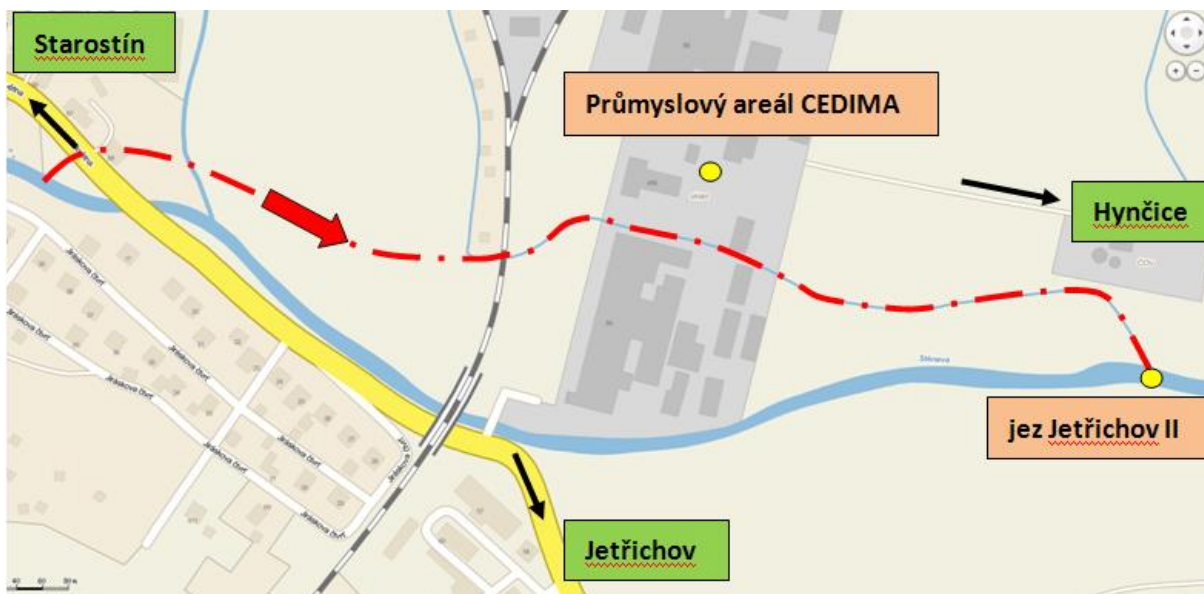
Zájmové území je schematizováno příčnými profily, které jsou vedeny kolmo na předpokládanou proudnici (obecně jsou křivočaré). Na řešeném úseku km 26,908 – 47,724 (20,816 km) bylo sestrojeno celkem 529 příčných řezů, průměrná vzdálenost mezi řezy je 39 m. V extravilánu resp. v relativně pozvolna se měnících úsecích je vzdálenost profilů vyšší (až cca 150 m) a naopak. Model se dále sestává z 43 mostních objektů (mosty, lávky, významnější produktovody/potrubní mosty) a 2 spádových objektů (jezy a stupně).

Na základě typu území, který má horský charakter s typickými úzkými údolími, si model vystačil pouze s 1D schematizací. V místech, kde charakter území přechází z podhorského do rovinatého a údolí toku se rozšiřuje, byla vytvořena schematizace 1D s okružovou nebo otevřenou sítí. Matematický 1D model proudění s využitím okružové schematizace byl rovněž použit v místech, kde se proudění vody v korytě výrazně liší od proudění vody v inundaci. Model se v řešeném úseku sestává z 10 vedlejších větví okružové sítě a 1 vedlejší otevřené větve v úseku Meziměstí (průmyslový areál CEDIMA, ČOV, jez Jetřichov), Hynčice – Olivětín (křížení železnice se silniční komunikací), Olivětín (jez Broumov - Olivětín), Broumov (Velká Ves, jez Martínkovice), Otovice (před státní hranicí na konci obci). Pro některé scénáře N-letých vod se schematizace větevné sítě liší viz obrázky níže.

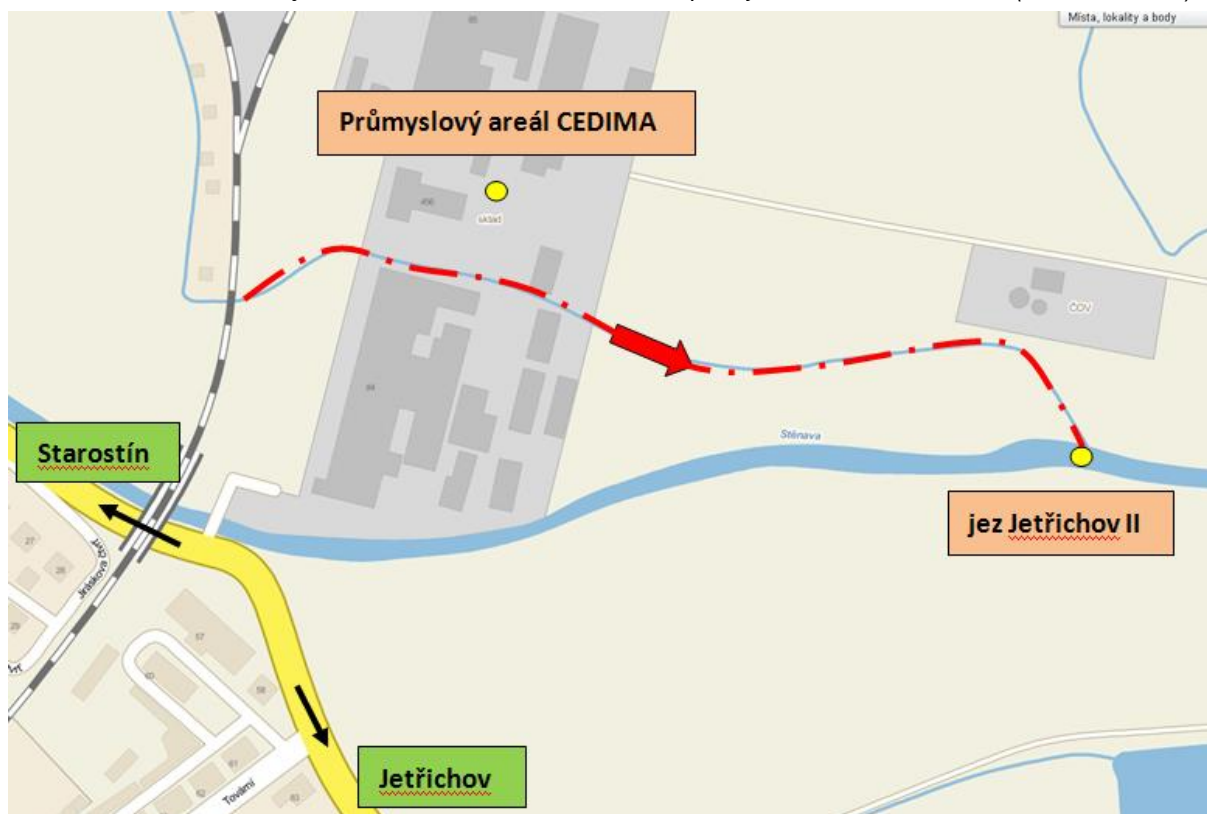
Obrázek – Schema vedlejší větve okružové sítě v Meziměstí před průmyslovým areálem CEDIMA (scénář Q_5)



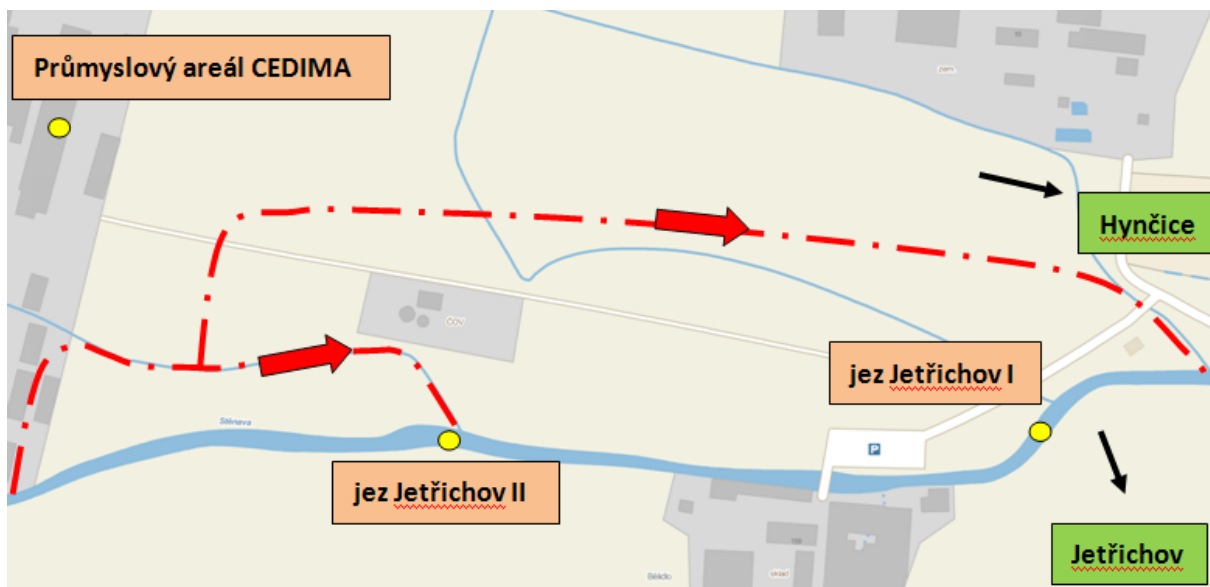
Obrázek – Schema vedlejší větve okružové sítě u průmyslového areálu CEDIMA (scénář Q_5)



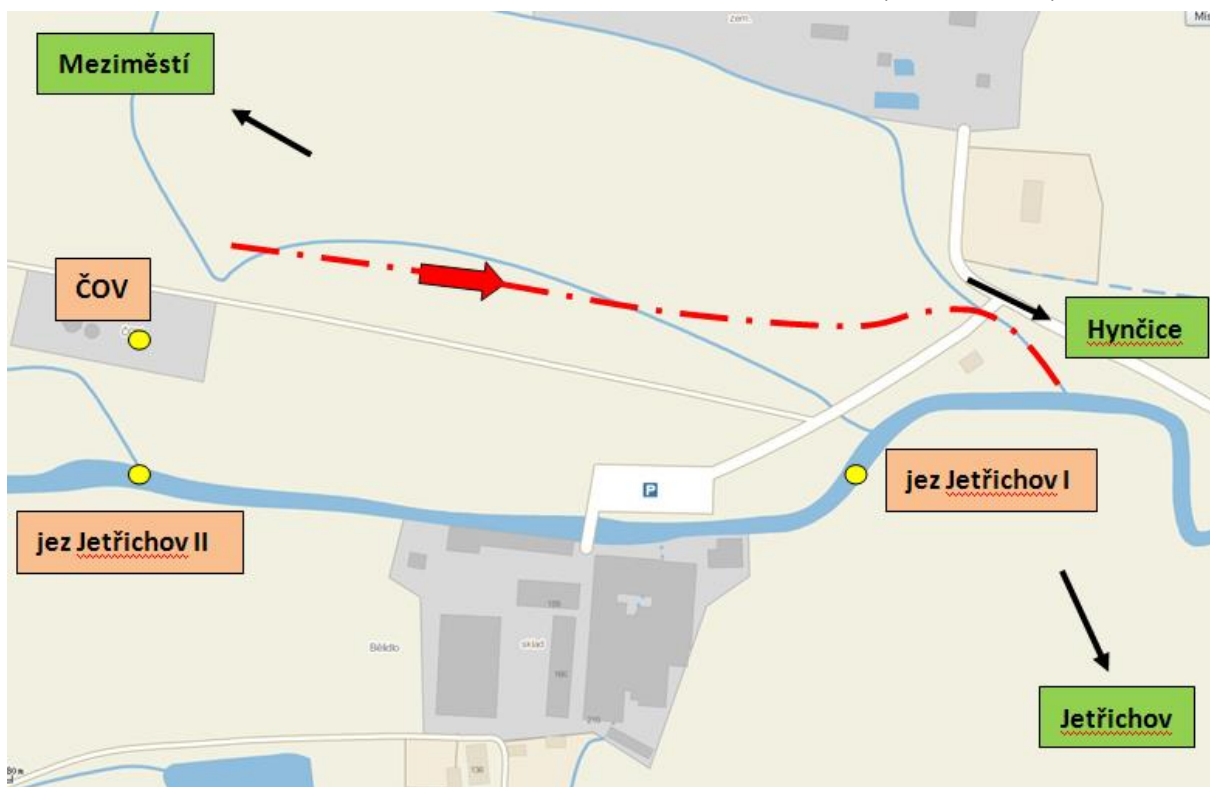
Obrázek – Schema vedlejší větve otevřené sítě v Meziměstí u průmyslového areálu CEDIMA (scénář Q_{20}, Q_{100})



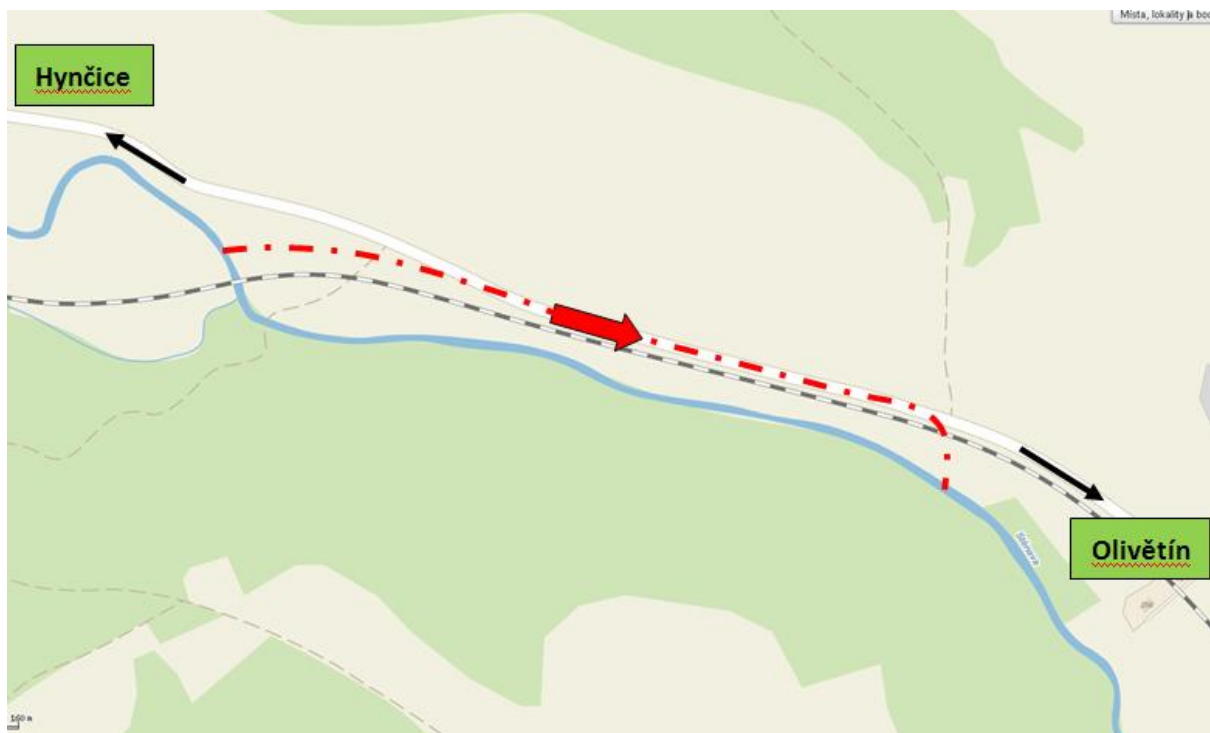
Obrázek – Schema vedlejší větve okružové sítě v Meziměstí u průmyslového areálu CEDIMA (scénář Q_{500})



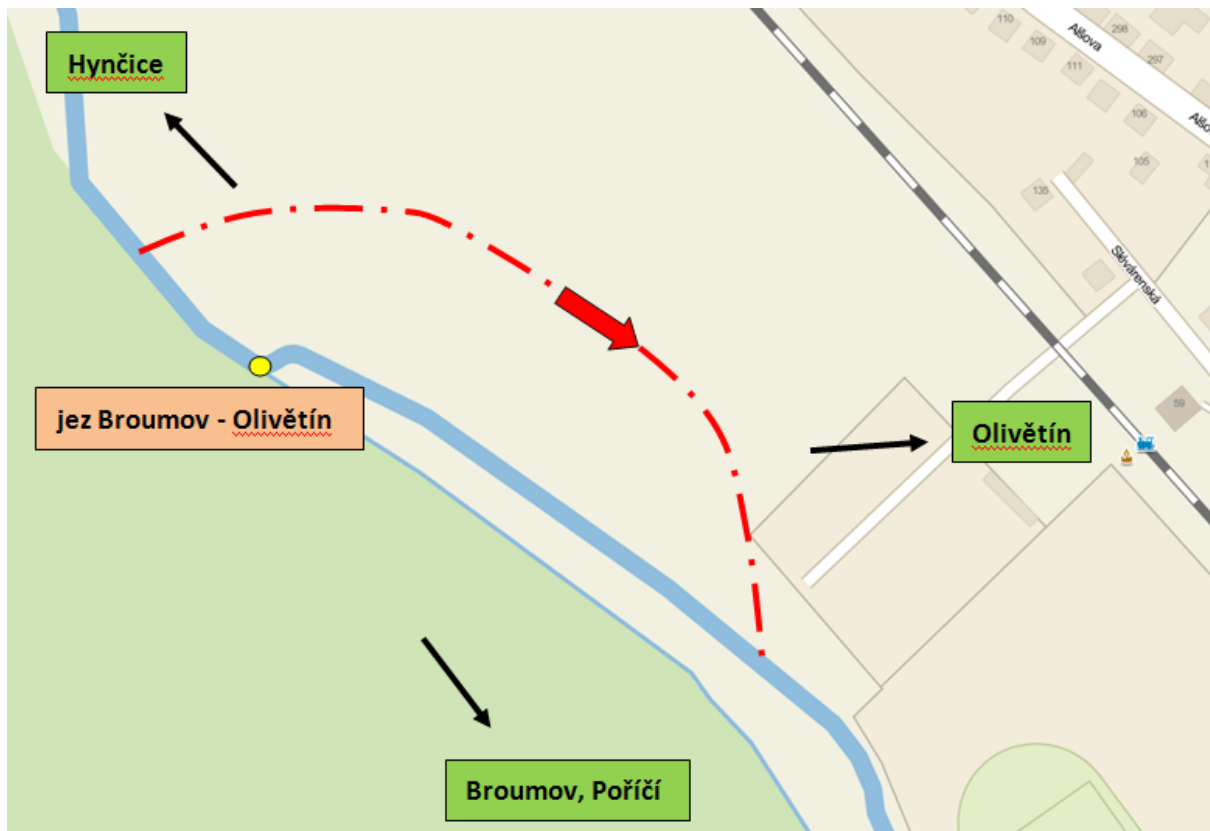
Obrázek – Schema vedlejší větve otevřené sítě v Meziměstí u ČOV (scénář Q_{20}, Q_{100})



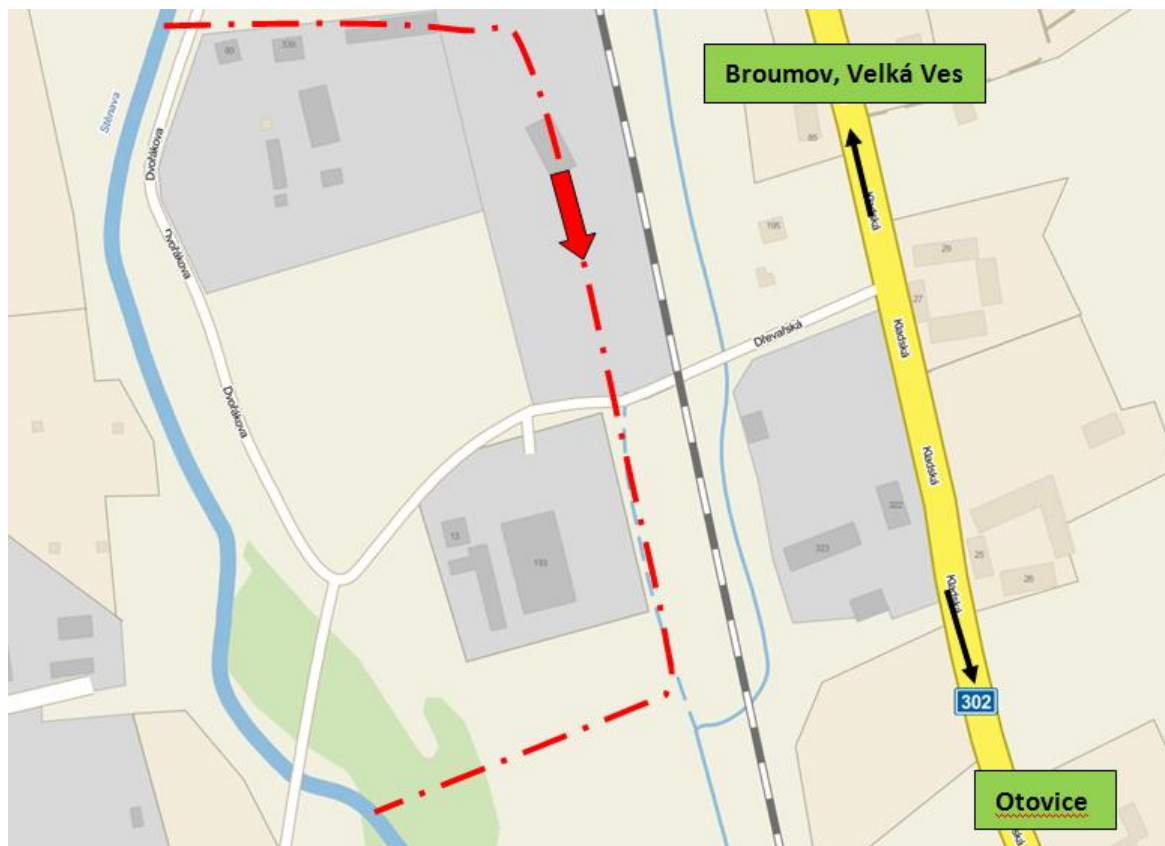
Obrázek – Schema vedlejší větve okružové sítě Hynčice – Olivětín (scénář Q_{20} , Q_{100} , Q_{500})



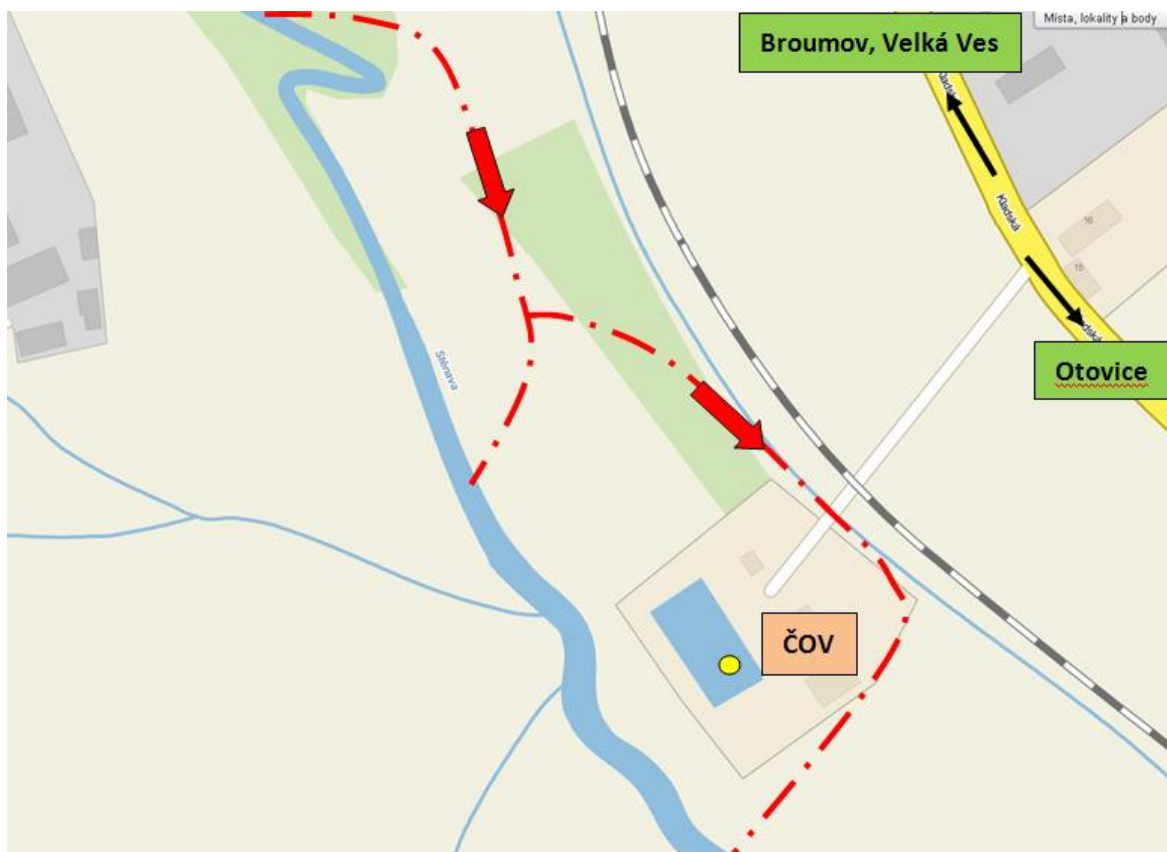
Obrázek – Schema vedlejší větve okružové sítě v Olivětíně (scénář Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{500})



Obrázek – Schema vedlejší větve okružové sítě v Broumově, Velká Ves (scénář Q_{100} , Q_{500})



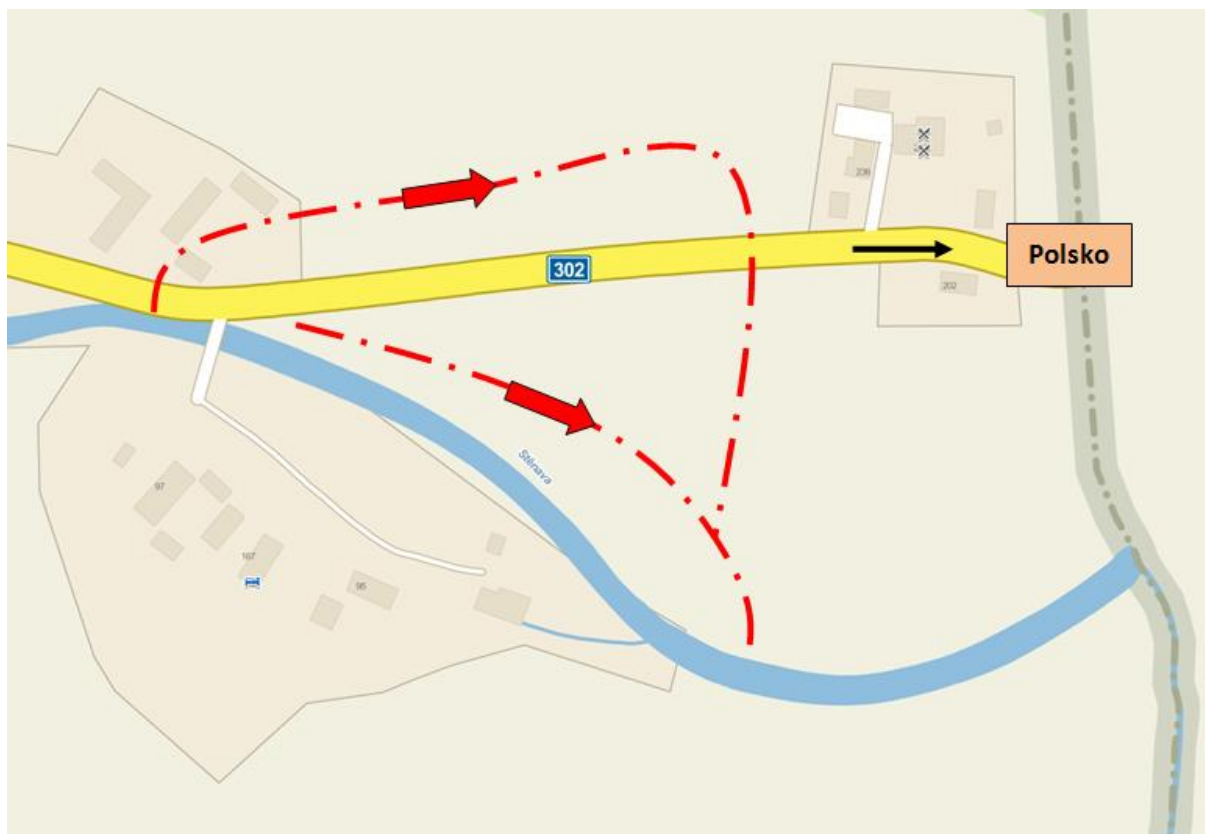
Obrázek – Schema vedlejší větve okružové sítě v Broumově u ČOV (scénář Q_{20})



Obrázek – Schema vedlejší větve okružové sítě mezi Broumovem a Otovicemi (scénář Q_5, Q_{20})



Obrázek – Schema vedlejší větve okružové sítě mezi Broumovem a Otovicemi (scénář Q_{20}, Q_{100})



4.2 Posouzení vlivu nestacionarity proudění

Vliv nestacionarity proudění je ve výpočtech zanedbán a výpočty jsou zpracovány metodou ustáleného nerovnoměrného proudění v souladu s požadavky objednatele.

4.3 Způsob zadávání OP a PP

Modelové výpočty ustáleného nerovnoměrného proudění vyžadují zadání okrajových podmínek v dolním výpočtovém profilu (říční proudění) popř. horním výpočtovém profilu (bystřinné proudění) některým z volitelných způsobů (známá hladina vody, kritická hloubka, hloubka rovnoměrného proudění, konsumční křivka).

Ve spodním a horním profilu ř.km 26,908 resp. 47,724 byla jako okrajová podmínka zadána hloubka rovnoměrného proudění při sklonu 0,30% resp. 0,47% (model je spouštěn v tzv. „mixed“ režimu, kdy se připouští říční i bystřinné proudění).

U otevřených větvných sítí (obtok 1, obtok 2) byla rovněž zadána OP hloubka při rovnoměrném proudění při sklonu 0,66% resp. 0,73%. V místech významných přítoků se zadává pouze změna průtoků. Další okrajové podmínky nebo počáteční podmínky model nevyžaduje.

5 Popis numerického modelu

5.1 Použité programové vybavení

Pro výpočet byl použit matematický program vyvinutý americkým hydrologickým centrem (Hydrologic Engineering Center- HEC), který spadá pod tým inženýrů institutu vodních zdrojů (Institute for Water Resources - IWR) americké armády. Slouží k jednorozměrnému matematickému modelování říčních systémů (River Analysis Systém - RAS). První verze HEC- RAS 1.0 byla uvedena v červenci roku 1995. Nejnovější verze je v současnosti HEC- RAS 4.1.

Předpoklady výpočtu

- Průtok vody v řece 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.

Uživatelské manuály

- HEC-RAS River Analysis System - User's Manual, US Army Corps of Engineers (Hydrologic Engineers Center), January 2010
- HEC-RAS River Analysis System – Hydraulic Reference Manual, US Army Corps of Engineers (Hydrologic Engineers Center), January 2010
- HEC-GeoRAS Geospatial River Analysis System - User's Manual, US Army Corps of Engineers (Hydrologic Engineers Center), January 2010

5.2 Vstupní data numerického modelu

Numerický model proudění je definován příčnými profily nad digitálním modelem terénu, ze kterého si odečítá geometrii. Příčné profily jsou rozděleny na pravou a levou inundaci a samotné koryto vodního toku, kde jsou pro tyto tři části určeny drsnostní charakteristiky v podobě Manningova součinitele v závislosti charakteru a využití území a materiálu dna. Hodnoty Manningova součinitele drsnosti pro jednotlivé dílčí části profilů byly stanoveny na základě mapových podkladů, fotodokumentace, rekognoskace terénu a odborné literatury.

Hydrologická data se přebírají z údajů ČHMÚ (viz kap. 3.2) jako okrajové podmínky výpočtu v profilech, kde dochází ke změně průtoků.

V okrajových výpočtových profilech je okrajová podmínka zadána hloubkou rovnoměrného proudění (viz kap. 4.3).

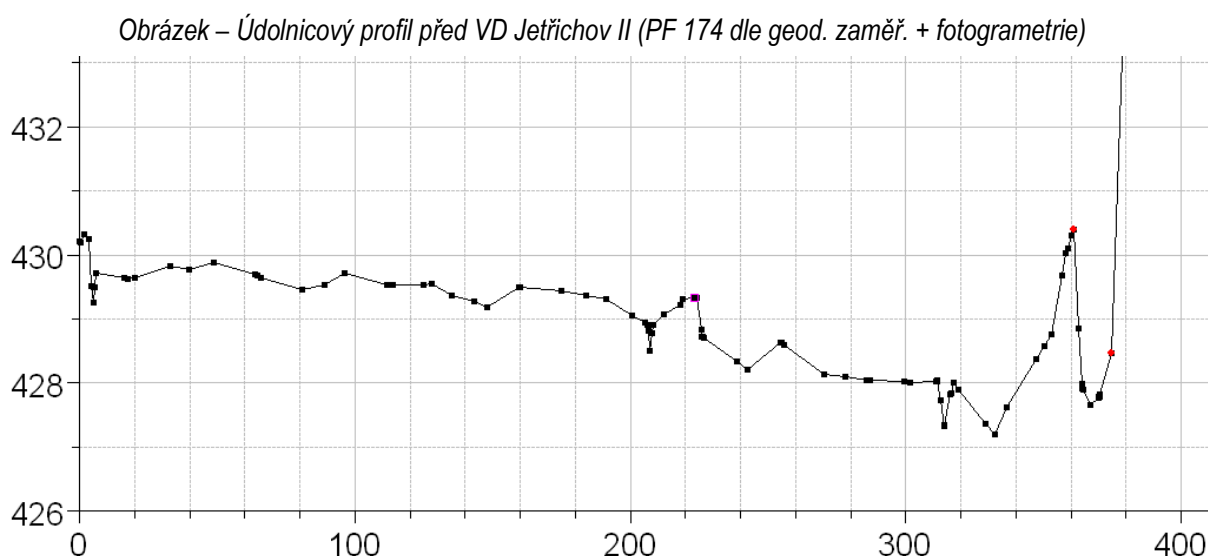
5.2.1 Morfologie vodního toku a záplavového území

Řeka Stěna protéká Broumovsku kotlinou zhruba střední částí od severozápadu, kde u obce Starostín přitéká z Polska, směrem k jihovýchodu, kde znovu pod obcí Otovice vstupuje na území Polska - níže v Kladské kotlině se stává levobřežním přítokem řeky Nysa Klodzka. Na svém pravobřeží v celé délce obtéká řadu vrchů a vyvýšenin s výrazným převýšením nad tokem řeky (Sokol 504 m n. m. na hranicích u Starostína, Mlýnský vrch, Spořilov 467 m n. m. u Broumova a Hoprich u Otovic). Pravý příkrý břeh Stěnavy má často charakter nárazového břehu s erozně obnaženým horninovým profilem. Skalní výchozy jsou často selektivně i gravitačně značně rozčleněné a mají pestrý reliéf. Pravobřežní přítoky Stěnavy (od severu Verněřovický, Jetřichovský, Křinický, Martínkovický a Božanovský potok) mají pramenné oblasti v Broumovských stěnách a severnější části linie vnějších křídových kuest, jen Hejtmánkovický potok odvodňuje plochý terén uprostřed kotliny. Všechny levobřežní přítoky Stěnavy (Vižnovský, Ruprechtický, Uhlířský, Heřmánkovický, Benešovský, Černý a Šonovský potok) pramení a odvodňují Javoří hory. I u těchto potoků (převážně na středním a spodním úseku) se na jejich východním levobřeží vytvořily erozí úseky s morfologicky zvýrazněným nárazovým břehem (skalní stěny, skalní sruby).

Koryto vodního toku v řešeném úseku protéká převážně územím ovlivněným antropogenní činností. Obce/města nacházející se na řešeném úseku:

- Meziměstí
- Hynčice
- Olivětín
- Broumov (místní části: Poříčí, Velká Ves)
- Otovice

V zastavěném území je tok více či méně ovlivněn zásahy člověka. Nejčastěji jsou to hráze na březích toků a napřímení toku nebo lokální opevnění toku. Významné je též ovlivnění podélného sklonu výstavbou jezů v minulosti (ukázkovým případem je VD Jetřichov II, ad. ř. km 44,603, kdy je levobřežní inundace oddělena hrází (viz obrázek).



Výpočet je proveden za předpokladu zachování volného průtočného profilu mostů a také modelového geometrického tvaru ochranných hrázek podél koryta, bez uvažování jejich potenciálního porušení.

Mnipulace na pohyblivých jezích tak, jak uvádějí příslušné MŘ, se projeví pouze pro menší povodně. Při průchodu povodní větší N-letosti jsou ve všech případech uzávěry zcela vyhrazeny. Pokud MŘ předepisuje popř. doporučuje odstavení MVE z provozu při povodních, model s převáděním této (minoritní) části průtoků neuvažuje.

Objekty jsou popisovány dle atributů z aplikace GISyPoNET. Jedná se o internetovou aplikaci pro prohlížení a správu dat související s jevy na vodních tocích. Aplikaci spravuje Povodí Labe, státní podnik. Popis objektů je dle schématu „JEV_ID, TYP_JEVU, NAZEV_JEVU, ADM_RKM_OD“. V ojedinělých případech databáze eviduje objekty, které v současnosti neexistují (lávky) a naopak některé nové objekty ještě nebyly do databáze zahrnuty. Do modelu dále byly v některých případech zadány méně významné objekty, které nejsou předmětem evidence GISyPoNET (některé produktovody a malé spádové objekty), a to na základě geod. doměření, údajích v podélném profilu a terénního průzkumu.

Jezy v zájmovém území (dle aplikace GISyPoNET)

400132529, JEZ, Zbytek jezu LB, ADM ř.km 28.757

400232376, JEZ, Otovice, ADM ř.km 30.338

400053475, JEZ, Martínkovice, ADM ř.km 32.341

400053481, JEZ, Broumov, ADM ř.km 35.301

400054722, JEZ, Broumov-Olivětín, ADM ř.km 37.587
400054868, JEZ, Olivětín u teplárny, ADM ř.km 37.75
400054870, JEZ, Broumov-Olivětín, ADM ř.km 38.462
400055448, JEZ, Hynčice, ADM ř.km 40.978
400055759, JEZ, Jetřichov I, ADM ř.km 44.138
400055761, JEZ, Jetřichov II, ADM ř.km 44.603

Mosty a lávky v zájmovém území (dle aplikace GISyPoNET):

400053469, MOST, Otovice-cesta, ADM ř.km 27.644
400053470, MOST, Otovice, ADM ř.km 28.54
400053471, MOST, Otovice-cesta, ADM ř.km 29.158
400053472, MOST, Otovice-lávka, ADM ř.km 29.832
400053473, MOST, Otovice-lávka, ADM ř.km 30.903
400053474, MOST, Otovice-silnice, ADM ř.km 31.087
400053484, MOST, Broumov-silnice, ADM ř.km 35.125
400053485, MOST, Broumov-lávka, ADM ř.km 35.506
400053513, MOST, Broumov-silnice, ADM ř.km 35.621
400053514, MOST, Broumov-lávka, ADM ř.km 35.703
400053515, MOST, Broumov-cestní, ADM ř.km 35.908
400053516, MOST, Broumov-cesta, ADM ř.km 36.073
400054634, MOST, Broumov-cesta, ADM ř.km 36.238
400054642, MOST, Olivětín-cesta, ADM ř.km 36.94
400054674, MOST, Olivětín-lávka, ADM ř.km 37.179
400054699, MOST, Olivětín-cesta, ADM ř.km 37.426
400054731, MOST, Olivětín-vlečkový přej., ADM ř.km 37.675
400054857, MOST, Olivětín-cesta, ADM ř.km 37.963
400055233, MOST, Lávka - 2 kmeny, ADM ř.km 38.907
400055234, MOST, Heřmánkovice-cesta, ADM ř.km 40.212
400132649, MOST, Heřmánkovice, ADM ř.km 40.223
400055240, MOST, Heřmánkovice-železnice, ADM ř.km 40.298
400055739, MOST, Hynčice-cesta, ADM ř.km 41.424
400055746, MOST, Hynčice-lávka, ADM ř.km 42.01
400055757, MOST, Hynčice-místní komunik., ADM ř.km 42.099
400055758, MOST, Jetřichov-silnice, ADM ř.km 43.728
400133030, MOST, BARUM Jetřichov - Bailey, ADM ř.km 44.243
400055760, MOST, BARUM Jetřichov, ADM ř.km 44.302
400055763, MOST, Meziměstí-cesta, ADM ř.km 45.083
400055806, MOST, Meziměstí-železnice, ADM ř.km 45.114
400055810, MOST, Meziměstí-silnice, ADM ř.km 45.4
400132937, MOST, Lávka pro pěší v Meziměstí, ADM ř.km 45.661

Ostatní mosty/lávky/produktovody v zájmovém území (neevidovány aplikací GISyPoNET)

MOST, Otovice-žlb. lávka, DKM ř.km 27.798
MOST, Broumov-Otovice-železodřevěnná lávka, DKM 32.209
MOST, Broumov-železodřevěnný most, DKM ř.km 34.004
MOST, Broumov-železodřevěnný most, DKM ř.km 34.534
MOST, Broumov-žlb. lávka v areálu VEBY, DKM ř.km 37.598
MOST, Hynčice-železniční most, DKM ř.km 41.306
MOST, Meziměstí-Ruprechtice, lávka pro pěší, DKM ř.km 43.410
MOST, Meziměstí-Ruprechtice-lávka, DKM 43.483
MOST, Meziměstí-kanalizace u areálu CEDIMA, DKM 44.918
MOST, Meziměstí-lávka, DKM 46.048
MOST, Meziměstí-lávka u limnigrafu, DKM 46.453

Pozn.: Objekty vstupující do výpočtu, které neuvádí aplikace GISyPoNET, jsou vztaženy k digitální kilometrži, ve které je sestaven model (DKM).

5.2.2 Drsnosti hlavního koryta a inundačních území

Hydraulická drsnost je v modelu zadávána pomocí Manningova drsnostního součinitele. Tento součinitel je jeden z faktorů, který ovlivňuje výslednou výšku hladiny a představuje jednu z charakteristik popisující terén a odpor prostředí. Pro potřeby výpočtu byly hodnoty drsnostních součinitelů odhadnuty dle odborné literatury a z podobnosti jiných toků. Drsnostní součinitel ovlivňuje více faktorů, mimo jiné např. sezonalita (vliv vegetace), transport sedimentů, údržba vodního toku apod. Minimální a maximální hodnota součinitele se ve stejném úseku může v průběhu času i významně měnit. Pro vodohospodářskou úlohu tohoto typu (stanovení průběhu hladin a rozsah záplavového území) je bezpečnější volit hodnoty n spíše při horním intervalu (tomu odpovídá vyšší hladina a větší rozlivy), kdy se předpokládá větší odpor koryta proti proudění (např. vegetace v letním období představuje vyšší odpory, přičemž právě letní povodně jsou v našich podmínkách nejčastější a většinou je při nich dosaženo nejvyšších kulminačních průtoků).

Pro jednotlivé scénáře byly z důvodu jednoznačnosti použity stejné hodnoty součinitelů drsnosti, ačkoliv různé výzkumné a odborné práce uvádějí drsnost je funkcí hloubky proudění (se vzrůstající hloubkou/průtokem/unášecí silou se snižuje hodnota drsnosti).

Přehledně jsou jednotlivé drsnostní součinitele uvedeny následující tabulce. V případě opevněného koryta se předpokládá pouze opevnění břehů, údaje o souvislém opevnění dna (dlažbou nebo betonem) nejsou známy.

Charakter území	Manningův drsnostní součinitel n
Koryto: oba břehy opevněny (beton, kamenné zdívo, kamenná dlažba)	0,03
Koryto: jeden břeh opevněn (beton, kamenné zdívo, kamenná dlažba)	0,035
Koryto bez opevnění	0,04
Inundace: louky popř. pole	0,08
Inundace: les	0,1
Inundace: zástavba	0,12

5.2.3 Hodnoty okrajových podmínek

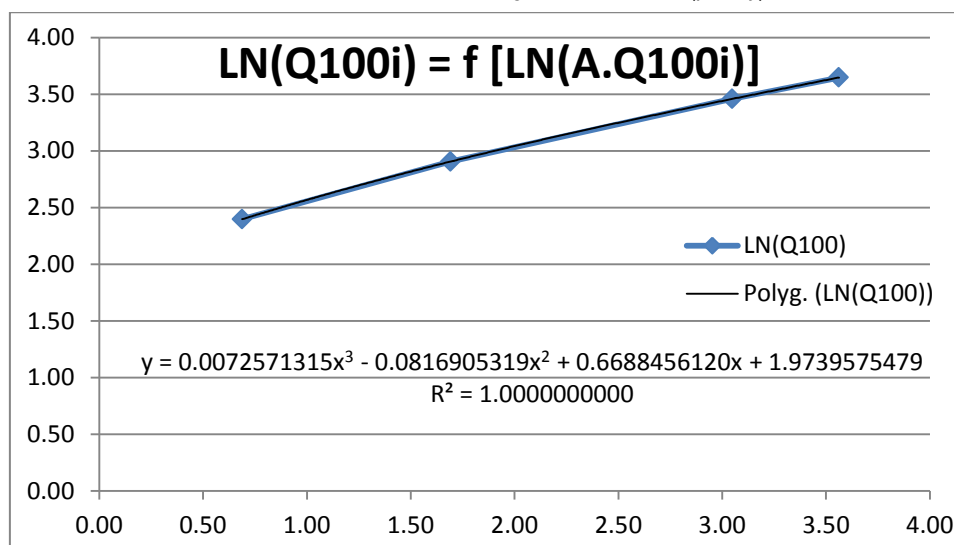
Okrajové podmínky (průtoky) jsou zadány v místech s výrazně měnícími hydrologickými poměry v místech významných přítoků. Byly vesměs využity data obdržena od ČHMÚ.

Zadání horní a dolní okrajové podmínky na začátku a konci modelu je popsáno v kapitole 4.3.

Interpolace mezilehlých profilů byla provedena na základě známých hodnot dle ČHMÚ. Postup odvození průtoků v mezilehlých profilech bylo provedeno na základě tohoto postupu:

1. Vytipování potřebných profilů pro „zahuštění“ a z mapových podkladů zjištění plochy povodí k těmto profilům (A_i)
2. Sestavení funkční závislosti $\ln(Q_{100,i}) = f[\ln(A_i)]$, kde $Q_{100,i}$ je známý průtok Q_{100} v profilu i , A_i je známá plocha povodí v profilu i (v kterém je známý průtok Q_{100})
3. Proložení diskretních bodů spojitou křivkou známé rovnice,
4. Odlogaritmováním zjištění Q_{100} v hledaných profilech dle bodu 1
5. Dopočtení ostatních $N - 1$ letých průtoků v těchto profilech. poměry $N - 1$ letých průtoků k průtoku Q_{100} jsou ve všech profilech prakticky stejné.

Obrázek – Grafická závislost logaritmu Q_{100} a A (plochy)



Tabulka - N-leté povodňové průtoky uvažované při hydraulickém řešení

Úsek / N-leté průtoky Q_N	Úsek toku (km od - do)	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}
Začátek řešeného úseku – ústí Dobrohošského potoka (limn. stan. Meziměstí)	47,724 - 45,162	28.0	49.6	83.2	126.1
ústí Dobrohošského potoka – ústí Verněřovického	45,162 - 44,097	30.1	53.5	89.7	135.9
ústí Verněřovického – ústí Ruprechtického potoka	44,097 - 42,673	34.6	61.4	103.0	156.0
ústí Ruprechtického potoka – ústí Uhlířského potoka	42,673 - 40,788	37.8	66.7	111.0	167.8
ústí Uhlířského potoka – ústí Heřmánkovického potoka	40,788 - 38,623	39.3	69.3	115.3	174.4
ústí Heřmánkovického potoka – ústí Svinského potoka	38,623 - 37,352	41.9	73.9	123.0	186.0
ústí Svinského potoka – ústí Liščího potoka	37,352 - 34,894	39.8	77.2	127.5	192.7
ústí Liščího potoka – ústí Křinického potoka	34,894 - 33,291	45.9	80.5	133.0	201.0
ústí Křinického potoka – ústí Martínkovického potoka	33,291 - 30,742	49.6	86.4	142.4	214.9
ústí Martínkovického potoka – ústí Černého potoka	30,742 - 29,646	51.4	89.6	147.6	222.8
ústí Černého potoka – státní hranice (limnigraf Otovice)	29,646 - 26,908	54.0	94.1	155.0	234.0

5.2.4 Hodnoty počátečních podmínek

Pro hydraulické výpočty je použit model ustáleného proudění, počáteční podmínky pak nejsou zadávány.

5.2.5 Diskuze k nejistotám a úplnosti vstupních dat

Pro zpracování zadání skládající se ze sestavení DMT a vytvoření matematického modelu byly veškeré dostupné podklady dostačující.

Nicméně je nutné vzít v úvahu přesnosti použitých podkladů a jejich interpretace. Samotná geodetická data v podobě polohové a výškové umístěných bodů mají svou danou přesnost a hodnoty mezi nimi jsou výsledky určité interpolace, kde může docházet k nejistotám.

Další z nejistot, ke kterým může docházet, je fakt, že se řešené území schematizuje pomocí příčných profilů, ve kterých probíhá výpočet, a výsledky jsou dále interpretovány plošně pomocí interpolace.

Určitou míru nejistoty rovněž představuje hodnota součinitele drsnosti n , který je funkcí mnoha proměnných a spolehlivěji jej lze určit pouze měřením in-situ.

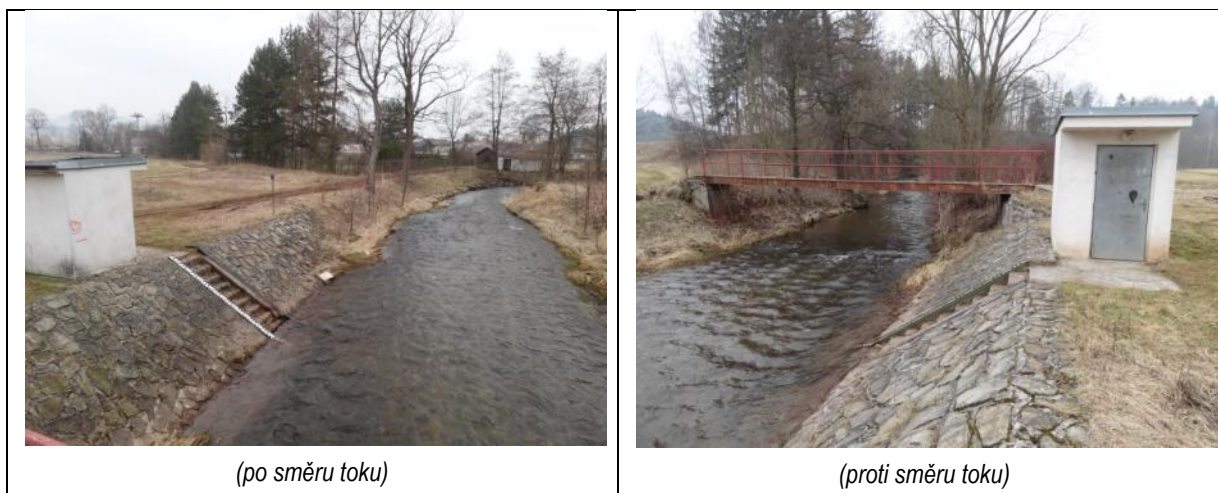
5.3 Popis kalibrace modelu

Pořizovatel poskytl zpracovateli měrnou křivku (Q-H) pro limnigraf „Meziměstí“ (nula vodočtu 436,17 m.n.m.) a „Otovice“ (nula vodočtu 349,47 m.n.m.). Oba profily jsou umístěny za mostním profilem. Tabulka níže uvádí porovnání hladin dle Q-H křivky a hladiny vypočtených modelem (v profilu bezprostředně za mostem). Jak bylo uvedeno v kapitole 5.2., drsnosti jsou ve všech případech zadány jednou hodnotou. Hladina Q_{100} limnigrafu v Otovicích je výrazně ovlivněna mostním objektem, který se nachází bezprostředně před limnigrafem a vytváří tak vodní skok. Pro scénář Q_{100} voda výrazně vyběžuje z koryta do levobřežní inundace. Součinitel drsnosti koryta je uvažován jako 0,04.

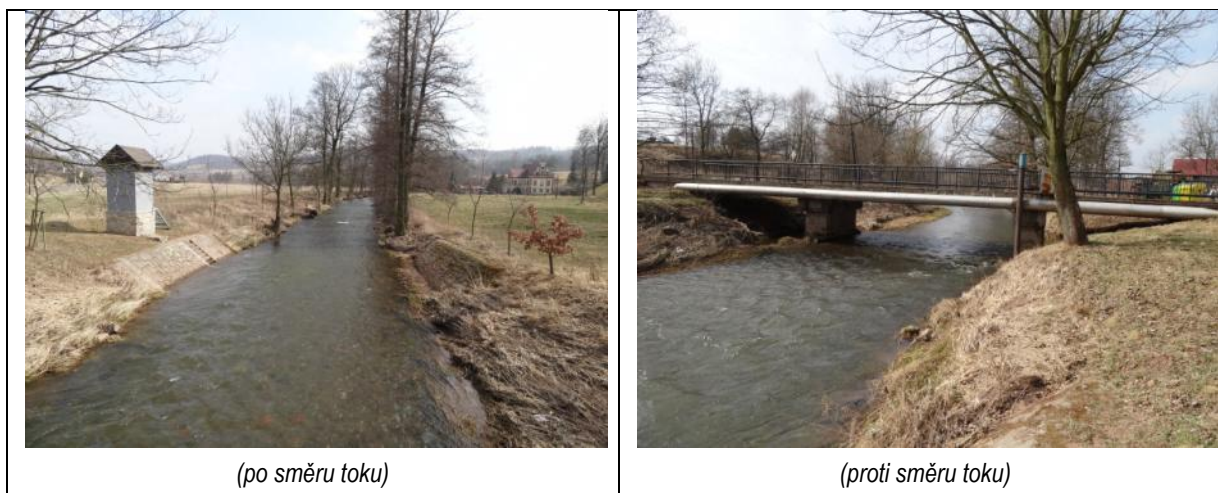
Tabulka – Porovnání hladin modelu a Q-H křivky limnigrafu „Maršov nad Metují a Hronov“

Limnigraf „Meziměstí“					Limnigraf „Otovice“				
QN [m ³ /s]	$h_{\text{limnigraf}}$ [m]	$H_{\text{limnigraf}}$ [m n. m.]	Výška vypočítané hladiny (m n. m.)	Rozdíl (m)	QN [m ³ /s]	$h_{\text{limnigraf}}$ [m]	$H_{\text{limnigraf}}$ [m n. m.]	Výška vypočítané hladiny (m n. m.)	Rozdíl (cm)
$Q_5 = 28,0$	154	437.71	437.72	+1.000	$Q_5 = 54$	239	351.86	352.00	+14.000
$Q_{20} = 40,4$	208	438.25	438.25	0.000	$Q_{20} = 94,1$	285	352.32	352.36	+4.000
$Q_{100} = 63,5$	238	438.55	438.54	- 1.000	$Q_{100} = 114$	330	352.77	352.73	-4.000

Obrázek – Profil limnigrafu Meziměstí



Obrázek – Profil limnigrafu Otovice



6 Výstupy z modelu

Výstupem z hydrodynamického modelu jsou hydraulické charakteristiky proudění modelovaných průtokových scénářů spočítané v jednotlivých příčných profilech. Lze je prezentovat tabelární nebo grafickou formou v podobě podélných a příčných profilů, bodového pole rychlostí a map hloubek. Pro sestavení map povodňového nebezpečí jsou základním výstupem z hydraulických modelů mapa hloubek a mapa rychlostí. Mapové výstupy představují georeferencovanou rastrovou mapu v požadovaném měřítku a formátu.

6.1 Záplavové čáry pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}

Záplavové čáry tvoří obalovou křivku záplavovému území resp. mapám hloubek. Zobrazují maximální rozsah povodně pro daný průtok. Jsou zobrazeny v jedné mapě pro všechny povodňové scénáře. Tím je umožněno snadné porovnání rozsahu povodní. Záplavové čáry jsou zobrazeny na podkladě Základní rastrové mapy ČR v měřítku 1:10 000.

Analýzou průniku maximálního rozlivu (při průtoku Q_{500}) a správních území byly zajištěny informace o následujících dotčených správních územích obcí uvedené v následující tabulce.

Tabulka – Dotčené správní území obcí maximálním rozlivem

Kód ORP	Název ORP	Kód ICOB	Název obce
01276	Broumov	574317	Otovice
01276	Broumov	574228	Martínkovice
01276	Broumov	573922	Broumov
01276	Broumov	574171	Křínice
01276	Broumov	574031	Hejtmánkovice
01276	Broumov	574058	Hejtmánkovice
01276	Broumov	574163	Hynčice
01276	Broumov	574155	Jetřichov
01276	Broumov	574252	Meziměstí
01276	Broumov	547743	Vernéřovice

6.2 Hloubky pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}

Mapa hloubek vznikne odečtením vypočítané úrovně hladiny a sestaveného digitálního modelu terénu. V barevné škále zobrazuje názorně hloubku vody při povodni v záplavovém území a upozorňuje na rizikové oblasti s vysokými hloubkami vody. Výsledný rastr ve formátu .tif o velikosti pixelu 2 x 2 m obsahuje informace o hloubce vody pro každý pixel. Pro přehledné znázornění hloubek v tištěné podobě je výsledná hloubka vody rozdělena do kategorií s pevně zvoleným rozsahem hloubky (znázorněno v legendě mapového výstupu). Mapa hloubek je zobrazena na podkladě Základní rastrové mapy ČR v měřítku 1:10 000.

Nad mapu hloubek jsou zobrazeny bodové rychlosti proudění ve všech výpočetních profilech (viz kapitola 6.3).

6.3 Rychlosti pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}

Informace o rychlosti proudění vody v korytě a v inundačním území u jednorozměrného modelu jsou známy pouze ve výpočetních profilech. Po provedení výpočtu a získání úrovně vodní hladiny v profilu je možné dopočítat rozdělení rychlostí v korytě a levé i pravé inundaci. Rychlosti jsou prezentovány pomocí vhodně distribuovaných bodů na příčných profilech. Distribuce bodů je závislá na velikosti vodního toku (koryta toku) a rozsahu záplavového území. V korytě vodního toku bude vždy umístěn alespoň jeden bod charakterizující rychlost proudění v korytě.

Výsledné zobrazení rychlostí je součástí mapy hloubek, kdy informace o rychlosti spolu s hloubkou vody dávají názornou představu o charakteru nebezpečí při povodni v pozorovaném úseku.

6.4 Zhodnocení nejistot ve výsledcích výpočtů

Nejistoty mohou vstupovat do výpočtů a dále do výsledků v každé dílčí fázi zpracování. Jedná se zejména o nejistoty hydrologických dat, geodetických dat, zpracování digitálního modelu terénu, schematizace řešeného území hydrodynamickým modelem, přesnost hydrodynamického modelu, drsnosti povrchů, kalibrační značky, kulminační průtoky historických povodní atd.

Způsob zpracování vycházel z použití nejmodernějších a nejaktuálnějších vstupních podkladů, hydrodynamických modelů, metod zpracování hydrodynamických modelů a prezentace jejich výsledků s cílem minimalizovat nejistoty ve výsledcích výpočtů.