



TVORBA MAP POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ A POVODŇOVÝCH RIZIK V OBLASTECH POVODÍ HORNÍ VLTAVY, BEROUNKY A DOLNÍ VLTAVY

DÍLČÍ POVODÍ HORNÍ VLTAVY

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

BEROUNKA - 10100011_5 - Ř. KM 129,700 – 139,600 (PV-4-5)

MŽE - 10100016_1 - Ř. KM 0,000 – 11,500 (PV-6-1)

RADBUZA - 10100017_1 - Ř. KM 0,000 – 6,900 (PV-7-1)

ÚHLAVA - 10100025_1 - Ř. KM 0,000 – 9,000 (PV-8-1)

ÚSLAVA - 10100028_1 - Ř. KM 0,000 – 19,000 (PV-10-1)

ÚSLAVA - 10100028_2 - Ř. KM 19,000 – 21,000 (PV-10-2)

VEJPRNICKÝ P. - 10100254_1 - Ř. KM 0,000 – 7,000 (PV-24-1)



DUBEN 2013





OPERAČNÍ PROGRAM
ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ



EVROPSKÁ UNIE
Fond soudržnosti

Pro vodu,
vzduch a přírodu



OPERAČNÍ PROGRAM
ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ



EVROPSKÁ UNIE
Fond soudržnosti

Pro vodu,
vzduch a přírodu

TVORBA MAP POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ A POVODŇOVÝCH RIZIK V OBLASTECH POVODÍ HORNÍ VLTAVY, BEROUNKY A DOLNÍ VLTAVY

DÍLČÍ POVODÍ HORNÍ VLTAVY

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

BEROUNKA - 10100011_5 - Ř. KM 129,700 – 139,600 (PV-4-5)

MŽE - 10100016_1 - Ř. KM 0,000 – 11,500 (PV-6-1)

RADBUZA - 10100017_1 - Ř. KM 0,000 – 6,900 (PV-7-1)

ÚHLAVA - 10100025_1 - Ř. KM 0,000 – 9,000 (PV-8-1)

ÚSLAVA - 10100028_1 - Ř. KM 0,000 – 19,000 (PV-10-1)

ÚSLAVA - 10100028_2 - Ř. KM 19,000 – 21,000 (PV-10-2)

VEJPRNICKÝ P. - 10100254_1 - Ř. KM 0,000 – 7,000 (PV-24-1)

Pořizovatel:



Povodí Vltavy, státní podnik
Holečkova 8
Praha 5
150 24

Zhotovitel:



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



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



OPERAČNÍ PROGRAM
ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ



EVROPSKÁ UNIE
Fond soudržnosti

Pro vodu,
vzduch a přírodu

Řešitel:



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

V PRAZE, DUBEN 2013.

Obsah:

1	Základní údaje.....	9
1.1	Seznam zkratk a symbolů.....	9
1.2	Cíle prací.....	9
1.3	Předmět práce	10
1.4	Postup zpracování a metoda řešení	10
2	Popis zájmového území	13
2.1	Všeobecné údaje	19
2.2	Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)	20
3	Přehled podkladů.....	22
3.1	Topologická data.....	22
3.1.1	Vytvoření (aktualizace) DMT	22
3.1.2	Mapové podklady.....	23
3.1.3	Geodetické podklady	24
3.2	Hydrologická data	24
3.3	Místní šetření	24
3.4	Doplňující podklady – technické a provozní informace, zprávy, studie, dokumenty, literatura.....	25
3.5	Normy, zákony, vyhlášky	26
3.6	Vyhodnocení a příprava podkladů	26
4	Popis koncepčního modelu	27
4.1	Schematizace řešeného území.....	27
4.2	Posouzení vlivu nestacionarity proudění.....	30
4.3	Způsob zadávání OP a PP.....	30
5	Popis numerického modelu.....	32
5.1	Použité programové vybavení.....	32
5.2	Vstupní data numerického modelu.....	33
5.2.1	Morfologie vodního toku a záplavového území.....	33
	Charakter toku byl již podrobně popsán v kap. 3.3 Místní šetření.	33
5.2.2	Drsnosti hlavního koryta a inundačních území	36
5.2.3	Hodnoty okrajových podmínek	37
5.2.4	Hodnoty počátečních podmínek	38
5.2.5	Diskuze k nejistotám a úplnosti vstupních dat	39
5.3	Popis kalibrace modelu	39
6	Výstupy z modelu	46
6.1	Záplavové čáry pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	46
6.2	Hloubky pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	46
6.3	Rychlosti pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	46
6.4	Zhodnocení nejistot ve výsledcích výpočtů.....	47

Seznam tabulek

Tabulka 1 – seznam zkratk	9
Tabulka 2 – seznam nových staveb v povodí toků	23
Tabulka 3 – zaměření TPE - koryta	24
Tabulka 4 - N-leté průtoky (Q_N) v $m^3.s^{-1}$	24
Tabulka 5 – seznam objektů - Mže	34
Tabulka 6 – seznam objektů - Radbuza	34
Tabulka 7 – seznam objektů - Berounka	34
Tabulka 8 – seznam objektů - Úhlava	35
Tabulka 9 – seznam objektů - Úslava	35
Tabulka 10 – seznam objektů – Vejprnický potok	36
Tabulka 11 – tabulka základních drsnostních parametrů	36
Tabulka 12 – okrajové podmínky – model MRUS	37
Tabulka 13 – okrajové podmínky – model RU	37
Tabulka 14 – okrajové podmínky – model US	38
Tabulka 15 – okrajové podmínky – model UHL	38
Tabulka 16 – okrajové podmínky – model MŽE	38
Tabulka 17 – okrajové podmínky – model VEJ	38
Tabulka 18 – kalibrace modelu MRUS	40
Tabulka 19 – kalibrace modelu RU - Radbuza	42
Tabulka 20 – kalibrace modelu RU - Úhlava	42
Tabulka 21 – kalibrace modelu USL	Chyba! Záložka není definována.
Tabulka 22 – kalibrace modelu UHL	43
Tabulka 23 – kalibrace modelu MŽE	45
Tabulka 24 - dotčené správní území obcí maximálním rozlivem	46

Seznam obrázků

Obrázek 1 – přehledná mapa řešeného území – Mže	13
Obrázek 2 - přehledná mapa řešeného území - Radbuza	14
Obrázek 3 - přehledná mapa řešeného území - Berounka	15
Obrázek 4 - přehledná mapa řešeného území - Úhlava	16
Obrázek 5 - přehledná mapa řešeného území – Úslava II etapa	17
Obrázek 6 - přehledná mapa řešeného území – Úslava I etapa	18
Obrázek 7 - přehledná mapa řešeného území – Vejprnický potok	19
Obrázek 8 - hydrogramy povodně 8/2002	20
Obrázek 9 - hydrogramy povodně 1/2011	21
Obrázek 10 - hydrogramy mimořádné manipulace 3/2004	21
Obrázek 11 - rozsah modelu MRUS - Bathymetrie	27
Obrázek 12 - rozsah modelu RU - bathymetrie	27
Obrázek 13 - rozsah modelu USL - bathymetrie	28
Obrázek 14 - rozsah modelu UHL – bathymetrie a ukázka detailu trojúhelníkové sítě modelu	28
Obrázek 15 - model MŽE – ukázka propojení modelu 1D a 2D	29
Obrázek 16 – model VEJ – ukázka propojení modelu 1D a 2D	30
Obrázek 17 – kalibrace modelu MRUS – Mže 2004	40
Obrázek 18 – kalibrace modelu MRUS – Berounka 2004	40
Obrázek 19 – kalibrace modelu MRUS – Mže 2011	41
Obrázek 20 – kalibrace modelu MRUS – Berounka 2011	41
Obrázek 21 – kalibrace modelu RU – Radbuza	42
Obrázek 22 – kalibrace modelu RU – Úhlava	43
Obrázek 23 – kalibrace modelu UHL	44
Obrázek 24 – kalibrace modelu MŽE	45

1 Základní údaje

1.1 Seznam zkratk a symbolů

Zkratka	Vysvětlení
1D model	Matematický model jednorozměrného proudění
2D model	Matematický model dvourozměrného proudění
Bpv	Výškový systém Balt po vyrovnání
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DMR5G	Digitální model reliéfu České republiky 5. generace
DMT	Digitální model terénu
DMT ATLAS	Software pro zpracování digitálního modelu terénu
DOP	Dolní okrajová podmínka
HOP	Horní okrajová podmínka
M21C	Matematický model Mike21C (2D model – curvilinear)
MPN	Mapy povodňového nebezpečí
MZE	Ministerstvo zemědělství
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
PPO	Protipovodňová opatření
S_JTSK	Souřadný systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
SZÚ	Studie záplavového území
VÚV TGM	Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, v.v.i.
ZABAGED®	Základní báze geografických dat – digitální topografický model
ZM-10	Základní mapa 1 : 10 000
ZÚ	Záplavové území
MRUS	2D matematický model Mže-Radbuza-Úslava
UHL	2D matematický model Úhlava
MŽE	1D a 2D matematický model Mže
RU	2D matematický model Radbuza-Úhlava
VEJ	1D matematický model Vejprnického potoka
USL	2D matematický model Úslava

Tabulka 1 – seznam zkratk

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

Uzel plzeňských řek, který se skládá z šesti vodních toků a 4 soutoků, je třeba řešit, jako celek který nelze dělit na jednotlivé úseky definované pro tento projekt.

Vodní toky se vzájemně ovlivňují a nelze je řešit nezávisle na sobě. Každý uzel řek je třeba řešit s vědomím, že průtoky velkých vod v korytech a záplavových územích jednotlivých toků mohou způsobovat různé důsledky především na soutocích. Matematické modely v uzlu Plzeň řeší najednou šest významných vodních toků, v rámci projektu byly řešeny čtyři jejich soutoky. To se projevuje především ve složitosti kalibrace matematických modelů, při tvorbě zatěžovacích stavů a při práci s výsledky.

Území bylo popsáno šesti matematickými modely, které řeší jednak všechny soutoky plzeňských řek a společně jako celek poskytují potřebné informace v celém zájmovém území.

Hydrologická data:

Pro účel studie byla zajištěna aktuální hydrologická data ČHMÚ (N-leté průtoky) v deseti profilech. Dále byla ke kalibračním účelům použita data ČHMÚ a PVL z povodně 2002, 2011 a mimořádné manipulace z 4/2004, pro limnigrafické profily v zájmovém území a povodňové značky poskytnuté Povodím Vltavy, s. p.

Topologická data:

Pro potřeby matematických modelů byl využit digitální model terénu (DMT) zájmového území. Tento model vznikl sloučením tří základních zdrojů topologických dat – korytového modelu dotčených řek včetně objektů na toku, digitálního modelu terénu inundačního území v katastru města Plzně (průběžně aktualizovaného v rámci projektu „Povodňový model Plzeň“) a bodů DMR5G.

Sestavení hydrodynamických modelů:

Pro tento projekt byly částečně vytvořeny nové rozšířené matematické modely a částečně využity a aktualizovány matematické modely sestavené dříve v rámci projektu „Povodňový model Plzeň – aktualizace 2010“.

Hydraulické charakteristiky proudění v zájmové oblasti toku byly simulovány dvourozměrnými matematickými modely MIKE 21C (v. 2011), MIKE 21FM (v. 2011), MIKE 21 (v. 2011), MIKE FLOOD (v. 2011) a jednorozměrným MIKE 11 (v. 2011) vyvinutými firmou DHI, Hørsholm (Dánsko). Popis jednotlivých programových prostředků je v kapitole 5.

V rámci této studie byly sestaveny čtyři dílčí 2D matematické modely a dva modely technologií MIKE FLOOD, tedy kombinací 1D a 2D.

Prvním z 2D modelů je centrální model pracovně nazývaný „Mže-Radbuza-Úslava - **MRUS**“, který řeší soutok řek Mže a Radbuzy (vznik Berounky) a dále soutok Úslavy a Berounky až po jez v Bukovci. V rámci tohoto modelu je řešen plně úsek

BEROUNKA - 10100011_5 - Ř. KM 129,700 – 139,600 (PV-4-5),

a částečně úseky:

MŽE - 10100016_1 - Ř. KM 0,000 – 11,500 (PV-6-1),

RADBUZA - 10100017_1 - Ř. KM 0,000 – 6,900 (PV-7-1),

ÚSLAVA - 10100028_1 - Ř. KM 0,000 – 19,000 (PV-10-1).

Druhým 2D modelem je model pracovně nazývaný „Radbuza-Úhlava - **RU**“, který řeší soutok řek Radbuzy a Úhlavy a svou sítí navazuje na model MRUS. V rámci tohoto modelu je řešen částečně úsek.

RADBUZA - 10100017_1 - Ř. KM 0,000 – 6,900 (PV-7-1),

ÚHLAVA - 10100025_1 - Ř. KM 0,000 – 9,000 (PV-8-1).

Třetím modelem je model Úslavy - **USL**, který popisuje oblast řeky Úslavy od Štáhlav po most v Božkově, kde navazuje na model MRUS. V rámci tohoto modelu je řešen plně úsek

ÚSLAVA - 10100028_2 - Ř. KM 19,000 – 21,000 (PV-10-2),

a částečně úsek

ÚSLAVA - 10100028_1 - Ř. KM 0,000 – 19,000 (PV-10-1).

Čtvrtým modelem je model Úhlavy – **UHL**, který navazuje svou sítí na model RU v oblasti lávky Hradiště. V rámci tohoto modelu je řešen částečně úsek:

ÚHLAVA - 10100025_1 - Ř. KM 0,000 – 9,000 (PV-8-1).

Pátým modelem je model Mže – **MŽE**, který navazuje svou sítí na model MRUS v profilu mostu gen. Pattona. V rámci tohoto modelu je řešen částečně úsek:

MŽE - 10100016_1 - Ř. KM 0,000 – 11,500 (PV-6-1).

Posledním šestým modelem je model Vejprnického potoka - **VEJ**, který svou sítí navazuje na model MŽE. V rámci tohoto modelu je řešen úsek:

VEJPRNICKÝ P. - 10100254_1 - Ř. KM 0,000 – 7,000 (PV-24-1).

Hydraulické výpočty:

Výpočty byly provedeny pro průtokové stavy Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} .

Pro každý zatěžovací stav bylo třeba zadat horní okrajové podmínky ve formě průtoků na horních okrajích matematického modelu, eventuálně zadat přítoky jako bodový vstup do modelu. Dolní okrajová podmínka je zadána ve formě úrovně hladiny, která byla převzata z modelu, na který byl konkrétní matematický model navázán.

Vzhledem k složitosti říční sítě zájmové oblasti bylo třeba u modelů, které řeší soutoky řek (MRUS a RU) každý N-letý průtok počítat více simulacemi (vystřídaným schématem).

Hydraulické výpočty bylo třeba provést nejprve na matematickém modelu MRUS, v druhém kroku byly provedeny výpočty na modelech RU, MŽE a USL, které na model MRUS navazují. Jako poslední bylo možné počítat model UHL, navazující na model RU a model VEJ navazující na model MŽE. Z tohoto důvodu nebylo možné plně respektovat rozdělení vodních toků plzeňského uzlu do I a II etapy zpracování a plzeňský model je řešen jako celek.

Výsledky výpočtů:

Z výstupů simulací byly pro všechny průtokové stavy Q_N vygenerovány:

- záplavové čáry (hranice rozlivů),
- mapy hloubek,

- mapy rychlostí,

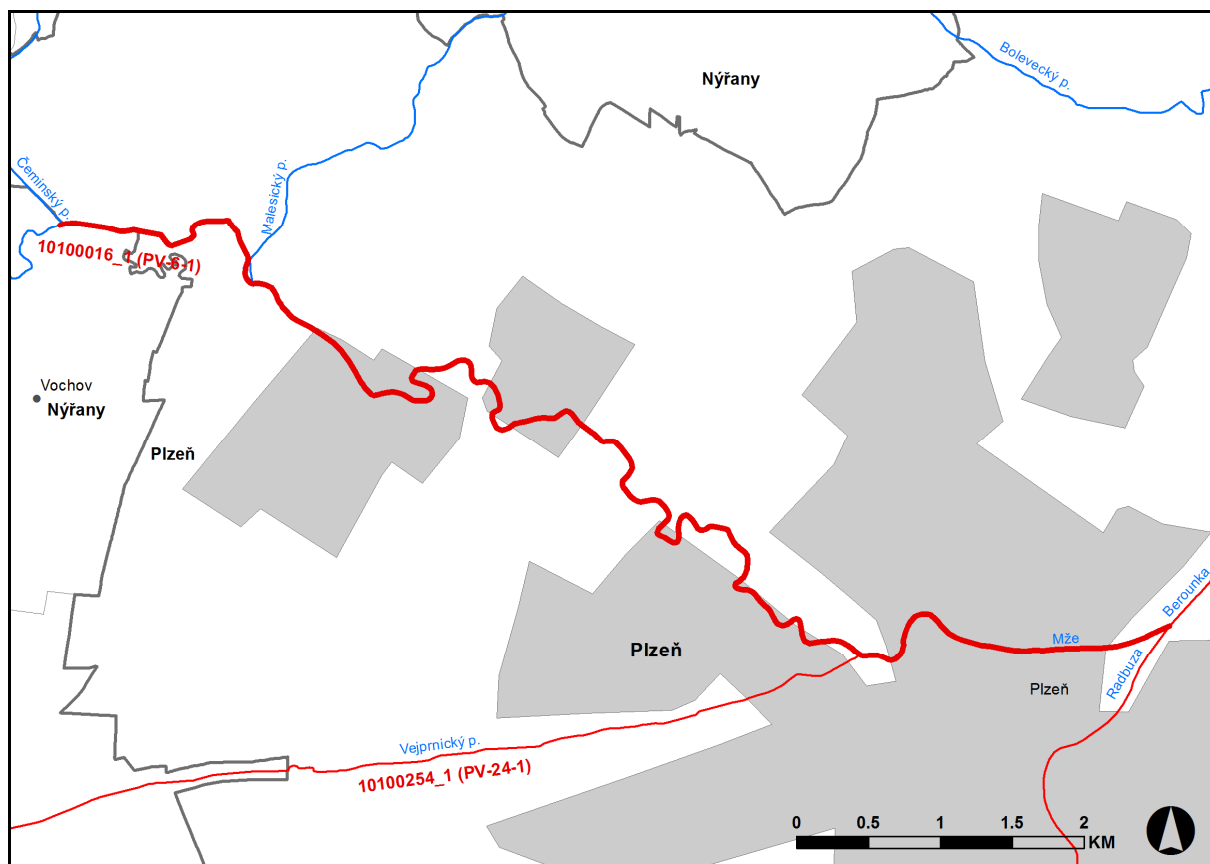
na základě kterých byly vytvořeny mapy povodňového nebezpečí.

2 Popis zájmového území

Název toku:	MŽE
ID úseku IDVT CEVT	10100016_1
Číslo hydrologického pořadí toku:	1-10-01-1860, 1-10-01-1960
Říční kilometry začátku a konce úseku:	ř. km 0,000 – 11,500
Významná vodní díla:	VD Hracholusky, VD Lučina
Přítoky v řešeném úseku:	Vejpnický potok, Chotíkovský potok

Celý zájmový úsek toku je zařazen MŽP do databáze toků v oblastech s významným povodňovým rizikem (2009, I. Etapa)

Řeka Mže (č.h.p. 1-10-01-001) pramení v SRN jako Blatterbach, přitéká na naše území ve výšce 640 m n. m. a ústí zleva, jakožto zdrojnice do Berounky v Plzni ve výšce 298 m n.m. Celková délka toku je 106,5 km, plocha povodí 1829 km² a průměrný průtok 8,55 m³/s. Jedná se vodohospodářsky významný tok, na toku se nachází vodní nádrže Lučina a Hracholusky.

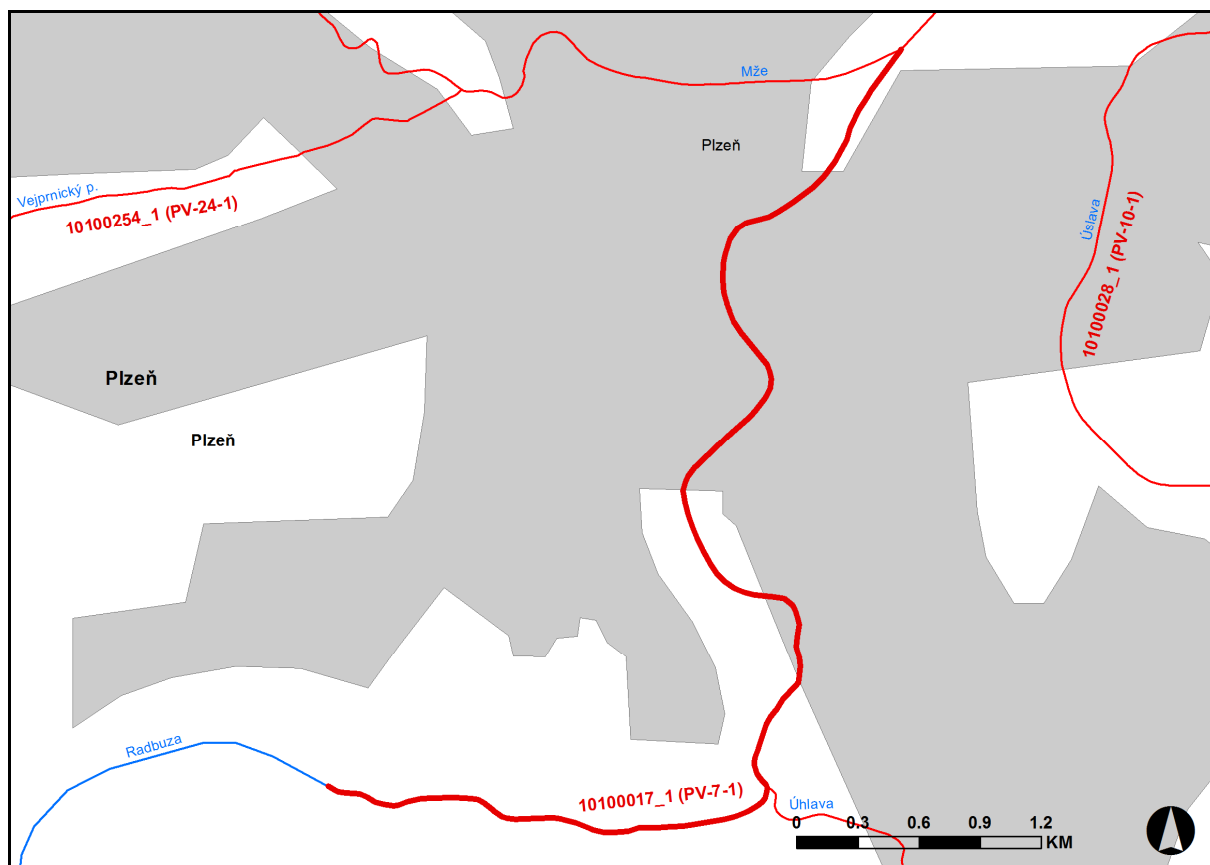


Obrázek 1 – přehledná mapa řešeného území – Mže

Název toku:	RADBUZA
ID úseku IDVT CEVT	10100017_1
Číslo hydrologického pořadí toku:	1-10-02-1082, 1-10-04-0010
Říční kilometry začátku a konce úseku:	ř. km 0,000 – 6,900
Významná vodní díla:	VD České Údolí
Přítoky v řešeném úseku:	Úhlava

Celý zájmový úsek toku je zařazen MŽP do databáze toků v oblastech s významným povodňovým rizikem (2009, I. Etapa)

Řeka Radbuza (č.h.p. 1-10-02-001) pramení ve výšce 720 m n.m. u Závisti a ústí zprava, jakožto zdrojnice do Berounky v Plzni ve výšce 298 m n.m. Délka toku je 111,5 km, plocha povodí 2179 km² a průměrný průtok u ústí 11,1 m³/s. Radbuza je vodohospodářsky významný tok, nachází se na ní vodní nádrž České Údolí.



Obrázek 2 - přehledná mapa řešeného území - Radbuza

Název toku:	BEROUNKA
ID úseku IDVT CEVT	10100011_5

Číslo hydrologického pořadí toku: 1-10-04-0020, 1-11-01-0010

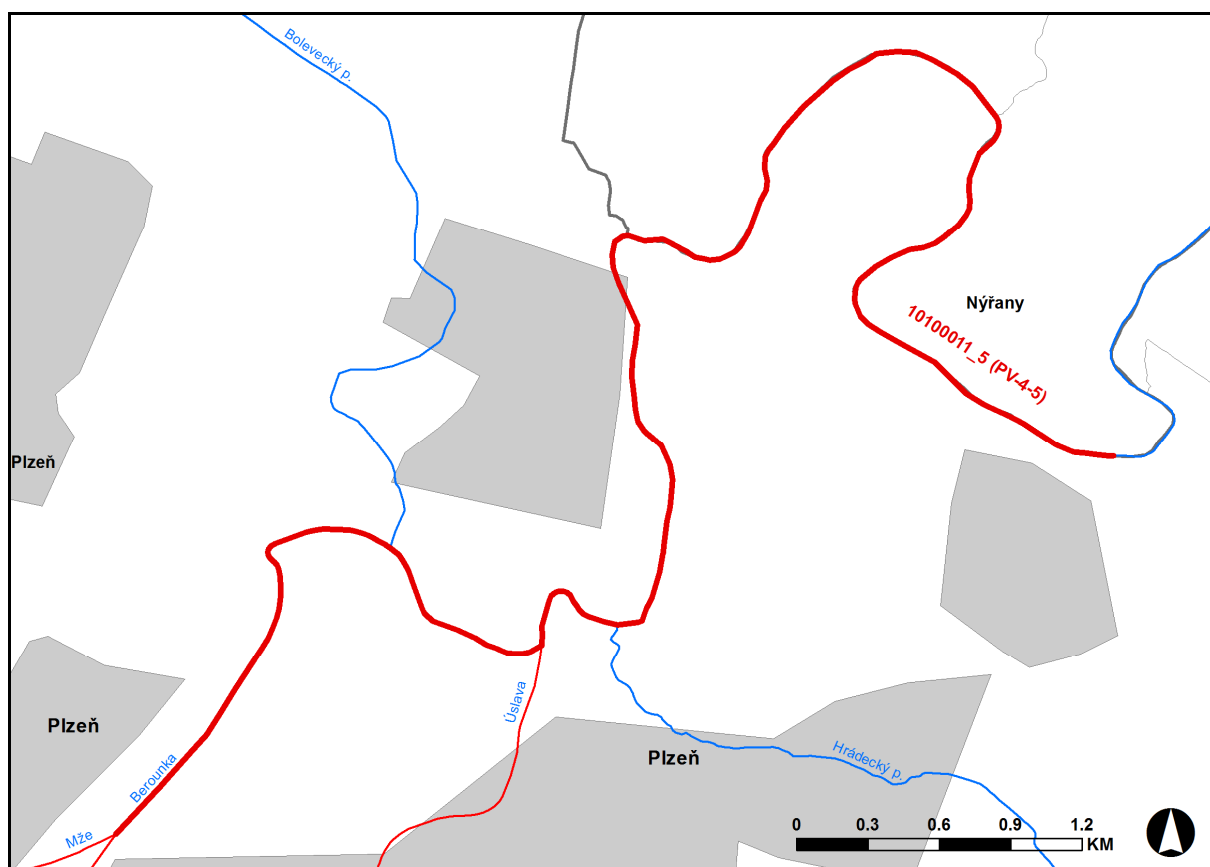
Říční kilometry začátku a konce úseku: ř. km 129,700 – 139,600

Významná vodní díla:

Přítoky v řešeném úseku: Úslava

Celý zájmový úsek toku je zařazen MŽP do databáze toků v oblastech s významným povodňovým rizikem (2009, II. etapa)

Řeka Berounka (č.h.p.1-10-04-002) vzniká soutokem Mže a Radbuzy v Plzni ve výšce 298 m n.m. a ústí v Praze zleva do Vltavy ve výšce 188 m n.m. Délka toku je 138,9 km, plocha povodí 8861 km² a průměrný průtok u ústí činí 36 m³/s. Berounka je vodohospodářsky významný tok.



Obrázek 3 - přehledná mapa řešeného území - Berounka

Název toku: Úhlava

ID úseku IDVT CEVT 10100025_1

Číslo hydrologického pořadí toku: 1-11-03-0860

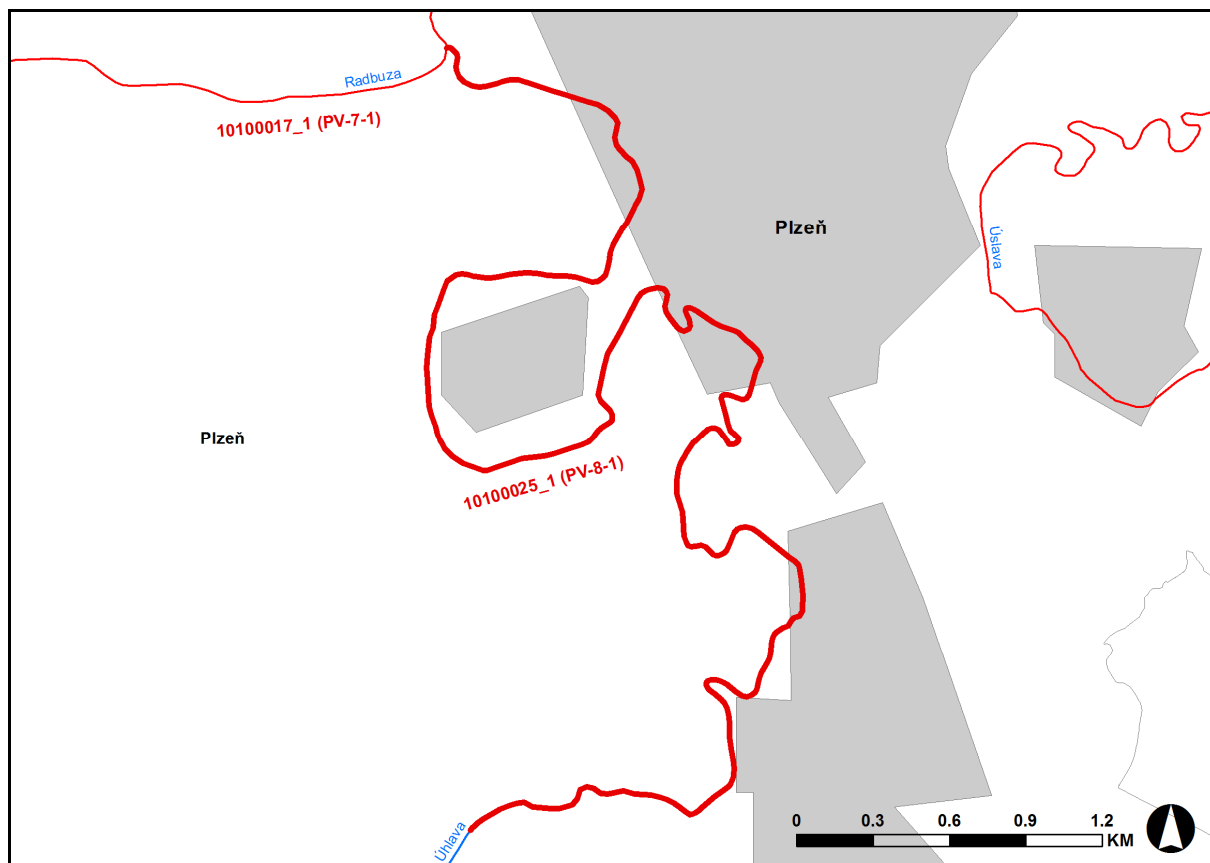
Říční kilometry začátku a konce úseku: ř. km 0,000 – 9,000

Významná vodní díla: VD Nýrsko

Přítoky v řešeném úseku:

Celý zájmový úsek toku je zařazen MŽP do databáze toků v oblastech s významným povodňovým rizikem (2009, I. Etapa)

Řeka Úhlava (č.h.p.1-10-03-001) pramení na svahu vrchu Pancíř ve výšce 1110 m n.m. a ústí zprava do Radbuzy v Plzni v nadmořské výšce 303 m n.m. Celková délka toku je 108,5 km², plocha povodí 919 km² a průměrný průtok u soutoku 5,7 m³/s. Úhlava je vodohospodářsky významný tok, nachází se na ní vodní nádrž Nýrsko.

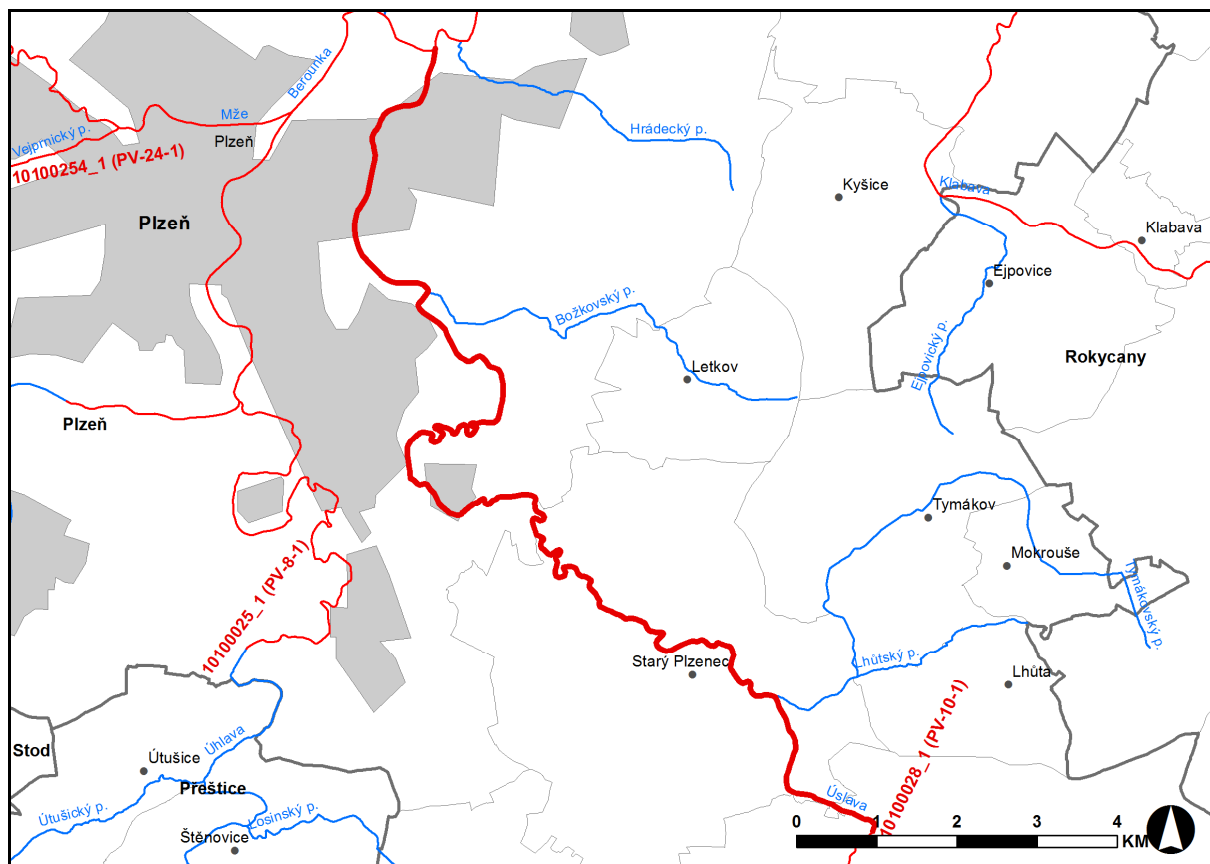


Obrázek 4 - přehledná mapa řešeného území - Úhlava

Název toku:	Úhlava
ID úseku IDVT CEVT	10100028_1
Číslo hydrologického pořadí toku:	1-10-05-0610
Říční kilometry začátku a konce úseku:	ř. km 0,000 – 19,000
Významná vodní díla:	
Přítoky v řešeném úseku:	Božkovský potok

Celý zájmový úsek toku je zařazen MŽP do databáze toků v oblastech s významným povodňovým rizikem (2009, II. Etapa)

Řeka Úslava (č.h.p.1-10-05-001 pramení ve výšce 695m n.m. nedaleko Žíhaně a ústí zprava do Berounky v Plzni ve výšce 296 m n.m. Celková délka toku činí 94 km, plocha povodí je 796 km² a průměrný průtok na dolním toku 3,6 m³/s. Řeka Úslava je vodohospodářsky významný tok



Obrázek 5 - přehledná mapa řešeného území – Úslava II etapa

Název toku: Úslava

ID úseku IDVT CEVT 10100028_2

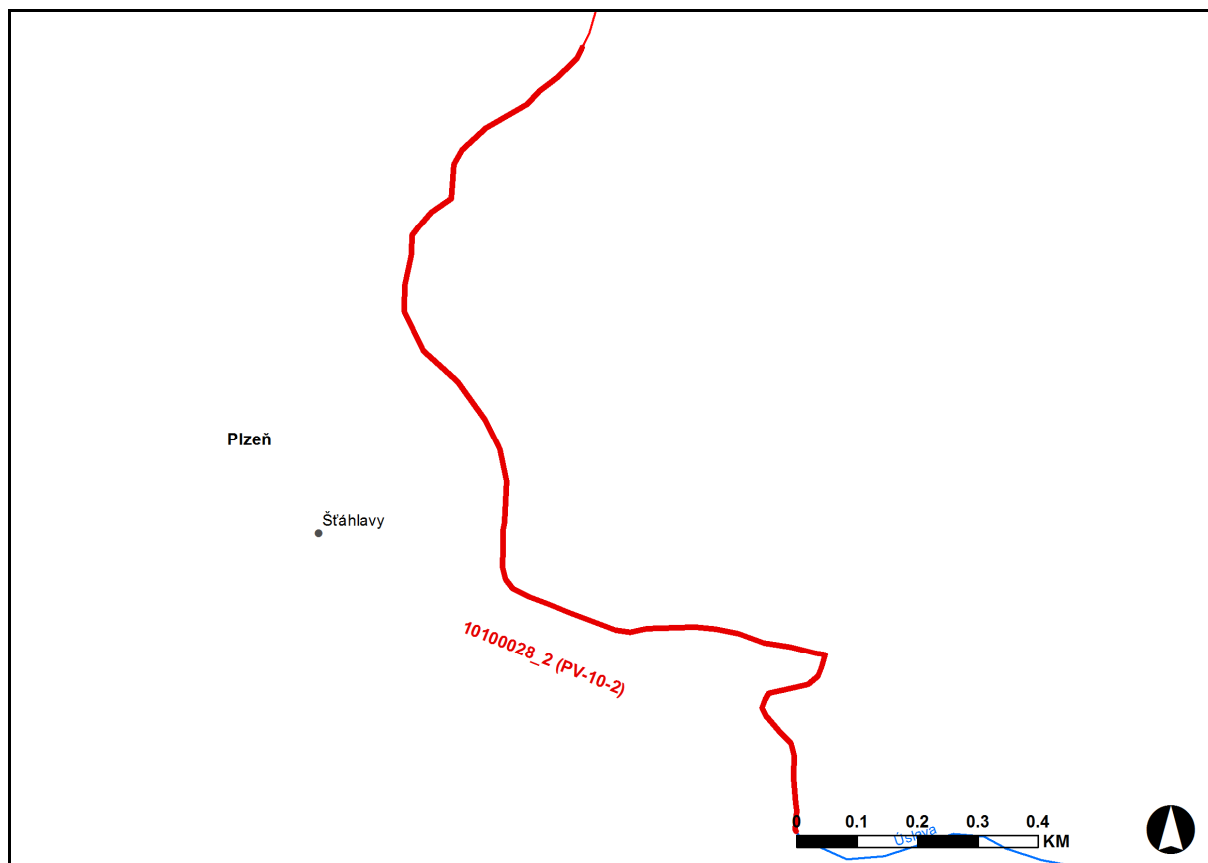
Číslo hydrologického pořadí toku: 1-10-05-0570

Říční kilometry začátku a konce úseku: ř. km 19,000 – 21,000

Významná vodní díla:

Přítoky v řešeném úseku:

Celý zájmový úsek toku je zařazen MŽP do databáze toků v oblastech s významným povodňovým rizikem (2009, I. Etapa)



Obrázek 6 - přehledná mapa řešeného území – Úslava I etapa

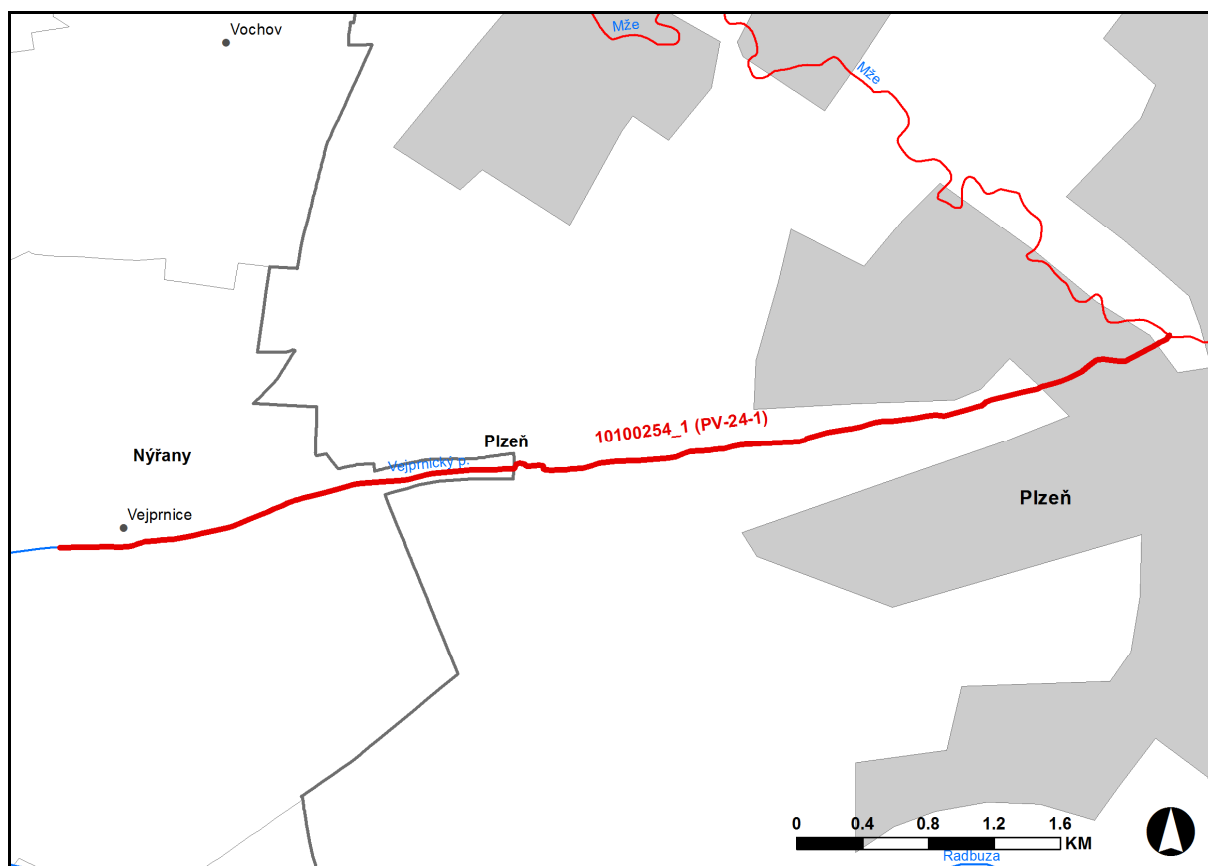
Název toku:	Vejprnický potok
ID úseku IDVT CEVT	10100254_1
Číslo hydrologického pořadí toku:	1-10-05-0570
Říční kilometry začátku a konce úseku:	ř. km 0,000 – 7,000

Významná vodní díla:

Přítoky v řešeném úseku:

Celý zájmový úsek toku je zařazen MŽP do databáze toků v oblastech s významným povodňovým rizikem (2009, I. Etapa)

Vejprnický potok (č.h.p. 1-10-01-187) pramení u Heřmanovy Hutě ve výšce 389 m n.m. a ústí zprava do Mže v Plzni ve výšce 305 m n.m. Jedná se vodohospodářsky významný tok, jehož celková délka je 21,6 km a plocha povodí 85,3 km².



Obrázek 7 - přehledná mapa řešeného území – Vejprnický potok

Podklady:

Název toku	zdroj VÚV TGM, v.v.i.
ID úseku IDVT CEVT	zdroj Ministerstvo zemědělství
Číslo hydrologického pořadí toku	zdroj ČHMÚ
Úsek toku	zdroj Povodí Vltavy, s.p.
Významná vodní díla	zdroj ZM-10, Povodí Vltavy, s.p.
Významné přítoky	zdroj ZM-10

2.1 Všeobecné údaje

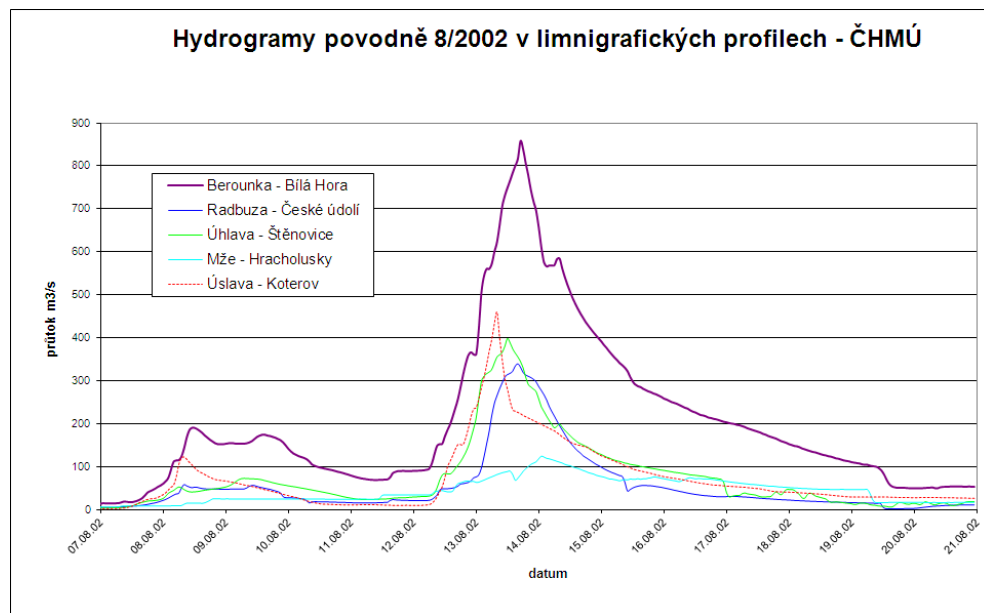
Posuzované úseky vodních toků v plzeňském aglomerátu jsou vymezeny následujícími profily:

- Mže od profilu nad obcí Malesice po ústí do Berounky,
- Radbuza od profilu pod hrází VD České Údolí po ústí do Berounky
- Úhlava od profilu nad obcí Radobyčice po soutok s Radbuzou,
- Úslava od profilu nad obcí Štáhlavy po soutok s Berounkou,
- Berounka od soutoku Mže a Radbuzy po jez v Bukovci.
- Vejprnický potok od profilu nad obcí Vejprnice po soutok se Mží.

2.2 Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)

Hydrogramy historických povodní byly k dispozici v limnigrafických profilech. Společně se značkami pozorovaných úrovní hladin tvoří důležitý podklad pro kalibrace matematických modelů. Na následujících obrázcích jsou vykresleny průběhy průtoků v jednotlivých limnigrafických profilech.

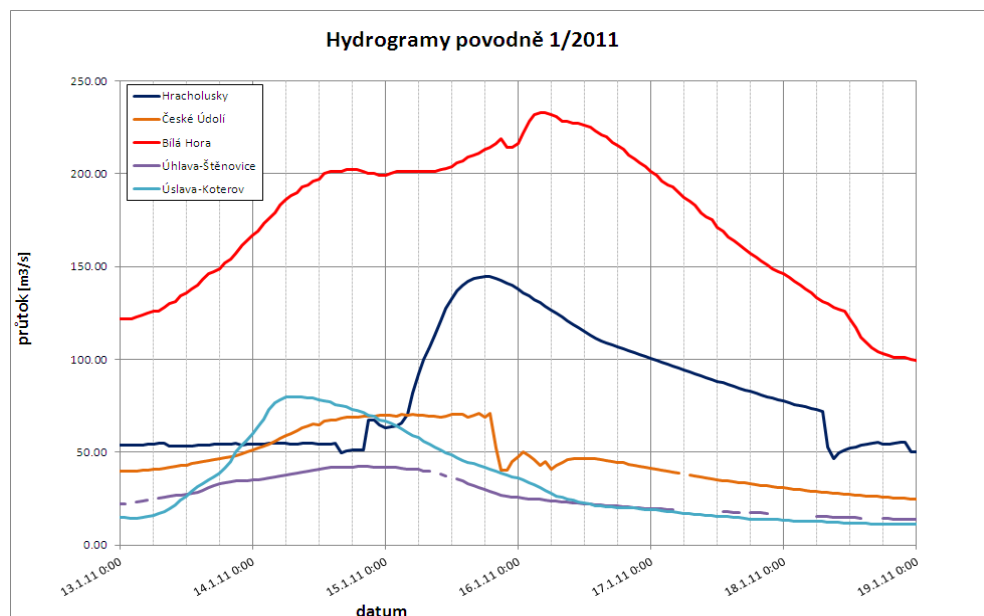
Povodeň 8/2002



Obrázek 8 - hydrogramy povodně 8/2002

Povodeň 1/2011

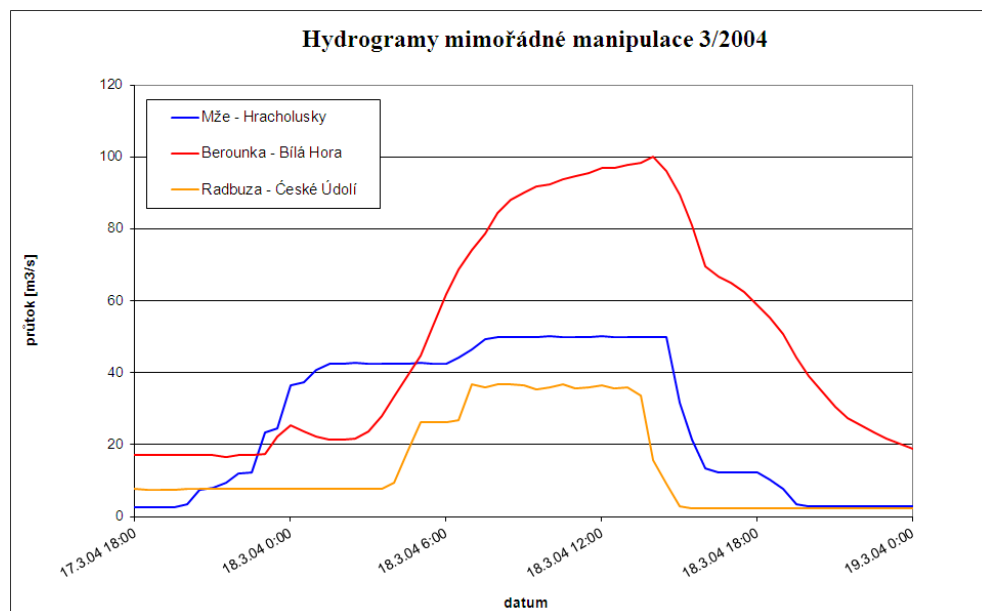
tato povodeň se ze všech zdrojových řek nejvýrazněji projevila na Mži, kde byl v noci na 15.1.2011 zaplněn retenční prostor VD Hracholusky a voda začala nekontrolovaně odtékat bezpečnostními přelivy. Kulminační průtok pod VD Hracholusky dosáhl hodnoty 144 m³/s, což je hodnota v intervalu mezi Q5 a Q10. Zároveň byl zaměřován průběh hladin pracovníky Povodí Vltavy s.p. a DHI a.s. a města Plzně.



Obrázek 9 - hydrogramy povodně 1/2011

Mimořádná manipulace 3/2004

Dalším podkladem byla data z mimořádné manipulace na VD Hracholusky a na VD České Údolí. Při měrné kampani byly měřeny odtoky z vodních nádrží a jim odpovídající vodní stavy v dvaceti vybraných profilech na řece Mži, Radbuze a Berounce.



Obrázek 10 - hydrogramy mimořádné manipulace 3/2004

3 Přehled podkladů

V souladu s vyhláškou č. 236/2002 sb. byly použity pro zpracování návrhu záplavového území tyto podklady. Pravidla pro citace podkladů se řídí dle ČSN ISO 690 (01 0197).

Hydrologické podklady:

- Hodnoty N-letých průtoků (ČHMÚ, 2012)

Topologické podklady:

- DMT ATLAS (DHI, a.s. 2010)
- GEODETICKÉ ZAMĚŘNÍ KORYTA ÚSLAVY (Georeal 2012)
- TPE dotčených řek (Povodí Vltavy, s.p.)
- ZAMĚŘENÍ PPO A ZMĚN V POVODÍ 2010-2012 (město Plzeň)
- DMR5G (ČZÚK, a.s., 2011 - 2012)
- ORTOFOTO v digitální podobě (geoportál CENIA)
- ZABAGED v digitální podobě (Povodí Vltavy, s.p.)

Další podklady:

- Říční kilometráž (digitální, Povodí Vltavy, s.p.)
- Osa toku (digitální, Povodí Vltavy, s.p.)
- Povodňový model Plzeň (DHI, a.s., 2010)
- Fotodokumentace a odborné poznatky z terénního šetření (DHI, a. s. 2012)

3.1 Topologická data

Topologická data jsou základním zdrojem, který je potřebný pro sestavení hydrodynamického modelu. Pomocí nich je možné popsat řešené území, sestavit digitální model terénu a vytvořit vhodnou schematizaci modelu. Jednotlivé topologické podklady jsou popsány v následujících kapitolách.

3.1.1 Vytvoření (aktualizace) DMT

Hlavními topologickými daty pro studii byl digitální model terénu (DMT). Základem pro katastr města Plzně byl průběžně dopřesňovaný model terénu od firmy GEOREAL spol. s r.o. z roku 2010. Na tomto modelu byly provedeny následující úkony:

- Rozšíření DMT v inundačních oblastech, aby bylo možné simulovat průchod povodně větší než Q_{100} ,
- dopřesnění DMT v oblastech nových staveb a terénních změn, zahrnutí pozemních měření,
- vložení nově účelově zaměřených koryt vodních toků a objektů na toku.
- vložení zaměřených koryt z TPE pořízených v roce 2011
- kontrola a dopřesnění břehových hran všech zájmových toků.

V následující tabulce je souhrn staveb v záplavovém území, které byly realizovány v období od aktualizace digitálního modelu terénu, tedy od roku 2010. Některé stavby byly v době sestavování DMT ve výstavbě nebo ještě nebylo k dispozici finální zaměření, tyto byly zadány do modelu dle projektové dokumentace, případně podle dokumentace skutečného provedení stavby.

Vodní tok	Popis stavby	Dokumentace
Mže	MVE Radčice – postavena, zkolaudována, zaměření je na SIT pod č. 8725-2012	zaměření
	Zúžení proluky u Kamenické ulice (pravý břeh) p.č. 535/1 k.ú. Plzeň – dokončeno 2012	dle ortofoto
	Bývalý prostor prodeje aut pod mostem gen. Pattona (levý břeh Mže) – stavební úpravy – dokončena demolice původních objektů betonárky, Pozemky: parc.č. 10594, 10693/1, 10592/2,3,4,5, k.ú. Plzeň	dle ortofoto
	Parkovací dům Na Rychtářce (pravý břeh Mže) parc. č. 5283/35 k.ú. Plzeň – dostavěno, zkolaudováno 2011-2012	dle ortofoto
Radbuza	Lávka u pivovaru – dokončeno 2012	projekt
	MVE Doudlevec – dokončeno, zkolaudováno (RenoEnergie – Ing. Helus) 2012	zaměření
Úhlava	PPO (zeď) Radobyčice (Pod Skalou) – dokončeno, před kolaudací	zaměření
	MVE Hradiště + Rybí přechod Radobyčice + úprava náhonu (Reno Energie Ing. Helus) – rozestavěno	projekt
Úslava	Nová lávka pro cyklisty- jižně od Božk. ostrova- cca ř.km 6,6, mezi parc.č. 1121/4 v k.ú. Božkov a p.č. 246/4 k.ú. Koterov – 2011	zaměření
	Úpravy hracích ploch v Sencu – terénní úprava u nejvzdálenějšího křiště na okraji záplavového území (2011-2012)	zaměření
	Úpravy levého břehu pod mostem v Koterově (Protipovodňová úprava) - cca 2010-2011	projekt
Berounka	Výstavba nového mostu v Jateční a související terénní úpravy	projekt
	Další bourání objektů v ČOV I - 2011 (povolena demolice objektů na prac.č. 12595/5,12,13,26 a 27 (12 a 13 v zátopě) – strojovna, odtokové žlaby, Tezko barák, vedlejší doplňkový objekt)	dle ortofoto
	Nová retenční nádrž na ČOV I – stavba provedena, zprovoznění v 2014	projekt
	Bukovec- pravý břeh náhonu u Bukoveckého ostrova- demolice objektů v rozsahu parcel č. 494/2,4,5,6	dle ortofoto

Tabulka 2 – seznam nových staveb v povodí toků

V oblastech mimo katastr města Plzně byl použit Digitální model reliéfu ČR 5. generace (DMR 5G), který představuje 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, H s úplnou střední chybou výšky 0,14 m. Dno toku bylo vymodelováno pomocí lineární interpolace zaměřeného bodového pole koryta a zaměřených břehových hran. Objekty na toku byly do DMT schematizovány dle zaměření z TPE. K tomuto kroku byl použit software DMT ATLAS.

Všechny souřadnice DMT jsou v polohopisném systému S_JTSK a výškovém systému Bpv.

3.1.2 Mapové podklady

Bylo využito informací ze základní báze geografických dat ZABAGED®, což je digitální geografický model území České republiky (ČR) na úrovni podrobnosti Základní mapy ČR 1:10 000 (ZM 10). ZABAGED® je součástí informačního systému zeměměřictví a patří mezi informační systémy veřejné správy. Je vedena v podobě bezešvé databáze pro celé území ČR v centralizovaném informačním systému spravovaném Zeměměřickým úřadem. Polohopisná část ZABAGED® obsahuje dvourozměrně vedené (2D) prostorové informace a popisné informace o sídlech, komunikacích, rozvodných sítích a produktovodech, vodstvu, územních jednotkách a chráněných územích, vegetaci a povrchu, terénním reliéfu.

Nedílnou součástí při konstruování výpočetní sítě byla aktuální ortofotomapa CENIA (což je česká informační služba MŽP).

Všechny souřadnice jsou v polohopisném systému S_JTSK.

3.1.3 Geodetické podklady

V rámci této studie bylo pořízeno zaměření koryta řeky Úslavy a to v úseku Koterov – Štáhlavy, tedy ř.km 9,600 – 21,000. Měření bylo provedeno firmou Georeal v období leden-únor 2013. Zpracovatel obdržel zaměření 8560 podrobných bodů v textovém souboru a břehových a lomových hran ve formátu dgn.

Dalšími geodetickými podklady bylo zaměření TPE toku Berounky, Radbuzy, Úhlavy a Úslavy z roku 2011 a 2012. Z těchto podkladů byly využity nově zaměřené příčné profily koryt v úsecích, kde nebyla koryta DMT 2010 aktuální z účelového a detailního zaměření koryt a břehových hran z roku 2010. V následující tabulce jsou shrnuta zaměření TPE

TPE				
vodní tok	úsek toku	období zaměření	zaměřil	použitý úsek
Úhlava	0,000 – 14,385	duben - listopad 2011	Geomining. a.s.	0,000 - 3,681
Radbuza	0,000 – 12,129	duben - listopad 2011	Geomining. a.s.	0,000 - 6,849
Úslava	0,000 – 10,379	listopad 2011 - duben 2012	Geomining. a.s.	0,000 - 5,416
Berounka	129,182 – 138,888	listopad 2011 - duben 2012	Geomining. a.s.	134,687 - 138,885

Tabulka 3 – zaměření TPE - koryta

Všechna zaměření jsou v polohopisném systému S_JTSK a výškovém systému Bpv.

3.2 Hydrologická data

Do matematického modelu byla použita data z profilů uvedených v následující tabulce.:

Hydrologický profil	Datum pořízení	Říční kilometr	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	Třída přesnosti
Úhlava - Štěnovice	2012	12.570	86.3	153.0	263.0	407.0	I
Úslava - Koterov	2012	9.083	111.0	197.0	334.0	489.0	I
Berounka - Bílá Hora	2012	136.988	295.0	496.0	790.0	1130.0	I
Mže - VD Hracholusky	2012	21.862	130.0	208.0	326.0	476.0	II
Radbuza - České Údolí	2012	6.855	97.0	170.0	278.0	424.0	I
Mže - nad Radbuzou	2012	0.000	132.0	216.0	343.0	510.0	II
Mže - nad Vejprnickým potokem	2012	2.500	132.0	213.0	335.0	495.0	II
Radbuza - nad Mží	2012	0.000	164.0	288.0	470.0	688.0	II
Berounka - pod Úslavou	2012	136.320	335.0	564.0	937.0	1340.0	II
Vejprnický potok	2012	0.000	12.7	20.7	33.0	49.0	IV

Tabulka 4 - N-leté průtoky (Q_N) v $m^3 \cdot s^{-1}$

3.3 Místní šetření

Z větší části se vycházelo z průběžné rekognoskace území provedené firmou DHI v průběhu let 2004-2010 v rámci zpracování Povodňového modelu Plzeň.

Rekognoskace pro tuto studii byly provedeny v rozmezí listopadu a prosince 2012. Nové úseky byly rekognoskovány s úsekovým technikem pro daný vodní tok.

Charakter vodních toků na území centrální Plzně jsou městská upravená koryta, většinou vedená v nábrežních zdech. V okrajových částech a přidružených obcích již koryta toků nejsou svázána kontinuální úpravou, mezi obcemi se mnohdy jedná o přírodní meandrující toky.

Inundační území je v intravilánu měst tvořeno budovami a objekty občanského a průmyslového charakteru, travními a ostatními volnými plochami (hřiště, parkoviště, parky). V oblasti mimo intravilán obce se často v blízkosti toků nacházejí zahrádkářské kolonie, louky a pole.

Řeka Mže je v dolní části úseku, tedy v centrální části Plzně upravená, její koryto má tvar složeného lichoběžníkového profilu. V přidružených obcích je řeka Mže částečně vedená v úpravě, mimo obce je koryto řeky přirozené a meandrující. Inundační území řeky nad městem tvoří především pole a zahrádkářské osady a dochází zde k rozlivům do nezastavěných oblastí. Záplavy na Mži mohou být poměrně účinně korigovány manipulacemi na VD Hracholusky.

Řeka Radbuza je v oblasti nad soutokem se Mží rovněž upravená jako dvojitý lichoběžníkový profil, v oblasti městské zástavby je vedena obdélníkovým korytem v nábrežních zdech. Kolem soutoku s řekou Úhlavou již není řeka svázána úpravou. Charakter záplavového území je především městská zástavba a výše po toku potom parkové plochy. Zájmový úsek toku Radbuzy končí pod hrází VD České Údolí.

Řeka Úhlava má charakter převážně přírodního a meandrujícího toku, její koryto je částečně upraveno pouze v okolí objektů na toku. Přilehlé inundační území tvoří především louky a pole a dochází zde k přirozeným rozlivům. V obcích, kterými Úhlava protéká, se nachází zástavba individuálního charakteru a zahrádkářské osady.

Řeka Úslava je v dolní části, tedy v Plzni vedena upraveným korytem ve tvaru složeného lichoběžníkového koryta. Zástavbu v této části tvoří průmyslové a obchodní areály, zahradnické podniky, sportoviště i volné městské plochy. Od obce Božkov teče řeka Úslava přirozeným meandrujícím korytem, které je částečně upraveno pouze v obcích a v okolí objektů na toku. Zástavba v horním úseku má individuální vesnický charakter. Přilehlé záplavové území tvoří především louky a pole. V horním úseku je tok řeky dělen do náhonů a nachází se zde i několik rybníků.

Řeka Berounka má především přírodní charakter, který je svázán úpravou v oblasti mostů v Jatečn. V extravilánu tvoří záplavové území pole, louky a lesní plochy. V úseku pod soutokem Radbuzy a Mže se nachází sportoviště, volné plochy a technické stavby.

Vejprnický potok je v zájmovém úseku veden převážně v upraveném korytě s poměrně velkým množstvím objektů na toku. V přilehlém území se nachází individuální zástavba, zahrádkářské kolonie, průmyslové podniky, sportoviště a volné plochy.

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

Jako podklady byly použity následující dokumenty

- Povodňový model Plzeň – aktualizace 2010 – studie DHI
- Vyhodnocení povodně 2002, ČHMU
- Vyhodnocení povodně 2011, ČHMU

3.5 Normy, zákony, vyhlášky

Postupy zpracování studie byly v souladu s níže uvedenými dokumenty v jejich platném znění:

- [1] ČSN 75 0110 Vodní hospodářství – Terminologie hydrologie a hydro ekologie.
- [2] ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod.
- [3] TNV 75 2910 Manipulační řady vodních děl na vodních tocích.
- [4] TNV 75 2931 Povodňové plány.
- [5] Vyhláška MŽP 236/2002 Sb., o způsobu a rozsahu zpracovávání návrhu a stanovování záplavových území.
- [6] Vyhláška č. 470/2001 Sb., kterou se stanoví seznam významných vodních toků a způsob provádění činností souvisejících se správou vodních toků.
- [7] Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny.

U uvedených zákonů, nařízení a vyhlášek se předpokládá jejich platné znění.

3.6 Vyhodnocení a příprava podkladů

Poskytnuté topologické a hydrologické podklady plně pokryly zájmové území.

Za nedostatečné lze považovat nepřesnost DMR5G několika lokalit s nepřehledným terénem porostlým hustými křovisky a travinami, kde bylo zjištěno převýšení nad skutečným terénem (zaměřeným geodeticky v příčném profilu) o 2 – 3 m, většinou se však jednalo o lokální území, které netvořilo souvislou linii a tudíž, zde nemohlo v DMT dojít k umělému zvyšování souvislých břehových hran (to by pak mohlo negativně zkreslit stanovení rozsahu ZÚ).

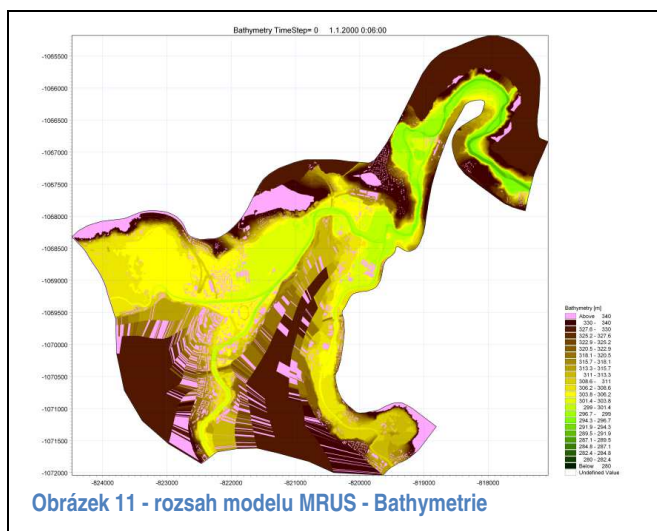
4 Popis koncepčního modelu

V rámci řešení uzlu plzeňských řek bylo využito především technologie 2D matematického modelování. Vzhledem k tomu, že byly využity sítě stávajících matematických modelů, pokračovalo se v daném úseku již dříve zvolenou technologií. Stávající sítě byly rozšířeny a prodlouženy, tak aby vystihly celý rozsah záplavového území pro průtok Q_{500} v požadovaných úsecích.

4.1 Schematizace řešeného území

2D matematický model Mže-Radbuza-Úslava – „MRUS“ – MIKE 21C

Výpočetní síť je svým křivočarým tvarem a proměnnou velikostí prostorového kroku (X a Y) přizpůsobena tvaru zájmového území a důležitosti jednotlivých částí simulované oblasti. V oblasti koryta, břehů a v okolí objektů je výpočetní síť zahuštěna až na prostorový krok 1 m, v oblastech zástavby (městská sídla) až na 3 m, v rozlehlých inundačních oblastech byl ponechán maximální prostorový krok do 8 m.



Obrázek 11 - rozsah modelu MRUS - Bathymetrie

Rozsah sítě modelu MRUS je 2069 x 442 bodů, to znamená 914 498 výpočetních bodů.

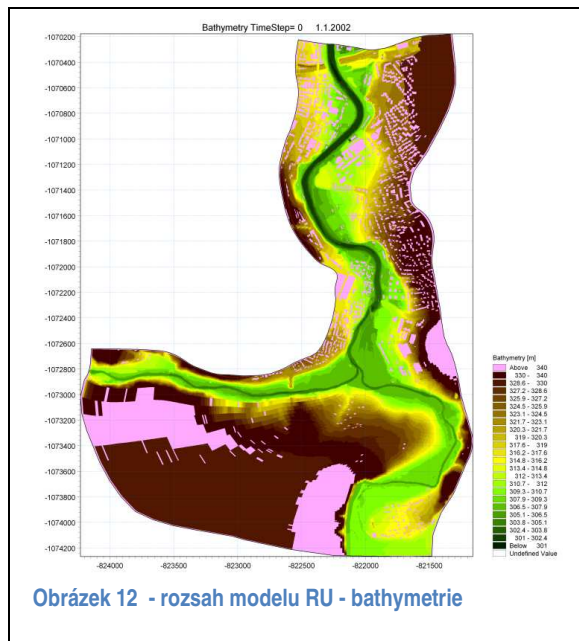
Zájmové území modelu je vymezeno profily:

- Mže – most Kalikovský mlýn,
- Radbuza – Helmovský jez,
- Úslava – pod mostem v Božkově,
- Berounka – jez Bukovec.

Tento model řeší soutoky řek Radbuzy a Mže (vznik Berounky) a soutok Berounky s Úslavou.

2D matematický model Radbuza-Úhlava – „RU“ – MIKE 21C

Z důvodu velkého rozsahu řešeného území modelem MRUS byl sestaven druhý 2D matematický model - Radbuza-Úhlava (RU), který řeší soutok řek Radbuzy a Úhlavy a svou sítí navazuje na model MRUS. Prostorový



Obrázek 12 - rozsah modelu RU - bathymetrie

krok výpočetní sítě modelu RU se pohybuje mezi 1m v korytě a v místech objektů a 6-ti metry v nezastavěných částech záplavového území.

Rozsah výpočetní sítě matematického modelu RU je 606 x 208 bodů, to znamená 126 048 výpočetních bodů.

Zájmové území modelu je vymezeno profily:

- Radbuza – pod VD České Údolí
- Úhlava – lávka Hradiště
- Radbuza – Helmovský jez
-

Tento model řeší tedy část toku Radbuzy mezi profilem pod hrází VD České Údolí a Helmovským jezem včetně soutoku Radbuzy a Úhlavy.

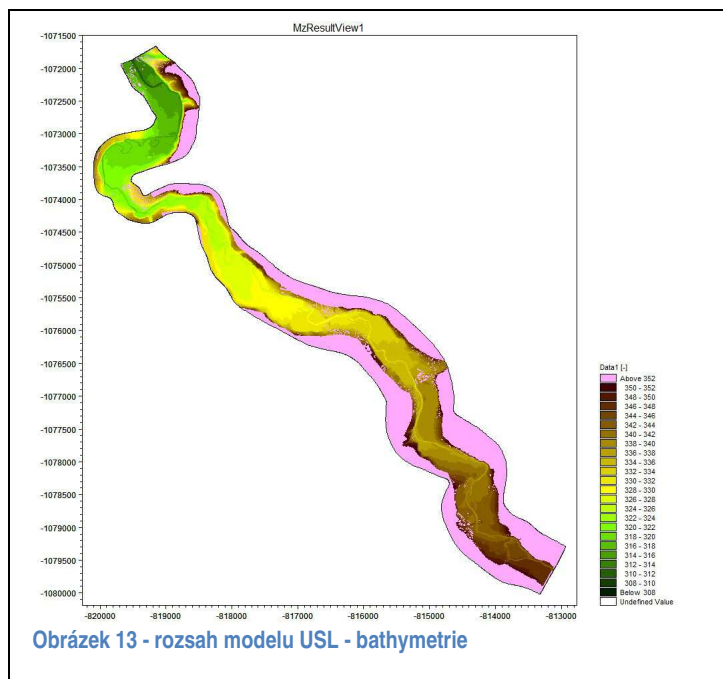
2D matematický model Úslava – „USL“ – MIKE 21C

Třetí z 2D matematických modelů řeší území řeky Úslavy. Svou sítí navazuje na model MRUS. Prostorový krok výpočetní sítě modelu USL se pohybuje mezi 1m v korytě a v místech objektů a 6-ti metry v nezastavěných částech záplavového území.

Rozsah výpočetní sítě matematického modelu USL je 1371 x 239 bodů, to znamená 327 669 výpočetních bodů.

Zájmové území modelu je vymezeno profily:

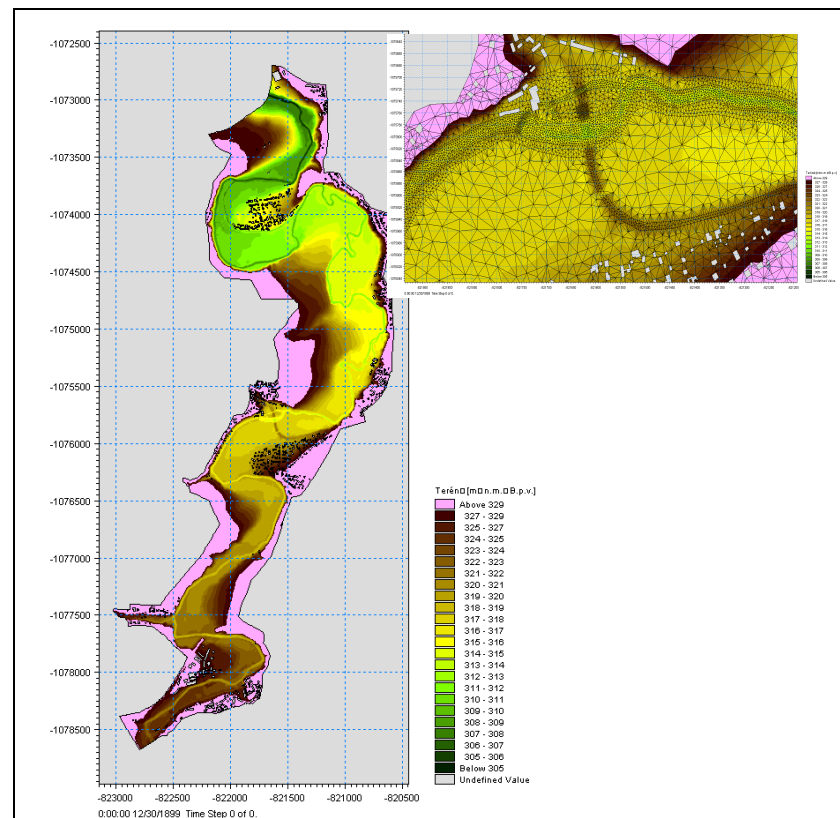
- Úslava – nad obcí Štáhlavý
- Úslava – most Božkov



2D matematický model Úhlava – „UHL“ – MIKE 21FM

Čtvrtý 2D matematický model řeší území řeky Úhlavy. Tento model využívá technologii MIKE 21 FM, tedy proměnné trojúhelníkové sítě. V zájmové oblasti byla nejprve vytvořena trojúhelníková výpočetní síť s různou hustotou a s ohledem na směrové vedení koryta, přítomnost objektů a na charakter inundačního území. Promítnutím vytvořené výpočetní sítě na DMT byl získán geometrický model terénu ve výpočetní síti modelu MIKE 21 FM (tzv. „batymetrie“). Velikost výpočetních elementů (vzdálenost mezi elementy) je proměnlivá – v rozsahu cca 1-25 m.

V říčním korytě, v oblastech objektů (mostů) a v území husté zástavby je výpočetní síť hustší, v okrajových oblastech záplavového území je výpočetní síť řidší. Pro potřeby studie je míra schematizace



zájmového území dostatečně jemná pro podrobný popis prostorových jevů proudění v oblasti. Domy a bloky domů jsou z výpočetní sítě vyjmuty (v matematickém modelu jsou tedy „obtékány“); ploty a jiné překážky podobného charakteru byly simulovány pruhy zvýšené drsnosti.

Zájmové území modelu je vymezeno profily:

- Úhlava – Štěnovice
- Úhlava – lávka Hradiště

Zájmové území je popsáno 121 271 trojúhelníkovými elementy

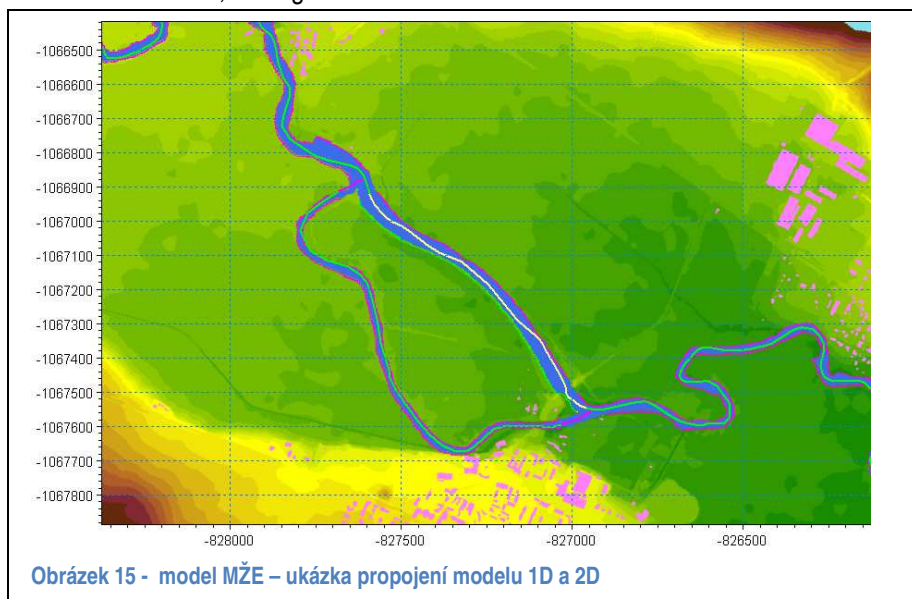
2D + 1D matematický model Mže – „MŽE“ – MIKE FLOOD

Matematický model Mže využívá koncepce MIKE Flood, technologie založené na propojení 1D modelu (popisuje jen říční koryto a objekty na něm) a 2D modelu, který detailně simuluje charakteristiky proudění v inundačním území. Oba modely jsou vzájemně propojeny systémem „linků“, které na základě aktuálních gradientů hladin zajišťují „přelévání vody“ (výměnu průtoků) mezi říčními koryty (hlavní tok Mže, náhony) a inundačním územím přes spojitě definované břehové hrany.

Inundační území Mže je popsáno 2D modelem s podrobnou pravidelnou výpočetní sítí o velikosti buňky 3 x 3 m. Promítnutím této sítě do DMT byl získán geometrický model terénu v modelu MIKE 21 (tzv. „batymetrie“). Pro potřeby studie je míra schematizace zájmového území dostatečně jemná a vhodná pro podrobný popis prostorových jevů proudění v oblasti; výpočetní síť tvoří celkem 4987 x 900 výpočetních buněk. Domy a bloky domů byly modelovány pomocí podstatně vyvýšeného terénu (nepřelitelné překážky); ploty a jiné překážky podobného charakteru byly simulovány pruhy zvýšené drsnosti.

Zájmové území modelu je vymezeno profily:

- Mže – vývar hráze Hracholusky
- Mže – Plzeň, most gen. Pattona



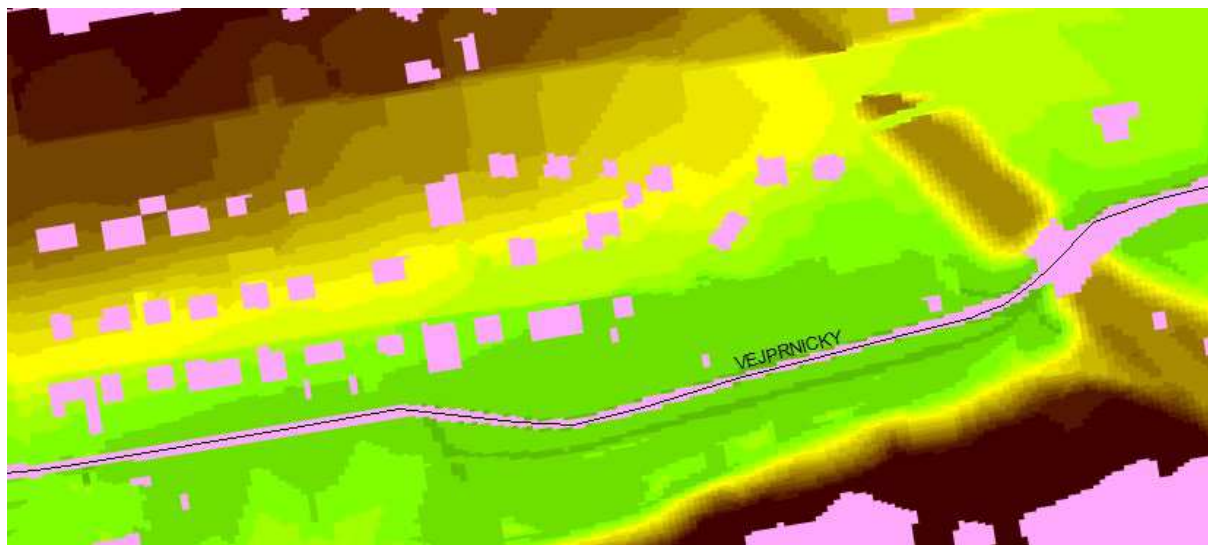
2D + 1D matematický model Vejprnického potoka – „VEJ“ – MIKE FLOOD

Matematický model Vejprnického potoka také využívá koncepce MIKE Flood, technologie založené na propojení 1D modelu (popisuje jen říční koryto a objekty na něm) a 2D modelu, který detailně simuluje charakteristiky proudění v inundačním území.

Inundační území Vejprnického potoka je popsáno 2D modelem s podrobnou obdélníkovou výpočetní sítí o velikosti buňky 1,5 x 3 m. Promítnutím této sítě do DMT byl získán geometrický model terénu v modelu MIKE 21 (tzv. „batymetrie“). Pro potřeby studie je míra schematizace zájmového území dostatečně jemná a vhodná pro podrobný popis prostorových jevů proudění v oblasti; výpočetní síť tvoří celkem 220 x 2150 výpočetních buněk. Domy a bloky domů byly modelovány pomocí podstatně vyvýšeného terénu (nepřelitelné překážky); ploty a jiné překážky podobného charakteru byly simulovány pruhy zvýšené drsnosti.

Zájmové území modelu je vymezeno profily:

- Vejprnický potok – nad obcí Vejprnice
- Vejprnický potok – soutok se Mží



Obrázek 16 – model VEJ – ukázka propojení modelu 1D a 2D

4.2 Posouzení vlivu nestacionarity proudění

Použitá metodika výpočtu charakteristik proudění nepočítá s vlivem neustáleného proudění na odtokové poměry (v souladu s Metodikou zpracování SZÚ).

Výpočet charakteristik proudění metodou ustáleného proudění zcela odpovídá Metodice zpracování SZÚ, metodice pořizování hydrologických dat (N-letých průtoků) a především požadavkům Směrnice 2007/60/EC.

4.3 Způsob zadávání OP a PP

MRUS

Horní okrajové podmínky ve formě N letých průtoků byly zadány na vstupu do výpočetní sítě v profilech

- Mže – most Kalikovský mlýn,
- Radbuza – Helmovský jez,
- Úslava – pod mostem v Božkově

Dolní okrajová podmínka ve formě hladiny byla zadána v profilu

- Berounka – jez Bukovec

Na tento model navazuje na řece:

- Radbuze síť model RU (předává se hladina v profilu Helmovského jezu),
- Mži síť modelu MŽE (předává se hladina v profilu mostu Generála Pattona)
- Úslavě síť modelu USL (předává se hladina v profilu mostu v Božkově)

Počáteční podmínky – kóty hladiny ve všech bodech výpočetní sítě – byly odvozeny z vypočtených hladin Povodňového modelu Plzeň.

RU

Horní okrajové podmínky ve formě N letých průtoků byly zadány na vstupu do výpočetní sítě v profilech

- Radbuza – pod VD České Údolí
- Úhlava – lávka Hradiště

Dolní okrajová podmínka ve formě hladiny byla zadána v profilu

- Radbuza – Helmovský jez

Na tento model navazuje na řece:

- Úhlavě síť model UHL (předává se hladina v profilu lávka Hradiště),

Počáteční podmínky – kóty hladiny ve všech bodech výpočetní sítě – byly odvozeny z vypočtených hladin Povodňového modelu Plzeň.

USL

Horní okrajové podmínky ve formě N letých průtoků byly zadány na vstupu do výpočetní sítě v profilu

- Úslava – nad obcí Štáhlavy

Dolní okrajová podmínka ve formě hladiny byla zadána v profilu

- Úslava – most Božkov

Přítoky z mezipovodí byly přidány jako bodové zdroje v profilech

- Úslava – Tymákovský potok

Počáteční podmínky – kóty hladiny ve všech bodech výpočetní sítě – byly odvozeny z pozorovaných hladin povodně 8/2002 a dále z provedených výpočtů.

UHL

Horní okrajové podmínky ve formě N letých průtoků byly zadány na vstupu do výpočetní sítě v profilu

- Úhlava – Štěnovice

Dolní okrajová podmínka ve formě hladiny byla zadána v profilu

- Úhlava – lávka Hradiště

Počáteční podmínky – kóty hladiny ve všech bodech výpočetní sítě – byly odvozeny z pozorovaných hladin povodně 8/2002 a dále z provedených výpočtů.

MŽE

Horní okrajové podmínky ve formě N letých průtoků byly zadány na vstupu do výpočetní sítě v profilu

- Mže – vývar hráze Hracholusky

Dolní okrajová podmínka ve formě hladiny byla zadána v profilu

- Mže – Plzeň, most gen. Pattona

Přítoky z mezipovodí byly přidány jako bodové zdroje v profilech

- Mže – Myslinka
- Mže – Chotkovský
- Mže - Radčice

Počáteční podmínky – kóty hladiny ve všech bodech výpočetní sítě – byly odvozeny z pozorovaných hladin povodně 1/2011 a dále z provedených výpočtů.

VEJ

Horní okrajové podmínky ve formě N letých průtoků byly zadány na vstupu do výpočetní sítě v profilu

- Vejprnický potok - Vejprnice

Dolní okrajová podmínka ve formě hladiny byla zadána v profilu

- Vejprnický potok – soutok se Mží

5 Popis numerického modelu

5.1 Použité programové vybavení

Pro výpočty hydraulických charakteristik proudění byly použity software MIKE 21C ver. 2011, MIKE 21FM ver. 2011 a MIKE Flood (propojení MIKE 11 a MIKE 21) ver. 2011 vyvinuté DHI Water & Environment & Health, Hørsholm (Dánsko). Pro Vejprnický potok byl použit jednorozměrný model MIKE 11 ver. 2011

Veškerý software, použitý pro výpočet, je komerčně dostupný, má zajištěn servis a pravidelný update.

Mike 21C

Model MIKE 21C je založen na řešení Saint-Venantových diferenciálních rovnic (rovnice kontinuity a rovnice zachování hybnosti) metodou konečných diferencí v jednotlivých bodech půdorysné výpočetní sítě. Tento model, pracuje v neekvidistantní křivočaré síti, tzn. že jeho výpočetní síť lze, na rozdíl od pravoúhlých (obdélníkových) sítí, přizpůsobit tvaru území a tak omezit počet bodů, a tím i velikost výpočetní matice. Neekvidistantní síť dále umožňuje zahuštění výpočetních bodů (tj. zmenšení velikosti výpočetních „buněk“) v oblastech, kde je třeba podrobněji modelovat reliéf terénu (např. objekty na toku), resp. v oblastech, kde požadujeme velmi detailní znalost výsledků. Obdobně umožňuje tento přístup popsat rozsáhlá inundační území s jednodušším prouděním úměrně řidší výpočetní sítí (sítí s větší velikostí výpočetních „buněk“).

Výstupem modelu MIKE 21C jsou primárně tyto charakteristiky proudění:

- hodnoty úrovní hladiny vody,
- vektory rychlostí (tj. směr a velikost vektorů rychlostí, které je možno vyjádřit pomocí velikosti podélné a příčné složky vektorů rychlostí),

ve všech výpočetních bodech zájmové oblasti a pro všechny počítané časové kroky. 2D model tak dává reálnou představu o zakřivené ploše hladiny v celém zájmovém území, i o rozdělení rychlostí a průtoků v celé oblasti.

Charakteristiky proudění ovlivňuje především reliéf terénu (tvar koryta, inundačního území, sklonové poměry) a odpory proudění (drsnost a tvarové odpory – zúžení resp. rozšíření průtočného profilu, oblouky, obtékání překážek, proudění přes objekty, apod.). Velkou pozornost je proto třeba věnovat přípravě souboru s geometrickými daty pro 2D model, neboť tento soubor v sobě obsahuje jak vlastní reliéf terénu, tak i veškerá data pro výpočet tvarových odporů.

Mike 21FM

Pro simulaci proudění byl použit dvourozměrný matematický model proudění v otevřeném korytě s inundačním územím MIKE 21 FM (verze 2009). Tento model je založen na řešení Navier-Stokesových diferenciálních rovnic (rovnice kontinuity a 2 pohybové rovnice v horizontální rovině) metodou konečných objemů v jednotlivých elementech půdorysné výpočetní sítě. Model MIKE 21 FM pracuje v nepravidelné výpočetní síti; tzn. jeho výpočetní síť lze, na rozdíl od pravoúhlých (obdélníkových) sítí, přizpůsobit tvaru území a tak omezit počet výpočetních bodů. Nepravidelná síť dále umožňuje zahuštění a zmenšení výpočetních elementů (tj. zvýšit podrobnost popisu zájmového území) v oblastech, kde je třeba podrobněji modelovat reliéf terénu (např. objekty na toku), resp. v oblastech, kde požadujeme velmi detailní znalost výsledků.

Výstupem modelu MIKE 21 FM jsou primárně tyto charakteristiky proudění:

- hodnoty úrovní hladiny vody,
- směry a velikosti vektorů rychlostí v horizontální rovině

ve všech výpočetních elementech zájmové oblasti a pro všechny počítané časové kroky. 2D model tak dává reálnou představu o zakřivené ploše hladiny v celém zájmovém území (např. při ustáleném proudění je hladina v neprotékaném inundačním území výše než v korytě) i o rozdělení rychlostí v celé oblasti.

Mike Flood

Systém matematických modelů MIKE Flood umožňuje propojení 1D a 2D modelů do funkčního celku, ve které běží propojené modely souběžně a vzájemně si předávají simulované charakteristiky proudění formou vnitřních okrajových podmínek.

V projektu byl systém MIKE Flood použit pro simulaci proudění na Mži, a to kombinace modelů MIKE 11 (simulace proudění v říčním korytě a náhonech včetně schematizace objektů na tocích) a MIKE 21 (detailní simulace charakteristik proudění v inundačním území).

MIKE 21

Model MIKE 21 je založen na řešení Saint-Venantových diferenciálních rovnic (rovnice kontinuity a rovnice zachování hybnosti) metodou konečných diferencí v jednotlivých bodech půdorysné výpočetní sítě. Model pracuje v pravoúhlé ekvidistanční výpočetní síti; tzn. že všechny buňky výpočetní sítě jsou obdélníky o stejné velikosti.

Výstupem modelu MIKE 21 jsou (obdobně jako u MIKE 21C) následující charakteristiky proudění:

hodnoty úrovní hladiny vody,

vektory rychlostí (tj. směr a velikost vektorů rychlostí, které je možno vyjádřit pomocí velikosti podélné a příčné složky vektorů rychlostí),

ve všech výpočetních bodech zájmové oblasti a pro všechny počítané časové kroky.

MIKE 11

Matematický model MIKE 11 je jednorozměrný plně dynamický model pro řešení dynamických procesů na vodních tocích. Může být použit k popisu jak větvené tak okružové sítě a lze ho aplikovat i na problémy pseudo-dvourozměrného proudění (tzv. 1D+). Model je založen na aproximaci Saint-Venantových diferenciálních rovnic metodou konečných diferencí ve vystřídáném výpočetním schématu Abbott-Ionescu.

Objekty na tocích (mosty, jezy) jsou schematizovány pomocí příčných profilů, resp. funkčních objektů, které umožňují definovat rozměry objektů geometricky přesně a hydraulickou funkci objektů odpovídajícími matematickými vztahy.

Drsnost koryta v jednotlivých výpočetních úsecích je výsledkem kalibračních a verifikačních výpočtů.

5.2 Vstupní data numerického modelu

Z dostupných podkladů (viz kap. 3.1 Topologické podklady) byl nejprve sestaven digitální model terénu v modelu ATLAS DMT. Dále byly vytvořeny bathymetrické soubory jednotlivých matematických modelů protnutím DMT výpočetní sítě. Popis jednotlivých modelů je v kapitole 4.1

Dalšími vstupními daty jsou drsnostní soubory, které byly připraveny na základě ortofoto map a vrstvy využití půdy ze Zabagedu.

5.2.1 Morfologie vodního toku a záplavového území

Charakter toku byl již podrobně popsán v kap. 3.3 Místní šetření.

Popis objektů na toku je uveden pro jednotlivé řeky v následujících tabulkách.

Mže		
profil	objekt	staničení
č.	název	ř.km
M1L	lávka trubní+pro peši	0.159
M2S	stupeň Štrunc. sady	0.200
M3J	pohyblivý jez	0.490
M4M	Roosveltův most	0.825
M5L	Lochoťská lávka	1.017
M6M	most gen. Pattona	1.155
M7L	lávka výstaviště	1.468
M8J	jez Kalikovský mlýn	2.007
M9M	most Kalikovský mlýn	2.050
M10L	trubní lávka	5.188
M11J	jez Račice	6.082
M12M	lávka Račice	6.782
M13M	most Křimice	8.506
M14J	jez Lobkowicz	9.344
M15M	most Malesice	9.947
M16J	jez Malesice	10.050

Tabulka 5 – seznam objektů - Mže

Radbuza		
profil	objekt	staničení
č.	název	ř.km
R6	lávka k pivovaru	0.542
R9	Tyršův most	0.855
R11	Most u Jána	0.919
R16	lávka u kultur. domu	1.240
R17	lávka u kultur. domu	1.263
R19	Wilsonův most	1.372
R21	Helmovský jez	1.438
R24	železniční most	1.605
R25	železniční most	1.622
R26	most Milenia	1.663
R27	ocelová lávka	1.716
R34	lávka ul. Papirenská	2.210
R46	lávka ul. Zelená	3.338
R55	most Doudlevecká	4.007
R58	jez Doudlevice	4.095
R71	Tyršův most	5.310
R82	most u jez. Areálu	6.308

Tabulka 6 – seznam objektů - Radbuza

Berounka		
profil	objekt	staničení
č.	název	ř.km
B1	jez Bukovec	129.150
B16	lávka Papirna	133.221
B22	jez Bílá Hora	134.493
B31	lávka Pecihrádek	135.255
B45	most ČOV	136.512
B52	most Jateční	136.988
B53	železniční most	137.021
B67	trubní lávka	138.237

Tabulka 7 – seznam objektů - Berounka

Úhlava		
profil	objekt	staničení
č.	název	ř.km
UH13	lávka Hradiště	1.116
UH37	lávka - Hradiště	3.570
UH41	jez Hradiště	3.814
UH51	jez Černice	7.110
UH58	most Radobyčice	8.566
UH61	jez Radobyčice	8.695

Tabulka 8 – seznam objektů - Úhlava

Úslava		
profil/ označení TPE	objekt	staničení
č.	název	ř.km
US10	most Chrástecká	0.609
US16	jez Doubravecká	1.010
US24	železniční most	1.601
US25	most Těšínská	1.651
US29	most Rokycanská	1.927
US30	most Rokycanská	1.950
US45	most Lobzy	3.375
US46	jez Lobzy	3.390
US53	jez u střelnice	3.990
US54	lávka u střelnice	4.037
US62	most Božkov	4.699
US73	jez Božkov	5.405
US85	most Koterov	9.073
US89	jez Koterov	9.582
02.2	most v Koterově	10.200
	Koterov - dálniční most	11.300
08.2	jez Starý Plzenec	14.171
09.1	most Starý Plzenec	14.740
10.2	jez Starý Plzenec	15.710
12.2	lávka Sedlec	16.586
12.2	most Sedlec	16.947
15.3	jez v Sedleci	18.401
17.1	lávka Štáhlavy	19.042
18.3	silniční mosty Štáhlavy	20.023
20.1	jez ve Štáhlavech - náhon	20.900
20.2	jez ve Štáhlavech	21.101

Tabulka 9 – seznam objektů - Úslava

Vejpnický potok		
profil	objekt	staničení
č.	název	ř.km
V4	lávka	0.216
V6	silniční most	0.545
V8	stupeň	0.820
V9	most	0.858
V12	lávka	1.182
V13	železniční most	1.220
V21	lávka	1.579
V22	lávka	1.632
V23	stupeň	1.685
V24	most	1.692
V25	lávka	1.730
V26	lávka	1.783
V27	stupeň	2.059
V28	most	2.069
V30	most	2.368
V31	most	2.623
V32	trubní lávka	2.861
V33	most	2.922
V38	most	3.762
V47	most	5.483
V49	lávka	5.826
V51	lávka	6.078
V54	lávka	6.528
V56	most a lávka	6.630

Tabulka 10 – seznam objektů – Vejpnický potok

5.2.2 Drsnosti hlavního koryta a inundačních území

Hydraulická drsnost a místní zvýšené odpory proudění jsou pro model MIKE 21C, MIKE 21 a MIKE 21FM zadávány pro každý bod výpočetní sítě. Základní „mapa drsností“ byla vytvořena zpracováním podrobných ortofotomap a informací ZABAGED® (každý bod získal drsnost „propíchnutím“ výpočetní sítě s databází klasifikující území) v modelové oblasti; hodnoty Manningova součinitele drsnosti „n“ ukazuje následující tabulka. Drsnostní charakteristiky dílčích modelů byly dále modifikovány na základě kalibrací, tak aby výpočty co nejlépe odpovídaly realitě.

Drsnosti			
Index	Popis	n	M
0	okolo	0.033	30.30
1	hladké plochy, ulice, volná prostranství	0.030	33.33
2	nizká, pravidelně sekaná tráva	0.035	28.57
3	vyšší tráva, pole, obilí	0.045	22.22
4	řidší lesní porost	0.060	16.67
5	hustý lesní porost	0.075	13.33
6	technické stavby I., železnice	0.070	14.29
7	technické stavby II.	0.100	10.00
8	řidké propustné ploty, zahrádkářská kolonie	0.090	11.11
9	husté nebo téměř nepropustné ploty	0.200	5.00
10	keřovitý porost	0.095	10.53
11	říční koryto	0.038	26.32
12	říční koryto - kamenité	0.055	18.18
13	chmelnice, vinice	0.080	12.50
14	porost kavylu, rákosu	0.060	16.67

Tabulka 11 – tabulka základních drsnostních parametrů

5.2.3 Hodnoty okrajových podmínek

Hodnoty okrajových podmínek pro jednotlivé zatěžovací stavy matematických modelů jsou uvedeny v následujících tabulkách. Jak již bylo zmíněno, zatěžovací stavy pro soutoky řek byly tvořeny vystřídaným schématem, tedy pro modely MRUS a RU jsou jednotlivé N-leté vody počítány třemi, resp. dvěma, simulacemi

2D model MRUS		Qn Radbuza			
profil		horní okrajové podmínky v m ³ /s			
název	ř.km	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀
Mže	2.800	131.0	208.0	320.0	442.0
Radbuza	3.200	164.0	288.0	470.0	688.0
Úslava	4.715	40.0	68.0	147.0	210.0
2D model MRUS		Qn Mže			
profil		horní okrajové podmínky v m ³ /s			
název	ř.km	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀
Mže	2.800	132.0	216.0	343.0	510.0
Radbuza	3.200	163.0	280.0	447.0	620.0
Úslava	4.715	40.0	68.0	147.0	210.0
2D model MRUS		Qn Úslava			
profil		horní okrajové podmínky v m ³ /s			
název	ř.km	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀
Mže	2.800	132.0	216.0	343.0	510.0
Radbuza	3.200	92.0	151.0	260.0	341.0
Úslava	4.715	111.0	197.0	334.0	489.0
2D model MRUS		dolní okrajová podmínka v m n.m.			
název	ř.km	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀
Berounka	129.150	296.04	297.00	298.20	299.10

Tabulka 12 – okrajové podmínky – model MRUS

2D model RU		Qn Radbuza			
profil		horní okrajové podmínky v m ³ /s			
název	ř.km	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀
Radbuza	6.930	97.0	170.0	278.0	424.0
Úhlava	2.650	67.0	118.0	192.0	264.0
2D model RU		Qn Úhlava			
profil		horní okrajové podmínky v m ³ /s			
název	ř.km	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀
Radbuza	6.930	77.7	135.0	207.0	281.0
Úhlava	2.650	86.3	153.0	263.0	407.0
2D model RU		dolní okrajová podmínka v m n.m.			
název	ř.km	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀
Radbuza	1.438	305.37	306.01	306.80	307.59

Tabulka 13 – okrajové podmínky – model RU

2D model USL		Qn Úslava			
profil		horní okrajové podmínky v m ³ /s			
název	ř.km	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀
Úslava	21.500	106.00	187.00	318.00	470.00
Úslava Týmákovský p	16.530	5.00	10.00	16.00	19.00
2D model USL		Qn Úslava			
profil		dolní okrajová podmínka v m n.m.			
název	ř.km	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀
Úslava	4.699	312.87	313.39	313.99	314.53

Tabulka 14 – okrajové podmínky – model US

2D model UHL		Qn Úhlava			
profil		horní okrajové podmínky v m ³ /s			
název	ř.km	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀
Úhlava	14.133	86.3	153.0	263.0	407.0
2D model UHL		Qn Úhlava			
profil		dolní okrajová podmínka v m n.m.			
název	ř.km	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀
Úhlava	0.500	308.19	308.79	309.77	310.6

Tabulka 15 – okrajové podmínky – model UHL

2D model MZE		Qn Mže			
profil		horní okrajové podmínky v m ³ /s			
název	ř.km	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀
Mže Hracholusky	21.897	130.0	208.0	326.0	476.0
Mže Myslinka	15.200	0.7	1.7	3.0	7
Mže Chotkovský	9.750	0.7	1.7	3.0	6
Mže Radčice	6.900	0.7	1.7	3.0	6
Vejprnický potok	2.976	0.0	3.0	8.0	15
2D model MZE		Qn Mže			
profil		dolní okrajová podmínka v m n.m.			
název	ř.km	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀
Mže	1.140	303.91	304.64	305.65	306.78

Tabulka 16 – okrajové podmínky – model MŽE

2D model VEJ		Qn Vejprnický potok			
profil		horní okrajové podmínky v m ³ /s			
název	ř.km	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀
Vejprnický	7.726	12.7	20.7	33.0	49.0
2D model VEJ		Qn Vejprnický potok			
profil		dolní okrajová podmínka v m n.m.			
název	ř.km	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀
Vejprnický	0.000	307.48	307.71	308.01	308.0

Tabulka 17 – okrajové podmínky – model VEJ

5.2.4 Hodnoty počátečních podmínek

Počáteční podmínky – kóty hladin ve všech bodech výpočetních sítí byly sestaveny v prvním kroku ze zaměřených pozorovaných hladin a dále odvozeny z výsledků dříve provedených výpočtů ustáleného proudění a použity ve formě hotstartu.

5.2.5 Diskuze k nejistotám a úplnosti vstupních dat

Každý výpočetní model je vždy schematizací skutečnosti. Chyba výsledných vypočtených charakteristik proudění (úroveň hladin, hloubky, rychlosti) je dána superpozicí chyb dat a procesů vstupujících do celého systému. Míra nejistoty tak plyne především z chybných vstupních dat (nedostatečně popsaná topologie území a koryta, chyby v zaměření a zpracování geodetických dat, špatný odhad drsnostních charakteristik a hydraulických odporů, chyby/nejistoty v hydrologických datech).

5.3 Popis kalibrace modelu

MRUS

Kalibrace centrálního modelu MRUS probíhala ve dvou krocích, kalibrace koryta a kalibrace inundačních území. Kalibrace pro korytový průtok – kalibrační epizodou byla akce připravená ve spolupráci s dispečinkem PVL, při kterém se 18.3.2004 pouštěly neškodné průtoky na Mži z VD Hracholusky (54 m³/s) a na Radbuze z VD České údolí (46 m³/s). Úslava, jelikož nemá žádné vodní dílo, měla neregulovaný průtok 6 m³/s. Na vybraných objektech byly přítom pracovníky DHI a.s. měřeny hladiny. Na tento zatěžovací stav byl kalibrován již původní model z r. 2004. Nyní již s dopřesněnými daty koryt toků byla tato kalibrace zopakována pro kombinaci s další kalibrační epizodou z ledna 2011.

Pro kalibraci neškodného korytového průtoku byla pro začátek předpokládána homogenita materiálu, tvořící dno koryt toků, což se pro kalibraci Berounky a Mže ukázalo být správným předpokladem a hned ve druhém běhu byla dosažena velmi uspokojivá shoda s kalibračními značkami pro konstantní drsnost koryta 0.032 (31.25 pro inverzní Manningovu drsnost $N=1/n$) – maximální odchylka je bezpečně do 10 cm.

Kalibrace na povodeň z ledna 2011 – v lednu proběhla na západě Čech povodeň, která se nejvýrazněji projevila na Mži, kde byl v noci na 15.1. zaplněn retenční prostor VD Hracholusky a voda začala nekontrolovaně odtékat bezpečnostními přelivy. Kulminační průtok pod VD Hracholusky dosáhl hodnoty 144 m³/s, což je hodnota někde mezi Q5 a Q10, na Berounce v profilu Bílá hora potom dosáhl kulminační průtok hodnot okolo 230 m³/s, což představuje průtok cca Q3. Při kulminaci povodně v profilu Bílá hora tekly vyšší průtoky i z řeky Radbuzy – cca 50 m³/s, z řeky Úhlavy – cca 27 m³/s a z řeky Úslavy 35 m³/s.

V době povodně byly snímány značky výše hladiny pracovníky PVL, pracovníky města Plzně a pracovníky DHI a úroveň hladiny byly též přímo v terénu zaměřovány pomocí geodetické GPS. Později, během kalibrace byly ve spolupráci s PVL doměřovány značky a stopy kulminace povodně a v četných konzultacích s dispečinkem PVL byla probírána hydrologie a spolehlivost dat.

Při kalibraci byla použita drsnost koryta 0.032/31.25 z kalibrace pro korytový průtok a počáteční drsnosti v inundačních území byly stanoveny dle ortofotosnímků a později dopřesňovány dle rekognoskace v území a leteckých snímků povodně z ledna 2011.

Průběh celého procesu kalibrace byl značně zdoluhavý, neboť se nedařilo dosáhnout hladiny, která byla naměřena na limnigrafu Bílá Hora a rovněž hladina na soutoku Mže a Radbuzy byla stále příliš nízká. Pro vyřešení tohoto problému byly provedeny četné experimenty se zvýšením průtoku a s vyzkoušením extrémních drsností v inundacích v okolí soutoku Berounky a Úslavy.

Řešení situace nakonec přinesla až pečlivá inspekce leteckých fotografií, pořízených při povodni a rekognoskace v terénu s prohlídkou stavu po povodni. Ta potvrdila podezření, že břehové porosty v úseku Bílá Hora – soutok s Úslavou jsou ve skutečnosti značně husté a také hlavní problém-keřovitý porost levobřežní části bermy mezi řekou a hrází nové ČOV. Tento prostor je hustě zarostlý keři, které byly při povodni zcela ucpány plávim a vytvořily při hloubce kolem 1 m v podstatě neprostupnou překážku. Potvrzují to i výmoly od proudění na cestě, která mezi keři vede a zůstala jedinou prostupnou proudnicí v levé inundaci. Po tomto zjištění byla překážka simulována v batymetrii soustavou obrazců, vyvýšených oproti okolnímu terénu o 1 m, a zvýšenou drsností 0.2/5, používanou pro husté, nepropustné porosty. Poté se při kalibraci podařilo dostat vodu cca 6 cm pod úroveň zaznamenané hladiny v profilu Bílá Hora při zachování realistické drsnosti koryta a okolní inundace, což považujeme za dostatečné přiblížení realitě a potvrzení vlivu ucpané inundace.

Další problematické místo, kde hladina zůstala příliš nízká i po dosažení reálné kóty na Bílé Hoře, byl soutok Radbuzy a Mže. Po přezkoumání stavu břehových porostů po obou březích v úseku soutok Mže s Radbuzou-

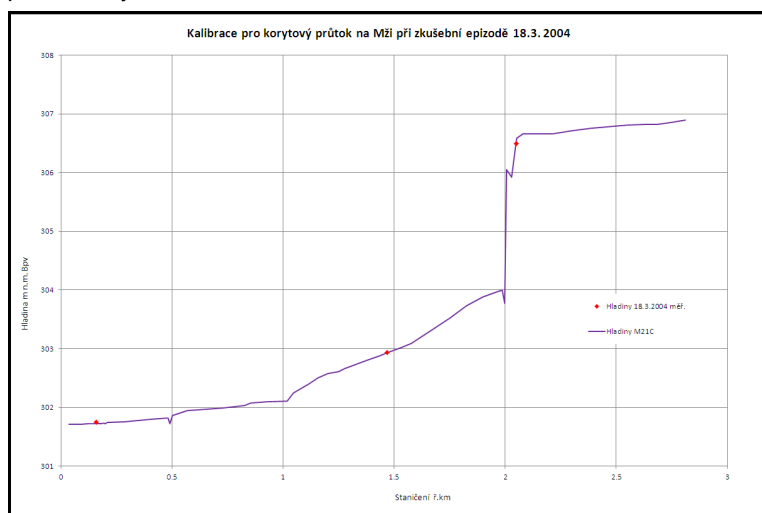
Bílá Hora byla zvýšena i drsnost i v těchto místech, a hladina se poté dostala na zaměřené hodnoty i u značek okolo Štruncových sadů a mostu Pattona.

Z celého procesu kalibrace jasně vyplývá poznatek, že hladina v Berounce je poměrně značně ovlivňována stavem břehových porostů v kritických úsecích, které je proto nezbytné udržovat co nejčistší pro zachování účinnosti technických opatření jako je průleh na Bílé Hoře. Z tohoto hlediska jednoznačně nejkritičtější je úsek podél hráze dosazovacích nádrží nové ČOV, kde je průtok komprimován do koryta a relativně úzké levobřežní bermy.

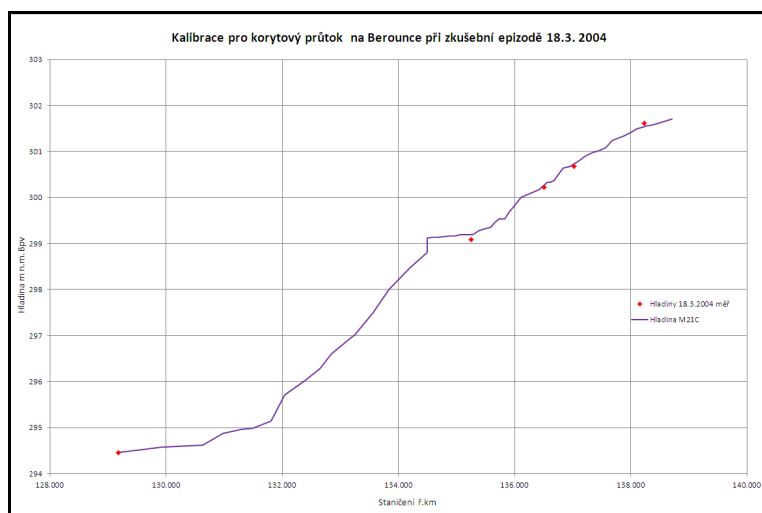
vodní tok	ř.km	Umístění	Komentář	Kóta hladiny	Kóta hladiny M21C	rozdíl hladin
Berounka	129.183	Bukovec schody	Značka sprej PVL-kulminace	295.05	295.05	0.00
Berounka	134.270	Berounka pod jezem u papírny	Zaměřeno DHI před kulminací, orientační	299.40	299.60	0.20
Berounka	135.240	Pecihradek limnigraf kulminace z křivky		300.21	300.16	-0.05
Berounka	137.025	Bílá Hora limnigraf kulminace z křivky	Čtení limnigrafu upraveno dle pozdějšího zaměření stopy PVL	302.13	302.07	-0.06
Mže	0.065	Stromy levý břeh, u soutoku Mže s Radbuzou	Od místních, bez značky	303.30	303.17	-0.13
Mže	0.500	Mže jez Štruncovy sady	Změřeno PVL krátce před kulminací	303.23	303.27	0.04
Mže	1.050	Sjezd do bermy pod mostem Pattona	Stopa kulminace, zaznačeno a zaměřeno dodatečně	303.55	303.51	-0.04
Mže	1.160	Most Pattona	Zaměřeno DHI před kulminací, kulminační hlad. bude určitě výše	303.20	303.44	0.24
Mže	1.148	Lávka Výstaviště	Změřeno PVL před kulminací	304.07	304.08	0.01
Mže	1.690	Kalikovský mlýn playspot schůdky	Stopa kulminace, zaznačeno a zaměřeno dodatečně	304.47	304.57	0.10
Mže	2.490	Ústí Vejprnického potoka	Stopa kulminace, zaznačeno a zaměřeno dodatečně	307.49	307.29	-0.20

Tabulka 18 – kalibrace modelu MRUS

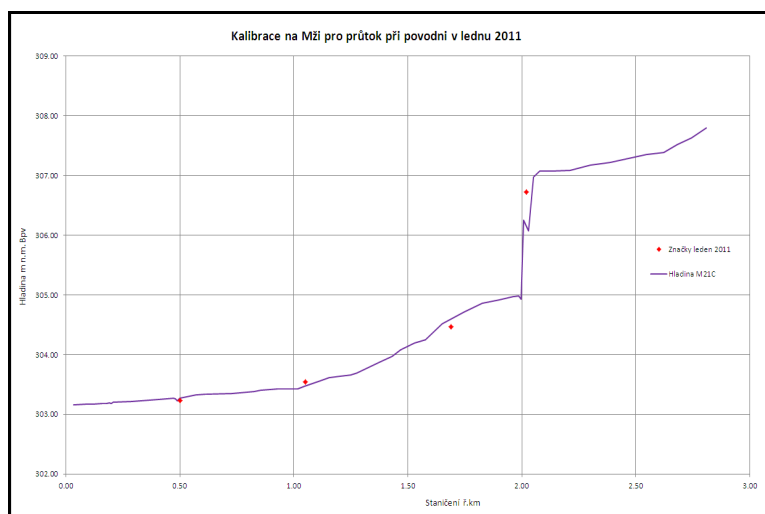
Na následujících obrázcích jsou vykresleny podélné profily z kalibračního běhu modelu MRUS s vyznačením pozorovaných hladin.



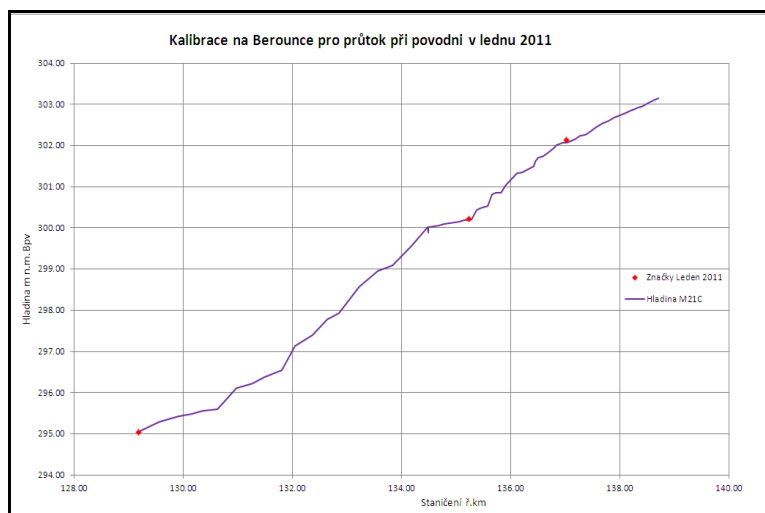
Obrázek 17 – kalibrace modelu MRUS – Mže 2004



Obrázek 18 – kalibrace modelu MRUS – Berounka 2004



Obrázek 19 – kalibrace modelu MRUS – Mže 2011



Obrázek 20 – kalibrace modelu MRUS – Berounka 2011

RU

Kalibrace modelu byla provedena na povodňovou vlnu 8/2002 a na zvýšené průtoky při mimořádné manipulaci VD Hracholusky a VD České Údolí, která proběhla v březnu 2004

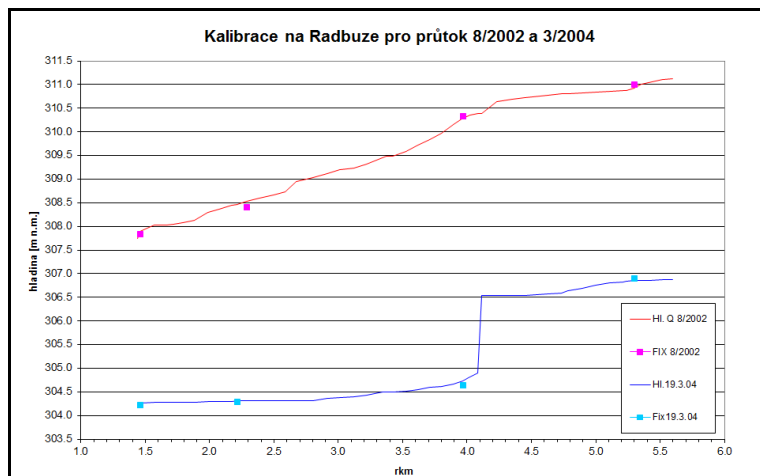
Výsledky kalibrací jsou patrné z následujících tabulek a grafů s průběhem hladin a vykreslením značek odpovídajících pozorovaných hladin velkých vod

Kalibrace RU - Radbuza 8/2002					
vodní tok	ř.km	Umístění	Kóta hladiny	Kóta hladiny M21FM	rozdíl hladin
Radbuza	1.459	vodočet nad Helmovským jezem	304.23	304.26	0.03
Radbuza	2.210	lávka ul. Papírenská	304.29	304.30	0.01
Radbuza	3.966	Most Doudlevice	304.65	304.72	0.07
Radbuza	5.300	Tyršův most	306.90	306.85	-0.05
Kalibrace RU - Radbuza 3/2004					
vodní tok	ř.km	Umístění	Kóta hladiny	Kóta hladiny M21FM	rozdíl hladin
Radbuza	1.459	vodočet nad Helmovským jezem	307.90	307.84	-0.06
Radbuza	2.284	garáže u papírenské lávky	308.53	308.42	-0.11
Radbuza	3.966	Most Doudlevice	310.28	310.34	0.06
Radbuza	5.300	Tyršův most	310.92	311.00	0.08

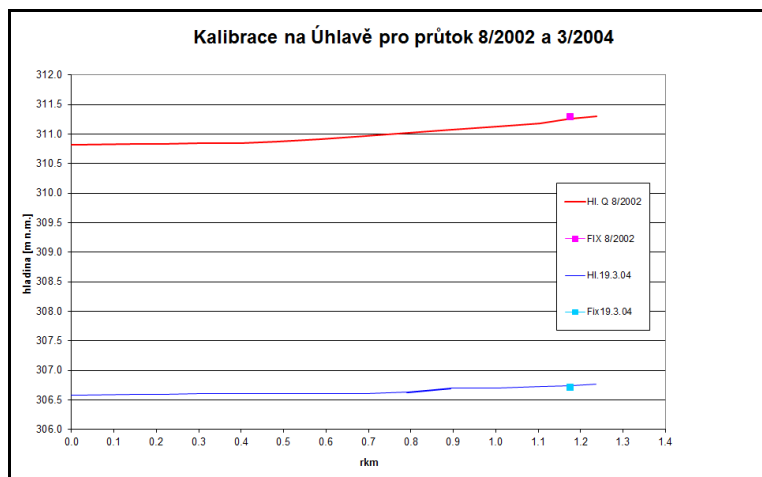
Tabulka 19 – kalibrace modelu RU - Radbuza

Kalibrace RU - Úhlava 8/2002					
vodní tok	ř.km	Umístění	Kóta hladiny	Kóta hladiny M21FM	rozdíl hladin
Úhlava	1.175	lávka Hradiště	311.29	311.26	-0.03
Kalibrace RU - Úhlava 3/2004					
vodní tok	ř.km	Umístění	Kóta hladiny	Kóta hladiny M21FM	rozdíl hladin
Úhlava	1.175	lávka Hradiště	306.71	306.743	0.03

Tabulka 20 – kalibrace modelu RU - Úhlava



Obrázek 21 – kalibrace modelu RU – Radbuza



Obrázek 22 – kalibrace modelu RU – Úhlava

USL

Pro model USL nebyla k dispozici věrohodná kalibrační data z povodně 8/2002 z důvodu zničení limnigrafické stanice v Koterově. V zájmovém úseku se sice nachází poměrně hustá síť povodňových značek z epizody 8/2002, ale průtok od ČHMÚ, z vyhodnocení povodně 8/2002 - 460 m³/s se jeví jako velmi podhodnocený. Kalibrace na takto nízký průtok není možná ani při zadání extrémně vysokých (až nereálných) drsnostních charakteristik koryta i inundačního území.

Zpracovatel se v předchozích studiích pokusil zrekonstruovat průběh povodně 8/2002 na detailním 2D modelu v oblasti LGS Koterov a dospěl k názoru, že průtok za povodně 8/2002 musel být na Úslavě výrazně vyšší a to v rozmezí 550-650 m³/s.

Nastavení matematického modelu bylo provedeno analogicky s ostatními 2D matematickými modely.

UHL

Pro kalibraci matematického modelu byly k dispozici pouze povodňové značky z povodně 8/2002.

Kalibrace modelu byla provedena pomocí série kalibračních výpočtů, při kterých byly upravovány hodnoty součinitelů drsnosti v celé ploše modelu, tak aby bylo dosaženo uspokojivé shody mezi vypočtenými a zaměřenými povodňovými značkami.

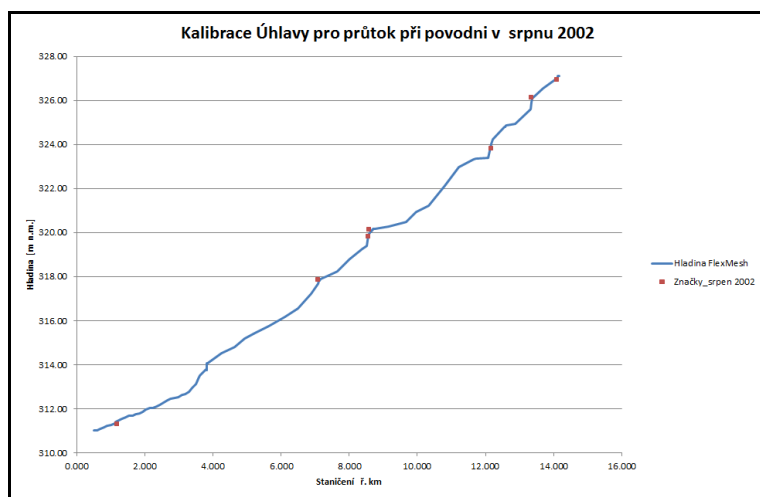
K dosažení shody s kalibračními značkami bylo potřeba použít poměrně vysoké hodnoty drsností jak v korytě, tak v inundaci, protože hladina byla při výpočtech stále výrazně níž, než udávaly kalibrační značky. Dále byly výrazně zdrsněny části koryt v profilech mostů. V následující tabulce jsou uvedeny kalibrační značky, které byly k dispozici a hodnoty hladin získané z výsledkového souboru, který byl počítaný s finálním souborem drsností. Dále je v této tabulce uveden rozdíl mezi vypočtenou hodnotou a hodnotou získanou ze značek.

Kalibrace UHL - Úhlava 8/2002					
vodní tok	ř.km	Umístění	Kóta hladiny	Kóta hladiny M21FM	rozdíl hladin
Úhlava	14.100	Štěnovice - úprava vody	326.92	326.83	-0.09
Úhlava	13.358	Štěnovice - most a inundace	326.13	326.14	0.01
Úhlava	12.160	Štěnovice - vojenská silnice - most č. 180-016	323.82	323.89	0.06
Úhlava	8.590	Radobyčice - strom	320.14	320.09	-0.05
Úhlava	8.566	Radobyčice - most č. PM - 088	319.82	320.05	0.23
Úhlava	7.080	Černice - ul. U Vody	317.86	317.73	-0.13
Úhlava	1.175	Slovany - lávka	311.29	311.3	0.01

Tabulka 21 – kalibrace modelu UHL

Značný rozdíl u značky na ř. km 8.566 je nejspíš způsoben tím, že jsou k dispozici špatné souřadnice umístění této značky. Značka se dle dokumentace nachází na levém břehu na náspu mostu v Radobyčicích (ř. km 8.566). Tuto značku můžeme porovnat se značkou na ř. km 8.590, která leží na pravém břehu v inundaci a je téměř protilehlá ke značce na levém břehu. Samotný rozdíl těchto dvou značek činí 32 cm, což je příliš velký sklon hladiny v příčném směru, který není v této situaci pravděpodobný. Značka na levém břehu na mostě je patrně špatně umístěna a měla by být pravděpodobně dána na náspu více do profilu mostu, kde dochází ke snížení hladiny. Vzhledem k tomu, že není možnost ověřit si správné umístění této značky, nebyl na ní brán při kalibraci zřetel.

Na následujícím obrázku je vykreslen podélný profil Úhlavy z kalibračního běhu modelu UHL s vyznačením pozorovaných hladin.



Obrázek 23 – kalibrace modelu UHL

MŽE

Kalibrační výpočty (jako ustálené i neustálené nerovnoměrné proudění) byly provedeny pro dva hydrologické scénáře:

Kalibrace pro korytový průtok

kalibrační epizodou ze dne 18.3.2004 připravená ve spolupráci s dispečinkem Povodí Vltavy s.p., při kterém se byl z VD Hracholusky odpouštěn neškodný průtok 54 m³/s; na vybraných objektech byly pracovníky DHI a.s. zároveň měřeny hladiny

Kalibrace pro korytový průtok byla využita na 1D modelu, tj. při stanovení odporových součinitelů říčního dna a parametrů objektů na toku

Kalibrace na povodeň z ledna 2011

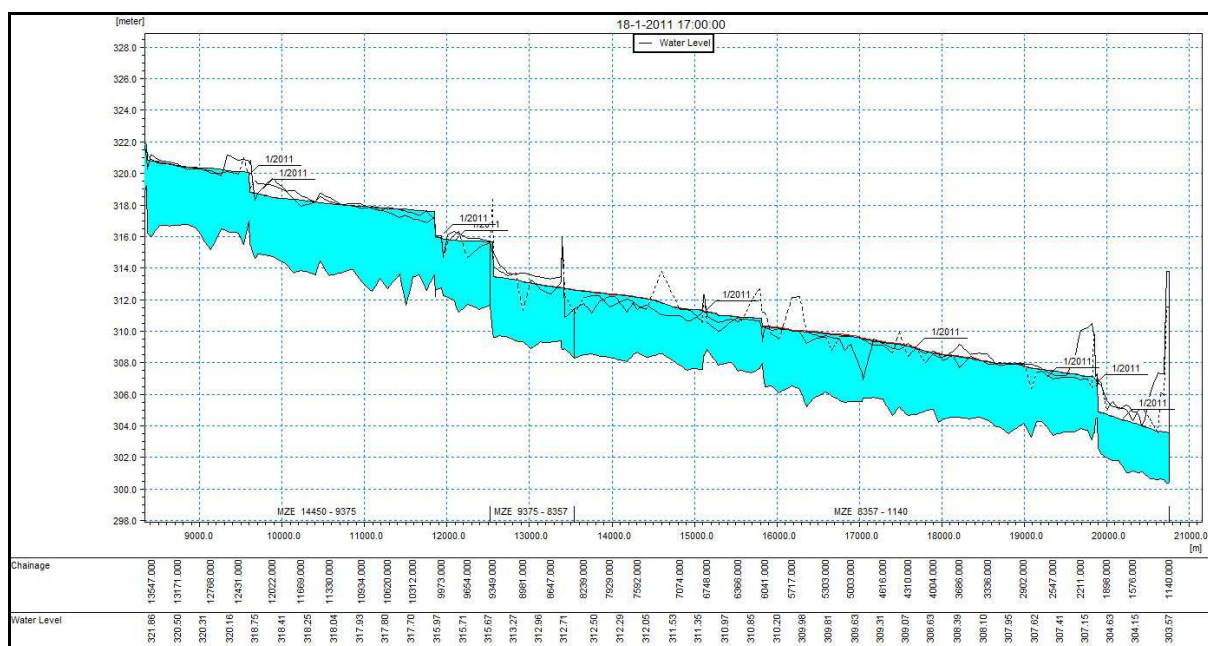
tato povodeň se ze všech zdrojových řek nejvýrazněji projevila na Mži, kde byl v noci na 15.1. zaplněn retenční prostor VD Hracholusky a voda začala nekontrolovaně odtékat bezpečnostními přelivy. Kulminační průtok pod VD Hracholusky dosáhl hodnoty 144 m³/s, což je hodnota v intervalu mezi Q5 a Q10. Zároveň byl zaměřován průběh hladin pracovníky Povodí Vltavy s.p. a DHI a.s. a města Plzně.

Kalibrace modelu byla provedena pomocí série kalibračních výpočtů, při kterých byly upravovány hodnoty součinitelů drsností obou modelů a parametry objektů na toku, tak aby bylo dosaženo uspokojivé shody mezi vypočtenými a zaměřenými povodňovými značkami.

Výsledky kalibrací pro všechny stavy jsou uvedeny na následujícím obrázku. Z grafů je patrná poměrně dobrá shoda mezi zaměřeným průběhem hladin a výsledkem výpočtu. Průměrná odchylka vypočtených úrovní hladin od změřených se pohybuje v rozmezí 2 až 8 cm (ojediněle až 17 cm), a to jak v ose toku, tak v inundačním území (posuzovány výsledky MIKE 21).

Kalibrace MŽE - Mže 1/2011					
vodní tok	ř.km	Umístění	Kóta hladiny	Kóta hladiny M21FM	rozdíl hladin
Mže	1.694	Kalikovský playspot schudky	304.47	304.39	-0.08
Mže	2.024	Kalikovský nad jezem	306.72	306.8	0.08
Mže		inundační území LB nad Kalikovským	307	306.94	-0.06
Mže		inundační území LB směr Zoo	307.16	307.11	-0.05
Mže	2.460	ústí Vejprnického potoka	307.49	307.46	-0.03
Mže	4.212	Zahradní osada u Mže, PB	309.02	308.96	-0.06
Mže	6.751	Mže - levý břeh	311.4	311.33	-0.07
Mže	9.794	Malesice - na konci vesnice	315.85	315.87	0.02
Mže	9.947	Most Malesice, PB	316.16	316.09	-0.07
Mže	9.958	u mostu Malesice, LB	316.26	316.09	-0.17
Mže	12.204	Pod Jezem Vochov	319.05	319.12	0.07

Tabulka 22 – kalibrace modelu MŽE



Obrázek 24 – kalibrace modelu MŽE

VEJ

Pro model vejprnického potoka nebyla k dispozici žádná kalibrační data. Nastavení matematického modelu bylo provedeno na základě zkušeností zpracovatele s toky podobného charakteru.

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 podkladu 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.

Kód ORP	Název ORP	Kód ICOB	Název obce	Vodní tok
12198	Plzeň	554791	Plzeň	všechny
13525	Přeštice	558486	Útušice	Úhlava
10849	Nýřany	558834	Druztová	Berounka
10849	Nýřany	558834	Město Touškov	Mže
10849	Nýřany	559601	Vochov	Mže
10849	Nýřany	559679	Zruč - Senec	Berounka

Tabulka 23 - dotčené správní území obcí maximálním rozlivem

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. 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.

Pomocí softwaru ESRI ArcMap a DHI Flood Tool Box byly z vypočtených hydraulických charakteristik pro Q_5 , Q_{20} a Q_{100} a Q_{500} vygenerovány mapy hloubek.

Formát map hloubek *.tif – rastr, georeferencovaný tif velikost pixelu rastru 2x2 m

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 dvourozměrného modelu jsou k dispozici ve všech výpočetních bodech. 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.

Pro modely zpracovávané technologií MIKE FLOOD jsou informace o rychlostech k dispozici plošně v záplavových územích řešených 2D modelem. V korytech vodních toků, která byla řešena jednorozměrným modelem, jsou k dispozici střední průřezové rychlosti v příčných profilech vstupujících do výpočtu. Pro mapy rychlostí byla tedy do koryta toku Mže a Vejprnického potoka udána hodnota střední průřezové rychlosti a mezi jednotlivými profilem je rychlost lineárně interpolována.

Pomocí softwaru ESRI ArcMap a DHI Flood Tool Box byly z vypočtených hydraulických charakteristik pro Q_5 , Q_{20} a Q_{100} a Q_{500} vygenerovány mapy rychlostí.

Formát map rychlostí *.tif – rastr, georeferencovaný tif velikost pixelu rastru 2x2 m

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.