



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_2 - Ř. KM 8,00 - 30,80 (PV-4-2)

BEROUNKA - 10100011_3 - Ř. KM 30,80 - 38,20 (PV-4-3)

LITAVKA - 10100052_1 - Ř. KM 0,00 - 4,00 (PV-14-1)





OPERAČNÍ PROGRAM
ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ



EVROPSKÁ UNIE
Fond soudržnosti

Pro vodu,
vzduch a přírodu



POVODÍ VLTAVY



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_2 - Ř. KM 8,00 - 30,800 (PV-4-2)

BEROUNKA - 10100011_3 - Ř. KM 30,80 - 38,20 (PV-4-3)

LITAVKA - 10100052_1 - Ř. KM 0,00 - 4,00 (PV-14-1)

Pořizovatel:



Povodí Vltavy, státní podnik

Holečkova 8

Praha 5

150 24

Zhotovitel:



DHI a.s.

Na Vrších 1490/5

Praha 10

100 00



Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s.

Nábřežní 4

Praha 5

150 56



Sweco Hydroprojekt a.s.

Táborská 31

Praha 4

140 16



OPERAČNÍ PROGRAM
ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ



EVROPSKÁ UNIE
Fond soudržnosti

Pro vodu,
vzduch a přírodu



GEODIS Brno spol. s r.o.
Lazaretní 11a
Brno
615 00

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	9
1.4	Postup zpracování a metoda řešení	10
1.4.1	Hydrologická data:	10
1.4.2	Topologická data:	10
1.4.3	Hydrodynamický model	10
1.4.4	Základní postup tvorby hydrodynamického modelu:.....	10
1.4.5	Výsledky výpočtů:	10
2	Popis zájmového území	12
2.1	Všeobecné údaje	13
2.2	Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)	13
3	Přehled podkladů.....	16
3.1	Topologická data.....	16
3.1.1	Vytvoření DMT.....	16
3.1.2	Mapové podklady.....	16
3.1.3	Geodetické podklady	17
3.2	Hydrologická data	17
3.3	Místní šetření	17
3.4	Doplňující podklady – technické a provozní informace, zprávy, studie, dokumenty, literatura.....	18
3.5	Normy, zákony, vyhlášky	18
3.6	Vyhodnocení a příprava podkladů	18
4	Popis koncepčního modelu	19
4.1	Schematizace řešeného problému.....	19
4.2	Posouzení vlivu nestacionarity proudění.....	19
4.3	Způsob zadávání OP a PP.....	19
5	Popis numerického modelu.....	21
5.1	Použité programové vybavení.....	21
5.2	Vstupní data numerického modelu.....	21
5.2.1	Morfologie vodního toku a záplavového území.....	22
5.2.2	Drsnosti hlavního koryta a inundačních území	23
5.2.3	Hodnoty okrajových podmínek	23
5.2.4	Hodnoty počátečních podmínek	23
5.2.5	Diskuze k nejistotám a úplnosti vstupních dat	23
5.2.6	Popis kalibrace modelu.....	24
6	Výstupy z modelu	26

6.1	Záplavové čáry pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	26
6.2	Hloubky pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	26
6.3	Rychlosti pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	27
6.4	Zhodnocení nejistot ve výsledcích výpočtů	27

1 Základní údaje

1.1 Seznam zkratek a symbolů

Tabulka 1 – Seznam zkratek a symbolů

Zkratka	Vysvětlení
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 / MIKE21	Matematický model Mike21C (2D model – curvilinear)
MPN	Mapy povodňového nebezpečí
MŘ	Manipulační řády jezů
MZE	Ministerstvo zemědělství
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
PPO	Protipovodňová opatření
S_JTSK	Souřadný systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
SZÚ	Studie záplavového území
TPE	Technicko provozní evidence
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	Záplavová území

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

1.4.1 Hydrologická data:

Pro účel studie byla zajištěna aktuální hydrologická data ČHMÚ (N-leté průtoky). Dále byly ke kalibračním účelům použity povodňové značky poskytnuté Povodím Vltavy, s.p.

1.4.2 Topologická data:

Pro potřeby 2D matematického modelu byl využit digitální model terénu (DMT) zájmového území. Tento model vznikl sloučením tří základních zdrojů topologických dat – digitálního modelu koryta Berounky, bodů DMR5G a zaměření objektů TPE.

1.4.3 Hydrodynamický model

Hydraulické charakteristiky proudění v zájmové oblasti toku byly simulovány dvourozměrným matematickým modelem MIKE 21C (v. 2011), vyvinutý firmou DHI, Hørsholm (Dánsko). Tento model pracuje s křivočarou výpočetní sítě, kterou bylo možné dobře přizpůsobit tvaru zájmového území.

Posuzované území bylo rozděleno na dvě části v profilu pod soutokem Berounky s Loděnicí (ř.km 30.800).

1. Model **Beroun_soutok** – řešil soutok Berounky s Litavkou (Berounka ř.km 38,200 - 30,800 a Litavka ř.km 7,000 – 0,000). Pro výstupy byly výsledné hodnoty zpracovány pro Litavku v ř.km 4,000 – 0,000.
2. Model **BerounkaN** – řešil úsek Berounky pod soutokem s Loděnicí nad jez v Černošicích (Berounka ř.km 30,800 – 8,000)

Dle metodiky MPN byl soutok Berounky a Litavky řešen „vystřídáním schématem“, tzn. že nejprve byl zátěžový průtok Q_N zadán do Berounky a na vstupním profilu (okraji výpočetní sítě) Litavky byl použit takový doplněk, aby byl za soutokem dosažen stanovený průtok Q_N , pak následoval opačný výpočet, kdy zátěžový průtok Q_N byl zadán do vstupního profilu Litavky a úsekem Berounky před soutokem protékal doplněk.

1.4.4 Základní postup tvorby hydrodynamického modelu:

Nad ortofoto-mapami příslušného území byla v programovém prostředí MIKE 21C Grid Generatoru (v. 2011) zkonstruována dvourozměrná křivočará výpočetní síť v takové šíři a rozsahu, aby plně pokryla ZÚ Berounky a Litavky pro všechny simulované průtoky Q_N .

Drsnosti ZÚ byly plošně rozděleny na základě klasifikace území v digitálním geografickém modelu ZABAGED® a postupně upravovány dle kalibračních výpočtů, stejně tak jako drsnosti v korytě řeky.

Tato síť a DMT byly použity při generaci batymetrie (geometrie) zájmového území.

Model BerounkaN

Průtokové stavy Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} ve vstupním profilu pod soutokem s Loděnicí (ř.km. 30,800) byly horní okrajovou podmínkou ustálených hydraulických výpočtů modelu.

Dolní okrajovou podmínkou byla vždy hladina nad jezem v Černošicích, převzatá pro odpovídající Q_N stanovené ze studie pro úsek (Berounka soutok, ID úseku 10100011_1, PV-4-1).

Model Beroun_soutok

Průtokové stavy Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} ve vstupním profilu Hýskov (ř.km. 38,200) byly horní okrajovou podmínkou ustálených hydraulických výpočtů modelu.

Dolní okrajovou podmínkou byla vždy hladina pod soutokem s Loděnicí (ř.km 30,800) převzatá pro odpovídající Q_N stanovené předcházejícím modelem BerounkaN.

Okrajovou podmínkou na přítocích (Litavka a Loděnice) byly příslušné průtokové stavy stanovené ČHMÚ, resp. dopočet do příslušného Q_N v případě soutoku Litavka-Berounka.

1.4.5 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:	Berounka
ID úseku IDVT CEVT	10100011_2 a 10100011_3
Číslo hydrologického pořadí toku:	1-10-04-002
Říční kilometry začátku a konce úseku:	ř. km 8,000 – 30,800 a ř.km 30,800 – 38,200
Název toku:	Litavka
ID úseku IDVT CEVT	10100052_1
Číslo hydrologického pořadí toku:	1-11-04-001
Říční kilometry začátku a konce úseku:	ř. km 0,000 – 4,000
Významná vodní díla:	-
Významné přítoky:	-

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

Zájmová oblast je na Berounce vymezena úsekem profilem Hýskov (ř.km 38,200) až k jezu v Černošicích (ř.km 8,000) a pro Litavku úsekem Králův Dvůr až po soutok s Beroukou (ř.km 4,000 – 0,000).

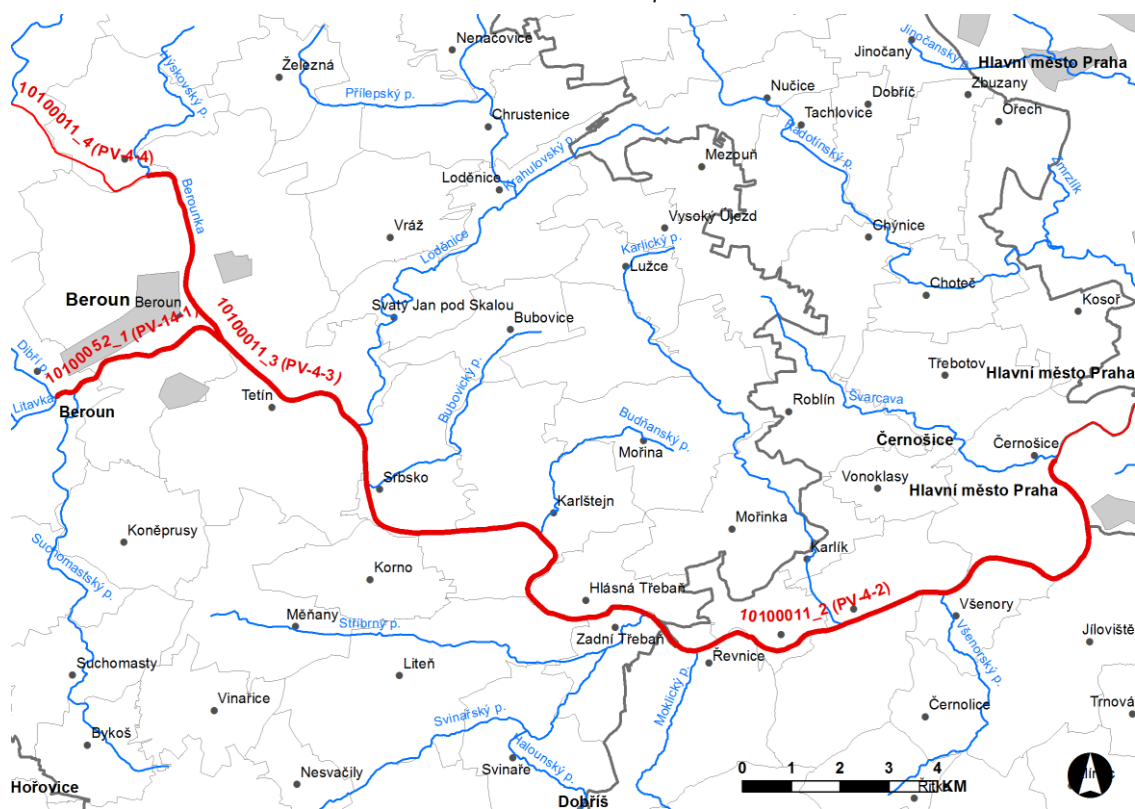
Řeka Berounka (č.h.p.1-10-04-002) vzniká soutokem Mže a Radbuzy v Plzni ve výšce 298 m n.m. a ústí v Praze zleva do Vltavy ve výšce 188 m n.m. Délka toku je 138,9 km, plocha povodí 8861 km² a průměrný průtok u ústí činí 36 m³.s⁻¹. Berounka je významný vodní tok.

Litavka (č.h.p. 1-11-04-001) pramení severovýchodně od obce Nepomuk ve výšce 765 m n.m. a ústí zprava do Berounky v Berouně ve výšce cca 218 m n.m.. Délka toku je 54,6 km, plocha povodí 629,4 km² a průměrný průtok u ústí je 2,71 m³.s⁻¹. Litavka je významný vodní tok.

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
Významné přítoky	zdroj ZM-10

Obrázek 1 – Přehledná mapa řešeného území



2.1 Všeobecné údaje

Posuzovaný úsek Berounky byl určen od ř. km 8,000 (nad jezem v Černošicích) do ř. km 38,200 (profil Hýskov) a úsek Litavky ř.km 0,000 (soutok) po Králův Dvůr (ř.km 4,000) dle kilometráže poskytnuté objednatelem studie.

Větším sídelní celkem v zájmovém území je město Beroun. Město Beroun leží v území značně členitém, protknutém údolím Berounky, na které se z jihozápadu napojuje široké údolí dolní Litavky. Město bylo založeno v nejširší části údolí, na soutoku Litavky a Berounky a postupně se zástavba začala rozšiřovat ve větší míře i na přilehlé svahy. Nezastavěná zůstala pouze část údolní nivy, přímo přiléhající k vodním tokům. Dalšími významnějšími sídly jsou především Černošice, Dobruška a Řevnice. Spád toku má potenciál i k energetickému využití – časté objekty malých vodních elektráren.

Za významnější vodní díla v posuzovaném úseku můžeme považovat malé vodní elektrárny v Černošicích, Dobrušicích a Klučicích. Tyto jezy v dané oblasti jsou jezy pevnými, se šterkovými propustmi, které jsou v případě větších vod zahrazeny. Nejvýznamnějším vodním dílem dané oblasti je klapkový jez v Berouně s malou vodní elektrárnou umístěnou na levé straně břehu Berounky.

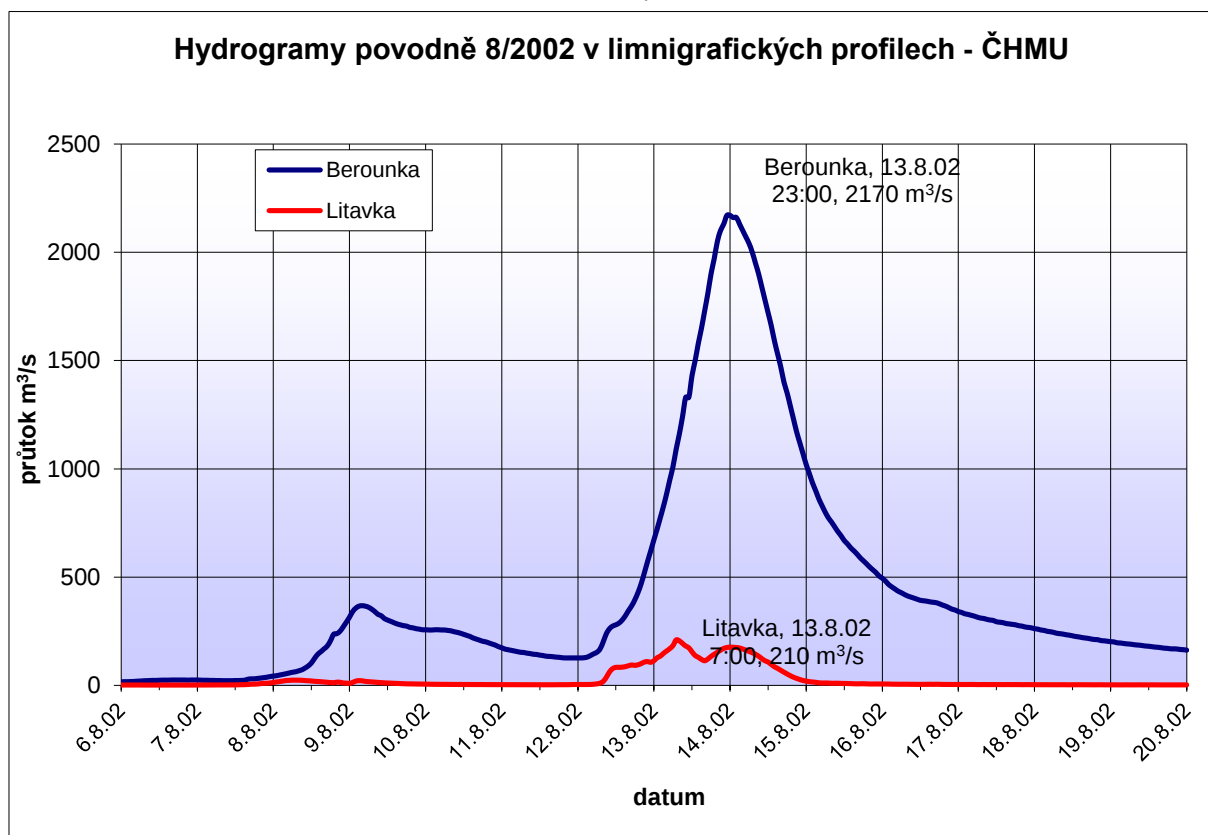
2.2 Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)

V minulosti došlo na Berounce několikrát k velkým povodním, které způsobily značné škody v inundačních územích. Mezi významné povodně poslední doby musíme zmínit povodeň ze srpna 2002, z března 2006 a května 2006.

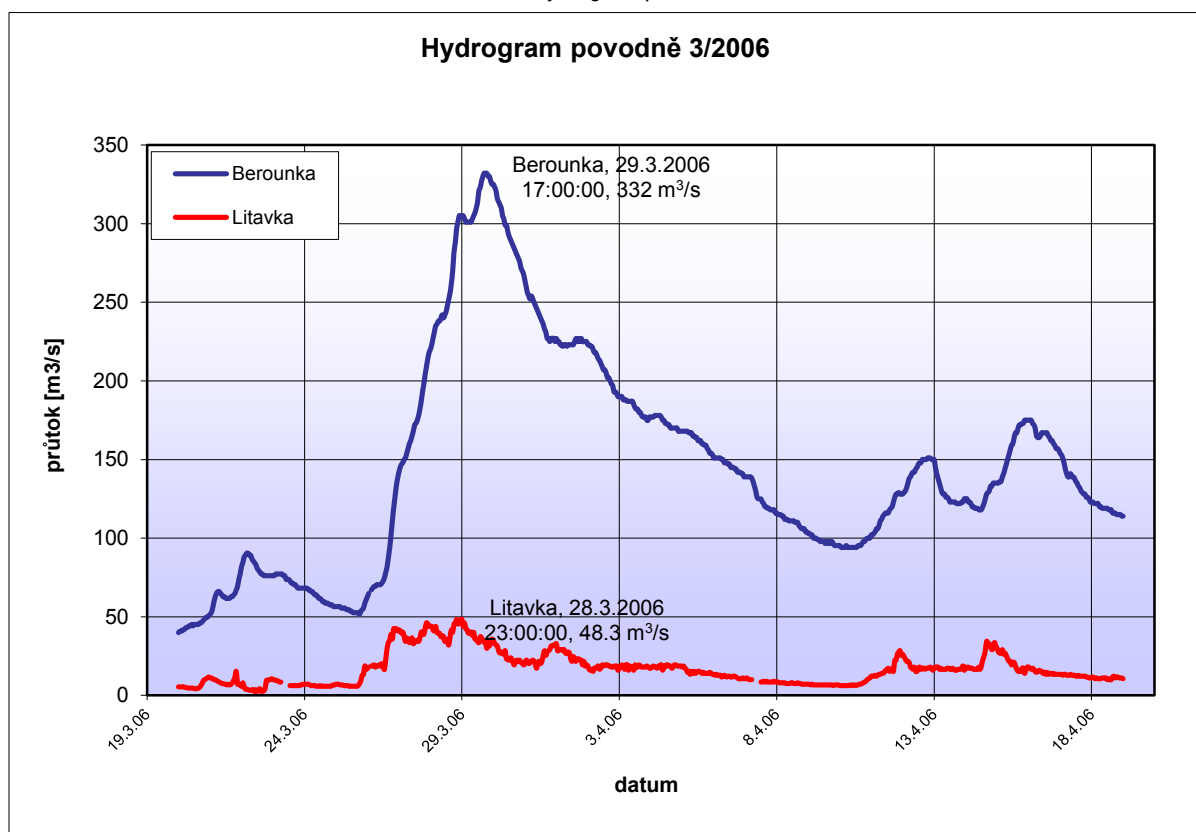
Tabulka 2 – Historické povodně

Rok	Stanice	Průtok ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
13.8. 2002	Beroun	2170
29.3. 2006	Beroun	332
29.5. 2006	Beroun	613

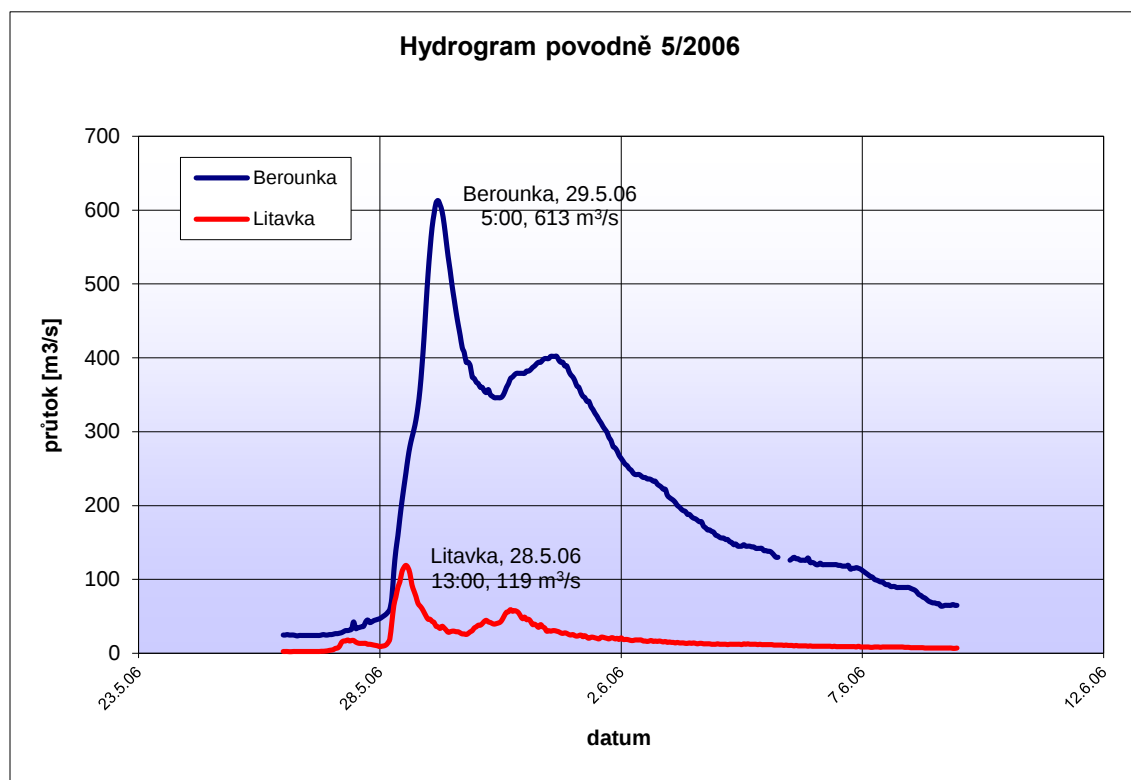
Obrázek 2 – Průběh povodně 2002



Obrázek 3 – Hydrogram povodně z 3/2006



Obrázek 4 – Hydrogram povodně z 5/2006



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:

- 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.)
- Kalibrační podklady – zaměření povodňových značek z povodně 8/2002 (Povodí Vltavy, s.p., 2002)
- Fotodokumentace a odborné poznatky z terénního šetření (DHI, a. s. 2012)
- Zaměření TPE objektů (Povodí Vltavy, s.p.)
- Situace PPO města Beroun (Povodí Vltavy, s.p.)
- Studie Povodňový model Beroun (DHI, 2006)

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 DMT

DMT je prostorová plocha, která více nebo méně zdařile (podle kvality zadání) kopíruje skutečný (zaměřený) nebo projektovaný terén. Vzniká na základě zadaných 3D bodů. Pro vytvoření modelu 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. V místech kde nebyl DMR 5G dostupný, byl použit DMR 4G. Dno toku bylo vymodelováno ze zaměření koryta firmou Geodis (březen 2013). Objekty byly do vzniklého DMT vloženy pomocí digitalizace zaměření TPE. Výsledný digitální model terénu zájmového území byl sestaven z výše zmíněných částí s využitím software ATLAS. Takto vzniklý model pak byl převeden na georeferencovaný tif s velikostí pixelu 5 x 5m. Zhotovitelem této části bylo DHI, a.s., (2013).

Všechny souřadnice DMT jsou v polohopisném systému S_JTSK a výškovém 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

Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole, koryto řeky bylo v DMT vymodelováno z geodetického zaměření dna, které bylo provedeno měsíci lednu až březnu 2013 bylo firmou Geodis a.s.. Dále byly použity zaměřené objekty na řece z technicko-provozní evidence (TPE), které poskytlo Povodí Vltavy s.p.. Pro vytvoření DMT vlastního inundačního území byl použit DMR5G (2011/2012).

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

3.2 Hydrologická data

Do matematického modelu byla použita data z následně uvedených profilů:

Tabulka 3 - N-leté průtoky (Q_N) v $m^3 \cdot s^{-1}$ (ČHMÚ, 2012)

Řeka	Hydrologický profil	ČHP	plocha povodí (km ²)	1	2	5	10	20	50	100	500
Breounka	nad Litavkou	1-11-03-064	7653,68	262	386	582	753	943	1220	1460	2080
	LGS Beroun	1-11-04-056	8284,70	270	403	615	799	1000	1310	1560	2245
	pod Loděnicí	1-11-05-028	8566,55	273	406	619	804	1010	1320	1570	2255
	ústí	1-11-05-050	8855,51	299	435	649	834	1040	1330	1580	2270
Litavka	pod Červeným p.	1-11-04-047	549,73	26,6	46,1	82,3	118	162	232	297	488
	ústí	1-11-04-055	629,74	28,5	55,2	100	142	190	263	327	505

3.3 Místní šetření

Z větší části se vycházelo z podrobné rekognoskace území provedené firmou DHI a. s. v prosinci 2012.

Během této rekognoskace byla provedena obhlídka břehů, objektů na toku a inundačního území.

Cílem rekognoskace Berounky a Litavky bylo především přímo v terénu seznámit se s řešeným územím, zjistit stav objektů na toku a zvážit význam těchto objektů pro převádění proudění za povodňové situace. Byla pořízena fotodokumentace objektů na toku.

Rekognoskace území byla též doplňujícím podkladem pro vyhodnocení hydraulické drsnosti.

Koryto vodního toku je v podstatné délce na březích lemováno vzrostlými stromy, svahy jsou porostlé křovisky a hustými travinami, vyjma intravilánu, kde se jedná o udržovaný travní porost.

Řeka Berounka i Litavka jsou v tomto úseku upravenými koryty, Litavka část svého toku těsně před soutokem má vedenou betonovým korytem.

Inundační území je v intravilánu měst tvořeno budovami a objekty občanského a průmyslového charakteru, travními a ostatními volnými plochami (hřiště, parkoviště, parky). V blízkosti měst, obcí a vesnic se při březích nacházejí zahrádkářské kolonie.

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

Jako doplňující podklad bylo využito zaměření skutečného provedení protipovodňových opatření města Berouna, poskytnuté Povodím Vltavy s.p v březnu 2013, které bylo zahrnuto do matematického modelu.

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 podklady plně pokryly zájmové území.

Jako nedostatečné můžeme považovat nepřesnosti DMR5G v místech husté a nepřehledné vegetace. V některých oblastech, především v okolí břehů a souvislého porostu, nám tato nepřesnost mohla podstatným způsobem ovlivnit úroveň vypočtených hladin.

4 Popis koncepčního modelu

4.1 Schematizace řešeného problému

Zájmový úsek toku tvoří z převážné části upravené koryto Berounky o šíři do cca 90 m a upravené koryto Litavky o šíři do 35 m. K řešení daného území byl použit 2D matematický model proudění Mike 21C. Vlastní území bylo rozděleno na dva samostatné úseky

- část Berounky od jezu Černošice pod soutok Berounky s Loděnicí (ř.km 8,000 – 30,800)
- Berounka pod soutokem Berounky s Loděnicí po Hýskov (ř.km 30,800 – 38,200) a Loděnice (ř.km 0,000 – 7,000).

Řešení území, ve kterém se nachází více vodních toků, přináší určitá specifika. 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. Matematický model Beroun_soutok řeší dvě vodoteče (tok Berounky a tok Litavky) a jejich vzájemné soutoky. To se projevilo především při tvorbě zatěžovacích stavů a při práci s výsledky. Model pracoval již se zabudovanou PPO města Berouna, kde byl v tomto případě náhon (odděluje se nad jezem v Berouně a vlévá se do Litavky těsně před jejím ústím do Berounky) uzavřen a proto v této studii řešen nebyl.

Matematické modely byly sestaveny tak, aby bylo možno simulovat dynamické jevy, variabilní zatěžovací stavy a vzájemné interakce řek v zájmové oblasti.

Vzhledem k soutoku Berounky s Litavkou bylo třeba každý N-letý průtok počítat dvěma simulacemi.

Na tomto místě je třeba vysvětlit tvorbu zatěžovacích stavů pro jednotlivé řeky. V případě, že matematický model řeší soutok dvou řek, například řeky A a jejího přítoku řeky B, jsou k dispozici údaje o N-letých vodách pro řeku A nad soutokem a pod soutokem s řekou B a pro řeku B nad soutokem. V případě, že součet Q_{100} v řece A a Q_{100} v řece B dá dohromady Q_{100} pod soutokem je vše v pořádku a tento případ lze počítat jednou jedinou simulací. Tento případ však není v praxi příliš častý a většinou je Q_{100} pod soutokem menší než prostý součet Q_{100} na obou přítocích nad soutokem. Potom je třeba v jednom výpočtu řeku A zatížit průtokem Q_{100} a řeku B takovým průtokem, aby pod soutokem byl průtok odpovídající Q_{100} pod soutokem a v druhém výpočtu zatížit průtokem Q_{100} řeku B a doplněk do Q_{100} pod soutokem počítat řekou A. Z takto provedených simulací se poté zohledňují vždy vyšší hodnoty, tzv. obálková metoda používaná z důvodu bezpečnosti.

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).

Hydrologická data ČHMÚ (N-leté průtoky) jsou výsledkem metod, které se nezabývají postupem povodňové vlny daným územím a její transformací. Hydrologické metody pro stanovení N-letých průtoků vycházejí z pravděpodobnostních analýz dlouhodobých řad pozorovaných vodních stavů (a z nich odvozených průtoků) v konkrétních profilech na toku, bez vazby na průběh (nestacionaritu) té které povodňové události v zájmovém území.

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

Horní okrajové podmínky - byly zadány na vstupu do výpočetní sítě v ř. km 30,800 (model BerounkaN) a v ř.km 38,200 (model Beroun_soutok), byly použity příslušné N leté průtoky, resp. jejich dopočty (v případě soutoku).

Okrajové podmínky na přítocích – byly zadány do výpočetní sítě pro Litavku jako Q_N , resp. jako dopočet k příslušnému průtoku daného Q_N pod soutokem, a pro Loděnici jako rozdíl Q_N v profilu LGS Beroun a profilu pod Loděnicí.

Dolní okrajové podmínky – byly převzaty z navazujících úseků modelovaných ve 2D.

Počáteční podmínky – pro model BerounkaN byla do modelu vložena úroveň hladiny jako nakloněná plocha stanovená z předpokládané úrovně hladiny na horním konci modelu a dolní okrajovou podmínkou ve všech bodech výpočetní sítě. Pro model Beroun_soutok byly použito výsledků ze studie „Povodňový model Beroun“ které byly vkládány do výpočtu ve formě hotstartu.

5 Popis numerického modelu

5.1 Použité programové vybavení

Pro simulaci ustáleného nerovnoměrného proudění byl použit dvourozměrný matematický model proudění v otevřeném korytě s inundačním územím MIKE 21C, verze 2011.

Výstupem modelu MIKE 21C jsou primárně tyto charakteristiky proudění:

- hodnoty úrovní hladiny vody
- vektory rychlostí (tj. směr a velikost vektorů rychlostí, nebo též 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 (např. při ustáleném proudění je hladina v neprotékaném inundačním území výše než v korytě) i o rozdělení rychlostí v celé oblasti.

Charakteristiky proudění ovlivňují 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.

Podrobná specifikace modelu, detailní popis všech jeho vstupních souborů a jeho použití lze najít v manuálech programu - *M21C_User_Guide.pdf*, *M21C_GridGenerator.pdf*, *MIKE21C_Scientific_documentation.pdf*.

5.2 Vstupní data numerického modelu

Z dostupných podkladů (viz kap. 3.1 Topologická data) byl nejprve sestaven digitální model terénu v modelu ATLAS DMT. Vzhledem k rozsahu zájmového území byla pro tvorbu 2D matematického modelu celá oblast rozdělena do 2 hlavních výpočetních úseků:

Tabulka 4 – Velikosti výpočetních sítí - po úsecích

Úsek	výpočetní síť (bodů)	batymetrický model (bodů)
Černošice – Loděnice (BerounkaN)	2552 x 210	2551 x 209
Loděnice – Hýskov (Beroun_soutok)	1089 x 1186	1088 x 1185

Při přípravě modelu v daném úseku byla vytvořena křivočará (vnitřně ortogonální) síť, která vymezuje oblast modelu. Z dostupných podkladů (viz kap. 3.1 Topologická data) byl sestaven digitální model terénu zájmové oblasti v modelu Atlas DMT. Promítnutím této sítě na DMT byl získán geometrický (batymetrický) model terénu ve **výpočetní síti modelu MIKE 21C**. Hustota sítě (vzdálenost mezi výpočetními body) je proměnlivá - v rozsahu cca 5- 20 m v podélném směru (směru rovnoběžném s osou toku) a cca 1-10 m v příčném směru. Ve městech a v úsecích, kde se nacházejí objekty na toku (mosty, jezy) je výpočetní síť hustší, ve volných říčních tratích a v širokém záplavovém území je výpočetní síť řidší. Pro potřeby studie je míra schematizace zájmového území dostatečně jemná pro podrobný popis prostorových jevů proudění v oblasti. Píliře mostů a rovněž jezové píliře a přelivné hrany jezů jsou v geometrickém modelu reprezentovány zvýšeným terénem v místě jejich polohy. Domy

a bloky domů byly modelovány pomocí podstatně vyvýšeného terénu (nepřelitelné překážky); ploty a jiné překážky podobného charakteru byly simulovány pruhy zvýšené drsnosti.

Linie a stavby PPO byly do batymetrie zadány s kótami horních úrovní PPO konstrukcí (zemní valy, zdi a mobilní hrzení s osazujícími prvky) dle projektové dokumentace.

5.2.1 Morfologie vodního toku a záplavového území

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

Klapkový jez v Berouně je v modelu za všech simulovaných průtoků Q_N , podle svého manipulačního řádu, vyhrazen, naopak všechny MVE byly zahrazeny (zavřeny), obdobně je zahrazen i rybí přechod u MVE Beroun.. Mosty jsou v modelu zadány zvýšeným terénem v místě pilířů.

Tabulka 5 – Přehled objektů na toku

Název profilu / řeka	ř.km EU
<i>Berounka:</i>	
Jez Černošice - Mokropsy	11,809
Most železniční Mokropsy	11,750
Most železniční Vlastějovice	13,950
Most silniční Dobřichovice	15,885
Jez Dobřichovice	16,117
Most silniční Lety	18,118
Most silniční Řevnice	19,416
Jez Řevnice	19,429
Jez Zadní Třebáň	21,638
Lávka Zadní Třebáň	21,938
Jez Karlštejn	24,489
Most silniční Karlštejn	25,560
Lávka silniční Srbsko	29,460
Most železniční Beroun	34,360
Most dálniční Beroun	34,590
Most silniční Beroun	35,450
Jez klapkový Beroun	35,564
<i>Litavka:</i>	
Most dálniční Beroun	0,220
Most silniční Beroun	0,915
Most dálniční Beroun	1,135
Most silniční Beroun	1,255
Most silniční Beroun	1,610
Most silniční Beroun	2,675

5.2.2 Drsnosti hlavního koryta a inundačních území

Hydraulická drsnost a místní zvýšené odpory proudění jsou pro model MIKE 21C 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 6:

Tabulka 6 – použité hodnoty Manningova součinitele drsnosti

Popis povrchu	n
říční koryto	0,024 ÷ 0,048
hladké plochy, ulice, volná prostranství	0,030 ÷ 0,038
nízká, sekaná tráva	0,035 ÷ 0,055
vyšší, nesezaná tráva, pole	0,045 ÷ 0,070
řídce lesní porost	0,060 ÷ 0,090
hustý lesní porost	0,075 ÷ 0,160
keře	0,085 ÷ 0,180
technické stavby	0,070 ÷ 0,120

5.2.3 Hodnoty okrajových podmínek

Tabulka 7 - N-leté povodňové průtoky uvažované při hydraulickém řešení ($m^3 \cdot s^{-1}$)

Úsek název vodního toku / N - leté průtoky Q_N	ČHP	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	Poznámka
Berounka - nad Litavkou	1-11-03-064	582	943	1460	2080	-
Litavka - ústí	1-11-04-055	100	190	327	505	-
Berounka - LGS Beroun	1-11-04-056	615	1000	1560	2245	-
Berounka - pod Loděnicí	1-11-05-028	619	1010	1570	2255	

Dolní okrajové podmínky byly vždy převzaty z navazujícího úseku modelovaného ve 2D.

Tabulka 8 – dolní okrajové podmínky pro jednotlivé modely ($m \cdot n \cdot m$)

Úsek řeky (matematický model)	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	Poznámka
Černošice – Loděnice (BerounkaN)	199,24	199,75	200,41	201,05	-
Loděnice – Hýskov (Beroun_soutok)	215,35	216,65	218,05	219,45	-

5.2.4 Hodnoty počátečních podmínek

Počáteční podmínky – kóty hladin ve všech bodech výpočetní sítě – byly odvozovány z výsledků dříve provedených výpočtů 2D modelem a z povodňových značek zaměřených po délce toku.

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 popsána topologie území a koryta, chyby

v zaměření a zpracování geodetických dat, špatný odhad drsnostních charakteristik a hydraulických odporů, chyby/nejistoty v hydrologických datech).

5.2.6 Popis kalibrace modelu

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

V zájmové oblasti existuje několik ucelených souborů dat, které jsou vhodné ke kalibraci matematického modelu. Jedná se o nashromážděná data z povodně roku 2002, března a května 2006.

Pro povodeň 2002 byl znám hydrogram a kulminační průtok v měrném profilu LGS Beroun a dále soubor povodňových značek (předáno Povodím Vltavy s.p.) v celé délce zájmového úseku. Kalibrace byla provedena na konečný průtok 2178 m³/s. Na vstupu do modelu byl použit průtok 2000 m³/s, dále se tento průtok navýšil o 170 m³/s jako přítok z Litavky a 8 m³/s jako přítok z Loděnice.

Vlastní kalibrace modelu **BerounkaN** byla provedena pro povodeň z roku 2002. Pro model **Beroun_soutok** byla, z důvodu nového zaměření dna i vlastní inundace, provedena rekálibrace již sestaveného modelu použitého ve studii „Povodňový model Beroun“.

Kalibrační značky, mimo jediné, byly poskytnuty jen pro Berounku. Pouze značku v ř.km 34,550 řeky Berounky je možné považovat také za kalibrační značku pro Litavku v ř.km 0,850.

Tabulka 9 - Kalibrace modelu Beroun_soutok

Ř. km	Výška srovnávací hladiny - povodeň 8/2002	Výška srovnávací hladiny - studie (PM Beroun)	Výška vypočítané hladiny	Rozdíl kalibrace - 8/2002	Rozdíl kalibrace - studie
	(m n. m.)	(m n. m.)	(m n. m.)	(m)	(m)
32,810	221,110	221,047	221,039	-0,071	-0,008
34,000	221,520	221,683	221,701	0,181	0,018
34,550	221,690	221,907	221,934	0,244	0,027
34,690	221,950	222,042	222,051	0,101	0,009
34,840	222,150	221,977	221,965	-0,185	-0,012
35,130	222,470	222,170	222,347	-0,123	0,177
36,980	223,560	223,655	223,731	0,171	0,076
37,580	223,850	224,052	224,036	0,186	-0,016

Tabulka 10 - Kalibrace modelu BerounkaN

Ř. km	ID značky	Výška srovnávací hladiny - povodeň 8/2002	Výška vypočítané hladiny	Rozdíl kalibrace - 8/2002
		(m n. m.)	(m n. m.)	(m)
10,730	BER L 061	202,440	202,329	-0,111
11,5350	BER P 062	203,240	203,377	0,137
15,755	BER P 063	206,590	206,581	-0,009
17,915	BER P 064	208,840	208,980	0,140
19,235	BER P 065	210,170	210,032	-0,138
19,290	BER L 066	210,210	210,310	0,100
21,490	BER P 067	212,580	212,524	-0,056
21,740	BER P 068	213,030	212,921	-0,109
25,115	BER P 069	216,210	216,124	-0,086
29,000	BER P 070	218,280	218,399	0,119

6 Výstupy z modelu

Základní informací, kterou poskytují výsledky 2D matematického modelu, je **průběh hladin** a rozložení **vektorů rychlostí** (tj. směrů a velikostí vektorů rychlostí) v celé zájmové oblasti (tj. „v ploše“). Vektory svislicových rychlostí mohou být rozloženy na podélnou a příčnou složku (vzhledem k zakřivené ose výpočetní sítě, resp. jinému souřadnicovému systému). S užitím základních hydraulických vztahů mohou být vyjádřeny další veličiny: **hloubka** vody (rozdíl vypočtené úrovně hladiny a terénu, resp. nivelety dna) a **měrné průtoky** (násobky vektorů rychlostí a hloubek).

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

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 záplavové čáry a mapy hloubek a rychlostí v zájmové oblasti.

Formát záplavových čar *.shp – polygon, vektorový formát ESRI

Formát map hloubek a rychlostí *.tif – rastr, georeferencovaný tif velikost pixelu rastru 5x5 m

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

Tabulka 11 – Dotčené správní území obcí maximálním rozlivem

Kód ORP	Název ORP	Kód ICOB	Název obce
00286	Beroun	531171	Hlásná Třebaň
00286	Beroun	531316	Karlštejn
00286	Beroun	531456	Liteň
00286	Beroun	531758	Srbsko
00286	Beroun	531979	Zadní Třebaň
00286	Beroun	533793	Korno
00286	Beroun	531057	Beroun
00286	Beroun	531839	Tetín
02038	Černošice	539406	Lety
02038	Černošice	539139	Černošice
02038	Černošice	539198	Dobřichovice
02038	Černošice	539643	Řevnice
02038	Černošice	539856	Všenory
12702	Hlavní město Praha	554782	Praha

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 5x5 m.

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 známy ve všech výpočetních bodech. Výsledné zobrazení rychlostí je součástí mapy rizik, kdy informace o rychlosti spolu s hloubkou vody dávají názornou představu o charakteru nebezpečí při povodni v pozorovaném úseku.

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 5x5 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.

Dalším faktorem, s nímž model nepočítá, je množství plavenin, které postupují tokem při povodni, ať už se jedná například o ledové kry nebo antropogenní materiál či dřevní hmotu. Tyto plaveniny, pak zejména v prostoru objektů, mohou značně pozměnit průtočný profil (částečné nebo úplné ucpání), což má zásadní vliv na jeho průtočnou kapacitu a následně na průběh hladin nad objektem.

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.