

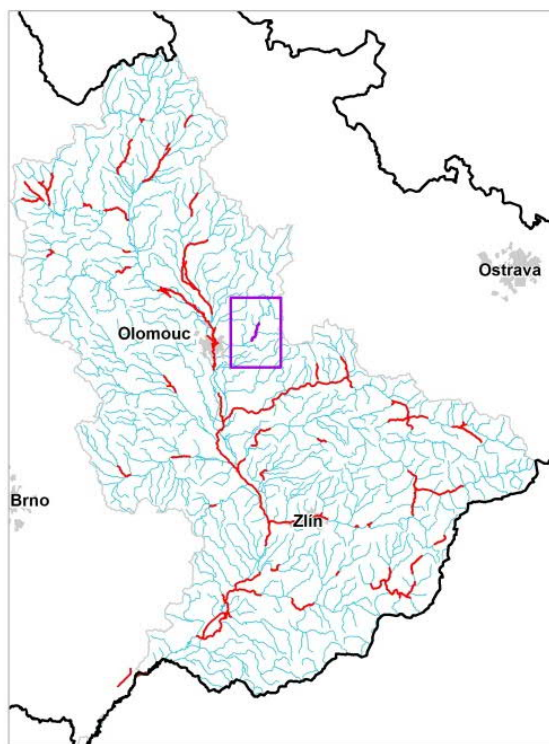


ANALÝZA OBLASTÍ S VÝZNAMNÝM POVODŇOVÝM RIZIKEM V ÚZEMNÍ PŮSOBNOSTI STÁTNÍHO PODNIKU POVODÍ MORAVY VČETNĚ NÁVRHŮ MOŽNÝCH PROTIPOVODŇOVÝCH OPATŘENÍ (PODKLAD K PLÁNU PRO ZVLÁDÁNÍ POVODŇOVÝCH RIZIK V POVODÍ DUNAJE)

DÍLČÍ POVODÍ MORAVY A PŘÍTOKŮ VÁHU

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

BYSTŘICE – 10100053_2 (MOV_22-01) - Ř. KM 9,946 – 15,263



ZÁŘÍ 2019





ANALÝZA OBLASTÍ S VÝZNAMNÝM POVODŇOVÝM RIZIKEM V ÚZEMNÍ PŮSOBNOSTI STÁTNÍHO PODNIKU POVODÍ MORAVY VČETNĚ NÁVRHŮ MOŽNÝCH PROTIPOVODŇOVÝCH OPATŘENÍ (PODKLAD K PLÁNU PRO ZVLÁDÁNÍ POVODŇOVÝCH RIZIK V POVODÍ DUNAJE)

DÍLČÍ POVODÍ MORAVY A PŘÍTOKŮ VÁHU

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

BYSTŘICE – 10100053_2 (MOV_22-01) - Ř. KM 9,946 – 15,263

Pořizovatel:



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

Zhotovitel:



AQUATIS, a.s.
Botanická 834/56
602 00 Brno

Zpracovatel posudku:



Výzkumný ústav vodohospodářský
T. G. Masaryka, v.v.i.
Mojmírovo náměstí 16
612 00 Brno

V BRNĚ, ZÁŘÍ 2019

Obsah:

1	Základní údaje	5
1.1	Seznam zkratk a symbolů	5
1.2	Cíle prací	5
1.3	Postup zpracování a metoda řešení	6
2	Popis zájmového území	6
2.1	Všeobecné údaje	7
2.2	Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)	8
3	Přehled podkladů	10
3.1	Soupis zpráv a dokumentů	10
3.2	Související předpisy	10
3.3	Topologická data	11
3.3.1	Vytvoření (aktualizace) digitálního modelu terénu	11
3.3.2	Mapové podklady	11
3.3.3	Geodetické podklady	11
3.4	Hydrologická data	11
3.5	Místní šetření	12
3.6	Stávající hydrodynamický model a kalibrační podklady	12
3.7	Vyhodnocení a příprava podkladů	12
4	Popis koncepčního modelu	13
4.1	Schematizace řešeného problému	13
4.2	Posouzení vlivu nestacionarity proudění	15
4.3	Způsob zadávání OP a PP	16
5	Popis numerického modelu	17
5.1	Použité programové vybavení	17
5.2	Vstupní data numerického modelu	17
5.2.1	Morfologie vodního toku a záplavového území	17
5.2.2	Drsnosti hlavního koryta a inundačních území	18
5.2.3	Hodnoty okrajových podmínek	19
5.2.4	Hodnoty počátečních podmínek	19
5.2.5	Diskuze k nejistotám a úplnosti vstupních dat	19
5.3	Popis kalibrace modelu	20
6	Výsledky	21
6.1	Výstupy z hydrodynamických modelů	21
6.2	Mapy povodňového nebezpečí	21
6.2.1	Rozlivy pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	21
6.2.2	Hloubky pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	21
6.2.3	Rychlosti pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	22

6.3	Zhodnocení nejistot ve výsledcích výpočtů	22
-----	---	----

1 Základní údaje

1.1 Seznam zkratk a symbolů

V Tab. č. 1 je uveden seznam všech zkratk a symbolů používaných při zpracování hydrodynamických modelů a map povodňového nebezpečí.

Tab. č. 1 Seznam zkratk a symbolů

Zkratka	Vysvětlení
1D	jednorozměrný
1D+	Jednorozměrný síťový
2D	dvourozměrný
3D	trojrozměrný
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČHP	číslo hydrologického pořadí
ČSN	česká technická norma
ČÚZK	Český úřad zeměměřičský a katastrální
DMR 5G	digitální model reliéfu páté generace
DMT	digitální model terénu
DOP	dolní okrajová podmínka
HOP	horní okrajová podmínka
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center - River Analysis System
LB	Levý břeh
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
OP	okrajová podmínka
PB	Pravý břeh
PP	počáteční podmínka
PVPR	předběžné vymezení povodňových rizik a vymezení oblastí s potenciálně významným povodňovým rizikem
RZM 10	rastrová základní mapa 1 : 10 000
TPE	Technicko provozní evidence
TNV	odvětvová technická norma
ZABAGED	základní báze geografických dat České republiky
ZÚ	záplavová území

1.2 Cíle prací

Cílem prací je vyjádření povodňového nebezpečí pro úsek na vodním toku Bystřice – 10100053_2 (MOV_22-01) - Ř. KM 9,946 – 15,263 na základě stanovení následujících charakteristik průběhu povodně:

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

Uvedené charakteristiky povodně budou stanoveny na základě výstupů z hydrodynamických modelů a zpracovány do podoby map povodňového nebezpečí.

Kroky nezbytné k dosažení cíle:

- zajištění 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).

Vymezený úsek Bystřice je nově vymezenou oblastí s významným povodňovým rizikem pro zpracování 2. plánovacího cyklu.

1.3 Postup zpracování a metoda řešení

Postup zpracování a metoda řešení byly:

- Získání, soustředění a studium dostupných podkladů a jejich doplnění místním šetřením.
- Příprava podkladů pro případné geodetické zaměření a jeho zadání.
- Aktualizace nebo sestavení hydrodynamického modelu.
- Hydraulické výpočty proudění v toku včetně objektů a inundačního území. Výpočty se provádí pro Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{500} .
- Výsledky výpočtů jsou následně prezentovány v podobě map povodňového nebezpečí.

Výchozím podkladem pro tvorbu map povodňového nebezpečí a následnou rizikovou analýzu jsou hydraulické výpočty pro účely vymezení záplavového území zpracované na Povodí Moravy, s.p. [6].

2 Popis zájmového území

Předmětem řešeného území je úsek na toku Bystřice v km 9,946 – 15,263* (Obr. č. 1).

Tab. č. 2 Základní informace o řešeném úseku

ID úseku	Pracovní číslo úseku	Tok	Říční km, začátek - konec	ČHP
10100053_2	MOV_22-01	Bystřice	9,946 – 15,263	4-10-03-104 4-10-03-106 4-10-03-108

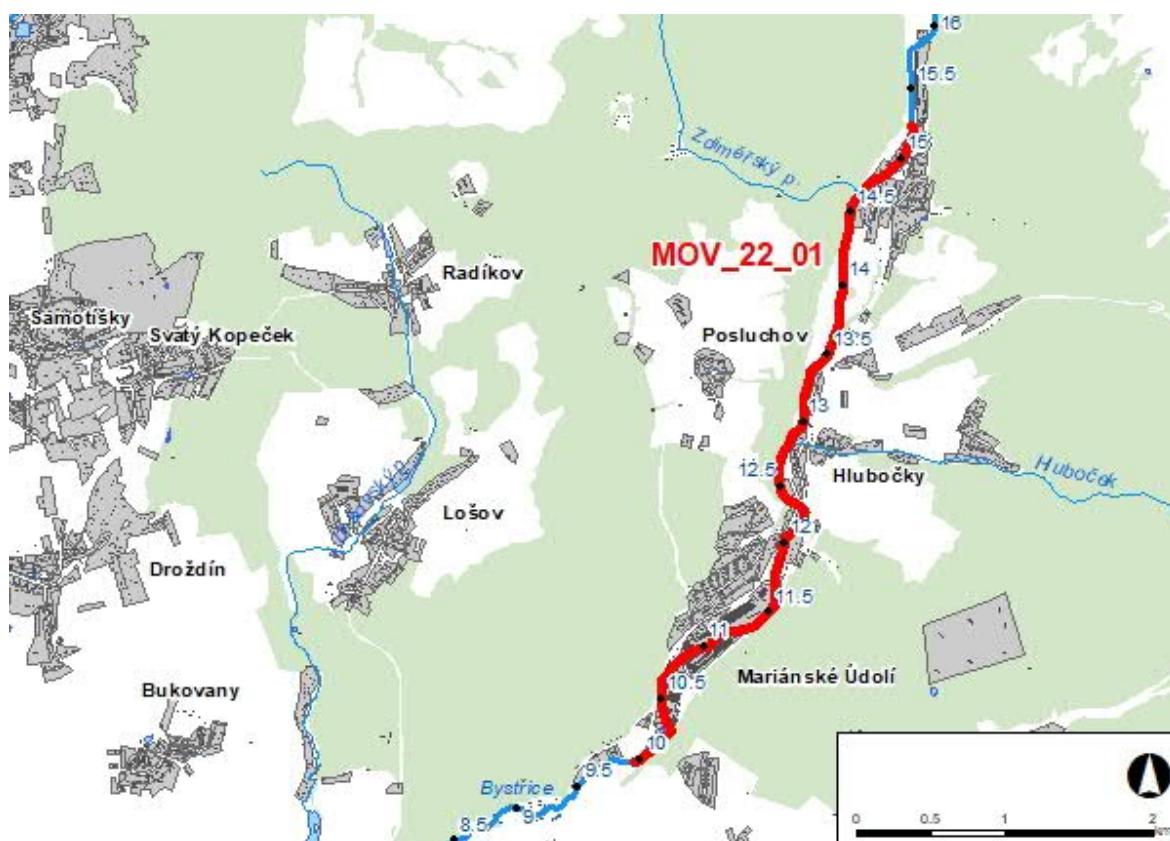
*) Komentář k používané kilometrži toku

V celém projektu je používána kilometráž, která vychází z již zpracovaných studií Povodí Moravy, s.p. [6]. Kilometráž Bystřice, používaná při zpracování map povodňového nebezpečí a rizik, vychází z geodetického zaměření koryta, které provedlo Povodí Moravy, s.p. útvar geodézie v roce 2014.

Objekty mají tzv. administrativní kilometráž dle Technicko-provozní evidence toku (TPE) [9], tato slouží jako neměnný identifikátor jednotlivých objektů. Staničení objektů dle výpočtového modelu a dle TPE je uvedeno v kap. 5.2.1.

Na Bystřici je u tepláren v Hlubočkách jez, dále se na toku nachází dva stupně.

V zájmovém úseku Bystřice jsou významnými přítoky Zdiměřský potok, Nepřivazský potok, Trnava, Hluboček, Posluhovský potok a Zlatý důl.



Obr. č. 1 Vymezení řešené oblasti s významným povodňovým rizikem

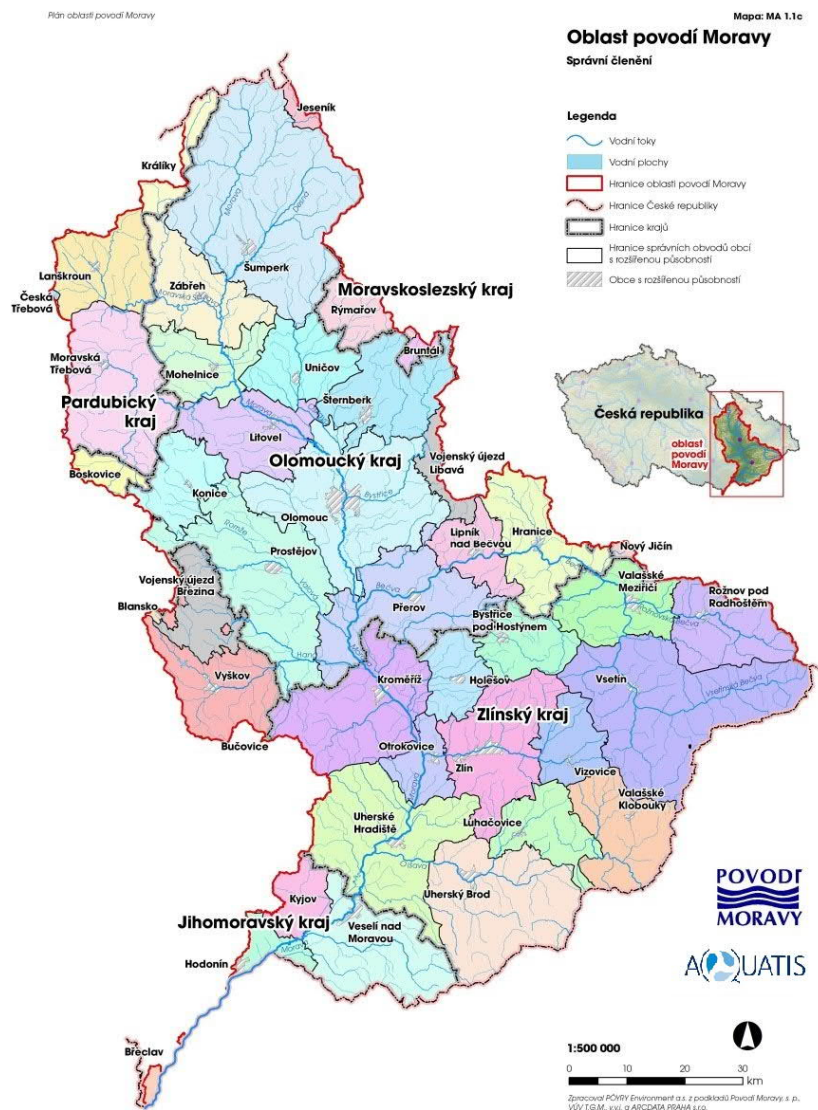
2.1 Všeobecné údaje

Bystřice je levostranný přítok Moravy, do které se vlévá v Olomouci na jejím km 222,280 v nadmořské výšce 209,53 m. Pramení v Nížkém Jeseníku asi 10 km severně od Moravského Berouna v nadmořské výšce 658,49 m. Největším přítokem je Důlní potok (12,44 km). V povodí se nachází 95 vodních ploch s celkovou rozlohou 17,78 ha, přičemž pouze dvě z nich mají plochu větší než 1 ha. Délka toku Bystřice je 56,14 km. Plocha povodí 266,01 km².

Úsek 10100053_2 (MOV_22-01), Bystřice

Řešený úsek začíná pod železničním mostem v obci Hlubočky (km 15,263 – TPE 15,326) a končí pod silničním mostem v km 9,946 (TPE 9,981). Celý řešený úsek leží na katastrálním území obce Hlubočky. Profil koryta Bystřice je tvořen jednoduchým lichoběžníkem bez opevnění. Pouze v profilech mostů je koryto opevněno kamennou dlažbou do betonu. V řešeném úseku se nachází 12 mostů, čtyři lávky, dva stupně a jez.

Úsek Bystřice v zájmovém území je ve správě Povodí Moravy, s.p.



Obr. č. 2 Přehledná mapa povodí Moravy a přítoků Váhu dle [10]

2.2 Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)

V zájmovém území proběhly v letech 1789, 1914, 1997, 2005, 2006 a 2010 velké povodňové události, které negativně zapůsobily na vodohospodářskou infrastrukturu a okolí vodních toků. Povodňové stavy byly zaznamenány na limnigrafické stanici Velká Bystřice [19] ve stejnojmenné obci. Stanice se nachází v km 5,8.

Povodeň v roce 1997 byla způsobena dvěma epizodami vydatných dlouhotrvajících srážek. Ke kulminaci došlo 8.7.1997, kdy na limnigrafické stanici [19] byl zaznamenán vodní stav 267 cm. Následně 21.7.1997 došlo k druhé kulminaci, kdy byl zaznamenán vodní stav 243 cm, což je průtok cca $52 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. K druhé nejvýznamnější povodňové situaci došlo v roce 2006, kdy bylo na limnigrafické stanici Velká Bystřice [19] naměřeno 260 cm.



Obr. č. 3 Povodeň 16.2. 2005 Hrubá Voda u domova
důchodců [20]

3 Přehled podkladů

3.1 Soupis zpráv a dokumentů

- [1] Digitální model reliéfu zájmové oblasti. DMR 5G. ČÚZK, Praha, 2018.
- [2] Rastrová základní mapa 1:10 000 (RZM 10. ČÚZK, mapové listy č.: 11140532, 11140534, 11140536, 11140538, 11160532, 11160534, 11160536, 1116538, 11180532, 11180534, 11180536, 11180538, 11200532, 11200534, 11200536, 11200538, 11220532, 11220534, 11220536, 11220538, Praha, 2018.
- [3] Ortofotomapy zájmového území. ČÚZK, Praha, 2018.
- [4] Základní báze geografických dat ZABAGED – polohopis, ČÚZK, Praha, 2017.
- [5] Základní báze geografických dat ZABAGED – výškopis, ČÚZK, Praha, 2017.
- [6] Studie záplavového území Bystřice km 0,000 – 51,904, Povodí Moravy s.p., Brno, 2014.
- [7] Hydrologická data – N-leté průtoky, ČHMÚ, 11/2018.
- [8] Místní šetření v zájmové lokalitě v průběhu února 2019. AQUATIS a.s., Brno.
- [9] Technicko provozní evidence toků – TPE Bystřice.
- [10] Plán dílčího povodí Moravy a přítoků Váhu, AQUATIS a.s., 2016.
- [11] Hydrologické poměry Československé socialistické republiky, díl III, Hydrometeorologický ústav, 1970.
- [12] www.pmo.cz, Stavy a průtoky na vodních tocích, leden 2019.
- [13] Souhrnná zpráva o povodňové situaci v povodí Moravy a Dyje v červenci, Povodí Moravy s.p., 1997.
- [14] Tvorba map povodňového nebezpečí a povodňových rizik v oblasti povodí Moravy a v oblasti povodí Dyje, Pöyry Environment a.s., Brno, 07/2013.
- [15] HEC-RAS 5.0 River Analysis System – User's Manual, US Army Corps of Engineers, 02/2016.
- [16] Evidenční list hlásného profilu Hlubočky H1 (Bystřice), Obec Hlubočky, Aktualizace únor 2019.
- [17] Evidenční list hlásného profilu Hlubočky H2 (Bystřice), Obec Hlubočky, Aktualizace únor 2019.
- [18] Evidenční list hlásného profilu Hlubočky H3 (Bystřice), Obec Hlubočky, Aktualizace únor 2019.
- [19] Evidenční list hlásného profilu č. 316, limnigrafická stanice Velká Bystřice, Aktualizace březen 2019.
- [20] www.edpp.cz/hlb_prirozena-povoden
- [21] Numerický 1D+ model Bystřice v programu MIKE 11, Povodí Moravy, s.p., 2014.
- [22] MIKE 11, A Modelling System for Rivers and Channels, Reference Manual DHI, 2009.

3.2 Související předpisy

- [I] ČSN 75 0110 Vodní hospodářství – Terminologie hydrologie a hydroekologie.
- [II] ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod.
- [III] TNV 75 2102 Úpravy potoků.
- [IV] TNV 75 2103 Úpravy řek.
- [V] ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže.
- [VI] TNV 75 2415 Suché nádrže.
- [VII] TNV 75 2910 Manipulační řády vodních děl na vodních tocích.
- [VIII] TNV 75 2931 Povodňové plány.
- [IX] Zákon č. 240/2000 Sb. o krizovém řízení a změně některých zákonů (krizový zákon).
- [X] Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny.
- [XI] Vyhláška MŽP 79/2018 Sb., o způsobu a rozsahu zpracovávání návrhu a stanovování záplavových území.
- [XII] Vyhláška č. 178/2012 Sb., kterou se stanoví seznam významných vodních toků a způsob provádění činností souvisejících se správou vodních toků.
- [XIII] Nařízení vlády č. 462/2000 Sb., k provedení §27 odst. 8 a §28 odst. 5 zákona č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon).
- [XIV] Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik, VÚV T.G.M. v.v.i., 03/2012.
- [XV] Standardizační minimum pro zpracování map povodňového nebezpečí a povodňových rizik, VRV a.s., 04/2011.

- [XVI] Předběžné vyhodnocení povodňových rizik v České republice 2011. Implementace směrnice 2007/60/ES o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik (verze 5.0). Ministerstvo životního prostředí ČR (poslední aktualizace dne 16. 3. 2012). Praha. 12/2011.
- [XVII] Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik, VÚV T.G.M. v.v.i., aktualizace 18. 8. 2018.
- [XVIII] Standardizační minimum pro zpracování map povodňového nebezpečí a povodňových rizik, VRV a.s., 07/2019
- [XIX] Standardizovaná struktura uložení dat, CDS2, 09/2019.

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

3.3 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.

3.3.1 Vytvoření (aktualizace) digitálního modelu terénu

Digitální model terénu (DMT) byl vytvořen s použitím programů ESRI Arc GIS Version 10.5 (nastavba 3D Analyst), AutoCAD 2012 a AutoCAD CIVIL 3D. Model pokrývá celé zájmové území na předpokládaný rozliv Q_{500} s dostatečným přesahem. Výsledný DMT je zpracován z DMR 5G [1], který je doplněn o geodetické zaměření koryta [6]. DMT má tyto vlastnosti: formát ESRI GRID, velikost pixelu 1 m, přesnost výškových údajů do 0,5 m, polohopisný systém S-JTSK, výškopisný systém Balt po vyrovnání.

3.3.2 Mapové podklady

Mapové podklady byly:

- Rastrová základní mapa 1 : 10 000 (RZM 10), z vektorového topografického modelu ZABAGED, ČÚZK, 2018, Měřítko 1 : 10 000, velikost pixelu 0,63 m.
- Ortofotomapy, formát JPG, velikost pixelu 0,25 m, ČÚZK, 2018.
- ZABAGED, komplexní digitální geografický model území ČR, formát SHP, ČÚZK, 2017.

3.3.3 Geodetické podklady

Geodetické podklady tvoří zaměřené příčné a podélné profily vodního toku Bystřice, které byly převzaty z dokumentace [6]. Zaměření je v polohopisném systému S-JTSK, výškopisném systému Balt po vyrovnání. Výkresová dokumentace je k dispozici u zhotovitele.

3.4 Hydrologická data

V Tab. č. 3 jsou uvedena hydrologická data. Data byla zakoupena u ČHMÚ koncem roku 2018. Oproti hodnotám z roku 2012 nedošlo ke změnám hodnot jednotlivých průtoků. Hodnota pro Q_{500} byla nově pořízena.

Tab. č. 3 Aktuální N-leté průtoky (Q_N) v $m^3 \cdot s^{-1}$

Hydrologický profil	Datum pořízení	Říční kilometr	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	Třída přesnosti
Bystřice – pod Hlubočkem	30.11.2018	12,8	33,8	50,7	72,7	100	II.

Tab. č. 4 Starší hodnoty N-letých průtoků (Q_N) v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Hydrologický profil	Datum pořízení	Říční kilometr	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	Třída přesnosti
Bystřice – pod Hlubočkem	2012	12,8	33,8	50,7	72,7	-	-

3.5 Místní šetření

Fotodokumentace byla pořízena v rámci terénního průzkumu, který provedl AQUATIS a.s. v únoru 2019. Byly pořizovány fotografie vodního toku, technických objektů na toku, inundačního území a citlivých objektů v možném záplavovém území Q_{500} . Při terénním průzkumu byla prověřována aktuálnost geodetického zaměření, ověřovány hydraulické parametry ovlivňující proudění vody v korytě a inundaci a zjišťován rozsah historických povodní u místních obyvatel. V rámci terénní pochůzky nebyly zjištěny zásadní změny tvaru koryta, inundačního území a technických objektů na toku oproti geodetickému zaměření a DMT použitých pro tvorbu modelu. Pouze v km 12,063 byl postaven nový silniční most na ul. V Podlesí v obci Hlubočky.

3.6 Stávající hydrodynamický model a kalibrační podklady

Numerický jednorozměrný síťový (1D+) model Bystřice v programu MIKE 11 byl vytvořen na Povodí Moravy, s.p. v roce 2014 [21]. Model sloužil pro zpracování Studie záplavového území Bystřice v km 0,000 – 51,904 [6]. Pro tvorbu modelu bylo využito geodetické zaměření [6], DMT a hydrologická data. V rámci modelu byly řešeny povodňové scénáře pro Q_1 - Q_{100} . Výpočet byl proveden pro neustálené nerovnoměrné proudění. Konkrétní kalibrační data pro řešený úsek nejsou k dispozici.

3.7 Vyhodnocení a příprava podkladů

DMT vytvořený z DMR 5G [1], zaměření koryta toku pokrývá celé zájmové území v ploše předpokládaného rozlivu při Q_{500} s přesahem.

Mapové podklady (RZM 10 [2], ortofotomapy [3] a ZABAGED [4], [5]) pokrývají celé zájmové území.

Pozemní geodetické zaměření [6] pokrývá celé zájmové území řešeného úseku toku. Příčné profily korytem jsou vedeny kolmo na směr proudění, s hustotou dle charakteru koryta. Zaměřeny jsou veškeré objekty na toku – stupně, jezy, mosty, lávky. V inundaci jsou dále zaměřeny liniové stavby podélné i příčné. Geodetické práce zpracovali geodeti státního podniku Povodí Moravy v roce 2014.

Hydrologická data použitá ve stávajícím výpočtu byla získána u ČHMÚ [7].

Terénní průzkum byl proveden v únoru 2019. Byla prověřena aktuálnost geodetického zaměření.

Ostatní podklady (kalibrační data, TPE, studie a koncepční dokumenty) byly shromážděny a využity při hydraulických výpočtech.

Konkrétní kalibrační data pro řešený úsek nejsou k dispozici.

4 Popis koncepčního modelu

Pro výpočet byl použit 2D model neustáleného nerovnoměrného proudění. Okrajové podmínky řešení a celková doba simulace však byly zvoleny takovým způsobem, aby prezentované výsledky popisovaly výskyt ustáleného proudění na úrovni požadovaných N-letých průtoků v celé zájmové oblasti. Model vymezeného úseku byl sestaven společností AQUATIS a.s. ve spolupráci s Povodí Moravy, s.p. v roce 2019.

Na menších tocích je tradičně využíván spíše 1D přístup, což je odůvodněno tím, že obvykle nedochází k rozsáhlým inundacím a převažuje proudění paralelně s osou toku. Jednorozměrné modely zpravidla dokáží přesněji vystihnout hydraulické podmínky v blízkosti mostních objektů a jejich využití bylo historicky podmíněno nižším rozlišením dostupných digitálních modelů terénu, popř. softwarovými nároky a stabilitou výpočtu. V posledních letech se stále více uplatňuje hybridní přístup, kdy se proudění v korytě modeluje pomocí 1D schematizace a inundace skrze 2D výpočetní síť, přičemž je zajištěna výpočetní provázanost obou typů segmentů.

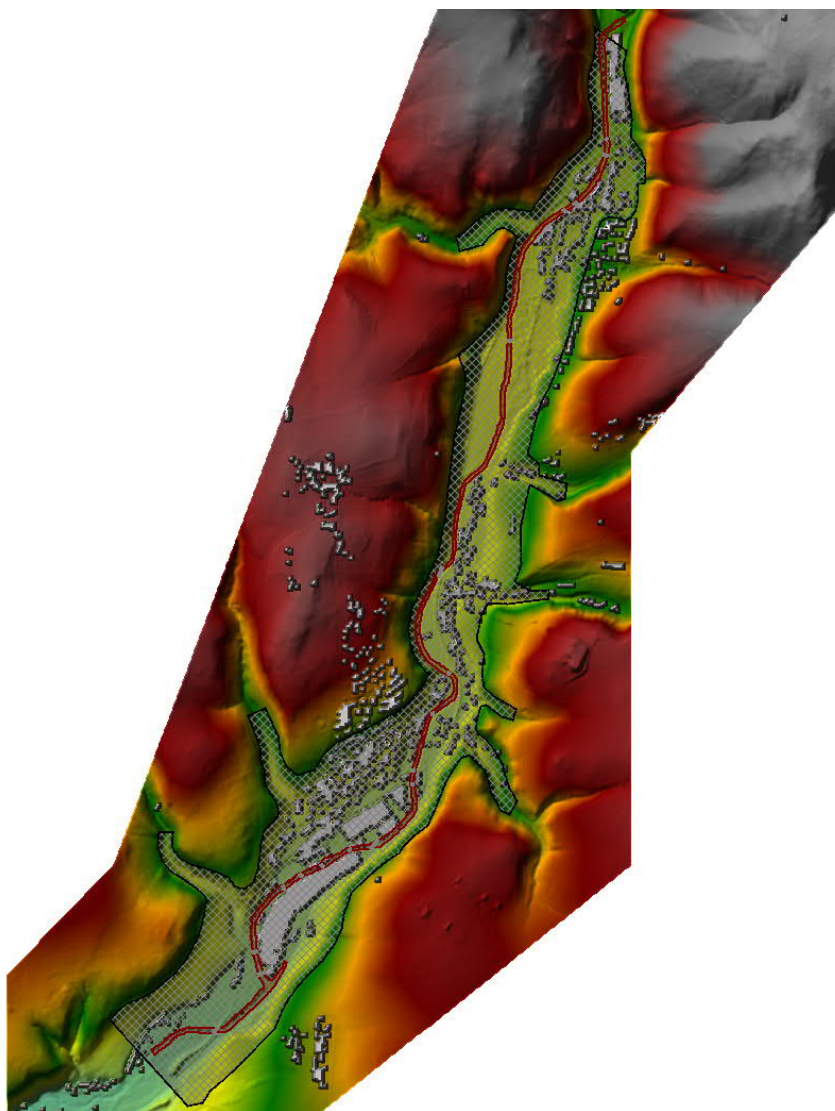
V rámci zpracování jsme zvolili samotné 2D řešení. Výhodou 2D modelu v programovém prostředí HEC-RAS, oproti jednodimenzionálnímu řešení, je přesnější popis proudění v inundaci, snadná vizuální kontrola výsledků a možnost přímého vygenerování výstupů pro navazující zpracování map rizik. Kombinací digitálního modelu reliéfu páté generace a podrobného digitálního modelu koryta je možné vytvořit velmi detailní výpočetní síť. V případě složitější topologie dna a břehů toku umožňuje 2D schematizace přesnější popis rozložení rychlostí v korytě a nabízí individuální volbu drsnostních součinitelů pro každou výpočetní buňku.

Matematickým modelem byl popsán průtok vlastním korytem řeky Bystřice, související inundace a veškeré objekty včetně realizovaných protipovodňových opatření.

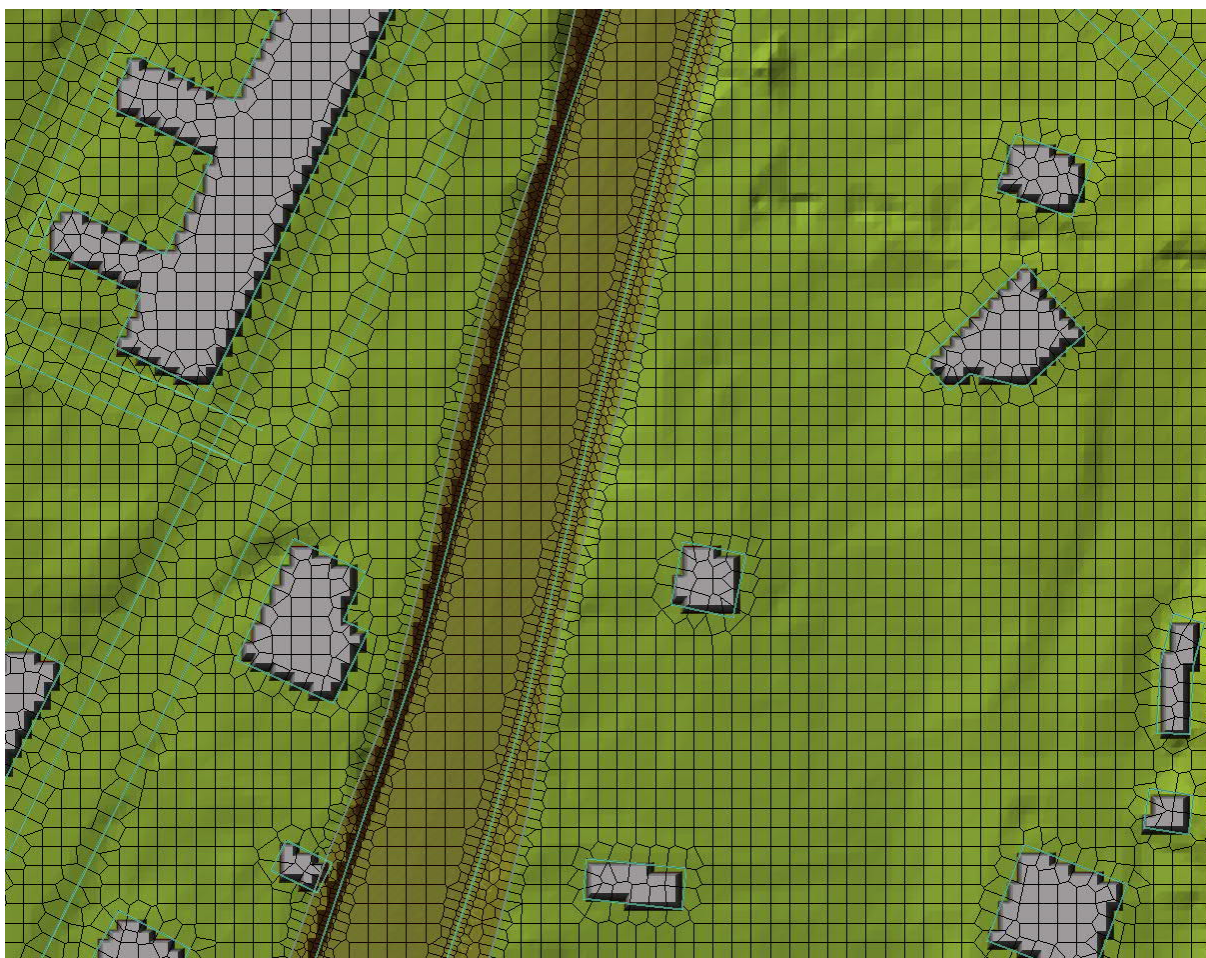
4.1 Schematizace řešeného problému

V rámci matematického řešení byla provedena schematizace pomocí nepravidelné mnohoúhelníkové výpočetní sítě (Obr. č. 4). Základem je ortogonální síť s velikostí prvku 2,0 x 2,0 m, která je pomocí povinných hran přizpůsobena objektům a liniovým prvkům tak, aby byl co nejpřesněji vystižen skutečný tvar terénu. Použité soubory povinných hran zahrnují budovy a bloky budov, liniové stavby, břehové hrany a paty svahů koryta. V prostoru koryta vodního toku, případně některých liniových prvků, je síť z důvodu dostatečné diskretizace zahuštěna až na velikost prvku 0,5 x 0,5 m (Obr. č. 5).

Celá výpočetní síť měla 741 171 buněk.



Obr. č. 4 Schéma řešeného modelu pro úsek MOV_22



Obr. č. 5 Detail výpočetní sítě modelu pro úsek MOV_22

4.2 Posouzení vlivu nestacionarity proudění

Výsledky předkládaných hydraulických výpočtů odráží teoretický stav, při kterém by došlo k ustálenému proudění na úrovni N-leté povodně v celém zájmovém úseku říční sítě i přilehlé inundaci. Z tímto účelem bylo zapotřebí simulovat časový úsek dostatečně přesahující postupovou dobu návrhové povodně vlastním korytem mezi nejsvrchnějším a závěrovým příčným profilem. Zvolený přístup má za následek vychýlení výsledků (rozsah rozlivu, hodnoty hloubek) mírně na stranu bezpečnosti, především při modelovém průchodu povodňových vod vyšších N-letostí (Q_{100} a Q_{500}). Důvodem zmíněného nadhodnocení je skutečnost, že reálné povodně se vyznačují neustáleným prouděním a mají nižší objemovou složku (kulminační průtok odpovídající vyšetřované N-letosti se vyskytuje omezenou dobu a poté dochází poklesové fázi povodně). Námi použité řešení naopak předpokládá, že nejhorší fáze povodně nastane v celém vyšetřovaném úseku ve stejný okamžik, což je pochopitelně zjednodušující úvaha.

Pro důsledné uplatnění řešení v podmínkách neustáleného proudění by bylo zapotřebí definovat ke každému N-letému průtoku návrhový hydrogram s vhodně zvolenou podmíněnou pravděpodobností překročení objemu. Lze předpokládat, že podrobný hydrodynamický výpočet by vedl k různým hodnotám N-letých kulminací v dílčích profilech vyšetřovaného úseku vodního toku. Detailní způsob řešení průchodu N-leté povodně v režimu neustáleného proudění kladé velké nároky na množství i kvalitu vstupních hydrologických dat a přináší řadu otázek, které by bylo zapotřebí metodicky vyjasnit.

4.3 Způsob zadávání OP a PP

Horní okrajovou podmínkou (HOP) jsou hodnoty kulminace N-letých povodňových průtoků Q_5 , Q_{20} a Q_{100} , a Q_{500} ve vodním toku Bystřice dodaných ČHMÚ [8]. HOP je zadána v km 15,764.

Dolní okrajovou podmínkou (DOP) je úroveň hladiny na dolním okraji modelu ve vzdálenosti 400 m pod řešenou oblastí. Hodnota dolní okrajové podmínky je určena na základě sklonu čáry energie při řešeném průtoku. Sklon čáry energie je stanoven z průměrného sklonu terénu v podélném směru proudění na konci počítaného úseku.

Výpočet je zahájen na „suchém“ modelu. Na začátku je na HOP zadán průtok menší než je kapacita koryta vodního toku, v tomto konkrétním případě je zadána hodnota $10,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Průtok na HOP je plynule zvyšován po dobu 0,5 h výpočtu až na hodnotu Q_5 . Během zvyšování průtoku tak výpočet probíhá v režimu neustáleného proudění. Na dolním konci modelu je sledována hodnota průtoku v kontrolním profilu. Celková doba výpočtu je dle tohoto pozorování nastavena tak, aby došlo k ustálení na celém modelovaném úseku. Výpočetní software umožňuje vložení řady kontrolních řezů jdoucích napříč korytem i inundací. Pro tyto řezy je možné vykreslit hydrogramy a tím ověřit dodržení podmínek stacionárního proudění během požadovaného časového úseku.

Při výpočtu Q_{20} je počáteční podmínkou výstup výpočtu Q_5 . Hodnota HOP je nastavena jako plynulý nárůst z Q_5 na Q_{20} a tato hodnota je pak udržována až do ustálení průtoku v celém modelu obdobně jako v předchozím postupu.

Stejným způsobem jsou nastaveny OP resp. PP pro průtoky Q_{100} a Q_{500} .

Přítoky nebyly řešeny. Veškeré průtoky byly uvažovány pouze v hlavním korytě Bystřice.

5 Popis numerického modelu

5.1 Použité programové vybavení

Výpočet hladin je proveden výpočtem neustáleného nerovnoměrného proudění pomocí programu HEC-RAS 5.0.6 (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System), vyvinutým US Army Corps of Engineers pro výpočet jednorozměrného a dvourozměrného proudění. HEC-RAS umožňuje komplexní modelové řešení pro simulaci proudění v otevřených korytech a inundačních územích. Výpočtové rovnice matematického modelu jsou uvedeny v manuálu [18], který je k dispozici u zhotovitele. Pro řešení problému byla zvolena metoda difuzní vlny (resp. její aproximace). Numerická schematizace se opírá o kombinaci metody konečných diferencí a konečných objemů.

Výsledky dosažené metodou difuzní vlny byly na vybraných zájmových úsecích porovnány s metodou využívající úplných Saint Venantových rovnic (zahrnující mimo jiné vliv Coriolisovy síly). Na převážné většině území výpočetní domény dávaly obě zmiňované metody srovnatelné výsledky, přičemž metoda difuzní vlny vykazovala vyšší míru stability a kratší dobu výpočtu. V souladu s předpoklady se významnější rozdíly ve výsledcích obou metod objevily v místech s výskytem silně turbulentního proudění. Vzhledem k ostatním nejistotám a přijatým zjednodušením se použití metody difuzní vlny jeví jako praktická a adekvátní technika pro řešení úlohu.

Matematickým modelem je popsán průtok vlastním korytem Bystřice včetně souvisejících inundací a veškerých objektů na toku.

5.2 Vstupní data numerického modelu

Vstupními daty numerického modelu jsou data z geodetického pozemního měření [6], v podobě příčných řezů, z nichž je vygenerován model koryta toku Bystřice. Model povrchu inundačního území je vytvořen na základě digitálního modelu reliéfu (DMR 5G) [1]. Budovy a bloky budov jsou ve výpočetní síti uvažovány jako neprůtočné plochy. Digitální povrch terénu použitý ve výpočtu je vytvořen propojením zaměření koryta, digitálního modelu reliéfu a neprůtočných objektů (budov). Horní okrajovou podmínkou jsou hodnoty kulminace N-letých povodňových průtoků Q_5 , Q_{20} a Q_{100} , a Q_{500} v Bystřici dodaných ČHMÚ [8]. Dolní okrajovou podmínkou (DOP) je průměrný podélný sklon dna koryta v okolí DOP. Pro stanovení stupně drsnosti byly používány ortofotomapy [3] a fotodokumentace [19] pořízená při terénním průzkumu, který proběhl v rámci projektu Tvorba map povodňového nebezpečí a povodňových rizik v oblasti povodí Moravy a v oblasti povodí Dyje, 2013 [17].

Při výpočtu se uvažovalo s konstantní hodnotou časového kroku 0,5 s. Maximální počet iterací byl ponechán na hodnotě 20. Přípustná odchylka pro vypočtené výšky hladiny a objemy (přepočtené na výšky hladiny) byla uvažována na úrovni 3 mm.

5.2.1 Morfologie vodního toku a záplavového území

Do výpočtového matematického modelu jsou zahrnuty veškeré objekty na toku (viz Tab. č. 5) včetně realizovaných protipovodňových opatření [7]. Manipulace na objektech je uvažována dle manipulačních řádů. Ve většině případů je uvažováno při povodňových průtocích s vyhrazeným objektem při jednoletých vodách.

Objekty jsou řešeny různou metodikou. Jednotlivé objekty jsou řešeny vždy individuálně v závislosti na jejich konstrukčních parametrech a ovlivnění průtokových poměrů v korytě. Mosty byly převážně simulovány zvýšeným terénem v místě polohy jejich pilířů. Jako prvek vystihující jejich zvýšený hydraulický odpor při zdvižené hladině byly použity drsnosti. Jejich hodnota byla stanovena individuálně podle materiálu, tvaru, klenutí a výšky mostních otvorů jednotlivých mostů. Další způsob zadávání mostů je pomocí příkazu Culvert v programu HEC-RAS, který lze využít v případě pravidelných mostních otvorů (kruh, elipsa, obdélník). Lávky menších rozměrů (tloušťka mostovky do cca 0,2 m) nebyly do modelu zakomponovány z hlediska jejich bezvýznamnosti.

Tab. č. 5 Objekty vstupující do modelu, úsek MOV_22-01, Bystřice, km 9,946 – 15,263

Km	Popis objektu	Km dle TPE (identifikátor objektu)	Lokalita
15,263	Železniční most	15,326	Hlubočky

Km	Popis objektu	Km dle TPE (identifikátor objektu)	Lokalita
15,176	Silniční most	15,246	Hlubočky
14,901	Stupeň	-	Hlubočky
14,894	Jez – U Teplárny	15,000	Hlubočky
14,834	Betonová lávka	14,884	Hlubočky
14,080	Stupeň	14,080	Hlubočky
12,892	Železniční most	12,868	Hlubočky
12,312	Silniční most s lávkou	12,292	Hlubočky
12,063	Lávka pro pěší	12,044	Hlubočky
11,773	Jez Moravia	11,757	Hlubočky
11,708	Most	-	Hlubočky
11,322	Železniční most	11,321	Hlubočky
11,202	Most	-	Hlubočky
11,049	Most	-	Hlubočky
10,931	Most	10,926	Hlubočky
10,836	Silniční most s lávkou	10,832	Hlubočky
10,466	Lávka pro pěší	-	Hlubočky
10,354	Potrubní lávka	10,354	Hlubočky
9,946	Silniční most	9,981	Hlubočky

5.2.2 Drsnosti hlavního koryta a inundačních území

Drsnosti jednotlivých úseků Bystřice byly zadány na základě pochůzek v terénu a při nich pořízených fotodokumentací [8].

Pro zadávání drsnosti je uvažováno letní období se vzrostlou vegetací. Objekty typu pozemní stavby (rodinné domy, objekty občanské vybavenosti) jsou do terénu začleněny jako neprůtočné plochy vytvořené lokálním zvýšením terénu na úroveň 1000 m n. m. Orientační hodnoty drsností používaných ve výpočtu jsou uvedeny v Tab. č. 6.

Tab. č. 6 Orientační hodnoty součinitelů drsnosti dle Manninga použité při výpočtu

Povrch	Orientační hodnoty součinitele drsnosti dle Manninga
vodní plocha	0,04
areál účelové zástavby	0,05
areál žel. stanice	0,05
bažina, močál	0,018
hřbitov	0,06
kolejiště	0,038
kůlna, skleník	0,25
lesní půda se stromy	0,085
lesní půda s křovinatým porostem	0,08
okrasná zahrada, park	0,055

orná půda	0,04
ostatní plocha v sídlech	0,025
ovocný sad, zahrada	0,05
parkoviště	0,016
rozvalina, zřícenina	0,25
skalní útvary	0,06
skládka	0,05
trvalý travní porost	0,035

5.2.3 Hodnoty okrajových podmínek

Dolní okrajovou podmínkou (DOP) je úroveň hladiny na dolním okraji modelu ve vzdálenosti 400 m pod řešenou oblastí. Hodnota dolní okrajové podmínky je určena na základě průměrného podélného sklonu dna koryta na konci úseku $i = 0,006$.

Horní okrajovou podmínkou byly hodnoty kulminace N-letých povodňových průtoků Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} v Bystřici dodaných ČHMÚ [8].

V následující tabulce je uveden přehled okrajových a počátečních podmínek a doby výpočtu potřebné pro ustálení.

Tab. č. 7 Hodnoty OP, PP, doba výpočtu na Bystřici (MOV_22-01)

HOP	PP	Doba zvyšování průtoku	Doba pro ustálení
$Q_5 = 33,8 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 10,0 \text{ m}^3/\text{s}$	0:45 hod	3:15 hod
$Q_{20} = 50,7 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_5 = 33,8 \text{ m}^3/\text{s}$	0:45 hod	3:15 hod
$Q_{100} = 72,7 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{20} = 50,7 \text{ m}^3/\text{s}$	0:45 hod	3:15 hod
$Q_{500} = 100,0 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{100} = 72,7 \text{ m}^3/\text{s}$	0:45 hod	3:15 hod

“ Pozn.: Doba pro ustálení nevyjadřuje minimální dobu nezbytnou pro ustálení, ale zvolenou dobu, u které bylo ověřeno, že postačuje k ustálení průtoku na celém výpočetním úseku.

5.2.4 Hodnoty počátečních podmínek

Jedná se o výpočet ustáleného proudění, pro dosažení požadovaných průtoků v modelu je však potřeba vycházet ze suchého modelu nebo z výstupů simulace menšího průtoku. Počáteční podmínkou výpočtu je tedy v tomto případě vždy výstup z předchozí simulace.

5.2.5 Diskuze k nejistotám a úplnosti vstupních dat

Zhodnocení vstupních dat z hlediska možných nejistot a úplnosti.

Nejistota může být v hustotě a přesnosti geodetických dat. Udávaná přesnost DMR 5G je 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu. Doplněné pozemní zaměření koryta je provedeno v příčných řezech v průměrné vzájemné vzdálenosti 60 m. Provedená schematizace koryta mezi příčnými řezy tak může mít vliv na zkrácení výsledků výpočtů.

Popis drsností vychází z terénního průzkumu a zohledňuje tzv. letní stav, kdy je koryto a inundace výrazněji zarostlé.

Rovněž nejistotou může být aktuální stav koryta a inundace za povodně, množství nesených splavenin a tvoření zátaras z plovoucích předmětů. Ve výpočtu je uvažováno se stavem „čistého“ koryta, bez omezení průtočnosti. Kapacitu koryta dále ovlivňuje stav nánosů nebo naopak zahlubování koryta. Při větších povodních navíc dochází k porušení opevnění koryta, výmolům, břehovým nátržím, k porušení hrází nebo násypů a valů. Povodeň je rovněž značně ovlivněna aktuálním stavem inundace.

Nejistota dále spočívá v hydrologických údajích stanovených dle ČHMÚ. Je zřejmé, že údaje o N-letých vodách nejsou údaje neměnné. Při zpracování výpočtů jsou tedy posuzovány veškeré dostupné hydrologické podklady - tedy současné platné se porovnávají s historickými i „nedávno minulými“. Rozptýlení hodnot N-letých údajů bývá někdy značný. Je nutno zhodnotit i třídu přesnosti poskytovaných hydrologických údajů.

Kromě výše uvedeného je třeba vnímat zvýšenou nejistotu výsledků spojenou s absencí kalibračních dat. V některých případech, kdy bylo možné uvažovat vstupní charakteristiky v širším rozmezí, jsme volili raději hodnoty méně příznivé z hlediska dopadů povodňových událostí. Ve smyslu výše uvedeného mohou být výsledky mírně zkresleny na stranu bezpečnosti.

5.3 Popis kalibrace modelu

V řešeném úseku nejsou relevantní data použitelná ke kalibraci. Model nebyl kalibrován.

6 Výsledky

6.1 Výstupy z hydrodynamických modelů

Mezi výsledky výpočtů patří především údaje o hloubkách vody, rychlostech proudění vody, úrovních hladin a rozlivech. Z programu HEC-RAS byly vygenerovány výstupy v příslušných N-letostech, při kterých došlo k ustálení povodňových průtoků. Jedná se o polygony rozlivů ve formátu *.shp a rastrové vrstvy hloubek, rychlostí a úrovní hladin ve formátu *.tif. Grafickým výsledkem jsou mapy povodňového nebezpečí, a to mapy rozlivů, hloubek a rychlostí pro jednotlivé řešené kulminační průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{500} .

Úsek 10100053_2 (MOV_22-01), Bystřice

V řešeném úseku jsou zaplavovány objekty v obci Hlubočky.

Při Q_5 dochází zaplavení objektů na levém břehu v místní části Dukla a před železničním mostem (ř. km. 12,896) a průmyslových hal společnosti MORA Moravia a vnitroareálové benzinové pumpy. Dochází k rozlivům do ulice Olomoucká, což může bránit přístupu do stanice dobrovolných hasičů. Samotná stanice není rozlivem dotčena. Při Q_{20} se zvětšují stávající rozlivy, pod průmyslovým komplexem MORA Moravia dochází k zaplavení zdravotního střediska. Při Q_{100} dochází v místní části Dukla k rozlivům do pravého břehu a do levého břehu pod železničním mostem. Je zaplavena stanice dobrovolných hasičů a dochází k rozlivům do průmyslového areálu Honeywell. Zvětšují se rozlivy u průmyslové zóny a dochází k vyběření i do levého břehu. Při Q_{500} dochází k souvislým rozlivům po celé délce toku a zaplavení velkého množství budov. Je dotčena Základní škola Dukla a Základní škola Hlubočky.

6.2 Mapy povodňového nebezpečí

Maximálním rozlivem (polygon rozlivu Q_{500}) v řešeném úseku je dotčena obec Hlubočky.

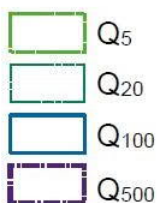
Charakteristiky povodně specifikující povodňové nebezpečí, jako hloubka a svislicová rychlost proudění, jsou v mapách povodňového nebezpečí vykresleny pro povodňové scénáře Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} , kde hranice rozlivů jsou doprovodnými informacemi pro příslušné scénáře. Hloubky a svislicové rychlosti z výpočtů 2D modelů mají podobu rastru. Charakteristiky jsou podloženy RZM v odstínu šedé a vyobrazená proměnná má velikost pixelu 1 m.

6.2.1 Rozlivy pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}

Rozlivy jsou křivky odpovídající průsečnicím hladin vody se zemským povrchem při zaplavení území povodní. Byly vygenerovány z programu HEC-RAS do vektorového formátu *.shp a následně zpracovány s použitím nástrojů GIS a to na základě vyhodnocení rastrových dat o hloubkách vody (viz kap. 6.2.2).

Rozlivy jsou zobrazeny jako doprovodné informace pro jednotlivé průtoky na Základní rastrové mapě v měřítku 1:10 000. V mapách jsou vykresleny jako linie specifikované metodikou [XVII] - viz Obr. č. 6.

Rozlivy

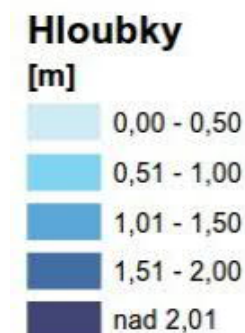


Obr. č. 6 Linie hranic rozlivů pro jednotlivé průtoky

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

Údaje o hloubkách vody byly zpracovány do georeferencovaného formátu *.tif přímo s použitím programového vybavení HEC-RAS a následně upraveny s použitím nástrojů GIS. Rozlišení rastrů hloubek vody odpovídá požadavkům [XV], tj. 1 m × 1 m.

Rozdělení intervalů hloubek a jejich barevná definice je v mapách vykreslena podle metodiky [XVII] - viz Obr. č. 7.

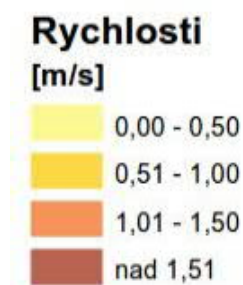


Obr. č. 7 Definice barev a intervalů hloubek

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

Údaje o svislicových rychlostech byly zpracovány do georeferencovaného formátu *.tif přímo s použitím programového vybavení HEC-RAS a následně upraveny s použitím nástrojů GIS. Rozlišení rastrů svislicových rychlostí proudění vody odpovídá požadavkům [XV], tj. $1\text{ m} \times 1\text{ m}$.

Rozdělení intervalů svislicových rychlostí a jejich barevná definice je v mapách vykreslena podle metodiky [XVII] - viz Obr. č. 8.



Obr. č. 8 Definice barev a intervalů svislicových rychlostí

6.3 Zhodnocení nejistot ve výsledcích výpočtů

Nejistoty v podkladech i v samotném hydraulickém výpočtu byly komentovány v kapitole 5.2.5. Pro další praktické využití výsledků hydraulických výpočtů je vždy nezbytné zohlednit míru nejistoty, kterou jsou tato data nevyhnutelně zatížena. Dále je nutné posoudit aktuálnost výsledků především ve vztahu k případným změnám, ke kterým mohlo dojít od doby realizace výpočtů. Jedná se především o změny:

- hydrologických podkladů,
- morfologie koryta a inundačního území vč. realizace významných stavebních objektů (např. protipovodňové ochrany, vodohospodářských staveb na toku, liniových dopravních staveb, mostů apod.),
- charakteru povrchu koryta a inundačního území.

V této souvislosti se v budoucnu předpokládá průběžná aktualizace výsledků hydraulických výpočtů.