



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)

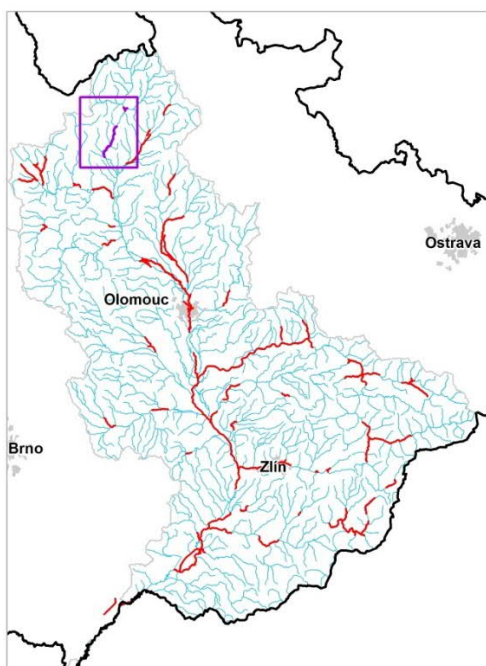
DÍLČÍ POVODÍ MORAVY A PŘÍTOKŮ VÁHU

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

MORAVA – 10100003_5 (MOV_05-01) – Ř. KM 310,367 – 321,760

MORAVA – 10100003_6 (MOV_05-02) – Ř. KM 327,255 – 328,541

BRANNÁ – 10100234_1 (MOV_05-03) – Ř. KM 0,000 – 0,664



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

MORAVA – 10100003_5 (MOV_05-01) – Ř. KM 310,367 – 321,760

MORAVA – 10100003_6 (MOV_05-02) - Ř. KM 327,255 – 328,541

BRANNÁ – 10100234_1 (MOV_05-03) - Ř. KM 0,000 – 0,664

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

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	8
2.2	Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)	10
3	Přehled podkladů	13
3.1	Soupis zpráv a dokumentů	13
3.2	Související předpisy	13
3.3	Topologická data	14
3.3.1	Vytvoření (aktualizace) digitálního modelu terénu	14
3.3.2	Mapové podklady	14
3.3.3	Geodetické podklady	14
3.4	Hydrologická data	14
3.5	Místní šetření	15
3.6	Stávající hydrodynamický model a kalibrační podklady	16
3.7	Vyhodnocení a příprava podkladů	16
4	Popis koncepčního modelu	18
4.1	Schematizace řešeného problému	18
4.2	Posouzení vlivu nestacionarity proudění	21
4.3	Způsob zadávání OP a PP	21
5	Popis numerického modelu	24
5.1	Použité programové vybavení	24
5.2	Vstupní data numerického modelu	24
5.2.1	Morfologie vodního toku a záplavového území	25
5.2.2	Drsnosti hlavního koryta a inundačních území	26
5.2.3	Hodnoty okrajových podmínek	27
5.2.4	Hodnoty počátečních podmínek	29
5.2.5	Diskuze k nejistotám a úplnosti vstupních dat	29
5.3	Popis kalibrace modelu	30
6	Výsledky	31
6.1	Výstupy z hydrodynamických modelů	31
6.2	Mapy povodňového nebezpečí	35
6.2.1	Rozlivy pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	35
6.2.2	Hloubky pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	35
6.2.3	Rychlosti pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	36

6.3	Zhodnocení nejistot ve výsledcích výpočtů	36
-----	---	----

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
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
OP	okrajová podmínka
PP	počáteční podmínka
PVPR	předběžné vymezení povodňových rizik a vymezení oblastí s potenciálně významným povodňovým rizikem
RZM 10	rastrová základní mapa 1 : 10 000
SZÚ	studie záplavového území
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 Morava – 10100003_5 (MOV_05-01) – ř. km 310,367 – 321,760, Morava – 10100003_6 (MOV_05-02) – ř. km 327,255 – 328,541 a Branná – 10100234_1 (MOV_05-03) – ř. km 0,000 – 0,664 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 pro úseky se změnou dle Tab. č. 2;
- zpracování výsledků numerického modelování a vytvoření map povodňového nebezpečí (mapy rozlivů, hloubek a rychlostí).

V následující tabulce (Tab. č. 2) je uvedeno porovnání rozsahu řešeného území 1. a 2. plánovacího cyklu.

Tab. č. 2 Porovnání rozsahu řešeného území 1. a 2. plánovacího cyklu

Ozn. v 1. plán. cyklu	Ozn. v 2. plán. cyklu	Tok	Kilometráž 1. plán. cyklus	Kilometráž 2. plán. cyklus	Změny oproti 1. plánovacímu cyklu
PM_16	MOV_05-01	Morava	310,367 – 320,670	310,367 – 321,760	Úsek prodloužen o 1,09 km nad obec Raškov
PM_123	MOV_05-02	Morava	327,255 – 328,541	327,255 – 328,541	beze změn
PM_17	MOV_05-03	Branná	0,000 – 0,664	0,000 – 0,664	beze změn

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] a [7] a také výstupy z 1. plánovacího cyklu zpracované firmou Pöyry Environment a.s. v r. 2013 [20].

2 Popis zájmového území

Zájmové území v této práci je rozděleno na dva dílčí úseky v závislosti na řešených tocích a rozsahu řešení. V rámci stanovení map povodňového nebezpečí je pro jeden úsek sestaven zcela nový hydrodynamický model. Pro druhý úsek je provedena aktualizace přesnějších dat o DMT. Soupis úseků:

- MOV_05-01 Morava
 - o celý úsek – pouze aktualizace DMT.
- MOV_05-02 Morava s přítokem MOV_05-03 Branná
 - o celý úsek - celý nový model.

Ve všech následujících kapitolách 2-6 jsou uvedeny podkapitoly sestavené na základě dělení výše.

Předmětem řešeného území je úsek na toku Morava v km 310,367 – 321,760 (Obr. č. 1), Morava v km 327,255 – 328,541 a Branná v km 0,000 – 0,664 (Obr. č. 2).

Tab. č. 3 Základní informace o řešeném úseku

ID úseku	Pracovní číslo úseku	Tok	Říční km, začátek - konec	ČHP
10100003_5	MOV_05-01	Morava	310,367 – 321,760	4-10-01-045, 4-10-01-047, 4-10-01-049, 4-10-01-051, 4-10-01-053,

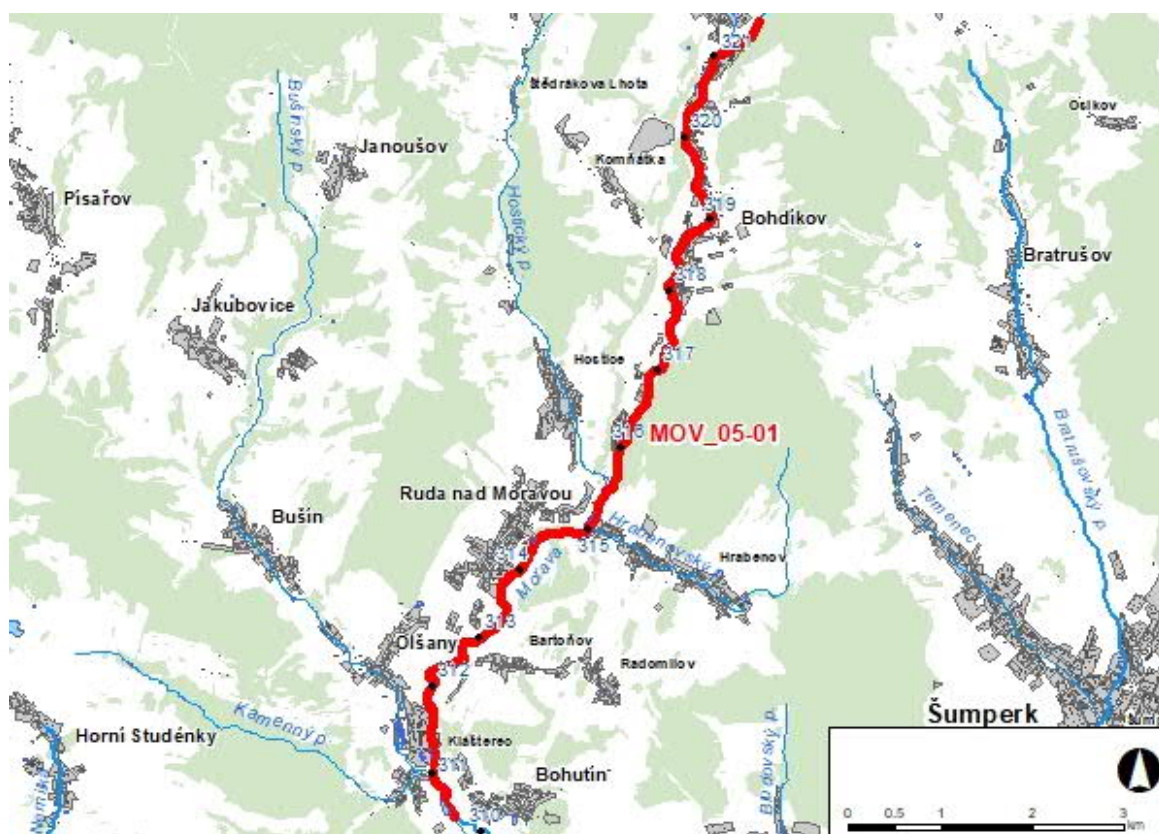
				4-10-01-054
10100003_6	MOV_05-02	Morava	327,255 – 328,541	4-10-01-027, 4-10-01-043
10100234_1	MOV_05-03	Branná	0,000 – 0,664	4-10-01-042

*) Komentář k používané kilometrácii toku: V celém projektu je používána kilometráž, která vychází z již zpracovaných studií Povodí Moravy, s.p.

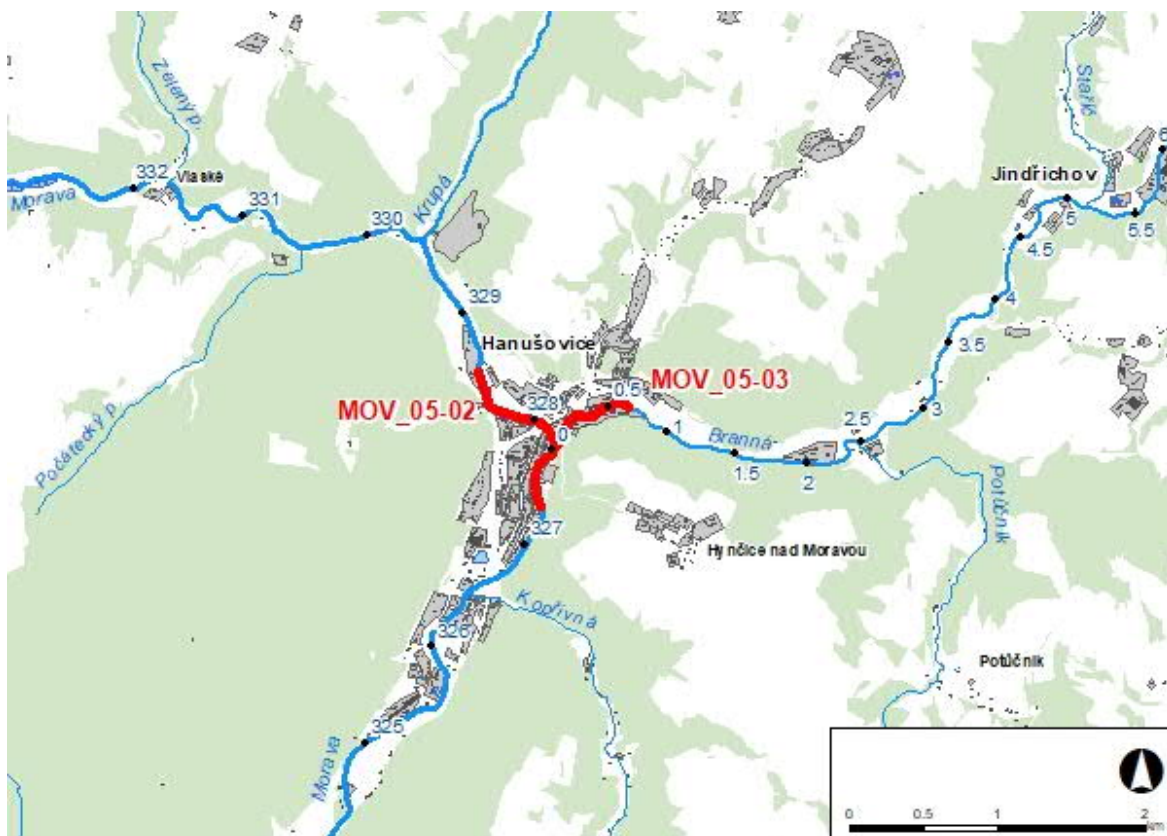
Při zpracování 1. plánovacího cyklu se kilometráž používaná v názvech úseků lišila s kilometrází používanou v projektu. Do názvu byla uváděna kilometráž, která vycházela z „Předběžného vymezení povodňových rizik a vymezení oblastí s potenciálně významným povodňovým rizikem“ (PVPR). V Tab. č. 4 je uvedeno porovnání staničení dle PVPR a dle geodetického zaměření [6] a [7], které je používáno v celém projektu.

Tab. č. 4 Porovnání staničení

Tok	Staničení dle PVPR	Staničení používané v projektu
Morava	310,057 – 321,330	310,367 – 321,760
Morava	327,314 – 328,586	327,255 – 328,541
Branná	0,000 – 0,690	0,000 – 0,664



Obr. č. 1 Vymezení řešené oblasti s významným povodňovým rizikem, úsek MOV_05-01



Obr. č. 2 Vymezení řešené oblasti s významným povodňovým rizikem, úsek MOV_05-02 a MOV_05-03

2.1 Všeobecné údaje

Morava

Řeka Morava pramení pod Králickým Sněžníkem v nadmořské výšce 1 380 m. V horním úseku protéká úzkým údolím až k soutoku s Desnou u Postřelmovu, kde se náhle otevírá široké údolí s inundacemi. Kolem Litovle pak Morava protéká malebným Litovelským Pomoravím. Pod Olomoucí přijímá svůj největší levobřežní přítok – řeku Bečvu. Celková délka řeky Moravy na území České republiky dosahuje 284,5 kilometrů. Celková délka řeky až po soutok s Dunajem je 354 kilometrů.

V místě, kde řeka Morava (v říčním km 69,468) opouští území České republiky, se stéká s druhou nejvýznamnější řekou v celém povodí – s Dyjí. Soutok obou toků u Lanžhota leží v nadmořské výšce 148 m. Absolutní spád Moravy od pramene činí 1 232 m.

Úsek 10100003_5 (MOV_05-01), Morava, km 310,367 – 321,760

V řešeném úseku protéká Morava katastrálními územími Bohutín nad Moravou, Klášterec, Olšany nad Moravou, Bartoňov, Ruda nad Moravou, Hraběnov, Dolní Bohdíkov, Komňátka a Raškov Ves. Úsek začíná nad obcí Raškov a končí v Bohutíně pod profilem silničního mostu. Tok je upraven převážně do tvaru jednoduchého lichoběžníka se zatravněnými břehy místy jsou břehy opevněné kamenným záhozem. V zájmovém území je 10 mostů a 2 lávky pro pěší. Úsek Moravy v zájmovém území je ve správě Povodí Moravy, s.p.

Tab. č. 5 Srovnání staničení

Tok	Řešený úsek – 1. plánovací cyklus (2012)	Řešený úsek – 2. plánovací cyklus (2019)
Morava	310,367 – 320,680	310,367 – 321,760

Úsek 10100003_6 (MOV_05-02), Morava, km 327,255 – 328,541

V řešeném úseku protéká Morava katastrálním územím Hanušovice a Hynčice nad Moravou. Úsek začíná v profilu mostu ulice Za Moravou a končí pod sportovním areálem na levém břehu. Koryto je převážně lichoběžníkového tvaru s břehy opevněnými pohozením z lomového kamene, případně obdélníkového tvaru s kamennými zdmi. Souvislá obytná zástavba je situována především na pravém břehu, a to v prostoru ulice Dukelské a od mostu ulice Hlavní dále po toku po konec úseku. V zájmovém území jsou dva mosty a jedna lávka. Úsek Moravy v zájmovém území je ve správě Povodí Moravy, s.p.

Branná

Řeka Branná pramení pod Smrkem, v horské oblasti Hrubého Jeseníku, nedaleko státní hranice u vrcholu Brodek, v nadmořské výšce cca 1100 m. Teče od pramene směrem jižním a pokračuje směrem východním až jihozápadním. Od Petříkova po pramen se Branná též nazývá Černý potok. Povodí toku Branná je převážně zalesněno. Je to řeka s bystřinným charakterem toku.

Do toku Branná ústí několik větších pravobřežních a levobřežních přítoků: Hanušovický potok, Potůčník, Pekařovský potok, Staříč, Sklenná voda, Novolosínský potok, Hučava, Brusný potok, Klepáčský potok, Ostružinka.

Úsek 10100234_1 (MOV_05-03), Branná, km 0,000 – 0,664

V řešeném úseku protéká Branná katastrálním územím Hanušovice a Hynčice nad Moravou. V horním úseku je koryto spíše neupravené, zarostlé stromy a křovinami. Níže po toku (pod mostem ulice Hynčická) je koryto tvaru jednoduchého lichoběžníku, případně obdélníku a kamennými zdmi. V blízkosti koryta jsou po obou březích skladové plochy a plochy průmyslových areálů. V zájmovém území je jeden most. Úsek Branná v zájmovém území je ve správě Povodí Moravy, s.p.



Obr. č. 3 Přehledná mapa povodí Moravy a přítoků Váhu dle [14]

2.2 Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)

Největší zaznamenaná povodeň v novodobé historii na řece Moravě v limnigrafické stanici Raškov, v obci Bohdíkov, je datována k červenci 1997. Příčinou povodně byly vydatné srážkové úhrny, které vyvolaly v horních a středních tocích mimořádné průtoky. http://www.vesmir.cz/files/obrazky/2010_376_07.jpg/type/html Ke kulminaci došlo 7. 7. 1997 a v obci Bohdíkov bylo dosaženo kolem $312 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tj. průtok větší než Q_{100} (Q_{800}) [17]. Limnigraf Raškov zaznamenal vodní stav 392 cm [17], přičemž druhá největší povodeň dle vodního stavu 310 cm, tj. $111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tj. průtok cca Q_{20-50} , byla v srpnu 1977. K další významné povodni v novodobé historii došlo v březnu 1981 (vodní stav 268 cm, tj. $66,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tj. průtok větší než Q_{1-5}) a v březnu 2000 (vodní stav 265 cm, tj. $64,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tj. průtok cca Q_{1-5}) [17].

V dávnější historii byly zaznamenány povodně v srpnu 1925 (vodní stav 350 cm), v červnu 1919 (vodní stav 330 cm), v květnu 1948 (vodní stav 323 cm), v květnu 1940 (vodní stav 322 cm), v srpnu 1913 (vodní stav 320 cm), v únoru 1946 (vodní stav 314 cm) a v lednu 1920 (vodní stav 268 cm) [17].

Největší zaznamenaná povodeň v novodobé historii na řece Branná v limnigrafické stanici Jindřichov, v obci Jindřichov, je datována k červenci 1997. Příčinou povodně byly vydatné srážkové úhrny, které vyvolaly v horních a středních tocích mimořádné průtoky. http://www.vesmir.cz/files/obr/nazev/2010_376_07.jpg/type/html Ke kulminaci došlo 7. 7. 1997 a v obci Jindřichov bylo dosaženo kolem $130 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tj. průtok větší než Q_{100} (větší o cca $45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) [16].

Povodeň z roku 1997 ani historické údaje nejsou v evidenčním listu hlásného profilu č. 299 Jindřichov uvedeny.

Největší zaznamenaná povodeň v novodobé historii na řece Moravě v limnigrafické stanici Vlaské, v obci Malá Morava, je datována k červenci 1997. Příčinou povodně byly vydatné srážkové úhrny, které vyvolaly v horních a středních tocích mimořádné průtoky. http://www.vesmir.cz/files/obr/nazev/2010_376_07.jpg/type/html Ke kulminaci došlo 7.7. 1997 a v obci Malá Morava bylo dosaženo kolem $115 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tj. průtok větší než Q_{100} (větší o cca $42 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) [16].

Povodeň z roku 1997 ani historické údaje nejsou v evidenčním listu hlásného profilu č. 297a Vlaské uvedeny.



Obr. č. 4 Povodeň 1997 – Olšany



Obr. č. 5 Povodeň 1997 – nádraží Ruda nad Moravou



Obr. č. 6 Povodeň 1997 – žel. trať Ruda n. Moravou



Obr. č. 7 Povodeň 1997 – Bohdíkov



Obr. č. 8 Povodeň 1997 – Branná nad Hanušovicemi



Obr. č. 9 Povodeň 1997 – Hanušovice



Obr. č. 10 Povodeň 1997 – Hanušovice



Obr. č. 11 Povodeň 1997 – Hanušovice

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.:11360608, 11360610, 11360612, 11360614, 11400608, 11400610, 11400612, 11400614, 11420608, 11420610, 11420612, 11420614, 11480606, 11480608, 11480610, 1150606, 1150608, 1150610. Praha, 2017.
- [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 Moravy, Povodí Moravy, s.p., únor 2005.
- [7] Studie záplavového území toku Branná, km 0,000 – 21,669, Povodí Moravy, s.p., 11/2011.
- [8] Hydrologická data – N-leté průtoky, ČHMÚ, 11/2018.
- [9] Místní šetření v zájmové lokalitě v průběhu října 2012. Pöry Environment a.s., Brno.
- [10] Místní šetření v zájmové lokalitě v průběhu března 2019. AQUATIS a.s., Brno.
- [11] Technicko provozní evidence toků – TPE Morava, povodí Moravy, s.p., Brno.
- [12] Technicko provozní evidence toků – TPE Branná, povodí Moravy, s.p., Brno.
- [13] Studie ochrany před povodněmi na území Olomouckého kraje, Pöry Environment a.s., Brno, 03/2007.
- [14] Plán dílčího povodí Moravy a přítoků Váhu, AQUATIS a.s., 2016.
- [15] Hydrologické poměry Československé socialistické republiky, díl III, Hydrometeorologický ústav, 1970.
- [16] www.pmo.cz, Stavy a průtoky na vodních tocích, leden 2019.
- [17] Evidenční list hlásného profilu č. 301, tok Morava, lim. stanice Raškov. Aktualizace únor 2019.
- [18] Evidenční list hlásného profilu č. 297a, tok Morava, lim. stanice Vlaské. Aktualizace únor 2019.
- [19] Evidenční list hlásného profilu č. 299, tok Branná, lim. stanice Jindřichov. Aktualizace únor 2019.
- [20] Tvorba map povodňového nebezpečí a povodňových rizik v oblasti povodí Moravy a v oblasti povodí Dyje, Pöry Environment a.s., Brno, 2012.
- [21] HEC-RAS 5.0 River Analysis System – User's Manual, US Army Corps of Engineers, 02/2016.
- [22] Numerický 1D+ model Moravy v programu MIKE 11, Povodí Moravy, s.p., 2005.
- [23] Numerický 1D+ model Moravy a jejího přítoku Branná v programu MIKE 11, Povodí Moravy, s.p., 2010.
- [24] MIKE 11, A Modelling System for Rivers and Channels, Reference Manual DHI, 2009.
- [25] http://sumpersky.denik.cz/zpravy_region/mista_po_povodni_20070701.html

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 řady 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 18.8.2019.
- [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

V rámci řešeného úseku byly vytvořeny dva samostatné digitální modely terénu (DMT), a to pro dolní úsek Moravy (MOV_05-01) a pro horní úsek Moravy (MOV_05-02) s levobřežním přítokem Branná (MOV_05-03). Pro oba úseky byla vytvořena aktualizace DMT použitím novější a hlavně přesnější verze DMR 5G [1].

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 v rozsahu předpokládaného rozlivu Q_{500} s dostatečným přesahem. Výsledný DMT je zpracován z DMR 5G [1], který je doplněn o geodetické zaměření koryta [6] a [7]. 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, 2017.
- ZABAGED, komplexní digitální geografický model území ČR, formát SHP, ČÚZK, 2017.

3.3.3 Geodetické podklady

Geodetické zaměření vodního toku Morava bylo provedeno v roce 2005, útvarem geodézie Povodí Moravy, s.p. Vzdálenost zaměřených profilů je cca 100 – 150 m. Zaměření vodního toku Branná je z roku 2010 provedené útvarem hydroinformatiky a útvarem geodézie, Povodí Moravy, s.p., Brno. Vzdálenost zaměřených profilů je cca 15 m. Zaměření je v polohopisném systému S-JTSK, výškopisném systému Balt po vyrovnání.

3.4 Hydrologická data

V Tab. č. 6 jsou uvedena hydrologická data. Data byla ověřena u ČHMÚ koncem roku 2018 [8]. Hodnoty průtoků pro Brannou nedoznaly významných změn oproti hodnotám z roku 2013. Stejně tak i pro Moravu.

Tab. č. 6 Aktuální N-leté průtoky (Q_N) v m^3/s [8]

Hydrologický profil	Datum pořízení	Říční kilometr	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	Třída přesnosti
Branná – ústí do Moravy	8.11.2018	0,1	26,1	49,8	90,8	145	II.

Hydrologický profil	Datum pořízení	Říční kilometr	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Třída přesnosti
Morava – nad Branou	8.11.2018	328,0	58,8	90,9	132	185	II.
Morava – pod Brannou	8.11.2018	327,5	75,9	120	183	270	II.
Morava – Raškov vodočet	8.11.2018	322,7	76	121	189	275	I.
Morava – nad Desnou	8.11.2018	301,1	88,8	140	214	310	II.

Tab. č. 7 Starší hodnoty N-letých průtoků (Q_N) v m³/s pořízené pro 1. plánovací cyklus [20]

Hydrologický profil	Datum pořízení	Říční kilometr	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Třída přesnosti
Branná – ústí do Moravy	2013	0,1	26,1	49,8	90,8	145	II.
Morava – nad Brannou	2013	328,0	58,8	90,9	132	205*	II.
Morava – pod Brannou	2013	327,5	75,9	120	183	270	II.
Morava – Raškov vodočet	2013	322,7	76	121	189	275	II.
Morava – nad Desnou	2013	301,1	88,8	140	214	310	II.

*) Poznámka: Hodnota průtoky nebyla dodána ČHMÚ a byla získána extrapolací.

Tab. č. 8 Historické hodnoty N-letých průtoků (Q_N) v m³/s z roku 1970 [15]

Hydrologický profil	Datum pořízení	Říční kilometr	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Třída přesnosti
Branná – ústí do Moravy	1970	0,1	43	60	80	-	-
Morava – nad Brannou	1970	328,0	60	87	117	-	-
Morava – pod Brannou	1970	327,5	75	108	145	-	-
Morava – Raškov vodočet	2005	322,7	76	121	189	-	-
Morava – Raškov vodočet	1970	322,7	75	130	146	-	-

3.5 Místní šetření

V rámci zpracování 2. plánovacího cyklu bylo provedeno místní šetření v březnu 2019 [10]. Toto šetření proběhlo jak na nových prodloužených úsecích, tak na úsecích shodných s 1. plánovacím cyklem z roku 2013, kde místní šetření provedla firma Pöyry Environment a.s. [9]. Oproti průzkumu z 1. plánovacího cyklu nebyly zjištěny žádné změny na těchto částech toků ani v záplavovém území. Byly pořízeny fotografie vodního toku, technických objektů na toku, inundačního území a citlivých objektů v možném záplavovém území Q₅₀₀. Při terénním průzkumu byla prověřena aktuálnost geodetického zaměření, dále byly ověřeny hydraulické parametry ovlivňující proudění vody v korytě a inundačním území a zjišťován rozsah historických povodní u místních obyvatel. V rámci terénní pochůzky byla zjištěna rekonstrukce jezu Alojzov v km 316,99, dále se v současné době provádí výstavba ČOV v Rudě na Moravě na PB řeky Moravy.

3.6 Stávající hydrodynamický model a kalibrační podklady

Dolní úsek Moravy (MOV_05-01)

Numerický jednorozměrný síťový (1D+) model byl vytvořen v programu MIKE 11. Model pro dolní úsek Moravy byl vytvořen na Povodí Moravy, s.p. v roce 2005 [22]. Model sloužil pro zpracování studie záplavového území Moravy (SZÚ) [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.

Pro potřeby tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik v 1. plánovacím cyklu [20] bylo simulováno ustálené nerovnoměrné proudění s využitím okrajových podmínek při kulminaci z výše uvedeného celkového modelu. Model vymezeného úseku byl sestaven společností Pöyry Environment a.s. ve spolupráci s Povodí Moravy s.p. v roce 2012. Hydrologická data v modelu byla aktualizována a doplněna o povodňový scénář Q_{500} . Případné rozdíly stavu zjištěného z terénního průzkumu a výchozího modelu byly zohledněny. Výpočtový model byl kalibrován na data zaznamenaná při povodni 07/1997, jedná se především o maximální rozsah záplavového území.

Horní úsek Moravy (MOV_05-02) s přítokem Branná (MOV_05-03)

Numerický 1D+ model byl vytvořen v programu MIKE 11. Model Moravy a jejího přítoku Branná byl vytvořen na Povodí Moravy, s.p. v roce 2010 [23]. Model sloužil pro zpracování SZÚ toku Branná [7]. Pro tvorbu modelu bylo využito geodetické zaměření [7], DMT a hydrologická data. V rámci modelu byly řešeny povodňové scénáře pro $Q_1 - Q_{100}$. Výpočet byl proveden pro neustálené nerovnoměrné proudění.

Pro potřeby tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik v 1. plánovacím cyklu [20] bylo simulováno ustálené nerovnoměrné proudění s využitím okrajových podmínek při kulminaci z výše uvedeného celkového modelu. Model vymezeného úseku byl sestaven společností Pöyry Environment a.s. ve spolupráci s Povodí Moravy s.p. v roce 2012. Hydrologická data v modelu byla aktualizována a doplněna o povodňový scénář Q_{500} . Případné rozdíly stavu zjištěného z terénního průzkumu a výchozího modelu byly zohledněny. Výpočtový model byl kalibrován na data zaznamenaná při povodni 07/1997, jedná se především o rozsah záplavového území.

3.7 Vyhodnocení a příprava podkladů

DMT vytvořený z DMR 5G [1] a ze 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] a [7] pokrývá celé zájmové území. 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 2005 a 2010.

Hydrologická data použitá ve stávajícím výpočtu byla ověřena u ČHMÚ [8], případně doplněna o nová data. Oproti hodnotám z roku 2013 nedošlo k významným změnám.

Terénní průzkum byl proveden v říjnu 2012 v rámci 1. plánovacího cyklu a v březnu 2019 v rámci 2. plánovacího cyklu. Byla prověřena aktuálnost geodetického zaměření. Oproti 1. plánovacímu cyklu nebyly zjištěny žádné významné změny, které by mohly ovlivnit hydraulický výpočet.

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

Podkladovými kalibračními daty byly zaznamenané maximální rozlivy při povodni 07/1997.

Dolní úsek Moravy (MOV_05-01)

Podkladem pro vyhodnocení byly výsledky ze stávajícího numerického 1D+ modelu zájmového úseku Moravy [22], který byl vytvořen na Povodí Moravy, s.p. v roce 2005 a aktualizován společností Pöyry Environment a.s. ve spolupráci s Povodím Moravy s.p. v roce 2012 [20].

Horní usek Moravy (MOV_05-02) s přítokem Branná (MOV_05-03)

Pro výpočet horního úseku Moravy s přítokem Branná je nově sestaven dvourozměrný (2D) model v programu HEC-RAS 5.0.

4 Popis koncepčního modelu

Zájmové území je rozděleno na dvě dílčí oblasti vymezené celkem třemi řešenými úseky. Pro potřeby výpočtu jsou sestaveny dva samostatné modely, přičemž jeden je řešen jako 2D simulace a jeden jako simulace 1D+.

Úsek Moravy (MOV_05-01)

Úsek Moravy (MOV_05-01) byl schematizován 1D+ modelem. Výpočet průběhu hladin byl proveden výpočtem ustáleného nerovnoměrného proudění pomocí programu MIKE 11 (popis programu je uveden v kap. 5.1). Matematickým modelem byl popsán průtok vlastním korytem řeky, souvisejících inundací a veškerých objektů na toku.

Úsek Moravy (MOV_05-02) s Brannou (MOV_05-03)

Pro výpočet byl použit 2D model umožňující řešení 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 vymezené oblasti 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.

4.1 Schematizace řešeného problému

Úsek Moravy (MOV_05-01)

V rámci matematického řešení byla provedena schematizace pomocí síťového modelu. Příčné řezy a technické objekty na toku jsou zadány dle geodetického zaměření. Použití 1D+ modelu bylo zvoleno vzhledem k faktu, že zájmový úsek Moravy je v relativně sevřeném údolí, kde nedochází k výrazným rozlivům do inundace a použití síťového modelu je dostačující pro vystihnout proudění jak v korytě tak v inundaci. Pro namodelování rozlivů v některých úsecích toku bylo použito souběžných výpočtových větví při zajištění dostatečného propojení s hlavní (korytovou) výpočtovou větví tak, aby byla věrohodně popsána komunikace vody v korytě a inundaci.

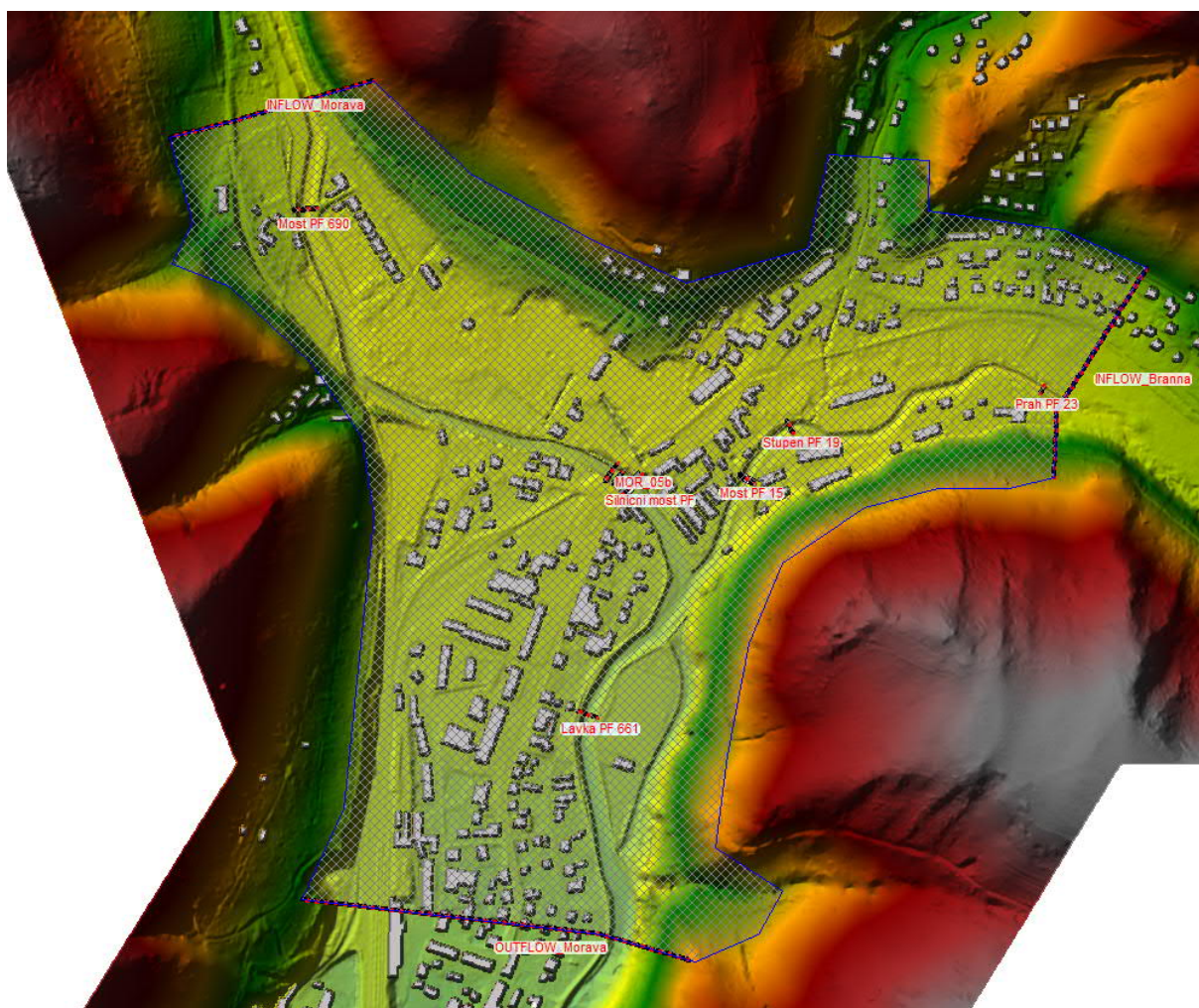
Úsek Moravy (MOV_05-02) s Brannou (MOV_05-03)

V rámci matematického řešení úseku Moravy (MOV_05-02) s Brannou (MOV_05-03) byla provedena schematizace pomocí nepravidelné mnohoúhelníkové výpočetní sítě. Základem je ortogonální síť s velikostí prvku 3,0 x 3,0 m, která je pomocí povinných hran přizpůsobena objektům a liniovým prvkům tak, aby byl co nejpresněji 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 1,0 x 1,0 m. Břehové hrany a paty svahů koryta byly definovány geodetickým zaměřením příčných řezů korytem. DMT pro oblast koryta, vytvořený interpolací zaměřených příčných řezů po ose toku, byl vložen do DMT vytvořeného z DMR 5G. Osa pro interpolaci příčných profilů byla segmentována tak, aby její tvar dostatečně vystihoval tvar koryta, tzn. cca po 30 – 50 m v přímých úsecích a 10 – 30 m v obloucích.

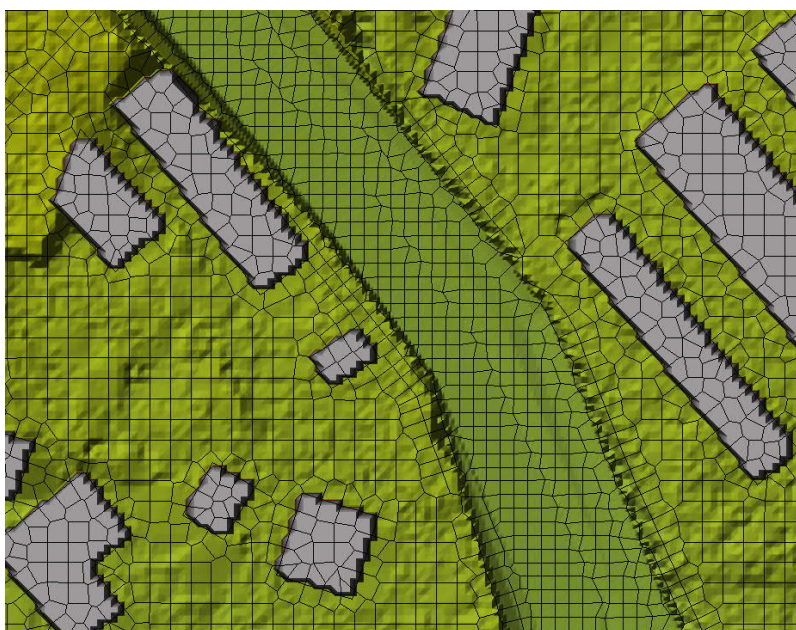
Sestavená výpočetní síť obsahuje 97 186 buněk.



Obr. č. 12 Úsek Moravy (MOV_05-01) řešený simulací 1D+



Obr. č. 13 Schéma řešeného modelu pro úsek Moravy (MOV_05-02) s Brannou (MOV_05-03)



Obr. č. 14 Detail výpočetní sítě modelu pro úsek Moravy (MOV_05-02) s Brannou (MOV_05-03)

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. Za 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 k 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 klade 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

Úsek řešený simulací 1D+

Horní okrajovou podmínkou (HOP) jsou hodnoty kulminace N-letých povodňových průtoků Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} v Moravě dodané ČHMÚ [8].

Dolní okrajovou podmínkou (DOP) je konzumní křivka Moravy v km 309,310 pod obcí Bohutín, převzatá ze studie záplavového území Moravy [6].

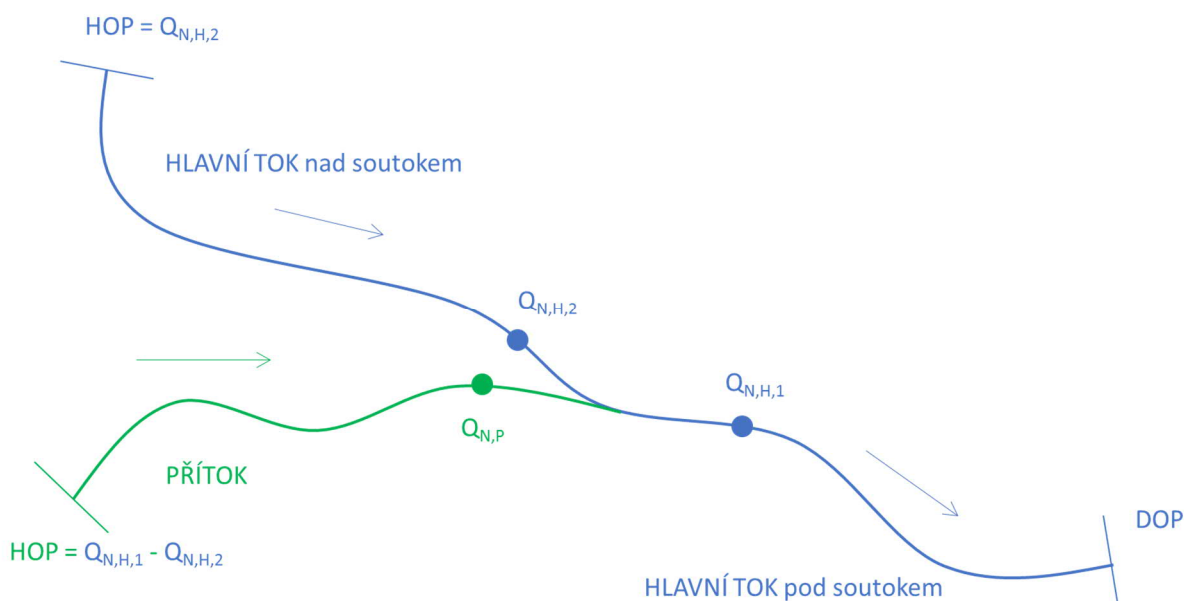
Počáteční podmínky se při simulaci 1D+ ustáleného proudění nezadávají.

Úseky řešené simulací 2D

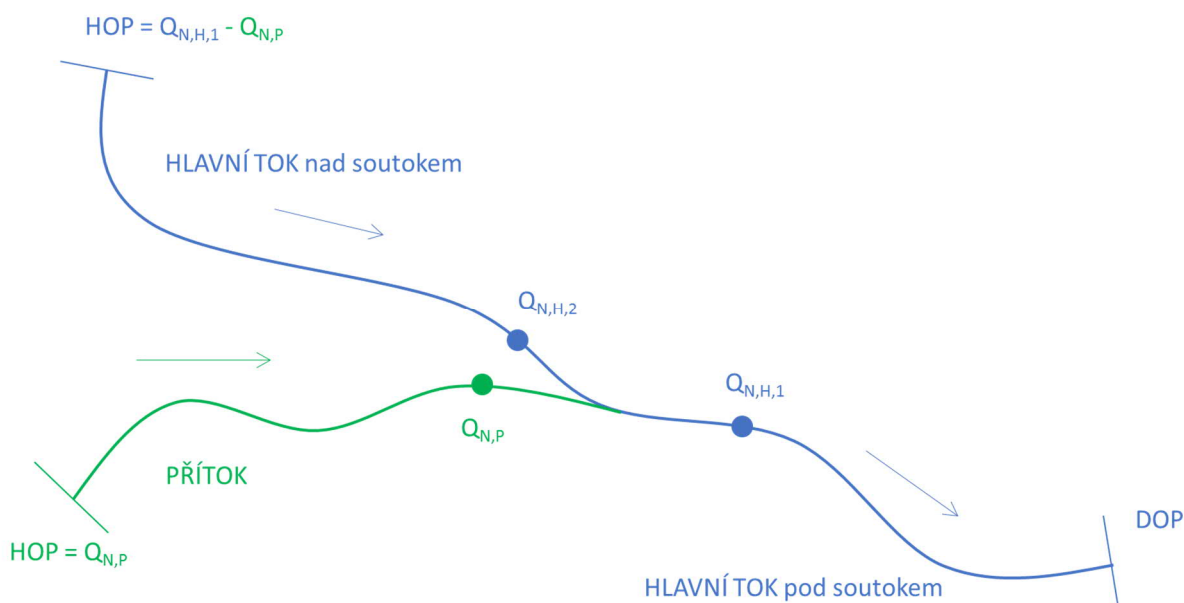
Horní okrajovou podmínkou (HOP) jsou hodnoty N-letých povodňových průtoků Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} v Moravě a Branné dodané ČHMÚ [8].

Dolní okrajovou podmínkou (DOP) pro řešený úsek jsou úrovně hladiny v profilu Moravy umístěném v takové vzdálenosti pod dolním koncem úseku, aby výsledné charakteristiky proudění v řešeném úseku nebyly případnými nejistotami v zadání DOP ovlivněny. Rozsah sestaveného modelu je volen s přesahem resp. prodloužením pod i nad zájmovým úsekem o 100 – 250 m. Hodnoty úrovní hladin při daných povodňových průtocích jsou převzaty z výpočtu provedeného v rámci 1. plánovacího cyklu [20].

Při souběhu dvou větví vodního toku (resp. dvou řešených úseků) jsou simulovány dvě varianty s různým zadáním horních okrajových podmínek. Ve variantě 1 je jako HOP na hlavním toku zadána hodnota příslušného Q_N v hlavním toku nad soutokem ($Q_{N,H,2}$) a jako HOP na přítoku je zadána hodnota odpovídající rozdílu mezi Q_N v hlavním toku pod soutokem a Q_N v hlavním toku nad soutokem ($Q_{N,H,1} - Q_{N,H,2}$). Ve variantě 2 je jako HOP na hlavním toku zadána hodnota odpovídající rozdílu Q_N v hlavním toku pod soutokem a Q_N na přítoku ($Q_{N,H,1} - Q_{N,P}$) a jako HOP na přítoku je zadána hodnota Q_N na přítoku ($Q_{N,P}$) (viz obr. č. 15 a 16).



Obr. č. 15 Schéma zadávání OP pro Variantu 1



Obr. č. 16 Schéma zadávání OP pro Variantu 2

K vynesení výsledných rozlivů byla použita obálka maximálních rozlivů z těchto dvou uvažovaných scénářů. Toto rozdělení je vhodné v případech, kdy plocha povodí hlavního toku nad soutokem není mnohonásobně větší než plocha povodí přítoku. Při výrazném nepoměru by v případě varianty 2 došlo k nadhodnocení průtoku v hlavním toku nad soutokem. Jelikož se ale jedná o případné ovlivnění na stranu bezpečnou a pouze v krátkém úseku přítoku, je tento přístup považován za relevantní.

Výpočet je zahájen na „suchém“ modelu. Na začátku je na HOP zadán průtok menší než je kapacita koryta vodního toku, a je plynule zvyšován po dobu 30 min 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 průtoku 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} .

5 Popis numerického modelu

5.1 Použité programové vybavení

Úsek Moravy (MOV_05-01)

Výpočet hladin byl proveden výpočtem ustáleného nerovnoměrného proudění pomocí programu MIKE 11, vyvinutého Dánským hydraulickým institutem pro výpočet pseudo-dvourozměrného proudění. MIKE 11 je komplexní jednorozměrný matematický model pro simulaci proudění v otevřených korytech a inundačních územích a srážko-odtokových jevů. Výpočtové rovnice matematického modelu jsou uvedeny v manuálu [24], který je k dispozici u zhotovitele.

Úsek Moravy (MOV_05-02) s Brannou (MOV_05-03)

Výpočet hladin je proveden modelem 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. Numerické řešení je založeno na metodě konečných objemů. Výpočtové rovnice matematického modelu jsou uvedeny v manuálu [21], který je k dispozici u zhotovitele.

Pro řešení problému byla zvolena metoda difuzní vlny (resp. její aproximace).

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 zmínované 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.

5.2 Vstupní data numerického modelu

Úsek Moravy (MOV_05-01)

Vstupními daty numerického modelu jsou data z geodetického pozemního měření [6] a [7], která vstupují do modelu jako příčné profily. Tyto příčné profily jsou dle potřeby doplněny dle údajů z DMT. Horní okrajovou podmínkou jsou hodnoty kulminace N-letých povodňových průtoků Q_5 , Q_{20} a Q_{100} , a Q_{500} v Moravě dodané ČHMÚ [8]. Dolní okrajovou podmínkou jsou úrovně hladiny v Moravě v profilu pod řešeným úsekem převzaté z [22]. Pro stanovení stupně drsnosti byly používány ortofotomapy [3] a fotodokumentace [9] a [10] pořízená při terénním průzkumu.

Úsek Moravy (MOV_05-02) s Brannou (MOV_05-03)

Vstupními daty numerického modelu jsou data z geodetického pozemního měření [6] a [7] v podobě příčných řezů, z nichž je vygenerován model koryta toku Moravy a Branné. 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 (viz kap. 4.1), digitálního modelu reliéfu a neprůtočných objektů (budov). Horní okrajovou podmínkou jsou hodnoty kulminace N-letých povodňových průtoků Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} v Moravě a Branné dodané ČHMÚ [8]. Dolní okrajovou podmínkou (DOP) je úroveň hladiny na dolním okraji modelu ve vzdálenosti 100 m pod řešenou oblastí. Pro stanovení stupně drsnosti byly používány ortofotomapy [3] a fotodokumentace [9] a [10] pořízená při terénním průzkumu.

Při výpočtu se uvažovalo s proměnným, automaticky řízeným časovým krokem, při němž nedojde k překročení Courantova kritéria na úrovni hodnoty $C = 2,5$. Výchozí časový krok odpovídal 2 sekundám, minimální uvažovaný časový krok pak 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 výpočtových matematických modelů jsou zahrnuty veškeré objekty na toku. V zájmovém území Branné bylo zaměřeno celkem 17 příčných profilů, na Moravě (MOV_05-02) 35 příčných profilů a 131 příčných profilů na MOV_05-01, které vystihují morfologii koryta, přilehlého inundačního území a veškeré důležité objekty na toku (viz tab. č. 9, 10 a 11).

Objekty jsou řešeny různou metodikou. V případě mostů byly použity dva metodické přístupy. Nejprve byl mostní objekt zadán jako úsek toku s upravenou geometrií koryta, do kterého byla promítnuta poloha mostních pilířů. Těleso mostovky v takovém případě uvažováno nebylo. Popsaná metoda se uplatňovala v těch případech, kdy modelem vypočtená úroveň hladiny nedosahovala k mostovce.

Pokud však bylo zjištěno, že vypočtená úroveň hladiny dosahuje mostovky, byl u daného objektu použit druhý postup. Ten spočívá ve schematizaci mostního objektu modelovou přelivnou hranou a propustkem vhodné zvoleného tvaru. V takovém případě se dbá na to, aby se hydraulické parametry vloženého propustku co nejvíce blížily skutečnému mostnímu otvoru. Drsnostní koeficienty pro dolní část omočeného obvodu propustku byly zpravidla voleny ve shodě s odhadovanými drsnostmi v okolním korytě. V horní části omočeného obvodu propustku byly obvykle voleny drsnosti odpovídající betonu. Popsaný postup kombinující obě metody schematizace mostních objektů znamená opakované provedení výpočtu na základě úpravy výchozí geometrie objektů.

Jezy a další příčné objekty byly modelovány jako přelivné hrany s reálným zvýšením terénu. Koeficient přepadu byl volen individuálně, na základě vlastností daného objektu.

Budovy byly v modelu řešeny zvýšením terénu v místě jejich polohy.

Tab. č. 9 Objekty vstupující do modelu, úsek MOV_05-01, Morava, km 310,367 – 321,760

Km	Popis objektu	Km dle TPE (identifikátor objektu)	Lokalita
310,375	říční stupeň		Bohutín
310,384	silniční most	310,380	Bohutín
310,795	skluz s PB odbočením náhonu		Kláštorec
310,988	pevný jez s PB odbočením náhonu		Kláštorec
311,213	most v areálu papíren Olšany	311,823	Kláštorec
311,554	PB zaústění náhonu		Olšany
311,680	skluz		Olšany
311,877	pevný jez se zrušeným 2x LB odbočením náhonu		Olšany
312,887	pevný jez, PB odbočení náhonu	313,395	Ruda n. Moravou
312,908	silniční most a trubní lávka	313,423	Ruda n. Moravou - Olšany
313,465	ocelová lávka pro pěší	313,980	Ruda n. Moravou
314,648	železniční most	314,931	Ruda n. Moravou
315,165	silniční most	315,191	Ruda n. Moravou - Hraběnov
315,173	PB výust' DN 300		Ruda n. Moravou
315,181	PB zaústění odpadního koryta z MVE		Ruda n. Moravou
315,403	kombinovaný jez	315,449	Ruda n. Moravou
315,404	odbočení náhonu na MVE		Ruda n. Moravou
316,401	mostek		Alojzov
316,990	kamenný jez, štětovnice	317,020	Alojzov
317,005	odbočení náhonu		Alojzov
317,841	silniční most s potrubím	317,863	Bohdíkov
318,773	silniční most	317,788	Bohdíkov
319,415	ocelová lávka pro pěší		Bohdíkov

Km	Popis objektu	Km dle TPE (identifikátor objektu)	Lokalita
320,436	LB přítok (výusť DN 600)		Bohdíkov
320,540	betonový jez	320,590	Raškov
320,541	odbočení náhonu		Raškov
320,670	železniční most		Raškov
321,066	silniční most		Raškov

Tab. č. 10 Objekty vstupující do modelu, úsek MOV_05-02, Morava, km 327,255 – 328,541

Km	Popis objektu	Km dle TPE (identifikátor objektu)	Lokalita
327,263	zaústění LB přítoku		Hanušovice
327,484	ocelová lávka	327,589	Hanušovice
327,713	zaústění Branné	327,835	Hanušovice
327,852	zaústění LB přítoku		Hanušovice
327,883	silniční most	328,050	Hanušovice – ul. Hlavní
327,904	stupeň ve dně		Hanušovice
327,916	železniční most	328,093	Hanušovice
328,551	silniční most	328,730	Hanušovice

Tab. č. 11 Objekty vstupující do modelu, úsek MOV_05-03, Branná, km 0,000 – 0,664

Km	Popis objektu	Km dle TPE (identifikátor objektu)	Lokalita
0,057	zaústění náhonu z elektrárny		Hanušovice
0,109	práh ve dně		Hanušovice
0,140	balvanitý skluz		Hanušovice
0,180	silniční most	0,165	Hanušovice - Hynčice
0,274	práh ve dně		Hanušovice
0,299	Hanušovický potok	0,300	Hanušovice
0,662	práh ve dně		Hanušovice

5.2.2 Drsnosti hlavního koryta a inundačních území

Úsek řešený simulací 1D+

Drsnosti koryta Moravy byly zadány na základě pochůzek v terénu a při nich pořízených fotodokumentací [9] a [10]. Pro zadávání drsnosti je uvažováno letní období se vzrostlou vegetací. Drsnosti svahů a inundace jsou zadávány v rozsahu od 0,045 až 0,120. Charakteristická drsnost v konkrétní části příčného profilu byla stanovena na základě zastoupení jednotlivých kategorií využití území v dané linii řezu (prostřednictvím expertně korigovaného váženého průměru). Kategoriím využití území byly za tímto účelem přisouzeny drsnostní koeficienty podle tabulky Tab. č. 12. Drsnost dna koryta je dle charakteru v rozmezí 0,035 – 0,055.

Tab. č. 12 Orientační hodnoty součinitelů drsnosti dle Manninga použité při výpočtu

Povrch	Orientační hodnoty součinitele drsnosti dle Manninga
koryto vodní toku, vodní plocha	0,035-0,055
areál účelové zástavby	0,05
parkoviště, odpočívka	0,02
hřbitov	0,06
okrasná zahrada, park	0,06
ostatní plocha v sídlech	0,03
orná půda	0,04
ovocný sad, zahrada	0,05

Úseky řešené simulací 2D

Drsnosti koryta byly zadány na základě pochůzek v terénu a při nich pořízených fotodokumentací [9] a [10]. Pro zadávání drsnosti je uvažováno letní období se vzrostlou vegetací. Drsnost koryta je uvažována hodnotou součinitele drsnosti $n = 0,035 - 0,050$ dle Manninga. Způsob zadávání drsností v objektech je popsán výše v kapitole 5.2.1. Použité hodnoty součinitele drsnosti pro jednotlivé typy povrchů v inundačním území jsou uvedeny v tab. č. 13.

Tab. č. 13 Orientační hodnoty součinitelů drsnosti dle Manninga použité při výpočtu

Povrch	Orientační hodnoty součinitele drsnosti dle Manninga
koryto	0,035 - 0,050
les	0,080 - 0,085
louka	0,035
orná půda	0,04
park	0,055
silnice, zpevněné plochy	0,025
skalní útvary	0,06
zahrada, park	0,05
zástavba	0,2 – 0,3

5.2.3 Hodnoty okrajových podmínek

Úsek Moravy (MOV_05-01)

Dolní okrajovou podmínkou byla měrná křivka Moravy v km 309,310 pod obcí Bohutín, převzatá ze studie záplavového území Moravy [6].

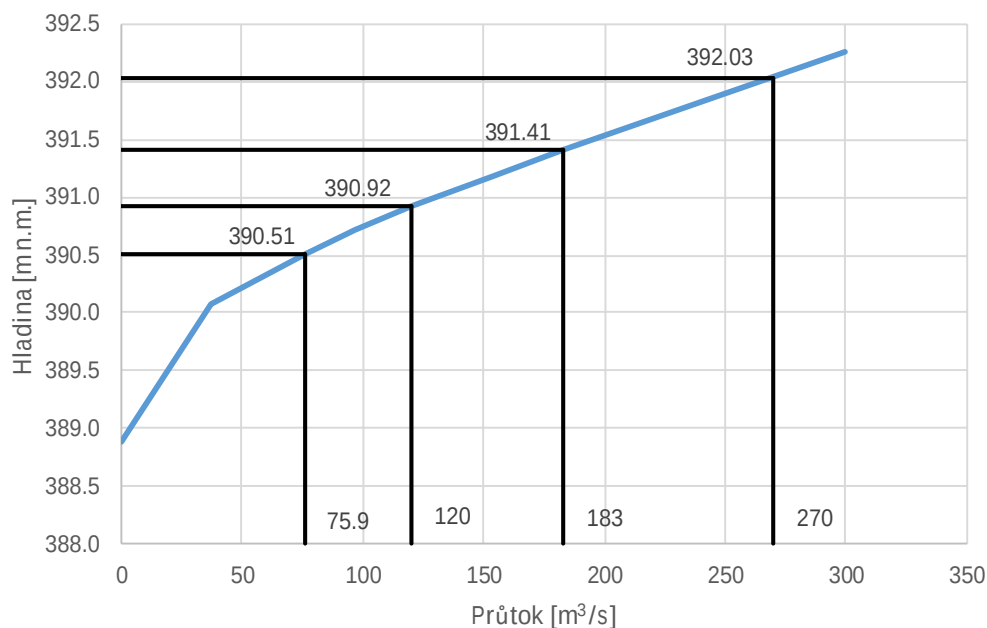


Obr. č. 17 Měrná křivka Moravy v profilu DOP pod obcí Bohutín v km 309,310

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

Úsek Moravy (MOV_05-02) s Brannou (MOV_05-03)

Dolní okrajová podmínka (DOP) je zadána jako úroveň hladiny na dolním okraji modelu ve vzdálenosti 100 m pod řešenou oblastí. Hodnoty úrovní hladin při daných povodňových průtocích jsou převzaty z měrné křivky (obr. č. 18) sestavené na základě výsledků výpočtu provedeného v rámci 1. plánovacího cyklu [20].



Obr. č. 18 Měrná křivka Moravy v profilu DOP ve vzdálenosti 100 m pod zájmovým úsekem

Tab. č. 14 Použité úrovně hladiny pro DOP modelu Moravy (MOV_05-02) s Brannou (MOV_05-03)

Úsek	km	DOP ₅ (m n.m.)	DOP ₂₀ (m n.m.)	DOP ₁₀₀ (m n.m.)	DOP ₅₀₀ (m n.m.)
MOV_05-02	327,168	390,51	390,92	391,41	392,03

Horními okrajovými podmínkami jsou hodnoty kulminace N-letých povodňových průtoků Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , a Q_{500} v Moravě a Branně dodané ČHMÚ [8].

Horní okrajové podmínky jsou dvě:

- Morava ř. km 328,703;
- Branná ř. km 0,699.

Vzhledem k předpokladu spojitých rozlivů do nepříliš širokého inundačního území nad zájmovým úsekem je zvolena dostatečná vzdálenost HOP od horního okraje zájmových úseků a zadání HOP tak nebude nežádoucím způsobem ovlivňovat výsledky výpočtů.

Horní okrajové podmínky jsou do výpočtu zadány ve dvou variantách způsobem popsáným v kap. 4.3. Použité hodnoty HOP jsou uvedeny v tab. č. 15.

Tab. č. 15 Hodnoty HOP pro úsek Moravy (MOV_05-02) s Brannou (MOV_05-03) dle variant

Q_N	Q [m ³ /s] Morava – pod Brannou	Varianta 1		Varianta 2	
		Q_N z Moravy		Q_N z Branné	
		Q_N [m ³ /s] Morava	Q [m ³ /s] Branná.	Q [m ³ /s] Morava	Q_N [m ³ /s] Branná
Q_5	75,9	58,8	17,1	49,8	26,1
Q_{20}	120	90,9	29,1	70,2	49,8
Q_{100}	183	132	51	92,2	90,8
Q_{500}	270	185	85	125	145

5.2.4 Hodnoty počátečních podmínek

Úseky řešené simulací 2D

Jedná se o výpočet ustáleného proudění, pro dosažení požadovaných průtoků v modelu je však potřeba vycházet ze suchého modelu nebo z výstupů simulace menšího průtoků (viz kap. 4.3). Počáteční podmínkou výpočtů je tedy v tomto případě vždy výstup z předchozí simulace.

Úsek řešený simulací 1D+

Pro výpočet ustáleného proudění 1D+ přístupem se počáteční podmínky nezadávají.

5.2.5 Diskuze k nejistotám a úplnosti vstupních dat

Nejistota dosažených výsledků závisí, v prvé řadě na 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.

Nejistotou může být rovněž 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 značné. Je nutno hodnotit i třídu přesnosti poskytovaných hydrologických údajů.

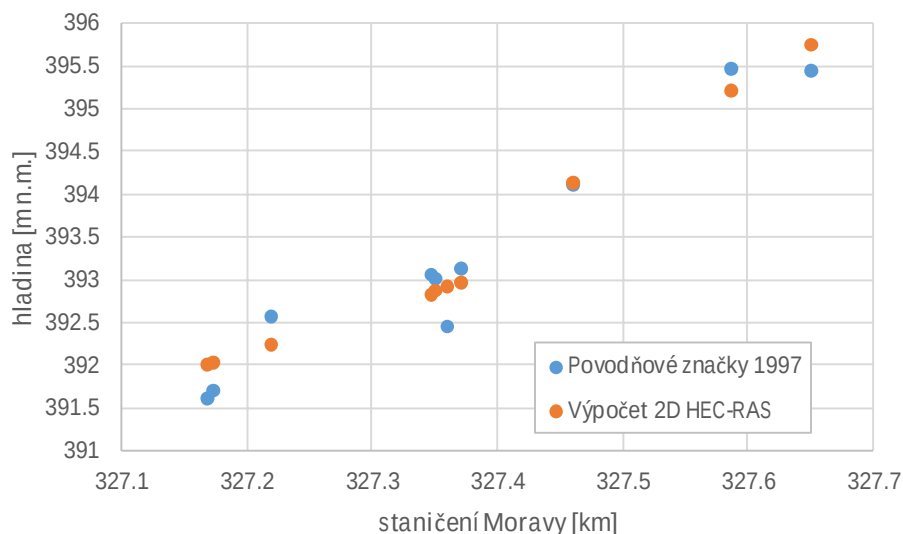
5.3 Popis kalibrace modelu

Úsek Moravy (MOV_05-01)

Model byl kalibrován na dostupná data z povodně 07/1997. http://www.vesmir.cz/files/obr/nazev/2010_376_07.jpg/type/html Ke kulminaci došlo 7. 7. 1997 a v obci Bohdíkov bylo dosaženo kolem $312 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tj. průtok větší než Q_{500} . V zájmovém úseku byl zaznamenán maximální rozliv, který byl použit ke kalibraci modelu.

Úsek Moravy (MOV_05-02) s Brannou (MOV_05-03)

Model byl kalibrován na dostupná data z povodně 07/1997. http://www.vesmir.cz/files/obr/nazev/2010_376_07.jpg/type/html Ke kulminaci došlo 7. 7. 1997 a v limnigrafické stanici byl naměřen nejvyšší vodní stav 392 cm, který odpovídá průtoku $278 \text{ m}^3/\text{s}$, tj. průtoku srovnatelnému s hodnotou Q_{500} dle dostupných dat ČHMÚ [8]. V zájmovém úseku byla zaznamenána řada povodňových značek v inundačním území. Ke kalibraci byly použity naměřené hodnoty úrovní hladin dle povodňových značek v úseku Moravy pod soutokem s Brannou. Hladiny v Branně a v Moravě nad soutokem již nelze považovat za relevantní vzhledem k neznámému dělení průtoků v těchto dvou větvích během kulminace povodně 1997. Hodnoty úrovní hladin použitých pro kalibraci jsou znázorněny na následujícím obrázku.



Obr. č. 19 Kalibrace modelu Moravy (MOV_05-02) s Brannou (MOV_05-03) na hladiny odečtené z povodňových značek zaznamenaných po extrémní povodni v roce 1997

Vypočtené hodnoty úrovní hladin uvedené na obr. č. 19 vychází při nastavení modelových drsností dle tab. 13. Při tomto nastavení jsou rozdíly mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami při průtoku $278 \text{ m}^3/\text{s}$ (přibližně Q_{500}) v rozmezí $-0,40$ až $+0,30 \text{ m}$. V řešeném úseku se jedná o povodňové značky v inundačním území mimo koryto vodního toku s neznámou přesností záznamu. Dále je potřeba vzít v úvahu srovnání nestacionárního průběhu povodně s výpočtem ustáleného stavu. Uvedenými okolnostmi je způsoben poměrně významný výkyv rozdílů hladin na obě strany. Nastavením hodnot drsností při kalibraci byla snaha o minimalizaci průměru rozdílů hladin pro všechny dostupné značky.

Pro objektivní verifikaci modelu nejsou k dispozici relevantní data.

6 Výsledky

6.1 Výstupy z hydrodynamických modelů

Mezi výsledky výpočtů patřily 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. Jednalo 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} . Pro 1D výpočty jsou rychlosti znázorněny pomocí bodů.

Úrovně hladin z 1D výpočtu jsou tabelárně znázorněny v Tab. č. 16.

Tab. č. 16 Psaný podélný profil pro úsek MOV_05-01, Morava km 310,367 – 321,760

Číslo profilu	Ř. Km	Úrovně hladin (m n. m.) pro scénáře:				Poznámka
		Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	
4	310,369	310,33	310,50	310,89	311,34	
-	310,375	310,38	310,52	310,95	311,38	Říční stupeň
5	310,384	310,42	310,54	311,00	311,42	Silniční most
6	310,405	310,62	310,73	311,19	311,59	
7	310,503	311,23	311,32	311,56	311,88	
8	310,566	311,49	311,58	311,75	311,98	
9	310,653	312,04	312,11	312,20	312,35	
-	310,795	312,75	312,81	312,88	313,00	Skluz s PB odbočením náhonu
10	310,852	313,11	313,17	313,22	313,30	
11	310,962	313,62	313,76	313,90	313,99	
12	310,988	313,77	313,92	314,10	314,13	Pevný jez
13	311,028	313,89	314,07	314,29	314,45	
14	311,069	314,00	314,23	314,52	314,73	
15	311,127	314,12	314,42	314,79	315,08	
16	311,168	314,23	314,60	315,07	315,42	
17	311,213	314,30	314,70	315,21	315,63	Most do papíren
18	311,263	314,37	314,78	315,32	315,76	
19	311,323	314,48	314,94	315,53	316,01	
20	311,353	314,57	315,04	315,66	316,14	
21	311,395	314,70	315,20	315,84	316,34	
22	311,460	314,89	315,46	316,19	316,75	
23	311,496	314,96	315,52	316,23	316,79	
-	311,554	315,08	315,64	316,38	316,89	PB zaústění náhonu
26	311,584	315,12	315,66	316,39	316,94	
27	311,637	315,19	315,71	316,43	316,96	
29	311,680	315,30	315,79	316,48	316,98	skluz
30	311,847	316,51	316,60	316,86	317,17	
31	311,877	317,52	317,55	317,55	317,56	Pevný jez
34	312,155	318,35	318,40	318,41	318,42	
35	312,348	319,22	319,29	319,31	319,31	
36	312,470	319,77	319,90	319,93	319,95	

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)
B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

Číslo profilu	Ř. Km	Úrovně hladin (m n. m.) pro scénáře:				Poznámka
		Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	
38	312,678	320,43	320,58	320,63	320,66	
39	312,797	320,99	321,16	321,21	321,24	
40	312,847	321,31	321,56	321,63	321,66	
-	312,887	321,43	321,71	321,80	321,86	Pevný jez, PB odbočení náhonu
-	312,908	321,61	322,08	322,25	322,52	Silniční most a trubní lávka
42	312,931	321,73	322,25	322,44	322,55	Silniční most
43	313,012	322,00	322,52	322,71	322,82	
44	313,084	322,22	322,75	322,94	323,05	
45	313,162	322,53	323,07	323,07	323,45	
46	313,260	322,71	323,25	323,56	323,78	
47	313,343	323,12	323,69	324,04	324,28	
49	313,465	323,59	324,01	324,35	324,95	Ocelová lávka pro pěší
50	313,538	323,88	324,27	324,65	324,95	
51	313,628	324,14	324,49	324,86	325,16	
52	313,765	324,53	324,92	325,27	325,56	
53	313,880	324,84	325,37	325,90	326,11	
54	314,050	325,51	326,15	326,79	326,96	
55	314,172	325,91	326,58	327,27	327,48	
56	314,213	326,12	326,81	327,52	327,74	
57	314,285	326,38	327,07	327,81	328,27	
58	314,328	326,57	327,25	327,97	328,27	
59	314,394	326,84	327,52	328,27	328,62	
60	314,441	326,91	327,60	328,39	328,79	
61	314,548	327,42	328,12	328,89	329,34	
62	314,608	327,73	328,31	329,02	329,49	
-	314,648	327,89	328,43	329,17	329,78	Železniční most
428	314,967	329,60	330,28	331,04	331,64	
429	315,057	329,66	330,34	331,09	331,71	
430	315,139	329,72	330,37	331,11	331,72	
431	315,165	329,80	330,52	331,27	331,86	Silniční most
-	315,173	329,81	330,54	331,30	331,86	PB výust' DN 300
-	315,181	329,81	330,55	331,31	331,86	PB zaústění odpadního koryta z MVE
432	315,221	329,87	330,61	331,32	331,86	
433	315,355	330,17	330,83	331,45	331,98	
434	315,403	330,31	330,91	331,49	332,03	Kombinovaný jez
435	315,615	330,90	331,37	331,89	332,40	
436	315,771	331,39	331,84	332,37	332,87	
437	315,965	332,45	332,92	333,44	333,86	
438	316,081	333,00	333,36	333,80	334,22	
439	316,248	333,66	334,02	334,32	334,64	
440	316,368	334,23	334,60	334,86	335,13	
441	316,401	334,67	335,26	335,54	336,35	Mostek
443	316,565	335,35	336,08	336,47	336,72	

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)
B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

Číslo profilu	Ř. Km	Úrovně hladin (m n. m.) pro scénáře:				Poznámka
		Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	
444	316,662	335,58	336,32	336,76	337,00	
445	316,869	336,19	336,92	337,54	337,88	
446	316,967	336,21	336,93	337,55	337,88	
447	316,990	336,96	337,45	337,98	338,49	Kamenný jez
448	317,005	337,34	337,71	338,20	338,50	Odbočení náhonu
449	317,186	338,36	338,88	339,49	339,80	
450	317,354	338,90	339,27	339,72	340,00	
451	317,462	339,23	339,53	339,87	340,13	
452	317,679	340,15	340,47	340,75	340,94	
453	317,811	340,66	341,01	341,22	341,36	
454	317,841	340,79	341,14	341,47	341,80	Silniční most
456	317,965	341,19	341,59	341,92	342,15	
457	318,053	341,44	341,79	342,11	342,32	
458	318,185	342,00	342,38	342,76	343,03	
459	318,351	342,85	343,18	343,51	343,80	
460	318,463	343,35	343,64	343,93	344,19	
461	318,554	343,77	344,15	344,55	344,86	
462	318,612	344,16	344,56	344,95	345,28	
463	318,760	344,75	345,08	345,32	345,55	
464	318,773	345,01	345,40	345,71	346,13	Silniční most
465	318,805	345,22	345,66	346,01	346,25	
466	318,996	345,78	346,19	346,51	346,73	
468	319,150	346,38	346,72	347,02	347,24	
469	319,312	347,15	347,42	347,66	347,85	
472	319,415	347,61	347,90	348,20	348,50	Lávka pro pěší
473	319,543	348,23	348,58	348,88	349,15	
474	319,707	348,96	349,36	349,67	349,99	
475	319,808	349,40	349,79	350,11	350,43	
476	319,918	349,82	350,22	350,52	350,84	
477	320,061	350,32	350,82	351,17	351,51	
478	320,149	350,78	351,29	351,63	351,96	
479	320,214	351,10	351,65	352,01	352,36	
480	320,318	351,66	352,27	352,69	353,07	
481	320,401	352,00	352,54	352,98	353,56	
-	320,436	352,16	352,69	353,11	353,72	LB přítok (výúst' DN 600)
482	320,451	352,23	352,75	353,17	353,80	
483	320,502	352,44	352,96	353,40	353,80	
484	320,540	352,91	353,41	353,80	354,36	Betonový jez
485	320,565	353,36	353,80	354,13	354,42	
486	320,650	353,69	354,22	354,69	355,11	
487	320,670	353,85	354,50	355,07	355,36	Železniční most
488	320,697	353,85	354,55	355,16	355,75	
489	320,773	353,97	354,63	355,21	355,76	

Číslo profilu	Ř. Km	Úrovně hladin (m n. m.) pro scénáře:				Poznámka
		Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	
490	320,795	354,34	354,97	355,51	356,00	
491	320,870	354,77	355,38	355,90	356,37	
492	320,925	354,96	355,54	356,05	356,49	
493	320,987	355,13	355,72	356,21	356,58	
494	321,047	355,44	355,96	356,51	356,81	
495	321,066	355,70	356,28	356,97	357,66	Silniční most
496	321,086	355,76	356,36	357,08	357,91	
497	321,122	355,92	356,57	357,32	358,09	
498	321,189	356,20	356,86	357,52	358,21	
499	321,343	356,91	357,53	358,06	358,54	
500	321,446	357,56	358,23	358,80	359,17	
546	321,763	357,78	358,44	358,99	359,26	

Úsek MOV_05-01 Morava km 310,367 – 321,760

V obci Bohdíkov dochází k výraznějším rozlivům při Q₅, kdy jsou zaplavovány objekty na LB pod železničním mostem v km 320,670 a také území na LB nad soutokem s Bohdíkovským potokem. Při Q₂₀ jsou oproti rozlivům Q₅ zaplavovány objekty průmyslové i k bydlení v blízkosti zaústění Raškovského potoka na obou březích. Širší rozlivy jsou také v prostoru pod železničním mostem v km 320,670 a nad soutokem s Bohdíkovským potokem. Na PB za železnici jsou zaplavovány objekty při silnici vedoucí do Komňatky a v lokalitě Alojzov. Při Q₁₀₀ a Q₅₀₀ proudí voda celým údolím a zaplavuje přilehlé objekty v max. šířce záplavy při Q₅₀₀ cca 800 m.

V Obci Ruda nad Moravou je při Q₂₀ (i Q₅) zaplavován na LB průmyslový areál v k.ú. Hrabenov. Při Q₂₀ je rovněž zaplavována oblast na PB, naproti průmyslovému areálu. Dále dochází k levobřežnímu rozlivu pod průmyslovým areálem (na ulici 9. května) a k pravobřežnímu rozlivu v lokalitě Truska. Při Q₁₀₀ jsou zaplavovány zemědělské pozemky a následně objekty na PB až za ul. Linhartovu a 9. května, včetně areálu pily. Ve spodní části k.ú. dochází k pravobřežnímu rozlivu až po ulici Olšanská. Při průtoku Q₁₀₀, je levobřežní rozliv usměrněn železničním náspem. Při Q₅₀₀ dochází k rozšíření rozlivu, převážně v oblasti fotbalového hřiště, lokalitě na PB (na počátku obce) a v lokalitě za křižovatkou ulic Olšanská a U zámku.

V obci Olšany dochází při průtoku Q₂₀ k pravobřežnímu rozlivu, kdy dochází k zaplavení oblasti Na bahýnkách a částečně k zaplavení oblasti Otoky. Od průtoku Q₁₀₀ je rozliv rozšířenější a je zaplavováno několik objektů při silnici II/369. Papírna (OP papírna, s.r.o.) je chráněna cca na průtok Q₁₀₀. Při vyšších průtocích je zaplavována. Pravobřežní rozliv za papírnou je usměrněn až silničním náspem (I/11).

V obci Bohutín dochází k oboustrannému rozlivu již při průtoku Q₅. Pravobřežní rozliv dosahuje až za Hraniční strouhu a přilehlý prostor. Do průtoku Q₁₀₀ je rozliv na LB omezen tělesem železniční dráhy. Při Q₅₀₀ jsou zaplavovány rodinné domky za drahou a průmyslová hala náležící areálu papíren.

Úsek MOV_05-02 Morava km 327,255 – 328,541

V řešeném úseku protéká Morava městem Hanušovice. Upravené koryto je kapacitní na průtok Q₅. Při Q₂₀ dochází k levobřežnímu rozlivu v areálu fotbalového klubu. Při průtoku Q₁₀₀ vybřežuje voda pouze na LB. V úseku nad soutokem s Brannou jsou zaplavovány louky až po ul. Pražskou a v dolní části úseku areál fotbalového klubu. V místě soutoku Moravy a Branné jsou zaplavovány garáže a budovy přiléhající korytu. Rozlivy při Q₅₀₀ výrazně zaplavují území na PB. K vybřežení dochází nad křížením toku Moravy se železniční tratí na Jeseník, která na PB Moravy představuje usměrňující a vzdouvací prvek. Pod touto tratí dosahuje rozliv na PB po ul. Školní a je zaplavováno mnoho objektů. Maximální šířka rozlivu při Q₅₀₀ je cca 450 m.

Úsek MOV_05-03 Branná km 0,000 – 0,664

V řešeném úseku protéká Branná Hanušovicemi. Při Q_5 již dochází v horní části úseku k oboustrannému vybřežování a zaplavování průmyslových a skladovacích areálů při ul. Hynčická. Při Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} , na levém břehu, dochází k přelití silnice u silničního mostu a k vrácení vody zpět do koryta pod silničním mostem. Na pravém břehu v horní části úseku dosahuje rozliv při Q_{100} a Q_{500} téměř až k železniční trati, v dolní části úseku dochází k zaplavování prostoru garáží a části obytné zástavby na pravém břehu. Zpět do koryta se voda vrací pod silničním mostem na řece Moravě v km 327,834. Jsou zaplaveny pozemky a místní zástavba dle konfigurace terénu. Maximální šířka rozlivu je při Q_{100} cca 150 m. Nemalý vliv na rozsah záplavy u soutoku Branné s Moravou má rozsah záplavy samotné řeky Moravy.

6.2 Mapy povodňového nebezpečí

Maximálním rozlivem (polygon rozlivu Q_{500}) v řešených úsecích jsou dotčeny obce Chromeč, Klášterec, Bohutín nad Moravou, Olšany nad Moravou, Bartoňov, Ruda nad Moravou, Hrabenov, Hostice, Dolní Bohdík, Komňátka, Raškov, Hanušovice a Hynčice nad Moravou.

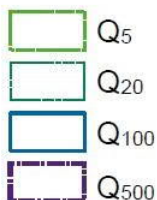
Charakteristiky povodně specifikující povodňové nebezpečí, jako hloubka a svislicová rychlost proudu, jsou v mapách povodňového nebezpečí vykresleny pro povodňové scénáře Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} , kde hranice rozlivů jsou doprovodnými informacemi pro příslušné scénáře. Hloubky a svislicové rychlosti 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. 20.

Rozlivy



Obr. č. 20 Linie hranic rozlivů pro jednotlivé průtoky

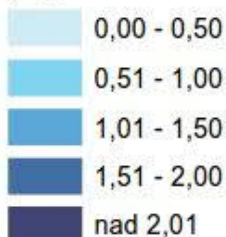
6.2.2 Hloubky pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}

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. $1\text{ m} \times 1\text{ m}$.

Rozdělení intervalů hloubek a jejich barevná definice je v mapách vykreslena podle metodiky [XVII] - viz Obr. č. 21.

Hloubky

[m]

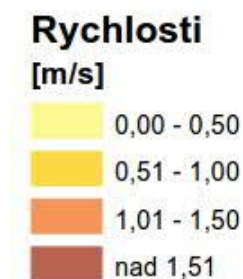


Obr. č. 21 Definice barev a intervalů hloubek

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

Údaje o svislicových rychlostech byly pro úsek MOV_05-02 a MOV_05-03 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. 22.



Obr. č. 22 Definice barev a intervalů svislicových rychlostí

Průřezové rychlosti jsou pro úsek MOV_05-01 zobrazeny pro jednotlivé průtoky jako bodové hodnoty, a to vždy pro části profilu tvořené vlastním korytem a pravobřežní resp. levobřežní inundací.

Rychlosti v tomto úseku je možno rozdělit na rychlosti v korytě a mimo koryto. V korytě jsou hodnoty rychlostí v rozmezí $1,0 - 2,5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, místně až $3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Hodnoty rychlostí se v inundaci pohybují do $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Rozdělení intervalů rychlostí a jejich barevná definice je v mapách vykreslena podle metodiky [XVII] - viz Obr. č. 23.



Obr. č. 23 Definice barev a intervalů průřezových 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.