

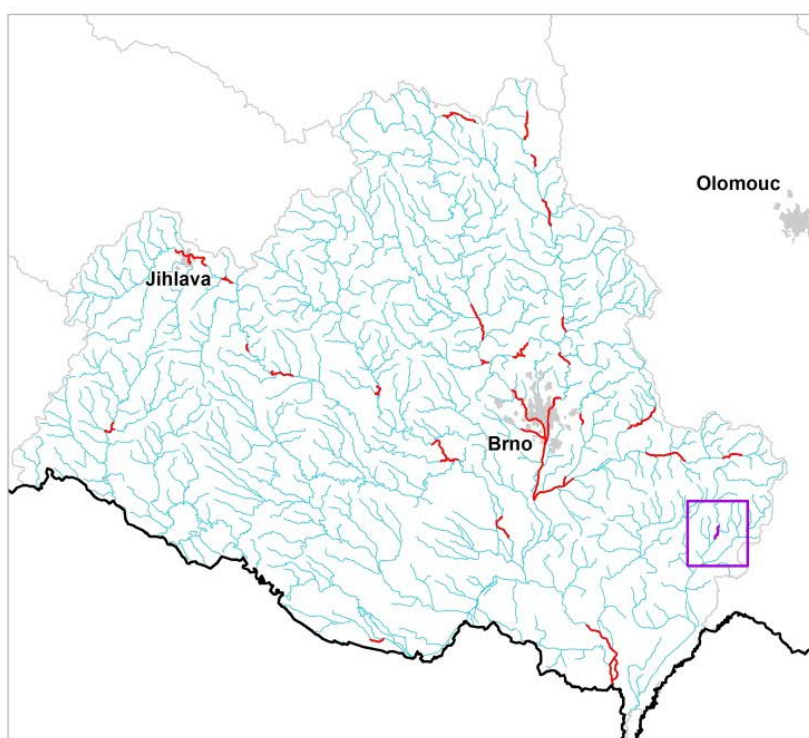


ANALÝZA OBLASTÍ S VÝZNAMNÝM POVODŇOVÝM RIZIKEM V ÚZEMNÍ PŮSOBNOSTI STÁTNÍHO PODNIKU POVODÍ MORAVY VČETNĚ NÁVRHŮ MOŽNÝCH PROTIPOVODŇOVÝCH OPATŘENÍ (PODKLAD K PLÁNU PRO ZVLÁDÁNÍ POVODŇOVÝCH RIZIK V POVODÍ DUNAJE)

DÍLČÍ POVODÍ DYJE

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

KYJOVKA – 10100029_1 (DYJ_02-01) - Ř. KM 50,020 – 52,900



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 DYJE

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

KYJOVKA – 10100029_1 (DYJ_02-01) - Ř. KM 50,020 – 52,900

Pořizovatel:



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

Zhotovitel:



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

Zpracovatel posudku:



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta stavební.
Veveří 331/95
602 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 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	19
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}	22
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 zkratek a symbolů

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

Tab. č. 1 Seznam zkratek 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
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center - River Analysis System
HOP	horní okrajová podmínka
LB	levý břeh/levobřežní
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
OP	okrajová podmínka
PB	pravý břeh/pravobřežní
PP	počáteční podmínka
PPO	protipovodňové opatření
PVPR	předběžné vymezení povodňových rizik a vymezení oblastí s potenciálně významným povodňovým rizikem
RZM 10	rastrová základní mapa 1 : 10 000
SOP	studie odtokových poměrů
TNV	odvětvová technická norma
TPE	Technicko - provozní evidence
VD	Vodní dílo
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 Kyjovka – 10100029_2 (DYJ_02-01) – ř. km 50,020– 52,900 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 byly:

- 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).

Oproti 1. plánovacímu cyklu z r. 2012 byl řešený úsek prodloužen cca o 891 metrů na horním konci (rozsah úseku v 1. plánovacím cyklu byl 50,020 – 52,009).

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. [7] a také výstupy z 1. plánovacího cyklu zpracované firmou Pöyry Environment a.s. v r. 2012 [17].

2 Popis zájmového území

Předmětem řešeného území je úsek na toku Kyjovka v km 50,020 – 52,900* (Obr. č. 1). V rámci stanovení map povodňového nebezpečí bude pro celý úsek sestaven zcela nový hydrodynamický model.

Tab. č. 2 Základní informace o řešeném úseku

ID úseku	Pracovní číslo úseku	Tok	Říční km, začátek - konec	ČHP
10100029_2	DYJ_02-01	Kyjovka	50,020 – 52,900	4-17-01-074

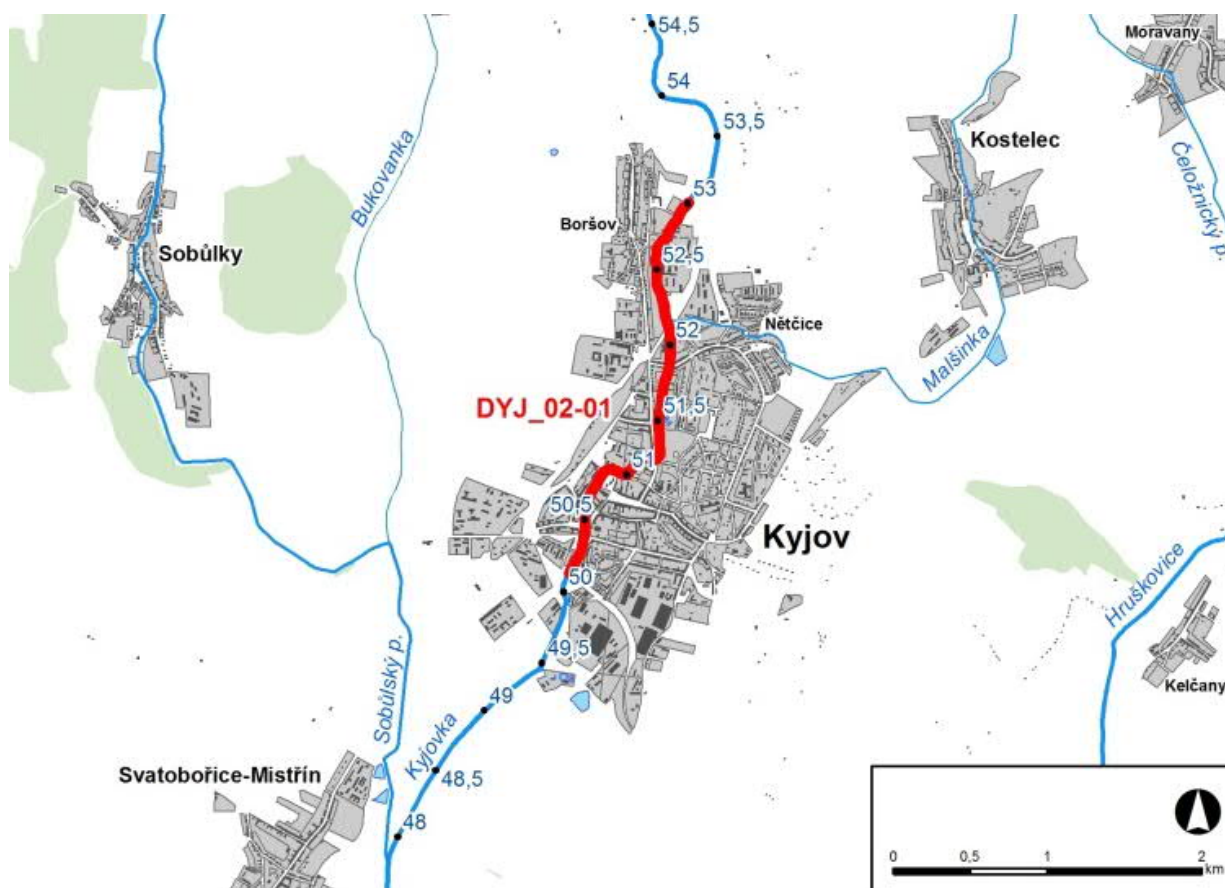
*) Komentář k používané kilometrži toku

V celém projektu je používána kilometráž, která vychází z již zpracovaných studií Povodí Moravy, s.p. [7].

Objekty mají tzv. administrativní kilometráž dle Technicko-provozní evidence toku (TPE) [11], tato slouží jako neměnný identifikátor jednotlivých objektů. Staničení objektů dle výpočetního modelu a dle TPE je uvedeno v kap. 5.2.1.

Vodní díla: na přítoku Kratinka cca 6 km nad začátkem zájmového úseku DYJ_02-01 se nachází rybník Trdliště. Na toku Kyjovka je vybudováno VD Koryčany cca 22 km nad začátkem zájmového úseku.

Přitoky: na začátku zájmového úseku Kyjovky ústí do Kyjovky LB přítok Malšinka.



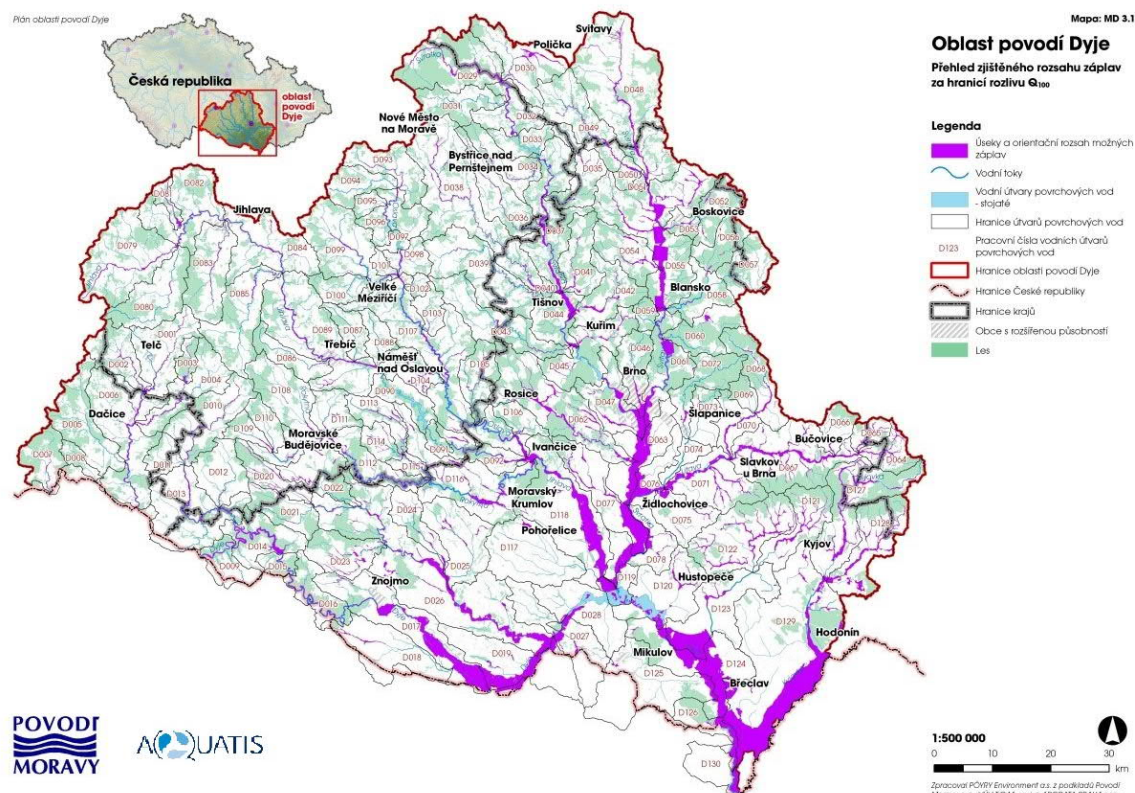
Obr. č. 1 Vymezení řešené oblasti s významným povodňovým rizikem

2.1 Všeobecné údaje

Kyjovka je levostranný přítok Dyje, do které se vlévá u Lanžhota na jejím km 5,610 v nadmořské výšce 151,98 m. Pramení ve Chříbech pod vrchem Brdo (587 m n.m.) v nadmořské výšce 518,25 m. Největším přítokem je Kopanice (31,85 km). V povodí se nachází 324 vodních ploch s celkovou rozlohou 747,37 ha. Největší z nich jsou Jarohněvický rybník (88,87 ha) a Štěrkovna (65,36 ha). Délka toku je 88,13 km. Plocha povodí 678,28 km².

Úsek 10100029_2 (DYJ_02-01), Kyjovka

V řešeném úseku protéká Kyjovka katastrálním územím Kyjov a Netčice u Kyjova. Úsek začíná u lávky pro pěší v ř. km 52,927 u baseballového hřiště a končí v místě křížení se železničním mostem pod ulicí Riegrova v ř. km 49,778. Tok protéká centrem města Kyjova, zástavba je v těsné blízkosti koryta. Koryto je upraveno do tvaru jednoduchého lichoběžníku, místy jsou břehy opevněny pohozem z lomového kamene. V zájmovém území je jedenáct mostů. Úsek Kyjovky v zájmovém území je ve správě Povodí Moravy, s.p.



Obr. č. 2 Přehledná mapa povodí Dyje dle [12]

2.2 Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)

Největší zaznamenaná povodeň v novodobé historii na řece Kyjovce v limnigrafické stanici Kyjov, ve městě Kyjov, je datována k červnu 1970. Příčinou povodně byly výjimečné úhrny srážek vyvolaly v severní části okresu Hodonín a v přilehlé východní části okresu Břeclav mimořádné povodně na místních vodních tocích. http://www.vesmir.cz/files/obr/nazev/2010_376_07.jpg/type/html Povodeň způsobila značné škody i na komunikacích. Řada silnic, místních komunikací, mostů i několik úseků železničních tratí byly zničeny nebo poškozeny. Silnice spojující Kyjov se Žarošicemi musela být uzavřena, což způsobilo v regionu značné dopravní problémy. Nelze pominout ani důsledky přívalové povodně v zemědělství. V okrese Hodonín bylo zaplaveno téměř 9000 hektarů zemědělské půdy a na většině této rozlohy byly zničeny nebo vážně znehodnoceny zemědělské kultury [19]. Ke kulminaci došlo 9. 6. 1970 a ve městě Kyjov bylo dosaženo kolem 21 m³/s, tj. průtok cca Q_{20} [16]. Limnigraf Kyjov zaznamenal vodní stav 285 cm [16], přičemž druhá největší povodeň dle vodního stavu 255 cm, tj. 17 m³/s, tj. průtok cca Q_{10-20} , byla v červenci 1997. K další významné povodni v novodobé historii došlo v červnu 1999 (vodní stav 228 cm, tj. 13 m³/s, tj. průtok větší než Q_{10}) [16]. V dávnější historii byly zaznamenány povodně v červenci 1965 (vodní stav 240 cm), v květu 1952 (vodní stav 215 cm) a v červnu 2010 (vodní stav 210 cm) [16].



Obr. č. 3 Povodeň 1970 – zcela zdevastovaný úsek železniční trati Čejč – Ždánice u přejezdu silnice Kyjov Brno



Obr. č. 4 Na řadě míst se v povrchu poddolovaného území vytvořily krátery

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.: 11800558, 11800560, 11800562, 11800564, 11820558, 11820560, 11820562, 11820564, 11840558, 11840560, 11840562, 11840564, 11860558, 11860560, 11860562, 11860564, 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] Geodetické zaměření, AQUATIS, a.s., Brno, 2009.
- [7] Studie záplavového území Kyjovky, Povodí Moravy, s.p., Brno, 2009
- [8] Hydrologická data – N-leté průtoky, ČHMÚ, 12/2018.
- [9] Místní šetření v zájmové lokalitě v průběhu říjen 2012. Pöyry Environment a.s., Brno.
- [10] Místní šetření v zájmové lokalitě v průběhu března 2019. AQUATIS a.s., Brno
- [11] Technicko provozní evidence toků – TPE Kyjovka, Povodí Moravy, s.p., Brno.
- [12] Plán dílčího povodí Dyje, AQUATIS a.s., 2016.
- [13] Hydrologické poměry Československé socialistické republiky, díl III, Hydrometeorologický ústav, 1970.
- [14] www.pmo.cz, Stavy a průtoky na vodních tocích, únor 2019.
- [15] Studie protipovodňových opatření na území Jihomoravského kraje, Pöyry Environment a.s., Brno, 05/2007
- [16] Evidenční list hlásného profilu č. 403, tok Kyjovka, lim. stanice Kyjov. Aktualizace únor 2019.
- [17] Tvorba map povodňového nebezpečí a povodňových rizik v oblasti povodí Moravy a v oblasti povodí Dyje, Pöyry Environment a.s., Brno, 07/2013.
- [18] HEC-RAS 5.0 River Analysis System – User's Manual, US Army Corps of Engineers, 02/2016.
- [19] <http://www.vesmir.cz/clanek/utajovana-privalova-povoden-na-jizni-morave-9-cervna-1970>
- [20] Numerický 1D+ model Kyjovky v programu MIKE 11, Povodí Moravy, s.p., 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 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 byl vytvořen digitální model terénu (DMT) pro celý řešený úsek. DMT byl vytvořen s použitím programů ESRI Arc GIS Version 10.5 (nadstavba 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]. 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, 2017, 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 zaměření Kyjovky provedl a zpracoval AQUATIS a.s v roce 2009 [6]. Zaměření je v polohopisném systému S-JTSK, výškopisném systému Balt po vyrovnání. Výkresová dokumentace je k nahlédnutí u zpracovatele.

3.4 Hydrologická data

V Tab. č. 3 jsou uvedena hydrologická data. Data byla ověřena u ČHMÚ 12.12.2018 [8]. Hodnoty pro Q_5 , Q_{20} byly oproti hodnotám z r. 2009 sníženy, naopak hodnota pro Q_{500} byla navýšena o cca. 11 m³/s.

Tab. č. 3 Aktuální N–leté průtoky (Q_N) v m³/s [8]

Hydrologický profil	Datum pořízení	Říční kilometr	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	Třída přesnosti
Kyjovka - Kyjov	12.12.2018	50,9	8,6	18,3	40	78,7	I.

Tab. č. 4 Starší hodnoty N-letých průtoků (Q_N) v m³/s [13], [17].

Hydrologický profil	Datum pořízení	Říční kilometr	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	Třída přesnosti
Kyjovka - Kyjov	2009	50,9	11,1	21,8	40,5	67,4	II.
Kyjovka - Kyjov	1970	50,9	14	28	40	-	II.

3.5 Místní šetření

V rámci zpracování 2. plánovacího cyklu bylo provedeno místní šetření v březnu 2019 [10]. Byly pořízeny fotografie vodního toku, technických objektů na toku, inundačního území a citlivých objektů v možném záplavovém území Q_{500} . 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. Změny ovlivňující proudění vody v korytě a inundaci nebyly zjištěny.

3.6 Stávající hydrodynamický model a kalibrační podklady

Numerický jednorozměrný síťový (1D+) model Kyjovky byl vytvořen v programu MIKE 11 na Povodí Moravy, s.p. v roce 2009 [20]. Model sloužil pro zpracování Studie záplavového území Kyjovky [7]. 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 bylo simulováno ustálené nerovnoměrné proudění s využitím okrajových podmínek při kulminaci z výše uvedeného celkového modelu Kyjovky. 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 zjištěné z terénního průzkumu a výchozího modelu byly zohledněny.

Kalibrační data – měrná křivka limnigrafu Kyjov [16].

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]) pokrývají celé zájmové území.

Pozemní geodetické zaměření [6] pokrývá celé zájmové území řešeného úseku Kyjovky. 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 inundačním území jsou dále zaměřeny liniové stavby podélné i příčné. Geodetické práce zpracovali AQUATIS a.s. v roce 2000.

Hydrologická data Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} použitá ve stávajícím výpočtu jsou aktuální, ověření dat proběhlo na ČHMÚ v prosinci 2018 [8].

Terénní průzkum byl proveden 29.10.2012. Byla pořízena fotodokumentace a prověřena aktuálnost geodetického zaměření. Aktualizace v rámci 2. plánovacího cyklu byla provedena v březnu 2019, během které nebyly odhaleny žádné změny oproti modelu z roku 2012.

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

Podkladem pro výpočet byl stávající numerický 1D+ model Kyjovky [20] zahrnující zájmový úsek v programu MIKE 11, který byl vytvořen na Povodí Moravy, s.p. v roce 2009.

Podkladovými kalibračními daty jsou údaje z měrné křivky na limnigrafu Kyjovka – Kyjov [16].

4 Popis koncepčního modelu

Pro výpočet byl použit dvourozměrný (2D) model neustáleného proudění. Okrajové podmínky (OP) řešení a celková doba simulace však byly zvoleny takovým způsobem, aby prezentované výsledky popisovaly stav ustáleného proudění při požadovaných N-letých průtocích 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 využívána spíše 1D schematizace proudění, což je odůvodněno tím, že obvykle nedochází k rozsáhlým rozlivům do inundací a převažuje proudění paralelně s osou koryta toku. Jednorozměrné modely jsou jednoduché a méně náročné při řešení a jejich využití bylo historicky podmíněno především nižším rozlišením dostupných DMT, popř. softwarovými nároky a stabilitou výpočtu. V posledních 20 letech se často uplatňuje přístup, kdy se proudění v korytě modeluje pomocí 1D schematizace a inundace pomocí 2D schematizace, přičemž je zajištěna výpočetní provázanost obou schematizací. Použití uvedeného přístupu je obvykle důsledkem nižšího rozlišení DMT koryta toku (DMR 5G nepopisuje terén pod hladinou vody). Nevýhodou uvedeného přístupu je především omezená možnost provázání obou schematizací a málo výstižná simulace proudění složitými objekty s 2D charakterem proudění. Přesnějším řešením, pokud existuje kompletní DMT, je 2D schematizace proudění v korytě i v inundačním území. Další zpřesnění poskytuje 3D schematizace, která se vzhledem k hardwarovým nárokům zatím často nepoužívá.

V rámci zpracování jsme s ohledem na charakter proudění, dostupná data a požadavky na výsledky zvolili 2D schematizaci, tedy byl vytvořen 2D model proudění. Výhodou 2D modelu proudění oproti 1D, 1D+ a kombinaci 1D a 2D modelu je přesnější popis proudění v území, snadná vizuální kontrola výsledků a možnost přímého vygenerování výstupů pro vyhotovení map povodňového nebezpečí. Kombinací DMR 5G a podrobného DMT koryta je možné vytvořit velmi detailní výpočetní síť. V případě složitější topografie dna a břehů toku umožňuje 2D schematizace přesnější popis rozložení rychlostí v korytě a nabízí individuální volbu součinitelů drsnosti pro každou výpočetní buňku (prvek).

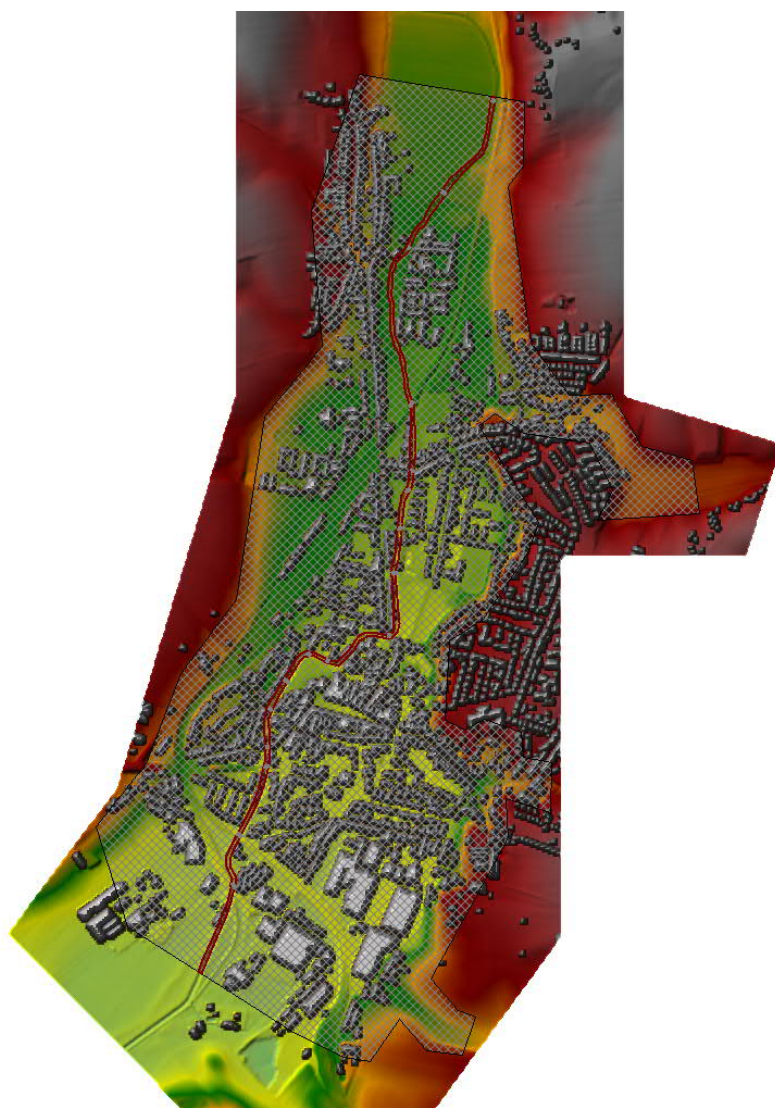
Pro řešení byl použit softwarový prostředek HEC-RAS 5.0 [18].

2D modelem bylo popsáno proudění vlastním korytem řeky Kyjovky, související inundace a veškeré objekty. V modelu není počítáno s přítoky, které jsou v porovnání s řekou Kyjovkou bezvýznamné. V tomto úseku se jedná o levostranný přítok Malšinka.

4.1 Schematizace řešeného problému

V rámci vytváření 2D modelu byla provedena schematizace náhradní oblasti pomocí nepravidelné mnohoúhelníkové výpočetní sítě (Obr. č. 5). Základem byla ortogonální síť s velikostí prvku 4,0 x 4,0 m, která byla 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, byla síť z důvodu výstižnosti zahuštěna až na velikost prvku 0,5 m x 0,5 m (Obr. č. 6).

Celková výpočetní síť měla 249 381 buněk.



Obr. č. 5 Schéma výpočetní sítě modelu pro úsek DYJ_02-01



Obr. č. 6 Detail výpočetní sítě pro úsek DYJ_02-01

4.2 Posouzení vlivu nestacionarity proudění

Výsledky předkládaných hydraulických výpočtů odráží teoretický stav, při kterém by došlo k ustálenému proudění s hodnotou průtoku Q_N v celém záměrovém úseku i přilehlém inundačním území. Zvolený přístup má za následek vychýlení některých výsledků (rozsah rozlivu, hodnoty hloubek) mírně na stranu bezpečnosti oproti reálnému stavu, především při modelovém průchodu povodňových vln vyšších N-letostí (s kulminačními průtoky Q_{100} a Q_{500}). Důvodem zmíněného nadhodnocení je skutečnost, že reálné povodně se vyznačují neustáleným prouděním, tedy mají nižší objemovou složku (kulminační průtok odpovídající vyšetřované N-letosti se vyskytuje omezenou dobu) a při proudění dojde k jejich transformaci územím. Výsledek proudění při ustáleném stavu vystihuje stav, kdy by nejhorší fáze povodně nastala v celém vyšetřovaném úseku ve stejný okamžik.

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

Okrajové podmínky jsou zadány následovně.

Horní okrajovou podmínkou (HOP) jsou průtoky. Při ustálení odpovídají hodnotám N-letých průtoků Q_5 , Q_{20} a Q_{100} , a Q_{500} ve vodním toku Kyjovka dodaných ČHMÚ [8].

Dolní okrajovou podmínkou (DOP) je úroveň hladiny na dolním okraji modelu ve vzdálenosti 550 m pod řešenou oblastí. Hodnota dolní okrajové podmínky je určena na základě sklonu čáry energie při řešeném průtoku. Sклон čáry energie je stanoven z průměrného podélného sklonu dna toku.

Výpočet je zahájen na „suchém“ modelu. Na začátku simulace je HOP průtok, který je menší, než je kapacita koryta vodního toku, v tomto konkrétním případě je zadána hodnota $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Průtok na HOP je plynule zvyšován po dobu 30 min až na hodnotu Q_5 , která je v následující době simulace neměnná. Na dolním konci modelu je sledována hodnota průtoku v kontrolním profilu. Celková doba výpočtu je dle tohoto sledování nastavena tak, aby došlo k ustálení na celém modelovaném úseku. Výpočetní software umožňuje vložení řady kontrolních řezů jdoucích napříč korytem i inundačním územím. 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 (PP) ustálené proudění při 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 pro průtoky Q_{100} a Q_{500} .

5 Popis numerického modelu

5.1 Použité programové vybavení

Výpočet proudění byl proveden pomocí programu HEC-RAS 5.0.6 (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System), vyvinutého 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 jsou uvedeny v manuálu [18]. Pro řešení proudění byla zvolena metoda difúzní vlny (resp. její aproximace). Numerická schematizace se opírá o kombinaci metody konečných diferencí a konečných objemů.

Výsledky dosažené metodou difúzní vlny byly na vybraných zájmových úsecích porovnány s metodou využívající úplných Saint Venantových rovnic. Na převážné většině území výpočetní síť dávaly obě zmiňované metody srovnatelné výsledky, přičemž metoda difúzní 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 difúzní vlny jeví jako praktická a adekvátní technika pro řešení úlohu.

Numerickým modelem je popsán průtok vlastním korytem řeky Kyjovky včetně souvisejících inundačních území a veškerých objektů.

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 Kyjovky. Model povrchu inundačního území je vytvořen na základě DMR 5G [1]. Digitální povrch terénu použitý ve výpočtu je vytvořen propojením zaměření koryta, digitálního modelu reliéfu a objektů - budov. Bližší informace o přípravě DMT popisuje kapitola 3.3.1. HOP jsou hodnoty N-letých povodňových průtoků Q_5 , Q_{20} a Q_{100} , a Q_{500} v Kyjovce dodaných ČHMÚ [8]. Způsob jejich zadávání popisuje kapitola 4.3. DOP je průměrný podélný sklon dna koryta v okolí DOP. Pro stanovení součinitele drsnosti byly používány ortofotomapy [3] a fotodokumentace [9] a [10] pořízená při terénním průzkumu, který proběhl v rámci projektu Mapy povodňových rizik 2012 a 2019.

5.2.1 Morfologie vodního toku a záplavového území

Do výpočtového modelu jsou zahrnuty veškeré objekty na toku (Tab. č. 5). 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 různými přístupy.

V případě mostů byly použity dva přístupy. V případě, že úroveň hladiny nedosahovala dolní hrany mostovky, byl mostní objekt zadán úpravou geometrie koryta v profilu mostu zahrnutím mostních pilířů. Mostovka v takovém případě uvažována nebyla.

V případě, že úroveň hladiny byla výš než úroveň dolní hrany mostovky, bylo proudění (přepad) přes mostovku řešeno 2D (úroveň povrchu terénu odpovídala úrovni povrchu mostovky) a proudění mostním profilem 1D pomocí propustku s vhodně zvoleným tvarem v téže místě. V takovém případě se dbalo na to, aby se geometrické parametry propustku co nejvíce blížily skutečnému mostnímu otvoru. Součinitele drsnosti 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 1D jako přelivy. Součinitel přepadu byl volen individuálně, na základě vlastností daného objektu.

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

Tab. č. 5 Objekty vstupující do modelu, Kyjovka (DYJ_02-01) km 50,020 – 52,900

Km	Popis objektu	Km dle TPE (identifikátor objektu)	Lokalita
50,017	železniční most	-	Kyjov
50,295	silniční most	-	Kyjov
50,365	silniční most	-	Kyjov
50,508	silniční most	-	Kyjov
50,626	trubní most	-	Kyjov
50,734	výúst' kanalizace	-	Kyjov
50,765	silniční most, trubní most	-	Kyjov
50,837	hospodářský most	-	Kyjov
51,135	silniční most	-	Kyjov
51,379	tabulový jez	-	Kyjov
51,550	silniční most	-	Kyjov
51,766	silniční most	-	Netčice u Kyjova
52,003	Malšínska	-	Netčice u Kyjova
52,033	železniční most	-	Netčice u Kyjova
52,150	lávka pro pěší	-	Netčice u Kyjova
52,660	cestní most	-	Netčice u Kyjova

5.2.2 Drsnosti koryta a inundačních území

Hodnoty součinitelů drsnosti Kyjovky byly zadány na základě pochůzek v terénu a při nich pořízených fotodokumentací [9] a [10]. Pro zadávání hodnot součinitelů drsnosti je uvažováno letní období se vzrostlou vegetací. Způsob jejich zadávání v objektech byl popsán výše v kapitole 5.2.1. Hodnoty použitých součinitelů drsnosti jsou v Tab. č. 6.

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

Povrch	Orientační hodnoty součinitele drsnosti dle Manninga
cesta	0,025
koryto	0,055
les	0,080 - 0,085
louka	0,035
park	0,055
pole	0,04
skládka	0,05
voda	0,04
zahrada	0,05
zástavba	0,2 – 0,3
zpevněná plocha	0,016
zvláště chráněné území	0,075

5.2.3 Hodnoty okrajových podmínek

Dolní okrajovou podmínkou (DOP) je úroveň hladiny na dolním okraji modelu ve vzdálenosti 550 m pod řešenou oblastí. Hodnota dolní okrajové podmínky je určena na základě průměrného podélného sklonu dna koryta $i = 0,0045$.

Horní okrajovou podmínkou byly hodnoty N-letých povodňových průtoků Q_5 , Q_{20} a Q_{100} , a Q_{500} v Kyjovce dodaných ČHMÚ [8]. V Tab. č. 7 je uveden přehled HOP.

Tab. č. 7 N-leté povodňové průtoky uvažované při hydraulickém řešení

Úsek název vodního toku / N-leté průtoky Q_N	Úsek toku (km od - do)	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	Poznámka
DYJ_02 Kyjovka	50,017 - 52,033	8,6	18,3	40	78,7	

5.2.4 Hodnoty počátečních podmínek

Požaduje se výsledek ustáleného proudění. Pro simulaci je však potřeba vycházet ze suchého modelu nebo z výstupů simulace menšího průtoky. PP výpočtu je tedy v tomto případě vždy výstup z předchozí simulace. V Tab. č. 8 je uveden přehled PP a doby výpočtu potřebné pro ustálení v úseku DYJ_02-01.

Tab. č. 8 Hodnoty HOP, PP, doba výpočtu

HOP	PP	Doba zvyšování průtoky	Doba pro ustálení
$Q_5 = 8,6 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 2,0 \text{ m}^3/\text{s}$	0:30 hod	02:00 hod
$Q_{20} = 18,3 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_5 = 8,6 \text{ m}^3/\text{s}$	0:30 hod	07:00 hod
$Q_{100} = 40 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{20} = 18,3 \text{ m}^3/\text{s}$	0:30 hod	10:00 hod
$Q_{500} = 78,7 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{100} = 40 \text{ m}^3/\text{s}$	0:30 hod	09:00 hod

5.2.5 Diskuze k nejistotám a úplnosti vstupních dat

Nejistota může být v podrobnosti a přesnosti geodetických dat. Udávaná přesnost DMR 5G je 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu. Zaměřené příčné profily koryta byly doplněny o pomocné interpolované řezy tak, aby jejich průměrná vzájemná vzdálenost byla cca 60 m. Provedená schematizace koryta mezi příčnými řezy tak může mít vliv na zkreslení výsledků výpočtů.

Popis drsností vychází z terénního průzkumu a zohledňuje tzv. letní stav, kdy jsou koryto a inundační území výrazněji zarostlé.

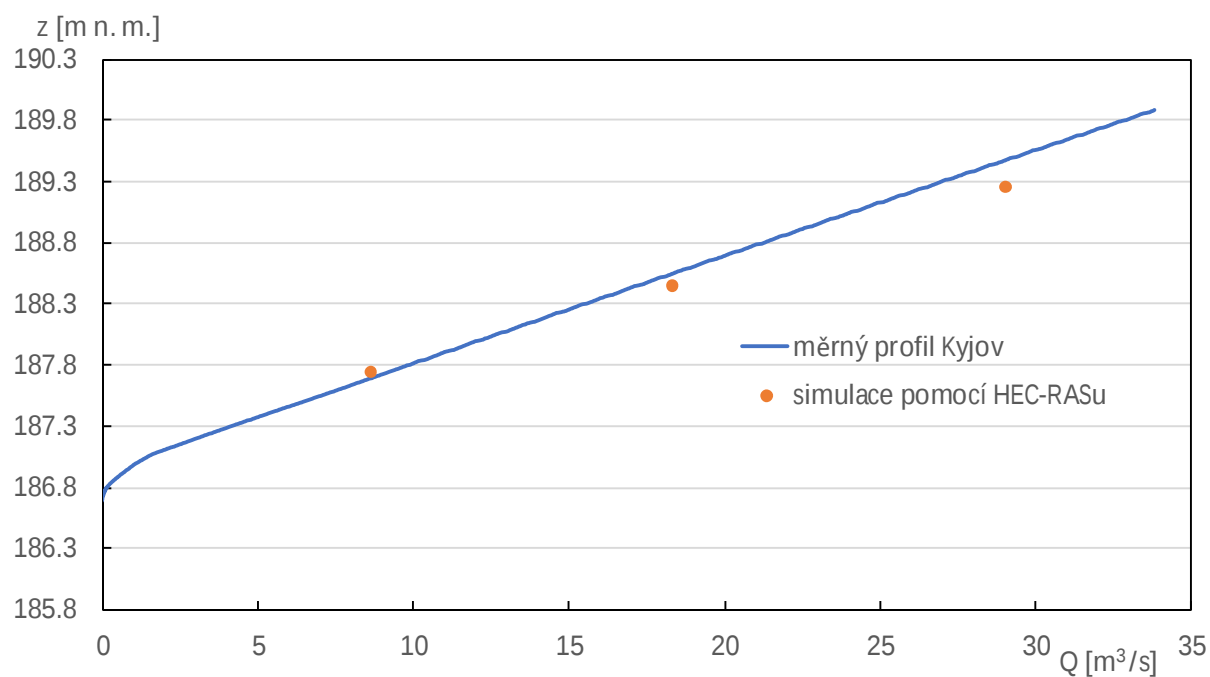
Nejistotou může být rovněž aktuální stav koryta a inundačního území za povodně, množství transportovaných splavenin a tvoření zátaras z plovoucích předmětů. Ve výpočtu je uvažováno se stavem „čistého“ koryta, bez omezení průtočnosti. Kapacitu koryta dále ovlivňuje stav nánosů nebo naopak zahlubování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

Nejistota dále spočívá v hydrologických údajích stanovených dle ČHMÚ. Je zřejmé, že údaje o N-letých průtocích nejsou údaje neměnné. Při zpracování výpočtů jsou tedy posuzovány veškeré dostupné hydrologické podklady - tedy současně platné se porovnávají s historickými i „nedávno minulými“. Rozptyl 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

Model byl kalibrován na měrnou křivku měrného profilu Kyjov v km 50,626. Porovnání bylo možno provést pouze do plné kapacity koryta v místě měrného profilu, tzn. do $Q = 33,8 \text{ m}^3/\text{s}$, která odpovídá průtoky mezi Q_{20} a Q_{100} . Porovnání změřené a vypočtené hladiny je zobrazeno na Obr. č. 7.



Obr. č. 7 Porovnání změřené a vypočtené hladiny v místě měrného profilu

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, svislicových rychlostí a úrovní hladin ve formátu *.tif. Grafickým výstupem jsou mapy povodňového nebezpečí, a to mapy rozlivů, hloubek a svislicových rychlostí pro jednotlivé řešené kulminační průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{500} .

Úsek DYJ-02-01 Kyjovka, km 50,020 – 52,900

V řešeném úseku jsou zaplavovány objekty v obci Kyjov, městské části Boršov a Nětčice. V Kyjově jsou průtoky transformovány tabulovým jezem v městském parku.

Při průtoku Q_5 nedochází v celé délce řešeného úseku k vybřežení vody. Při průtoku Q_{20} dochází k oboustrannému vybřežení vody v městské části Boršov a dochází k zaplavení baseballového hřiště, zahrad pod baseballovým hřištěm a prostoru krajinné zeleně nad MŠ a ZŠ. V Kyjově dochází k zaplavení ulice Sídliště Zahradní, částečnému zaplavení městského parku a doprovodné zeleně mezi ulicemi Svatoborská a Strážovská. Dále dochází k zaplavení zástavby v prostoru mezi Kyjovkou, železniční tratí a ulicí Riegrova.

Při průtoku Q_{100} v části Boršov dochází kromě baseballového hřiště k zaplavení zahrad náležících k objektům na ulici Boršovská a Za Humny a zaplavení průmyslové zóny. V Kyjově pak levobřežního prostoru od fotbalového hřiště a ulice Mlýnská po městský stadion včetně sídliště Zahradní a Za Stadionem. Dále dochází k celkovému zaplavení městského parku a koupaliště. V centru dochází k zaplavení ulic Dobrovského, třída Komenského a Jungmannova, východní části Masarykova náměstí a celého prostoru zástavby mezi ulicemi Za Mlaty, Nerudova a Svatoborská. Na jih od ulice Nerudova dosahuje záplava až k ulici Vrchlického a dochází k jejímu částečnému zaplavení, zaplavení západní části areálu sklárny a celkovému zaplavení šroubárny. Na pravém břehu dochází k zaplavení zahrad náležících k objektům na třídě Komenského, obchodního centra na třídě Komenského, MŠ Nádražní a průmyslového areálu v centru Kyjova. Dále je zaplaven prostor od ulice Svatoborská a Strážovská do vzdálenosti 120 m od toku a prostor doprovodné zeleně mezi železniční tratí a vlečkou.

Rozliv při Q_{500} není výrazně větší oproti rozlivu při Q_{100} . V části Boršov dosahuje rozliv až k objektům na ulici Boršovská a Za Humny. V Kyjově dochází k částečnému zaplavení areálu ČSAD a zaplavení přilehlé obytné zástavby a celému zaplavení třídy Komenského. V centru Kyjova dochází navíc k zaplavení areálu mlékárny a letního kina. Dále oproti rozlivu při Q_{100} dosahuje rozliv při Q_{500} téměř k ulici Havlíčkova a dochází tak k zaplavení přilehlé obytné zástavby a celého areálu sklárny.

6.2 Mapy povodňového nebezpečí

Maximálním rozlivem (polygon rozlivu Q_{500}) v řešeném úseku je dotčena obec Kyjov, městská část Boršov a Nětčice.

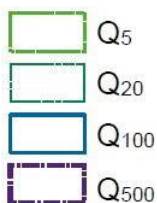
Charakteristiky povodně specifikující povodňové nebezpečí, jako hloubka a svislicová rychlost proudu, jsou v mapách povodňového nebezpečí vykresleny pro povodňové scénáře Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} , kde hranice rozlivů jsou doprovodnými informacemi pro příslušné scénáře. Hloubky a svislicové rychlosti 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 RZM v měřítku 1:10 000. V mapách jsou vykresleny jako linie specifikované metodikou [XVII] - viz Obr. č. 8.

Rozlivy



Obr. č. 8 Linie hranic rozlivů pro jednotlivé průtoky

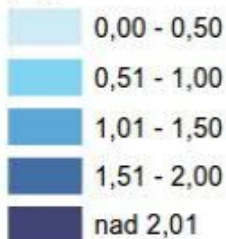
6.2.2 Hloubky pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}

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. 9.

Hloubky

[m]



Obr. č. 9 Definice barev a intervalů hloubek

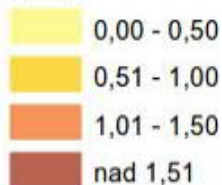
6.2.3 Rychlosti pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}

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. 10.

Rychlosti

[m/s]



Obr. č. 10 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.

V rámci další aktualizace by bylo dobré k řešenému úseku Kyjovky připojit i levobřežní přítok Malšinky, který se vlévá do Kyjovky nad Kyjovem a svými povodňovými průtoky významně ovlivňuje rozsah zaplavovaného území a tím zvyšuje povodňové riziko pro zástavbu Kyjova.