

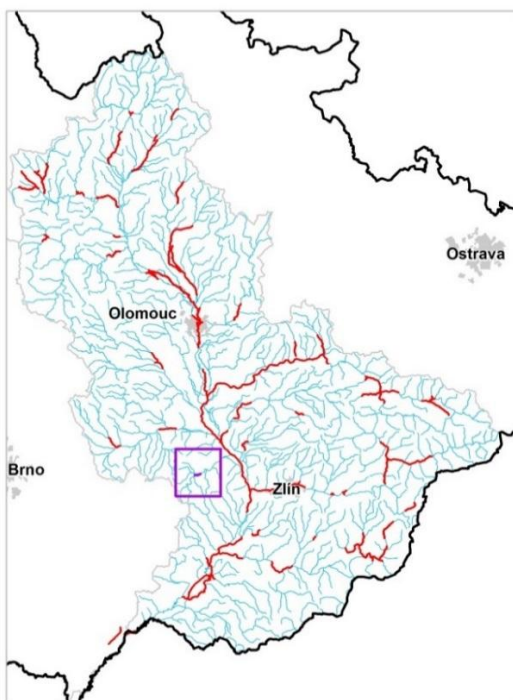


ANALÝZA OBLASTÍ S VÝZNAMNÝM POVODŇOVÝM RIZIKEM V ÚZEMNÍ PŮSOBNOSTI STÁTNÍHO PODNIKU POVODÍ MORAVY VČETNĚ NÁVRHŮ MOŽNÝCH PROTIPOVODŇOVÝCH OPATŘENÍ (PODKLAD K PLÁNU PRO ZVLÁDÁNÍ POVODŇOVÝCH RIZIK V POVODÍ DUNAJE)

DÍLČÍ POVODÍ MORAVY A PŘÍTOKŮ VÁHU

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

KOTOJEDKA – 10202906_1 (MOV_10-01) - Ř. KM 11,206 – 12,791



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

KOTOJEDKA – 10202906_1 (MOV_10-01) - Ř. KM 11,206 – 12,791

Pořizovatel:



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

Zhotovitel:



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

Zpracovatel posudku:



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

V BRNĚ, ZÁŘÍ 2019

Obsah:

1	Základní údaje	5
1.1	Seznam zkratk a symbolů.....	5
1.2	Cíle prací.....	5
1.3	Postup zpracování a metoda řešení	6
2	Popis zájmového území	6
2.1	Všeobecné údaje.....	7
2.2	Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)	8
3	Přehled podkladů	10
3.1	Soupis zpráv a dokumentů	10
3.2	Související předpisy	10
3.3	Topologická data	11
3.3.1	Vytvoření (aktualizace) digitálního modelu terénu.....	11
3.3.2	Mapové podklady.....	11
3.3.3	Geodetické podklady	11
3.4	Hydrologická data.....	11
3.5	Místní šetření	12
3.6	Stávající hydrodynamický model a kalibrační podklady.....	12
3.7	Vyhodnocení a příprava podkladů.....	12
4	Popis koncepčního modelu	13
4.1	Schematizace řešeného problému.....	13
4.2	Posouzení vlivu nestacionarity proudění	14
4.3	Způsob zadávání OP a PP	15
5	Popis numerického modelu.....	16
5.1	Použité programové vybavení	16
5.2	Vstupní data numerického modelu.....	16
5.2.1	Morfologie vodního toku a inundačních území	16
5.2.2	Drsnosti koryta a inundačních území	17
5.2.3	Hodnoty okrajových podmínek.....	17
5.2.4	Hodnoty počátečních podmínek	18
5.2.5	Diskuze k nejistotám a úplnosti vstupních dat	18
5.3	Popis kalibrace modelu	19
6	Výsledky.....	20
6.1	Výstupy z hydrodynamických modelů.....	20
6.2	Mapy povodňového nebezpečí.....	20
6.2.1	Rozlivy pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	20
6.2.2	Hloubky pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	20
6.2.3	Rychlosti pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	21

6.3	Zhodnocení nejistot ve výsledcích výpočtů	21
-----	---	----

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
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
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 Kotojedka – 10202906_1 (MOV_10-01) – ř. km 11,206 – 12,791 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).

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

1.3 Postup zpracování a metoda řešení

Postup zpracování a metoda řešení byly:

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

Výchozím podkladem pro tvorbu map povodňového nebezpečí a následnou rizikovou analýzu jsou hydraulické výpočty pro účely vymezení záplavového území zpracované na Povodí Moravy, s.p. [10].

2 Popis zájmového území

Předmětem řešeného území je úsek na toku Kotojedka v km 11,206 – 12,791* (Obr. č. 1).

Tab. č. 2 Základní informace o řešeném úseku

ID úseku	Pracovní číslo úseku	Tok	Říční km, začátek - konec	ČHP
10202906_1	MOV_10-01	Kotojedka	11,206 – 12,791	4-12-02-109 4-12-02-116

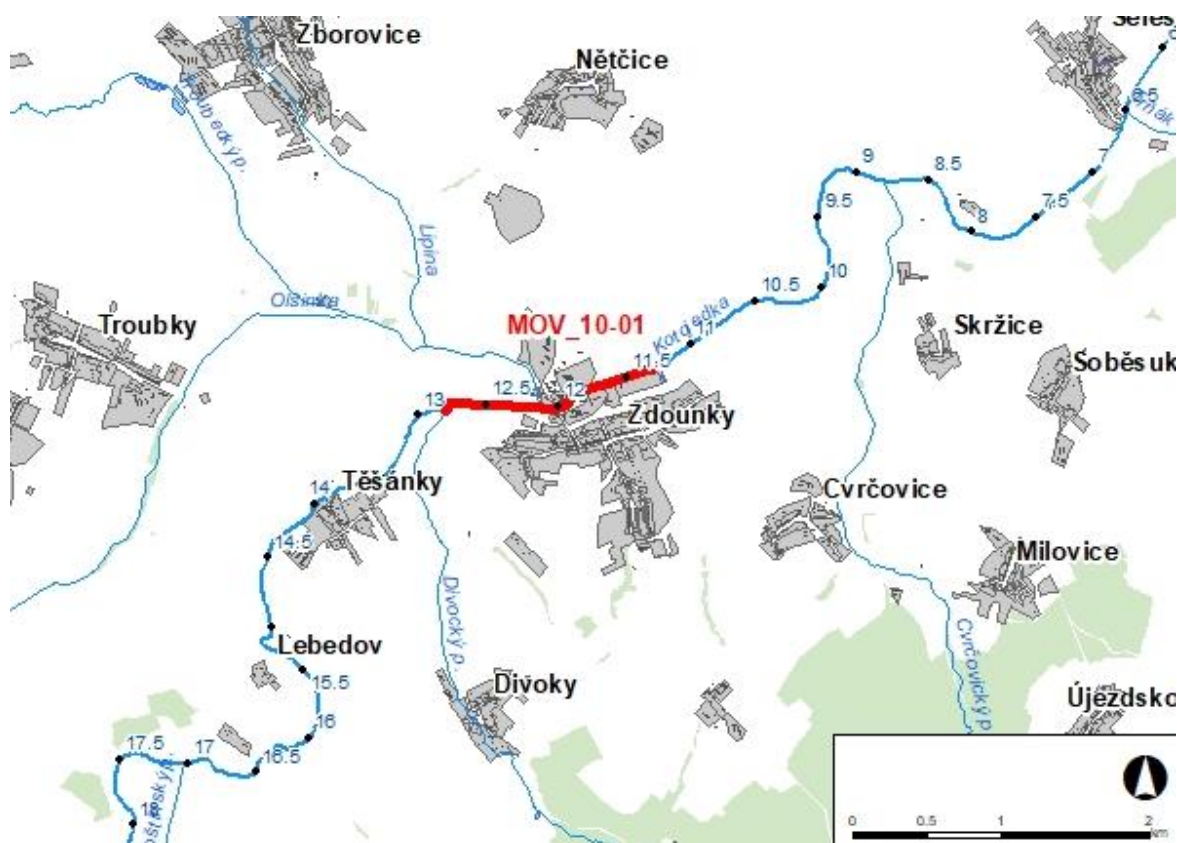
*) Komentář k používané kilometrži toku

V celém projektu je používána kilometráž, která vychází z již zpracované studie Povodí Moravy, s.p. [10]. Kilometráž Kotojedky, používaná při zpracování map povodňového nebezpečí a rizik vychází z geodetického zaměření koryta, které provedlo Povodí Moravy, s.p. v roce 2012 [6].

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

V povodí Kotojedky nejsou zbudovaná žádná významná vodní díla.

V zájmovém úseku Kotojedky se nachází dva významné přítoky, a to levobřežní přítok Olšinka v km 12,102 a pravobřežní přítok Divocký potok v km 12,791.



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

2.1 Všeobecné údaje

Kotojedka pramení ve Chříbech na severním svahu Vlčáku (569 m n. m.) v nadmořské výšce 460 m n. m. Téměř okamžitě opouští Chříby a vtéká do Zdounské brázdy, jejímž údolím protéká severo-východním směrem ke Kroměříži. Horní část toku po Zdounky má asymetricky vyvinuté dno údolí. Proto zde nenajdeme téměř žádné levostranné přítoky, zatímco pravá část povodí je hojně zásobena pravostrannými přítoky, pramenícími na severo-západních svazích Chříbů. Postupně po toku to jsou Cetechovský potok, Roštínský potok a Divocký potok.

Ve Zdoukách se do Kotojedky vlévá zprava Olšinka pramenící na východním úbočí Kleštěnce (498 m n. m.) v Orlické vrchovině. Pod Zdoukami se zleva vlévá Nětčický potok, u Olšiny zprava Cvrčovický potok. V Selešovicích Kotojedka vstupuje do více rozevřeného údolí Jarohněvické brázdy a zprava se připojuje Trňák, pramenící na severním úbočí Vražce (387 m n. m.) u Kostelan. V Jarohněvicích se zleva připojuje Ratajský potok. U Kotojed již říčka vstupuje do široké roviny Hornomoravského úvalu, v Kotojedech je na pravou stranu odveden umělý náhon Dolní Kotojedka. Kotojedka ústí jako pravostranný přítok do řeky Moravy u Trávnických zahrad u Kroměříže v nadmořské výšce 185 m n. m.

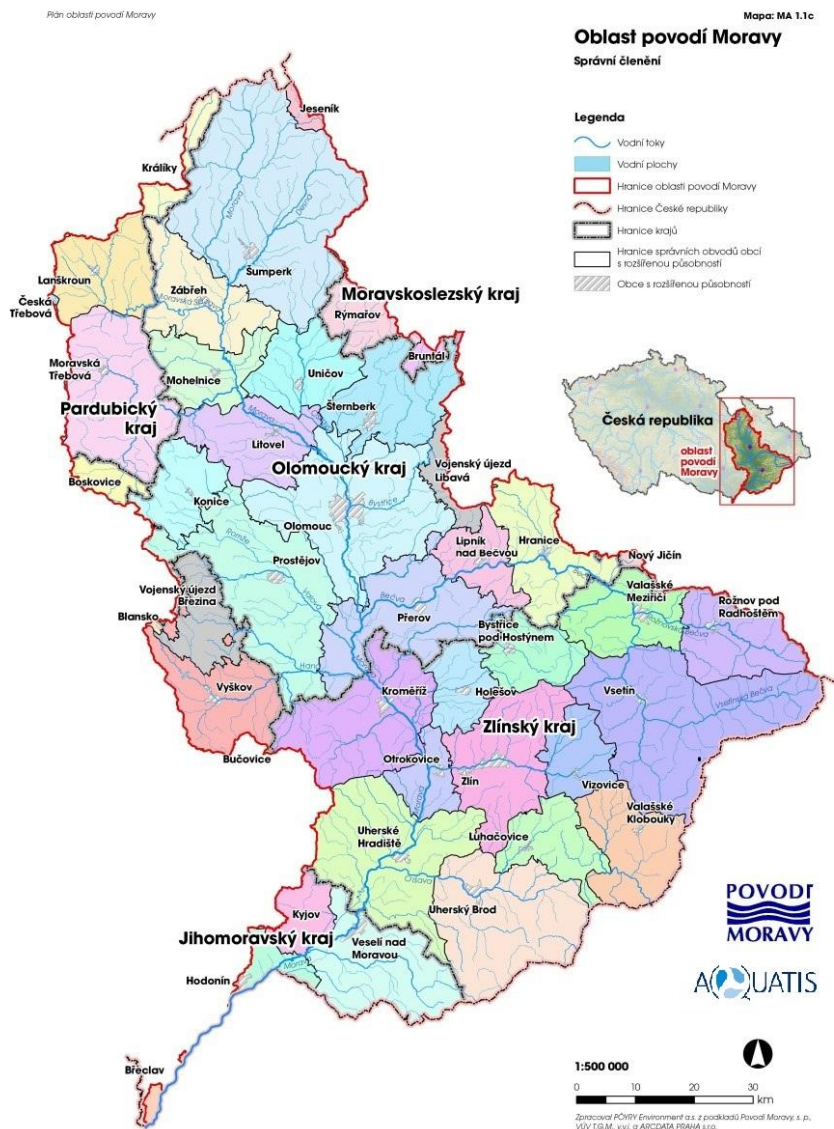
Kotojedka odvodňuje severozápadní svahy Chříbů a východní část Litenčické pahorkatiny.

V současné době nejsou v povodí Kotojedky žádné významnější vodohospodářské objekty. Ve Zborovicích na Troubeckém potoce je založeno několik rybníčků známých jako Podlavčí, které v minulosti sloužily jako zdroj pro tamní cukrovar. U Těšanek jsou nově založeny rybník František (2 ha) a rybník Jan (1 ha), které slouží k účelu sportovního rybolovu. K podobnému účelu slouží malá vodní nádrž u Lubné na potoku Trňáku.

Úsek 10202906_1 (MOV_10-01), Kotojedka

V řešeném úseku protéká Kotojedka katastrálním územím Zdounky. Začátek úseku je vymezen pravobřežním přítokem Divockého potoka v km 12,791. Dále protéká intravilánem obce Zdounky, kde se zleva do Kotojedky vlévá

Olšinka v km 12,102. Koryto Kotojedky má lichoběžníkový tvar bez opevnění, jen v mostních profilech jsou svahy opevněny kamennou dlažbou. Úsek Kotojedky je v zájmovém území ve správě Povodí Moravy, s.p..



Obr. č. 2 Přehledná mapa povodí Moravy a přítoků Váhu dle [11]

2.2 Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)

Vlivem dlouhodobého intenzivního deště s následným deštěm přivalovým došlo ve velmi krátké době v povodí toků Kotojedka a Olšinka k prudkému vzestupu a kulminaci hladin v těchto tocích.

Z údajů ČHMÚ o množství srážek v povodí Olšinky a Kotojedky spadlo dne 1.6.2010 na plochu cca 50 km² 10 mm srážek, v noci z 1. na 2.6.2010 pak 40 mm.

Povodňová vlna a její průběh byly časově velmi rychlé. Na jejím průběhu se negativně podílely půdní eroze z nevhodně osetých polí, zanesená koryta drobných i hlavních toků a nekapacitní mostní objekty.

K vyběřování toku Kotojedka došlo již v obci Těšánky, k vyběřování toku Olšinka pod obcí Troubký.

Zvýšené průtoky v obci Těšánky způsobily vyběření toku Kotojedka, neboť vodní tok je zde zanesen splachy z polí. Došlo k zatopení přilehlých nemovitostí a zahrad na pravém břehu do výše 0,60 m.

Vlivem extrémního průtoku a nekapacitního profilu propustku pod železničním tělesem došlo k přelítí vodního díla nad obcí Zdounky, které slouží k odlehčení při zvýšených průtocích do lokality Rohatec. Poté došlo k následnému vybřežení na pravém břehu v délce cca 200 m na lokalitu Rohatec. Následně pak povodeň pokračovala po poli mimo koryto, i mimo odlehčovací stoku podél pravého břehu až k soutoku s tokem Kotojedka.



Obr. č. 3 Povodeň Zdounky 2010



Obr. č. 4 Povodeň Zdounky 2010



Obr. č. 5 Zatopené fotbalové hřiště



Obr. č. 6 Povodeň Zdounky 2010



Obr. č. 7 Zatopený areál pily



Obr. č. 8 Soutok Olšinky a Kotojedky

3 Přehled podkladů

3.1 Soupis zpráv a dokumentů

- [1] Digitální model reliéfu zájmové oblasti. DMR 5G. ČÚZK, Praha, 2017.
- [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] Geodetické zaměření koryta Kotojedky, v km 0,000 – 22,586. Povodí Moravy, s.p., 2012.
- [7] Hydrologická data – N-leté průtoky, ČHMÚ, 12/2018.
- [8] Místní šetření v zájmové lokalitě v průběhu února 2019. AQUATIS a.s., Brno.
- [9] Technicko provozní evidence toků – TPE Kotojedka, povodí Moravy, s.p., Brno.
- [10] Studie záplavového území Kotojedky v km 0,000 – 22,583, Povodí Moravy, s.p., 2012.
- [11] Plán dílčího povodí Moravy a přítoků Váhu, AQUATIS a.s., 2016.
- [12] Hydrologické poměry Československé socialistické republiky, díl III, Hydrometeorologický ústav, 1970.
- [13] www.pmo.cz, Stavy a průtoky na vodních tocích, březen 2019.
- [14] Studie ochrany před povodněmi na území Zlínského kraje, Hydroprojekt CZ a.s., 08/2007.
- [15] HEC-RAS 5.0 River Analysis System – User's Manual, US Army Corps of Engineers, 02/2016.
- [16] Fotodokumentace, AQUATIS, a.s., Brno, 2019.
- [17] Povodňová zpráva, p. Novotný, 2010.
- [18] Numerický 1D+ model Kotojedky a Olšinky v programu MIKE 11, Povodí Moravy, s.p., 2012.
- [19] MIKE 11, A Modelling System for Rivers and Channels, Reference Manual DHI, 2009.

3.2 Související předpisy

- [I] ČSN 75 0110 Vodní hospodářství – Terminologie hydrologie a hydroekologie.
- [II] ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod.
- [III] TNV 75 2102 Úpravy potoků.
- [IV] TNV 75 2103 Úpravy řek.
- [V] ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže.
- [VI] TNV 75 2415 Suché nádrže.
- [VII] TNV 75 2910 Manipulační 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

Digitální model terénu (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 DMT koryta dle geodetického zaměření [6]. DMT koryta byl vytvořen 3D šablonováním mezi zaměřenými příčnými profily podél osy toku (spline s průměrnou vzdáleností řídicích vrcholů 33 m). Následně bylo koryto připojeno k DMR 5G. 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, příčné profily koryta Kotojedky po cca 100 m v celém území byly zaměřeny v roce 2012 Povodím Moravy, s.p. [6]. Zaměření je v polohopisném systému S-JTSK, výškopisném systému Balt po vyrovnání. Výkresová dokumentace je k dispozici u zhotovitele.

3.4 Hydrologická data

V Tab. č. 3 jsou uvedena hydrologická data. Data byla ověřena u ČHMÚ koncem roku 2018 [7]. Hydrologická data se oproti předchozím z roku 2012 (Tab. č. 4) významně změnila, zejména hodnoty pro nižší průtoky doznaly zásadních změn. Průtok Q_5 se snížil až o 15 % a průtok Q_{20} o 9 %. Nově byla pořízena hodnota pro Q_{500} .

Tab. č. 3 Aktuální N-leté průtoky (Q_N) v $m^3 \cdot s^{-1}$ [7]

Hydrologický profil	Datum pořízení	Říční kilometr	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	Třída přesnosti
Kotojedka – pod Olšinkou	11.12.2018	12,03	12	23,4	44	74,6	III.

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

Hydrologický profil	Datum pořízení	Říční kilometr	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	Třída přesnosti
Kotojedka – pod Olšinkou	2012	12,03	14,1	25,7	44	-	III.
Kotojedka – nad Olšinkou	2012	12,21	10,4	20	36	58	
Olšinka – ústí	2012	0,00	3,8	6	8,5	12,5	

3.5 Místní šetření

V rámci zpracování 2. plánovacího cyklu bylo provedeno místní šetření v únoru 2019 [8]. Byly pořízeny fotografie vodního toku, technických objektů na toku, inundačního území a citlivých objektů v možném záplavovém území Q_{500} [16]. 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. Rozsah historických povodní uvedených v kap. 2.2 nebylo možno konfrontovat s aktuální situací z důvodů nedostupnosti relevantních podkladů. Změny ovlivňující proudění vody v korytě a inundaci nebyly zjištěny.

3.6 Stávající hydrodynamický model a kalibrační podklady

Numerický jednorozměrný síťový (1D+) model Kotojedky a Olšinky v programu MIKE 11 byl vytvořen na Povodí Moravy, s.p. v roce 2012. Model sloužil pro zpracování Studie záplavového území toku Kotojedka v km 0,000 – 22,583 [10]. 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 neustálé nerovnoměrné proudění.

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] pokrývá celé zájmové území. Geodetické zaměření provedlo v roce 2012 Povodí Moravy, s.p. Zaměřeny jsou veškeré objekty na toku – stupně, jezy, mosty, lávky. V inundaci jsou dále zaměřeny liniové stavby podélné i příčné. Zaměření je v polohopisném systému S-JTSK, výškopisném systému Balt po vyrovnání.

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

Terénní průzkum byl proveden v únoru 2019 firmou AQUATIS a.s. Byla prověřena aktuálnost geodetického zaměření.

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

Podkladová kalibrační data nebyla v řešeném úseku k dispozici.

4 Popis koncepčního modelu

Pro výpočet byl použit dvourozměrný (2D) model proudění. Výsledky simulace popisují 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 inundacím 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 vyhotoven 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).

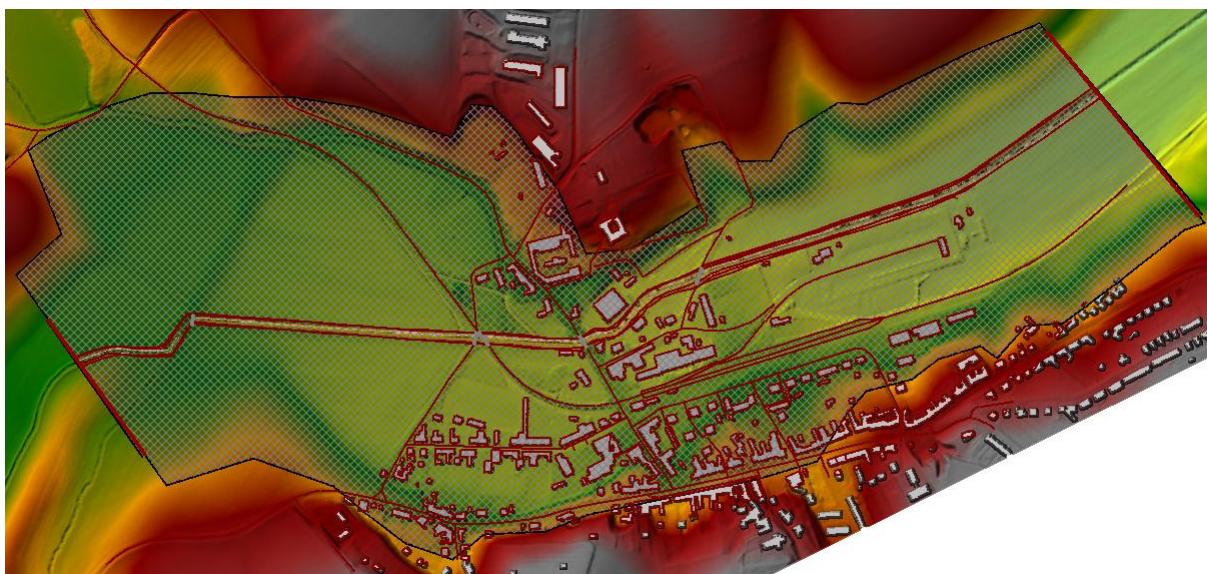
Pro řešení byl použit softwarový prostředek HEC-RAS.

2D modelem bylo popsáno proudění vlastním korytem řeky Kotojedky, souvisejícím inundačním územím a veškerými objekty. V modelu není počítáno s přítoky, které jsou v porovnání s hlavním tokem bezvýznamné.

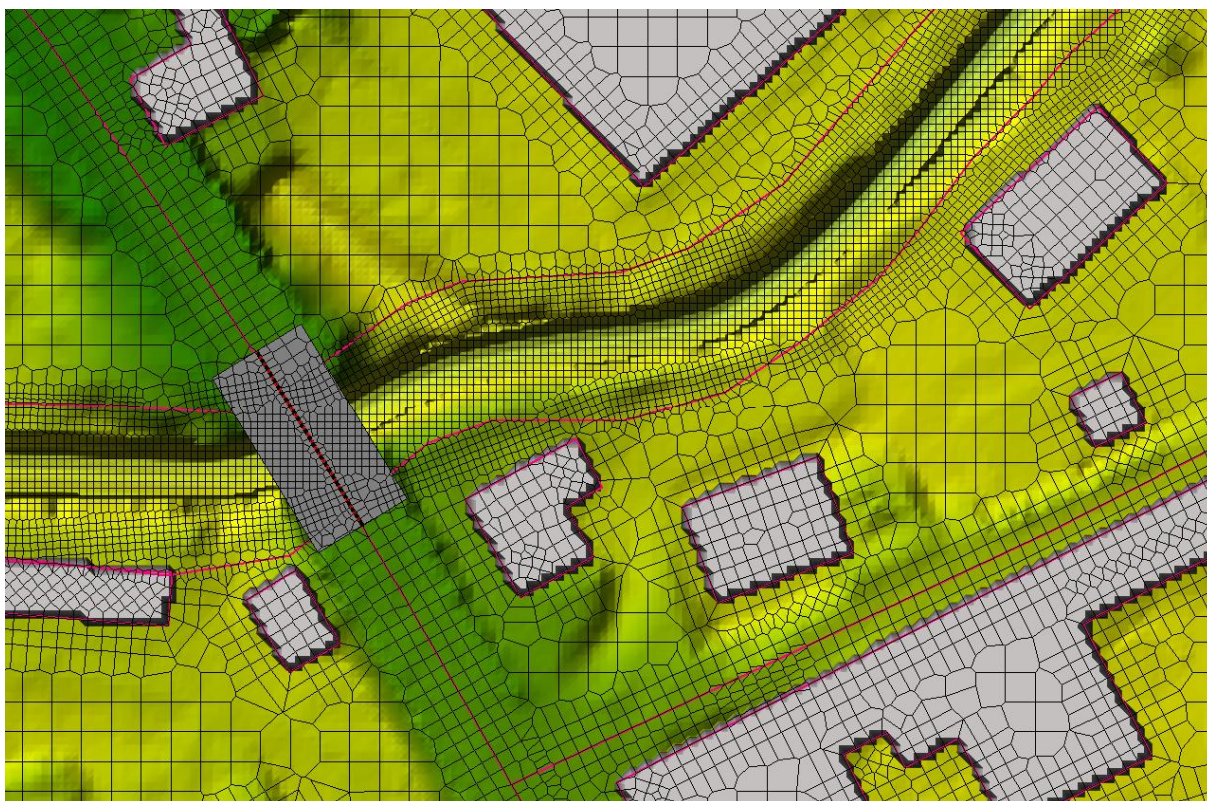
4.1 Schematizace řešeného problému

V rámci vytváření 2D modelu byla provedena schematizace náhradní oblasti pomocí nepravidelné mnohoúhelníkové výpočetní sítě (Obr. č. 9). Základem byla ortogonální síť s velikostí prvku 4,0 m × 4,0 m, která byla pomocí povinných hran přizpůsobena objektům a liniovým prvkům tak, aby byl co nej přesněji 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 1,0 m × 1,0 m (Obr. č. 10).

Model byl prodloužen o 200 m na začátku i na konci úseku. Celá výpočetní síť měla 165 245 buněk.



Obr. č. 9 Schéma výpočetní sítě pro úsek MOV_10-01



Obr. č. 10 Detail výpočetní sítě úseku MOV_10-01

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 zájmovém 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} , Q_{100} a Q_{500} ve vodním toku Kotojedka dodaných ČHMÚ [7].

Dolní okrajovou podmínkou (DOP) jsou úrovně hladin na dolním okraji modelu ve vzdálenosti 200 m pod řešenou oblastí odpovídající hladině při ustáleném průtoku. Hodnota dolní okrajové podmínky je určena měrnou křivkou průtoku. Hodnoty úrovní hladin při daných povodňových průtocích jsou stanoveny na základě výpočtu provedeného v rámci Studie [10].

Výpočet je zahájen na „suchém“ modelu. Na začátku simulace je HOP průtok, který je menší, než je kapacita koryta vodního toku, a 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 resp. PP 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 [15]. 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 (zahrnující mimo jiné vliv Coriolisovy síly). Na převážné většině území výpočetní sítě 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 Kotojedky 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 Kotojedky. Model povrchu inundačního území je vytvořen na základě DMR 5G [1]. Budovy a bloky budov jsou ve výpočetní síti uvažovány jako neprůtočné plochy se zvýšeným terénem. Digitální povrch terénu použitý ve výpočtu je vytvořen propojením zaměření koryta, digitálního modelu reliéfu a objektů (budov). HOP jsou hodnoty N -letých průtoků Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} v Kotojedce dodaných ČHMÚ [7]. DOP je průměrný podélný sklon dna koryta v okolí DOP. Pro stanovení součinitele drsnosti byly používány ortofotomapy [3] a fotodokumentace [16] pořízená při terénním průzkumu, který proběhl dne 19. 2. 2019.

Při výpočtu se uvažovalo s konstantním časovým krokem 1 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 inundačních 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 témže 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, Kotojedka (MOV_10-01) km 11,206 – 12,791

Km	Popis objektu	Km dle TPE (identifikátor objektu)	Lokalita
11,776	Hospodářský most		Zdounky
12,022	Silniční most		Zdounky
12,102	LB - Olšinka		Zdounky
12,205	Železniční most		Zdounky
12,218	Silniční most		Zdounky
12,729	Stupeň		Zdounky

5.2.2 Drsnosti koryta a inundačních území

Hodnoty součinitelů drsnosti koryta Kotojedky byly zadány na základě pochůzky v terénu a při ni pořízené fotodokumentace [16].

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
kolejiště	0,038
koryto	0,04
kůlna, skleník	0,2 – 0,3
les	0,080 - 0,085
louka	0,035
park	0,055
pole	0,04
zahrada	0,05
zpevněná plocha	0,016
zvláště chráněné území	0,075

5.2.3 Hodnoty okrajových podmínek

Způsob zadávání okrajových podmínek je popsán v kap. 4.3. HOP byly hodnoty N -letých průtoků Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} (Tab. č. 8). Tyto hodnoty odpovídají aktuálním průtokům v profilu Kotojedka – nad Olšinkou, které jsou poníženy o hodnoty průtoků z Olšinky (viz v Tab. č. 4). Protože se jedná o starší data, byla poměrově upravena dle aktuálních hodnot průtoků v Kotojedce. DOP byla určena měrnou křivkou (Tab. č. 7) a zadána 200 m pod řešenou oblastí. Tato vzdálenost je vzhledem ke konstantnímu sklonu dna koryta dostačující a neovlivní zásadně výsledky na konci úseku.

Tab. č. 7 Úrovně hladiny pro DOP modelu MOV_10-01 v ř. km 10,975 [10]

DOP	Q_N
212,62 m n. m. (dno koryta)	$Q = 0,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
215,06 m n. m.	$Q_5 = 12,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
215,42 m n. m.	$Q_{20} = 23,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
215,71 m n. m.	$Q_{100} = 44,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
215,91 m n. m.	$Q_{500} = 74,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

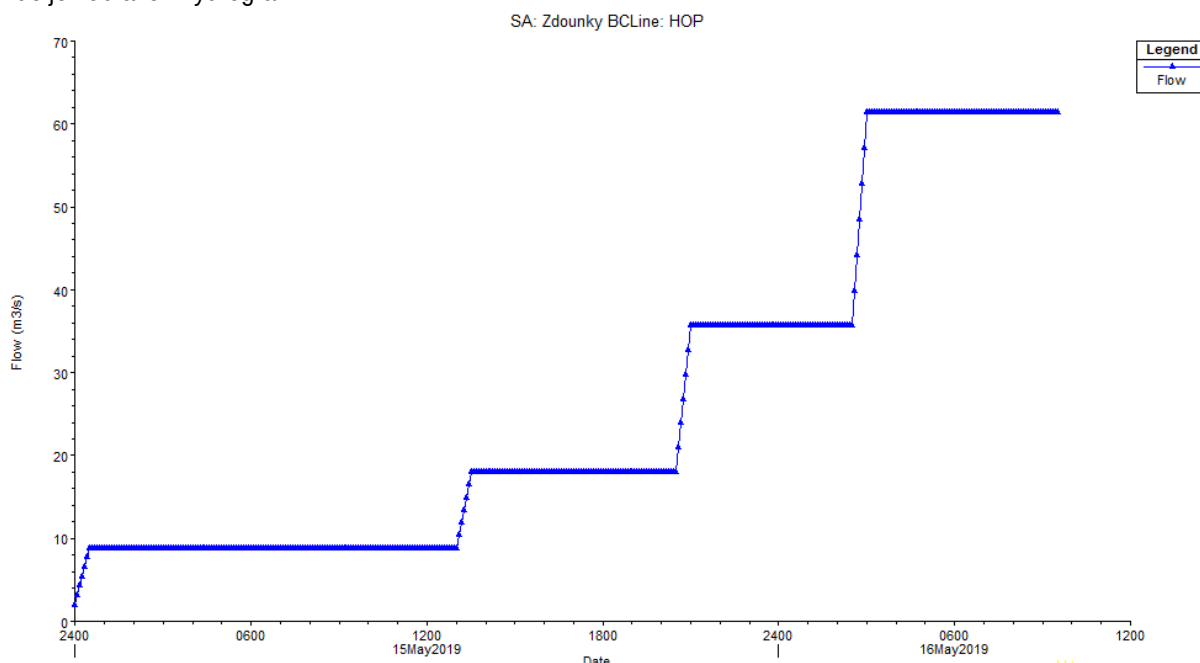
5.2.4 Hodnoty počátečních podmínek

Požaduje se výsledek ustáleného proudění. Pro simulaci je však potřeba vycházet ze suchého modelu nebo z výstupů simulace menšího průtoku. PP výpočtu je tedy v tomto případě vždy výstup z předchozí simulace. V následujících tabulkách je uveden přehled okrajových a počátečních podmínek a doby výpočtu potřebné pro ustálení.

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

HOP	PP	Doba zvyšování průtoku	Doba pro ustálení
$Q_5 = 8,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$Q = 2,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	0:30 hod	12:30 hod
$Q_{20} = 18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$Q_5 = 8,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	0:30 hod	07:00 hod
$Q_{100} = 35,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$Q_{20} = 18,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	0:30 hod	05:30 hod
$Q_{500} = 61,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$Q_{100} = 35,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	0:30 hod	06:30 hod

Pozn.: Doba pro ustálení nevyjadřuje minimální dobu nezbytnou pro ustálení, ale zvolenou dobu, u které bylo ověřeno, že postačuje k ustálení průtoku na celém výpočetním úseku. Grafická podoba Tab. č. 8 je na Obr. 11, kde je zobrazen hydrogram.



Obr. č. 11 Hydrogram HOP úseku MOV_10

Tab. č. 9 Hodnoty HOP, PP, doba výpočtu pro Olšinku

HOP	PP	Doba zvyšování průtoku	Doba pro ustálení
$Q_5 = 3,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$Q = 1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	0:30 hod	12:30 hod
$Q_{20} = 5,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$Q_5 = 3,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	0:30 hod	07:00 hod
$Q_{100} = 8,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$Q_{20} = 5,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	0:30 hod	05:30 hod
$Q_{500} = 13,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$Q_{100} = 8,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	0:30 hod	06:30 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. Provedená schematizace koryta mezi zaměřenými 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 nátržím, 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

Kalibrační data pro zájmový úsek nebyla v době zpracování modelu k dispozici. Model nebyl kalibrován.

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 výsledkem jsou mapy povodňového nebezpečí, a to mapy rozlivů, hloubek a rychlostí pro jednotlivé řešené kulminační průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{500} .

Úsek MOV_10-01, Kotojedka

V řešeném úseku jsou zaplavovány objekty v obci Zdounky.

K rozlivům z koryta Kotojedky dochází už při průtoku Q_5 , voda vybřežuje na obě strany. Na levém břehu zaplavuje pole nad obcí, na pravém břehu pole, hřiště, část průmyslového areálu a zástavbu podél ulice Tyršova. Rozliv je ohraničen náspem železnice. Skrze dva propustky voda zaplavuje i část průmyslového areálu, který se nachází mezi korytem a železničním náspem. Pod silničním mostem na ulici Zborovská již k rozlivu nedochází. Téměř shodný rozliv nastává při průtoku Q_{20} . Od Q_{100} dochází k rozlivům i pod silničním mostem na ulici Zborovská a při Q_{500} voda vybřežuje i v dolní části zájmového úseku, kde se nachází místní ČOV.

6.2 Mapy povodňového nebezpečí

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

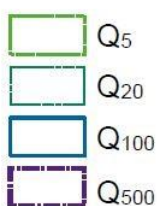
Charakteristiky povodně specifikující povodňové nebezpečí, jako hloubka a svislicová rychlost proudu, jsou v mapách povodňového nebezpečí vykresleny pro povodňové scénáře Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} , kde hranice rozlivů jsou doprovodnými informacemi pro příslušné scénáře. Hloubky a svislicové rychlosti 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. 12.

Rozlivy

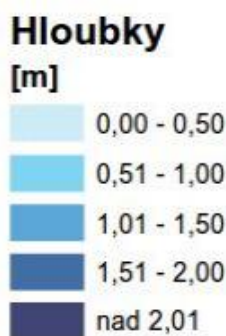


Obr. č. 12 Linie hranic rozlivů pro jednotlivé průtoky

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 [XVII], tj. 1 m × 1 m.

Rozdělení intervalů hloubek a jejich barevná definice je v mapách vykreslena podle metodiky [XVII] - viz Obr. č. 13.

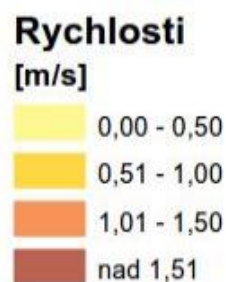


Obr. č. 13 Definice barev a intervalů hloubek

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 [XVII], tj. 1 m × 1 m.

Rozdělení intervalů svislicových rychlostí a jejich barevná definice je v mapách vykreslena podle metodiky [XVII] - viz Obr. č. 14.



Obr. č. 14 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.