

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební
Katedra hydrauliky a hydrologie



Diplomová práce

**Analýza šíření povodňových vln
v záplavovém území Melounky a Malého
labského náhonu**

Vypracoval: Pavel Pelikán

Vedoucí práce: doc. Ing. Aleš Havlík, CSc.

Květen 2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Pelikán Jméno: Pavel Osobní číslo: 460447
 Zadávající katedra: 11141 - Katedra hydrauliky a hydrologie
 Studijní program: Stavební inženýrství
 Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Analýza šíření povodňových vln v záplavovém území Melounky a Malého labského náhonu

Název diplomové práce anglicky: Analysis of flood wave propagation in the floodplain of Melounka and Malý labský náhon

Pokyny pro vypracování:

Zhodnocení schopnosti navrhovaných poldrů v povodí Melounky transformovat hydrogramy povodňových vln. Porovnání rozsahu záplavového území na Melounce a Malém labském náhonu pro ustálený průtok Q100 a a pro případ průchodu povodňové vlny. Provedení variantního výpočtu pro případ, že bude povodňová vlna transformována navrhovanými poldry.

Seznam doporučené literatury:

Szymkiewitz, R. Numerical Modelling in Open Channel Hydraulics
 Hec-Ras, River Analysis System, User s Manual, Us Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, February 2016
 Hec-Ras, River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, Us Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, February 2016

Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Ing. Aleš Havlík, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 18. 2. 2021

Termín odevzdání diplomové práce: 16. 5. 2021

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

18.2.2021

Datum převzetí zadání

Pelikán

Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou prací vypracoval samostatně a uvedl jsem veškeré použité informační zdroje, v souladu s metodickou příručkou ČVUT 1/2009 "O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací".

V Praze dne 16. 5. 2021

.....
Pavel Pelikán
podpis autora

Poděkování

Děkuji doc. Ing Aleši Havlíkovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a připomínky a za čas strávený při konzultacích této diplomové práce. Dále děkuji pracovníkům státního podniku Povodí Labe za poskytnuté podklady.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá analýzou šíření povodňových vln v záplavovém území Melounky a Malého labského náhonu. Součástí práce je popis zájmového území a současný stav záplavových území. Část práce je věnována tvorbě 2D matematického modelu v prostředí programu HEC-RAS. Na základě provedených výpočtů je provedena analýza.

Klíčová slova

2D matematické modelování proudění vody, protipovodňová opatření, HEC-RAS, nerovnoměrné proudění, propustek, záplavová území

Abstract

This master thesis is an evaluation of flood wave propagation in the floodplain of Melounka and Malý labský náhon. A part of this thesis is the description of the area of interest and current state of floodplains. Another part of the thesis is dedicated to the creation of mathematical model in software HEC-RAS. Based on the performed computations, an analysis is carried out.

Key words

2D mathematical modelling of water flow, flood protection, HEC-RAS, unsteady flow, culvert, floodplains

Obsah

1.	ÚVOD	9
2.	POPIS ŘEŠENÉHO ÚZEMÍ	10
2.1	Melounka.....	10
2.2	Labský náhon	11
2.3	Podnebí a hydrologické poměry	13
2.3.1	Hydrologická data	16
2.4	Geologické, hydrogeologické a pedologické poměry	16
3.	ZKOUMANÝ ÚSEK.....	18
3.1	Podrobný popis zkoumaného úseku	18
3.2	Objekty	21
3.3	Záplavová území Melounky a Malého labského náhonu	22
4.	OCHRANA PŘED POVODNĚMI.....	25
4.1	Povodně	25
4.1.1	Dešťové povodně	26
4.1.2	Přívalové povodně.....	26
4.1.3	Povodně z tání sněhu.....	27
4.1.4	Ledové povodně	27
4.2	Protipovodňová opatření	27
4.2.1	Technická protipovodňová opatření na vodních tocích	28
4.3	Plánovaná protipovodňová opatření v povodí Melounky a Malého labského náhonu.....	29
5.	HYDRAULICKÉ ŘEŠENÍ PROPUSTKU	31

5.1	Dělení propustků	31
5.1.1	Vtok do propustku.....	31
5.2	Propustek s volnou hladinou v celé délce	33
5.2.1	Propustky neovlivněné dolní vodou.....	33
5.2.2	Propustky ovlivněné dolní vodou	35
5.3	Propustky s volnou hladinou a zatopeným vtokem.....	36
5.3.1	Propustky neovlivněné dolní vodou.....	36
5.3.2	Propustky ovlivněné dolní vodou	37
5.4	Tlakové propustky	38
5.4.1	Tlakové proudění v celé délce propustku, zatopený výtok dolní vodou..	38
5.4.2	Tlakové proudění v celé délce propustku, výtok nezatopený dolní vodou	39
6.	MATEMATICKÝ MODEL A VÝPOČET	41
6.1	Výpočetní program HEC-RAS.....	41
6.2	Řídící rovnice matematického modelu.....	41
6.3	Digitální model terénu a geodetické podklady.....	43
6.4	Tvorba výpočetní sítě a modelování objektů.....	43
6.5	Odpor povrchu.....	45
6.6	Okrajové podmínky a výpočetní scénáře	46
6.7	Výpočet	49
6.7.1	Problémy se stabilitou výpočtu	49
6.7.2	Problémy s mostními objekty.....	50
7.	ANALÝZA VÝSLEDKŮ A POZNATKŮ	52

7.1	Posouzení stávajícího stavu.....	52
7.2	Porovnání scénářů 1 a 2.....	52
7.3	Porovnání scénářů 3 a 4.....	55
8.	ZÁVĚR	59
9.	POUŽITÁ LITERATURA.....	60
10.	SEZNAM PŘÍLOH.....	62
11.	SEZNAM VZTAHŮ A ROVNIC.....	63
12.	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	64
13.	SEZNAM TABULEK.....	66

1. ÚVOD

Tato práce se zabývá analýzou šíření povodňových vln v záplavovém území Melounky a Malého labského náhonu v západní části města Hradce Králové. Cílem studie je porovnání rozsahu záplavových území pro různé scénáře. Zároveň je proveden variantní výpočet pro případ transformace povodňové vlny navrhovanými protipovodňovými opatřeními. Výpočet je proveden za použití 2D matematického modelu s volnou hladinou HEC-RAS.

Práce představuje povodí Melounky a Malého labského náhonu, dále je podrobně popsán zkoumaný úsek těchto vodních toků. Jedna kapitola je věnována povodňovým událostem, jejich vzniku, průběhu povodňové vlny a představení zamýšlených protipovodňových opatření. Horní a dolní část zájmového území odděluje propustek pod průmyslovým areálem, a proto je v práci představeno hydraulické řešení tohoto objektu.

Praktická část práce se skládá z popisu tvorby výpočetního modelu, představení jednotlivých výpočetních scénářů, chybami ve výpočtu a jejich odstraněním. Následuje zhodnocení současného stavu a vypočtených výsledků. To je možné na základě porovnání čtyř výpočetních scénářů. Výsledky pro jednotlivé scénáře jsou zpracovány formou psaného podélného profilu a také mapovými výkresy hloubek.

2. POPIS ŘEŠENÉHO ÚZEMÍ

Tato kapitola představuje zájmového území v západní části Hradce Králové. Popsány jsou oba vodní toky. Dále je věnována pozornost podnebí a hydrologickým poměrům. Zmíněny jsou též geologické, hydrogeologické a pedologické poměry v povodí Melounky a Malého labského náhonu.

2.1 Melounka

Název toku: Melounka

Identifikátor vodního toku: 104450100100 [1]

Číslo hydrologického pořadí: 1-03-01-005

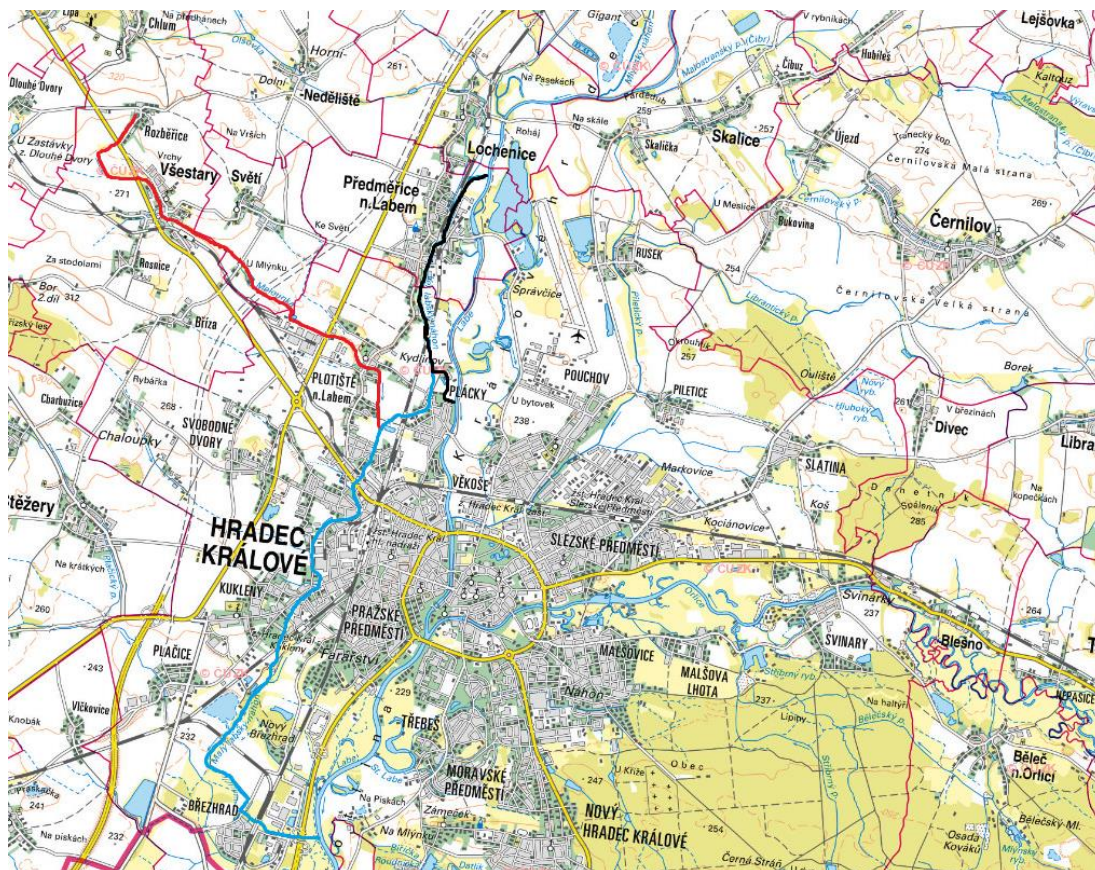
Kraj: Královéhradecký kraj

Okres: Hradec Králové

Správce vodního toku: Povodí Labe, s. p.

Potok je pravostranný přítok do Malého labského náhonu mezi městskými částmi Platiště nad Labem a Plácky, které spadají pod statutární město Hradec Králové. Do náhonu ústí Melounka ve výšce 231 m n. m. Plocha povodí potoka činí 20,23 km², s délkou toku necelých 6 km a průměrným průtokem u soutoku do náhonu 0,074 m³/s.

Potok Melounka pramení 0,5 km od obce Rozběrice, ve výšce 273 m n. m. Na obrázku (Obrázek 1) je vyznačen červenou barvou. Tok napájí obecní rybník, kde je regulován odtok požerákem. Potok dále pokračuje pod silnicí číslo 35 (E442) a protéká obcí Všešary a dále pokračuje mezi poli až k rybníku Mlýnek, který bočně napájí.



Obrázek 1 - Trasa Melounky a Labského náhonu

Do potoka ústí několik bezejmenných přítoků. Melounka křížuje plánovanou dálnici D11 a přitéká k objektu čistírny odpadních vod. Odtud tok pokračuje do městské části Plotiště nad Labem, kde je přemostěn místní komunikací a teče směrem na jih k Malému labskému náhonu.

2.2 Labský náhon

Labský náhon je uměle zbudovaný vodní tok a historicky je jedním z největších vodních děl na území Hradce Králové. Je rozdělen na dvě části: Velký labský náhon a Malý labský náhon. Obrázek 1 ukazuje trasu obou náhonů. Černě je znázorněna trasa Velkého labského náhonu, ten končí u Kydlinova, kde se vlévá zpět do Labe. Zde se od něj odpojuje Malý labský náhon, v obrázku znázorněn světle modře.

Náhon byl vybudován k napájení Velkého březhradského rybníka a za účelem využití vodní energie v mlýnech. V roce 1828 byl rybník zrušen. Koncem 18. století poháněl náhon celkem 7 mlýnů: Na nových, Na starých, Budín, Kydlinov, Valchu, Temešvár a Březhradský. Většina z nich byla funkční stovky let až do

začátku 20. století. Pro posílení průtoku byly do náhonu zaústěny přirozené vodoteče Melounka a Chaloupská svodnice. [2]

Z řeky Labe se odpojuje u obce Předměřice nad Labem a teče na jih podél železniční trati na pravém břehu a vedle průmyslového areálu na levém břehu. Náhon je v obci několikrát přemostěn. U Kydlínova je náhon rozdělen Panskými stavidly, která jsou stále v provozu. Větev, která se vrací zpět do Labe byla pojmenována jako Velký labský náhon. Celková délka této části toku je 4,3 km.

Malý labský náhon pokračuje dále na jih a protéká intravilánem městské části Plácky. Vedle soutoku s Melounkou se nachází menší rybník Keprťák. Náhon poté vstupuje do zástavby, ve které teče přibližně 4 kilometry. Na říčním kilometru 6,18 ústí do náhonu drobný vodní tok Chaloupecká svodnice. Náhon dále protéká městskou částí Kukleny a za mostem železniční trati opouští intravilán. Mezi lesem a poli přitéká k Březehradu a za ním se opět vrací do řeky Labe.

Název toku: Malý labský náhon

ID vodního útvaru: 10229090, repektive 10562000 [3]

Číslo hydrologického pořadí: 1-03-01-0040 [3]

Kraj: Královéhradecký kraj

Okres: Hradec Králové

Správce vodního toku: Povodí Labe, s. p.

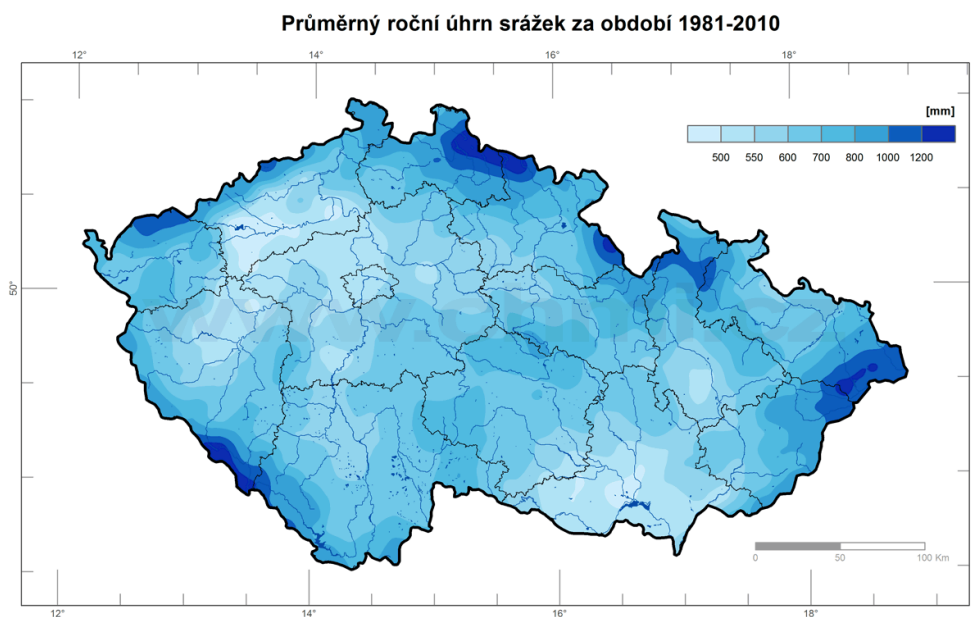
Pro tuto práci je stěžejní úsek Malého labského náhonu, proto je zde představena pouze tato část náhonu. Celkem je dlouhý 9,81 km s plochou povodí 47,39 km². [3]



Obrázek 2 – Náпустný objekt Labského náhonu [3]

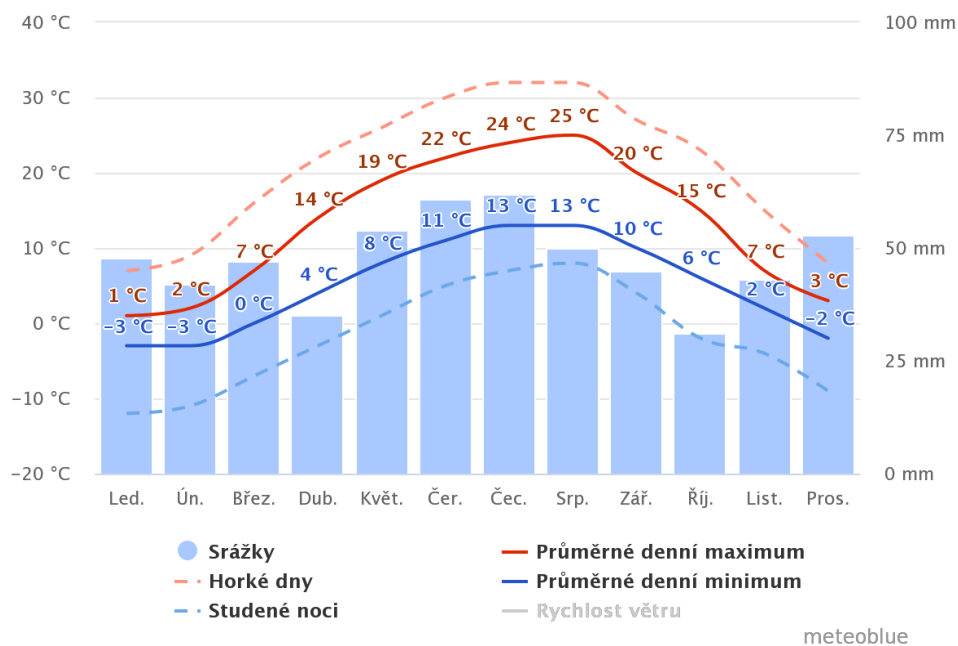
2.3 Podnebí a hydrologické poměry

Česká republika se z klimatického hlediska nachází v mírné podnebné oblasti s kontinentálními vlivy. Dochází zde k pravidelnému střídání čtyř ročních období, podobně je tomu i v celé střední Evropě. Na většině území spadne během roku 500-700 mm srážek, převládající směr větru je ze západu. Právě klimatické podmínky zásadně utvářejí vodní režim krajiny. [4]



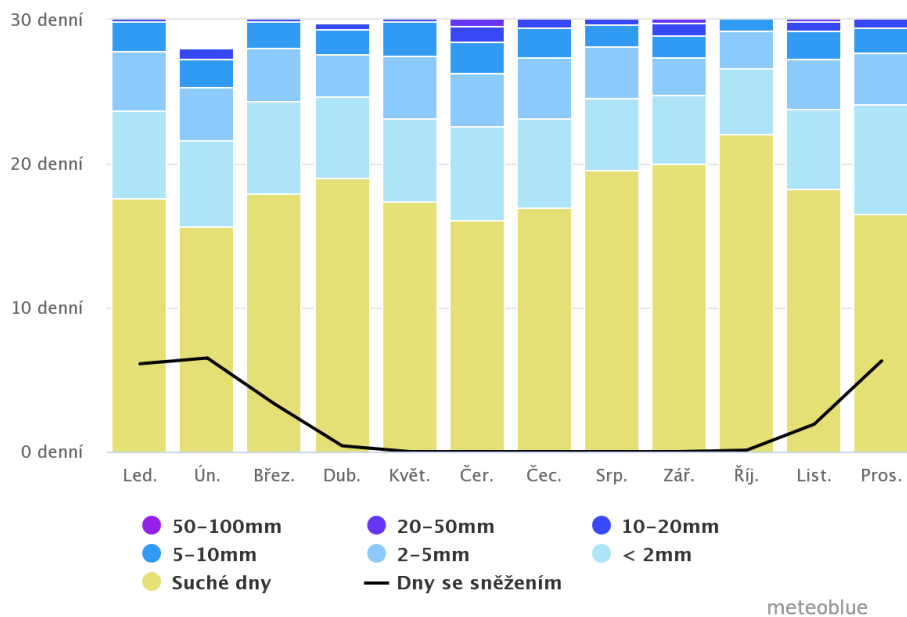
Obrázek 3 – Mapa průměrného ročního úhrnu srážek 1981-2010 [4]

Hradec Králové nevybočuje v žádném z podnebných ukazatelů z republikového průměru. Graf níže (Obrázek 4) znázorňuje průběh průměrných teplot a spadlých srážek za 30 pozorování. Nejteplejším měsícem je srpen s teplotou 25 °C, nejvíce srážek napadne na území v měsících červnu a červenci, kdy spadne 61, respektive 62 mm. Dlouhodobý roční průměr je 580 mm. [5]



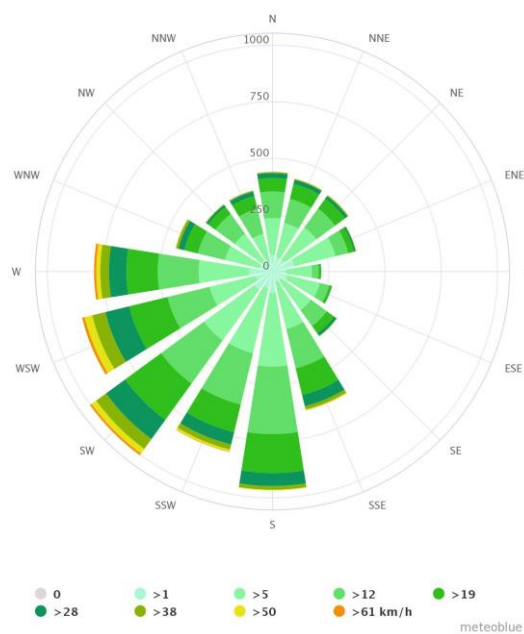
Obrázek 4 – Průměrné roční teploty a úhrn srážek v Hradci Králové [5]

Jiným ukazatelem, než průměrné rozdělení srážek v roce je rozdělení množství spadlých srážek dle úhrnu. Z grafu je možné vyčíst, že ve dvou nejdeštivějších měsících (červnu a červenci) dochází k největším srážkovým událostem s úhrnem v rozsahu 50–100 mm. Jedná se zpravidla o letní bouřkové události, které mají často za následek povodňové stavy na menších vodních tocích. Suchých dnů je průměrně 18 v každém měsíci. [5]



Obrázek 5 – Množství srážek Hradec Králové [5]

Větrná růžice (Obrázek 6) znázorňuje počet hodin v roce, kdy vítr fouká z určitého směru. Je patrné, že v řešeném území převládají jižní a jihozápadní větry. Průměrná rychlost větru v 10 metrech nad zemí je 1,86 m/s, to odpovídá 6,7 km/h. [4]



Obrázek 6 – Větrná růžice pro Hradec Králové [5]

2.3.1 Hydrologická data

Na Labském náhonu ani Melouce se nenachází žádné měřicí stanice, které by trvale měřily stav průtoků. Tabulka níže (Tabulka 1) ukazuje N-leté průtoky stanovené ČHMÚ. Hydrologická data patří do třetí třídy přesnosti.

Tabulka 1 – N-leté průtoky Melounky v ústí do náhonu

N-letost	Q₁	Q₂	Q₅	Q₁₀	Q₂₀	Q₅₀	Q₁₀₀
[m ³ /s]	2,5	4	6,9	9,6	13,1	15,6	19,2

Dlouhodobý průměrný roční průtok je 0,0737 m³/s. M-denní průtoky jsou zobrazeny dole v tabulce (Tabulka 2).

Tabulka 2 – N-leté průtoky Melounky v ústí do náhonu

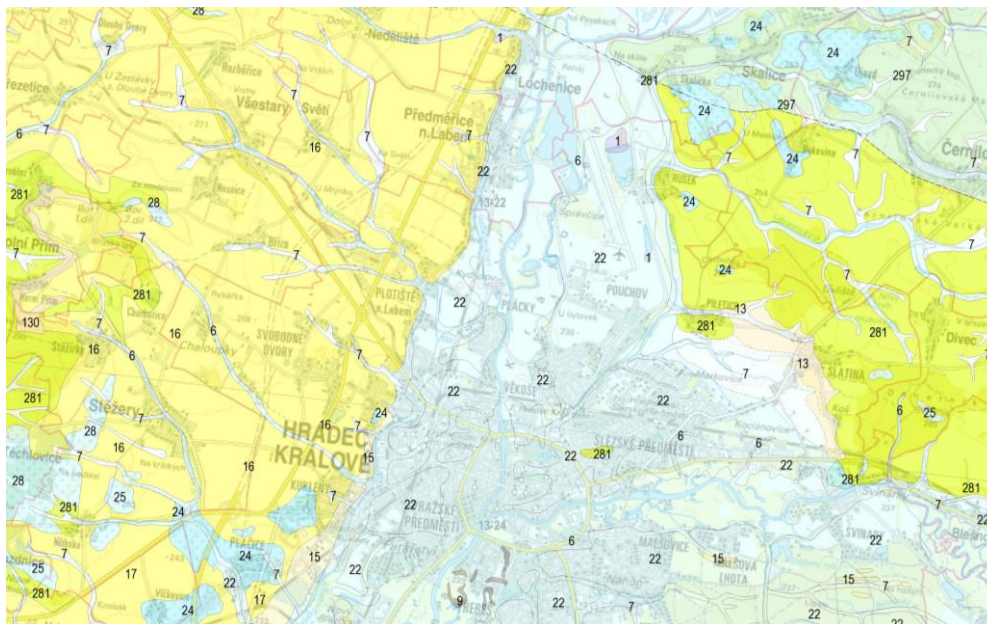
M-denní	Q₃₀	Q₆₀	Q₁₅₀	Q₂₄₀	Q₃₀₀	Q₃₅₅	Q₃₆₄
[m ³ /s]	0,167	0,118	0,063	0,037	0,024	0,0096	0,0044

2.4 Geologické, hydrogeologické a pedologické poměry

Důležitou součástí vývoje vodních toků jsou geologické poměry. Ty dále ovlivňují geomorfologické a hydrogeologické charakteristiky. Mají vliv nejen na tvar a budoucí vývoj říční sítě, ale ovlivňují i skladbu materiálů dna, chod sedimentů nebo chemické složení vody. Hydrogeologické poměry ukazují možnosti zásob podzemní vody a přímo ovlivňují odtokové poměry území. Pedologické poměry v oblasti rozdělují odtok na povrchový a podpovrchový, popisují mimo jiné možnost infiltrace do daného půdního profilu.

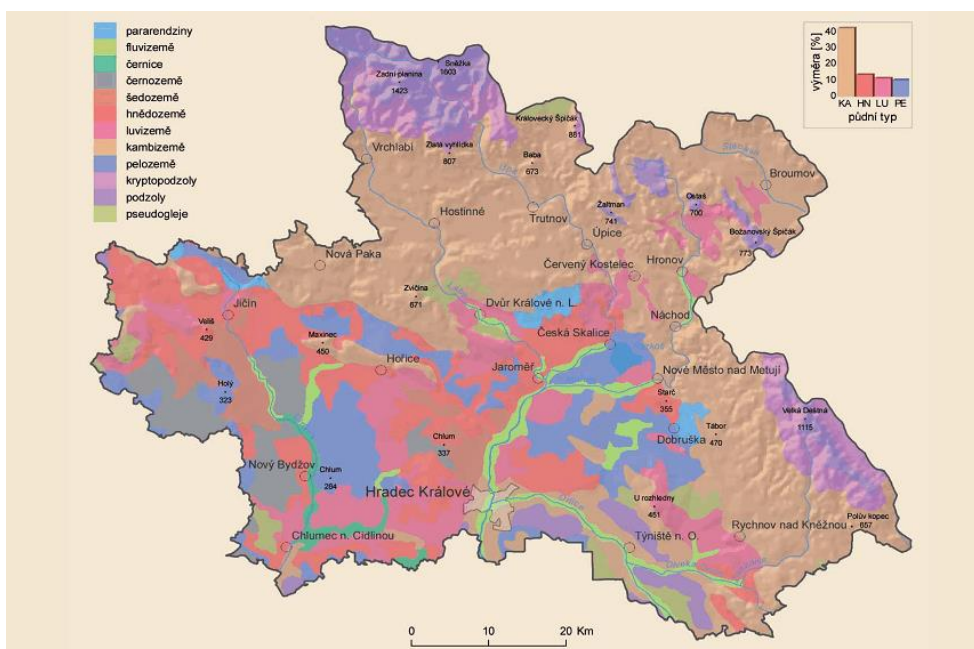
Území Hradce Králové a jeho předměstí se z geologického hlediska skládá z několika částí. Geologická mapa (Obrázek 7) ukazuje skladbu pro zkoumanou oblast. Tok Melounky protéká sprašemi a sprašovými hlínami (16, světlé žlutá) a smíšenými sedimenty (7, bílá) útvary kvartéru, eratém kenozoikum. Labský náhon a jeho okolí je tvořeno písky a štěrky (22, světle modrá) v dolní části Malého labského náhonu také navátým pískem (15, velmi světle oranžová). Opět se jedná o útvary

kvartéru, eratém kenozoikum. Z hlediska hydrogeologických rajonů se oba vodní toky nacházejí ve vrstvě sedimentů svrchní křídý. [6]



Obrázek 7 – Geologická mapa Hradec Králové [6]

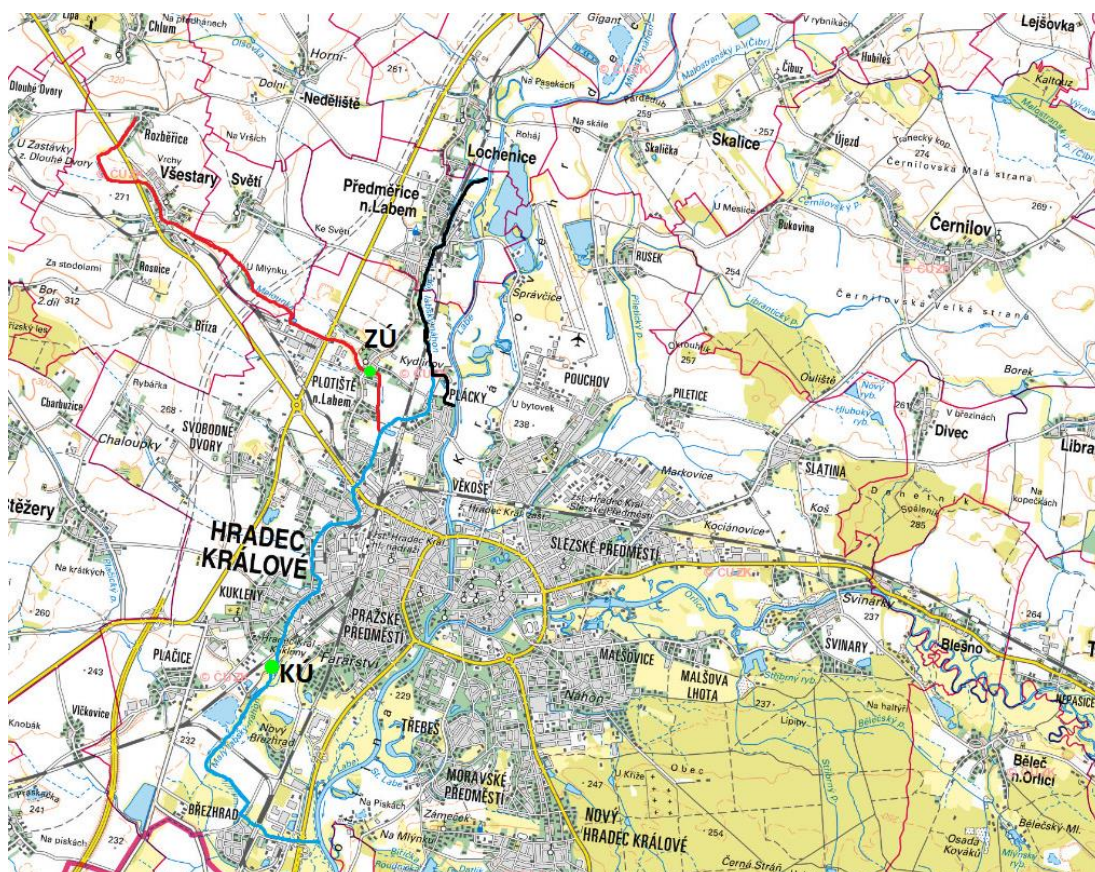
Z hlediska půdní typologie se území kolem toku Melounky skládá převážně z modální šedozemě. Z půdní mapy níže (Obrázek 8) je patrné, že okolí řeky Labe, které zahrnuje i Labský náhon, je charakterizováno půdním typem fluvizem. [7]



Obrázek 8 – Geologická mapa Hradec Králové [7]

3. ZKOUMANÝ ÚSEK

Zájmovým úsekem v této práci je část Melounky a dále tok Malého labského náhonu v západní části města Hradec Králové. Úsek začíná za mostem místní komunikace v Plotišti nad Labem (ř. km 0,866) a končí za železničním mostem v městské části Kukleny (ř. km 4,420).



Obrázek 9 – Vyznačený zájmový úsek v katastrální mapě

3.1 Podrobný popis zkoumaného úseku

Zkoumaný úsek začíná těsně před soutokem Melounky a Malého labského náhonu. Melounka protéká městskou částí Plotiště nad Labem, za mostem silnice Petra Jilemnického vodní tok pokračuje jižně a na levém břehu se rozprostírá pole. Malý labský náhon teče kolem stejného pole, uprostřed křižuje železniční trať. Na jižním cípu zemědělské plochy se oba vodní toky stékají. Nedaleko na levém břehu leží rybník Keprťák. Po dalších téměř 200 metrech náhon vtéká do intravilánu městské části, kde je přemostěn na ř. km 8,327.



Obrázek 10 – Malý labský náhon mezi Plotištěm n. L. a Plácky

Náhon zástavbou pokračuje až k zatrubněnému úseku, který je téměř 100 metrů dlouhý. Detailněji je tento propustek popsán níže v této práci, protože má značný vliv na průchod povodňových průtoků. Za tímto úsekem se kapacita koryta zvětšuje a náhon obtéká průmyslové areály podél silnice Za Škodovkou. Na pravém břehu se nachází bezejmenný rybník a v jeho blízkosti lávka pro pěší. Břehy v tomto úseku jsou poměrně hodně zarostlé (Obrázek 11).

Náhon dále protéká kolem Střední odborné školy veterinární pod mostem Pražské třídy vtéká do městské části Kukleny. Zde je koryto značně nekapacitní, zároveň je v některých částech zarostlé vegetací. Části náhonu je možné vidět na fotografiích níže (Obrázky 12 a 13). Na pravém i levém břehu se nachází zástavba. Malý labský náhon dále teče jižním směrem a za mostem na ř. km 4,932 postupně opouští intravilán. Následuje ještě most železniční trati, za tímto mostem zájmový úsek této práce končí.



Obrázek 11 – Malý labský náhon ř. km 6,638 [8]



Obrázek 12 – Malý labský náhon v Kuklenách



Obrázek 13 – Průmyslový areál Kukleny

3.2 Objekty

Při podrobném popisu zájmového úseku byly zmíněny stavební objekty, zejména mosty, které je důležité blíže popsat vzhledem k jejich vlivu na průběh povodňových průtoků. Celkem se jedná o tři větší silniční mosty, dva železniční mosty, čtyři silniční mostky místních komunikací a pět menších lávek. Dále se v úseku nachází téměř 100 metrů dlouhý úsek, propustek, který vede pod industriálním areálem. Tato část toku bude mít vzhledem k jeho kapacitě a okolním výškovým poměrům největší vliv na zvýšené průtoky. Průtočný profil byl geodeticky změřen v roce 1997 a jeho plocha činí 2,7 m².

Následující tabulka (Tabulka 3) uvádí všechny zmíněné objekty. Pro další postup jsou důležité zejména výšky dolní a horní hrany mostovky, respektive průtočný profil pro propustek. Objekty jsou vypsány s příslušným staničením a výškou dna v průtočném profilu.

Tabulka 3 – Seznam objektů v řešeném úseku

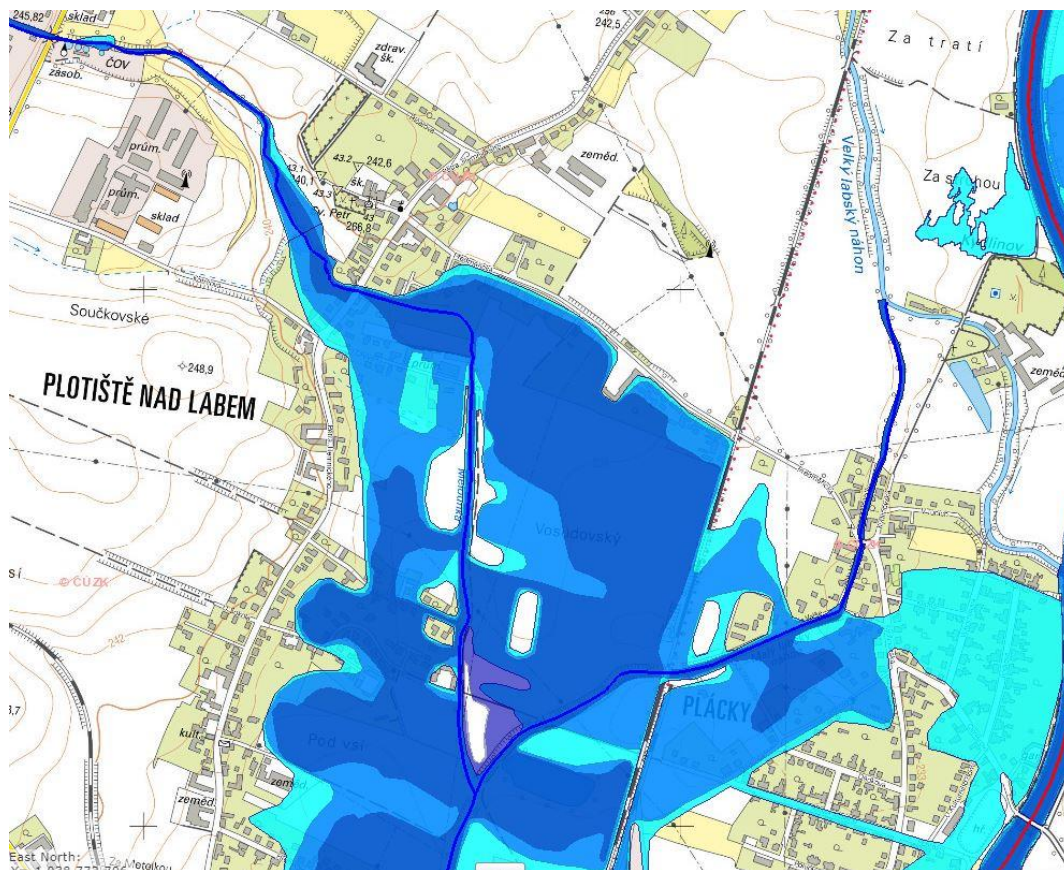
Staničení [ř. km]	Objekt	dno pod mostem [m n. m.]	dolní hrana mostovky [m n. m.]	horní hrana mostovky [m n. m.]
8,872	silniční mostek Plácky	231,53	232,78	233,3

8,695	lávka u vtoku Melounky	231,65	232,61	232,97
8,327	silniční mostek Plotiště	231,51	232,52	233,32
7,903	železniční most	231,21	232,31	232,96
7,855	zatrubněný úsek vstupní PF	231,01	232,21	233,21
7,759	zatrubněný úsek výstupní PF	231	232,26	232,96
7,315	silniční most Svobodné Dvory	231,07	232,48	233,43
6,817	lávka pro pěší u rybníka	230,74	232,11	232,51
6,183	mostek do ZVÚ	230,64	232,15	233,23
5,655	silniční most Pražská ulice	230,80	232,26	232,90
5,488	lávka v Kuklenách	230,59	231,95	232,25
5,365	lávka v Kuklenách	230,65	232,04	232,24
5,261	lávka v Kuklenách	230,48	231,65	232,23
5,095	silniční mostek areál Kukleny	230,18	231,03	231,78
5,058	silniční mostek	230,33	231,38	232,28
4,932	silniční most Kukleny	229,98	231,19	232,09
4,491	železniční most Kukleny	229,55	231,46	232,41

3.3 Záplová území Melounky a Malého labského náhonu

Záplavové území Malého labského náhonu v úseku ř. km 3,866 až ř. km 10,053 bylo stanoveno veřejnou vyhláškou (opatřením obecné povahy) v roce 2013. Záplavové území Melounky (ř. km 0,000 až ř. km 1,266) bylo stejnou vyhláškou změněno. Záplavové území je vymezeno záplavovou čarou, což je křivka odpovídající průsečnici hladiny vody se zemským povrchem při zaplavení území povodní. [9]

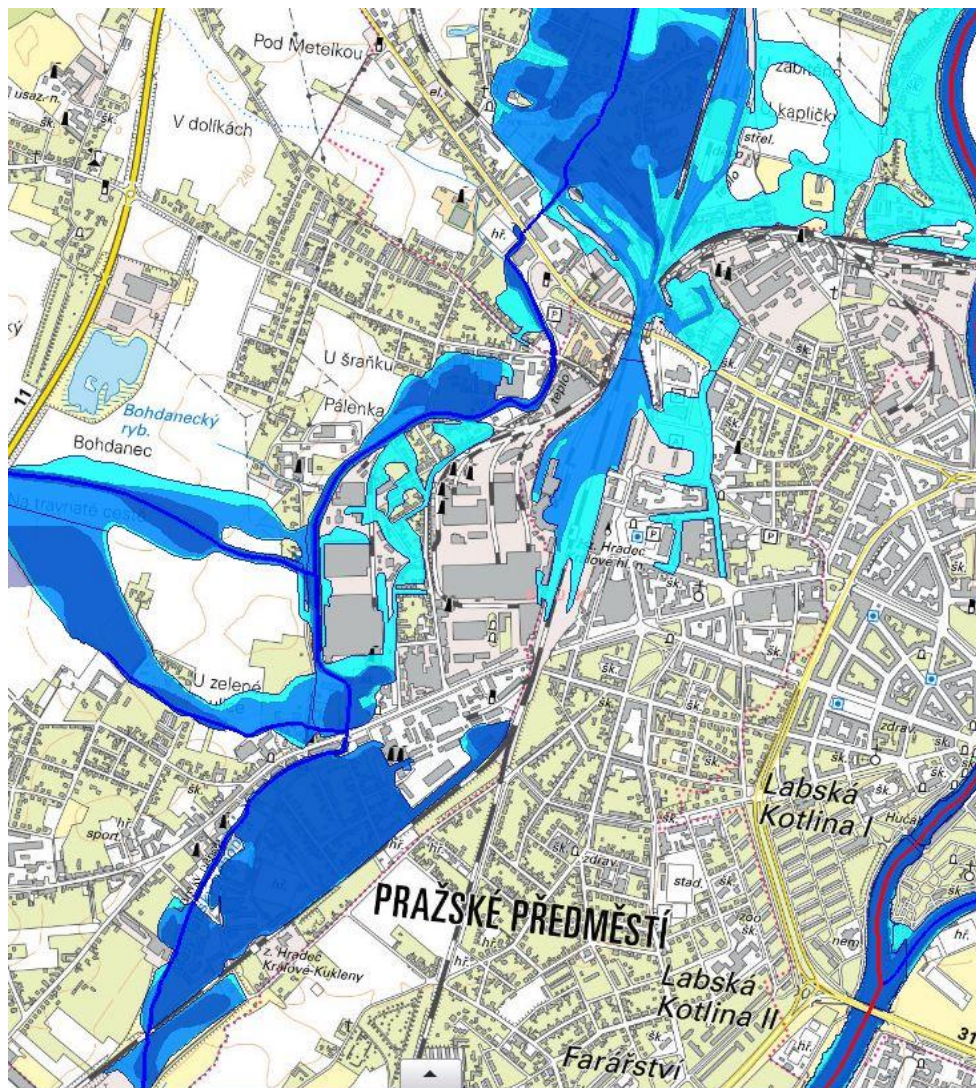
Na horním toku Melounky dochází k rozlivu mimo vodní tok u obce Všestary a poté před křížením s místní komunikací směřující do obce Světí. K rozlivu dochází již při průtoku Q_5 , o něco větší plocha je postižena při Q_{20} . Nejvíce postiženou oblastí je oblast mezi městskou částí Plotiště nad Labem a Plácky, u soutoku s Malým labským náhonem (Obrázek 14). Odstíny modré jsou odstupňovány, pro Q_5 nejtmaší a pro Q_{100} nejsvětější. Zde dochází k velkému rozlivu při Q_{20} . Největší plocha je zaplavena při průtoku Q_{100} , kde rozliv dosahuje až k Labi. Ze zástavby je nejvíce postižena část před propustkem na ř. km 7,855.



Obrázek 14 – Záplavová území u soutoku Melounky a Malého labského náhonu [10]

Na dalším obrázku (Obrázek 15) jsou stejnou barevnou škálou znázorněna záplavová území (Q_5 , Q_{20} , Q_{100}) Malého labského náhonu. Je důležité zmínit, že kapacita koryta je velmi rozdílná. Některé úseky mají kapacitu pouze $1,5 - 2 \text{ m}^3/\text{s}$. Jednoletý průtok Melounky v ústí do náhonu má hodnotu $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Kapacita je tedy zcela nedostatečná a vzhledem k plochému území dochází k rozsáhlým záplavám.

Jižně od Bohdaneckého rybníka se do náhonu vlévá Chaloupecká svodnice, část záplavového území tohoto toku je vykreslena právě v části Bohdanec. Za výše zmíněným propustkem dochází k rozlivu povodňových průtoků do průmyslových areálů a části zástavby. Dále jsou nejvíce postiženou městskou částí Kukleny. V zástavbě za silničním mostem na Pražské třídě (ř. km 5,655) až k železniční trati je rozliv Q_5 , Q_{20} a Q_{100} téměř identický.



Obrázek 15 – Záplavová území Malého labského náhonu [10]

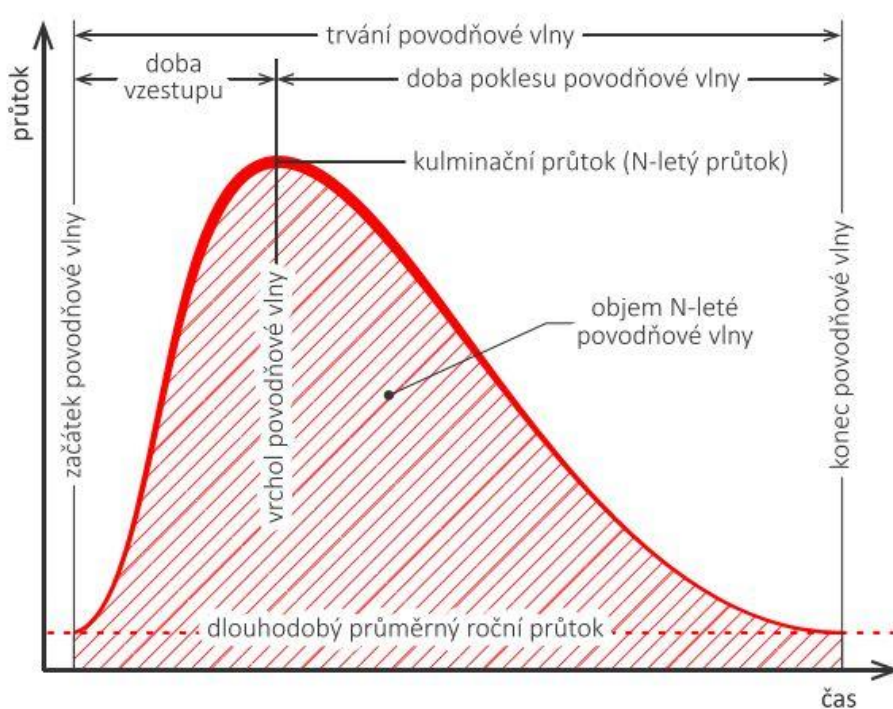
4. OCHRANA PŘED POVODNĚMI

Kapitola popisuje průběh povodňové vlny, dále představuje různé typy povodňových událostí, které jsou typické pro Českou republiku. Následuje přehled protipovodňových opatření a jsou zde uvedena plánovaná opatření v povodí Melounky a Malého labského náhonu.

4.1 Povodně

Dle definice z vodního zákona č. 254/2001 Sb. pojmem povodeň rozumíme přechodné výrazné zvýšení průtoku a hladiny ve vodním toku. Jedná se o takové zvýšení, při němž voda zaplavuje území mimo koryto vodního toku, kde může způsobit škody. Zvýšení průtoku může nastat z různých příčin. Níže jsou popsány čtyři nejčastější kategorie přírodních povodní, které se na území České republiky vyskytují. [11]

Na níže přiloženém hydrogramu (Obrázek 17) můžeme vidět jednotlivé složky povodňové vlny. Doba vzestupu, trvání povodňové vlny a další charakteristiky jsou dále použity při popisu jednotlivých povodňových typů.



Obrázek 16 – Charakteristiky povodňové vlny (podle Kemel M.) [11]

4.1.1 Dešťové povodně

Z názvu je patrné, že příčinou vzniku těchto povodní jsou dlouhotrvající intenzivní srážkové události. Půdní profil se postupně sytí vodou, až dojde k úplnému nasycení. Půda již není schopna přijmout další srážky a povrchový odtok z krajiny roste. Nejvíce ohrožené jsou střední a velké toky. Trvání povodně je zpravidla několik dní. Doba vzestupu takovéto povodně je v řádu hodin, někdy dní. Doba poklesu je výrazně delší než vzestupu. [12]

Většina velkých povodní na našem území byla právě tohoto typu. Z nedávné historie to byly povodně v roce 1997 a 2002. Při druhé zmíněné povodni se dokonce sešly dvě velké dešťové události za sebou. Zcela nasycená povodí z první vlny srážek nedokázala pojmout téměř žádné množství vody. Srážky v druhé vlně byly extrémní, v Krušných horách napadlo 380 mm. Během povodní v roce 1997, které postihly Moravu, byly srážkové úhrny ještě větší. Maxima se pohybovala kolem 600 mm. Obě povodně (1997 a 2002) byly výjimečné velikostí průtoků i objemem povodňových vln. [11] [13]

4.1.2 Přívalové povodně

Název těchto povodní je odvozen z přívalových srážek, ze kterých vznikají. Přívalovou srážkou označujeme velmi intenzivní déšť v trvání 1 až 6 hodin. Během této doby může vypadnout velké množství srážek, více než 100 mm. Nejčastější příčinou těchto událostí jsou letní bouřky. Těmito jevy jsou postížena nejčastěji velmi malá území v povodích malých vodních toků. Predikce těchto jevů je velmi složitá. Srážek dopadá na povrch takové množství, že půda nestíhá vsakovat a voda rychle odtéká po povrchu. S sebou odnáší půdní kryt a způsobuje erozi.

Povodeň má velmi rychlou dobu vzestupu i dobu poklesu, může trvat jen několik minut. Předpověď těchto jevů se snaží ulehčit tzv. indikátor přívalových povodní hlásné a předpovědní povodňové služby. Zde je možné zobrazit souhrnné riziko přívalové povodně, které se počítá z aktuálního nasycení území, spadlých a předpovídaných srážek. [12]

4.1.3 Povodně z tání sněhu

Povodně z tání sněhu vznikají v zimním a jarním období. Jejich vznik i průběh ovlivňují různé faktory. Mimo jiné: množství a stav sněhové pokrývky, průběh zimy (nejnebezpečnější jsou zimní měsíce bez výskytu dílčích tání), stav půdy pod sněhovou pokrývkou (promrzlá půda špatně infiltruje vodu), teplota vzduchu, vítr, vzdušná vlhkost i výskyt dešťových srážek během oblevy. Tyto povodně ohrožují nejvíce střední a velká povodí. V nedávné historii byla povodněmi z tání sněhu postižena území okolo Jizery 2002 a v roce 2006 většina České republiky. [12]

4.1.4 Ledové povodně

Podobně jako povodně z tání sněhu jsou ledové povodně spojeny se změnou počasí. Během období silných mrazů se vytvoří ledová pokrývky, při oteplení začne docházet k tání sněhu, a tedy dojde k zvětšení průtoku. Led nestačí roztát a větší průtok led rozláme na kry, které se pohybují s proudem vodním tokem a dochází k takzvanému chodu ledu. V místech, kde je omezen průtočný profil (mostní objekty, propustky, mělké dno, zúžené koryto atp.) se unášené kusy ledu hromadí a tvoří bariéry. Voda se za těmito překážkami hromadí, až dojde k rozlivu mimo vodní tok. V dnešní době nejsou tyto povodně tak časté, protože v zimních měsících není dostatečně silný mráz, aby se vytvořil tlustý led. Tomu přispívá i fakt, že voda vypouštěná z přehradních nádrží spodní výpustí otepluje vodní tok. [12]

4.2 Protipovodňová opatření

Obecně lze protipovodňová opatření rozdělit na technická a netechnická, případně na technická a přírodě blízká. Jejich účelem je snížit rizika a dopady zvýšených průtoků. Ideální řešení protipovodňových opatření vychází z kombinace obou výše zmíněných přístupů na celé ploše daného povodí. Technická opatření lze rozdělit na zaměřená proti účinkům vody v ploše povodí (například regulace zemědělské činnosti v ploše povodí nebo budování retenčních a protierozních opatření) a proti účinkům na vodních tocích (retenční prostory v údolních nádržích, retenční prostory v poldrech, ochranné hráze, zkapacitnění koryt vodních toků a další). Mezi netechnická opatření se řadí definování záplavových zón, právní zajištění záplavových zón, předpovědní

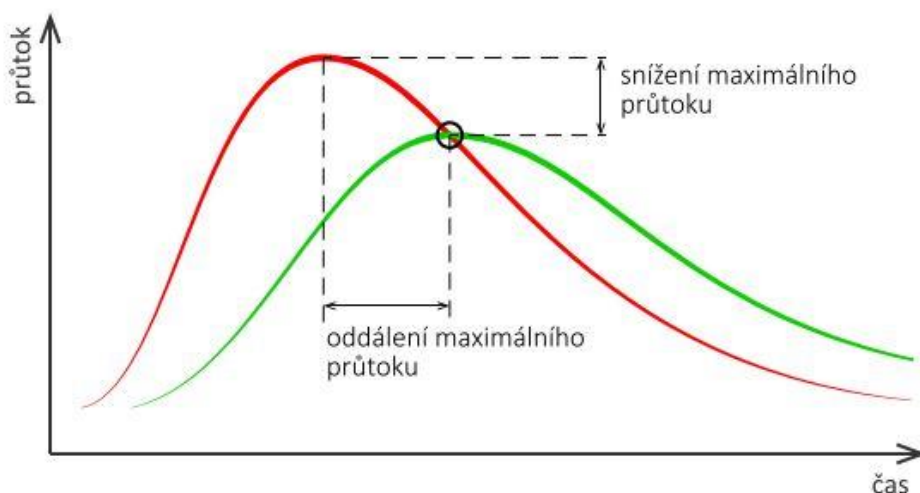
systemy, varovné systémy i výchova veřejnosti. V této práci jsou blíže popsána pouze technická opatření na vodních tocích.

4.2.1 Technická protipovodňová opatření na vodních tocích

Jak již bylo zmíněno, tato opatření mají za cíl snížit povodňové průtoky na neškodné a zamezit vyběžení vody do inundačního území. Nejefektivnějším řešením je kombinace obou přístupů. Tedy nejprve snížit průtok a ten poté bezpečně převést skrz město či obec. Zde je důležité zdůraznit, že každá situace je specifická a nelze jednoznačně definovat jaký přístup je lepší. Vždy záleží na velkém množství faktorů. Standardní návrhovou veličinou protipovodňových opatření je čára překročení N -letých průtoků, u měst se ochrana navrhuje zpravidla na průtok Q_{100} , u obcí Q_{20} . [13]

Jedním z technických zásahů do vodního toku, který zamezuje vyběžení vody do inundačního území, je zkapacitnění koryta. Zvětšení průtočného průřezu na požadovanou kapacitu je možné dosáhnout snížením nivelety dna nebo rozšířením koryta. Snížení nivelety dna je náročné na údržbu (pravidelné odstraňování sedimentů), rozšíření koryta je v intravilánu problematické, někdy i nemožné. Proto jsou někde navrhovány a stavěny ochranné liniové stavby podél vodních toků. Jedná se o ochranné hráze a zídky. Další variantou těchto staveb je tzv. mobilní hrazení. To se instaluje pouze v době povodně a po opadnutí vody je rozebráno. Aby byl dostatek času mobilní hrazení postavit, je nutné vědět o povodni dostatečně dopředu. [13]

Ke snižování a transformaci povodňových průtoků dochází v retenčních prostorech vodních nádrží. Transformací povodňové vlny rozumíme snížení kulminačního průtoky a oddálení této kulminace (Obrázek 17). Účelem retenčních prostor je zachytit co největší část povodňové vlny a dále po toku vypouštět takový průtok, který nebude působit další škody. Většina velkých přehradních nádrží v České republice je víceúčelová. Slouží mimo jiné k: využití vodní energie, zásobování pitnou vodou, vyrovnávání průtoků, turismu a také k ochraně před povodněmi. Retenční prostor nádrže se plní pouze při povodňových událostech. Nádrže s ochrannou funkcí je možné rozdělit do několika skupin: nádrže s malým retenčním prostorem v poměru k celkovému objemu nádrže, přehradní nádrže s vymezeným retenčním prostorem, ochranné nádrže s velkým retenčním prostorem k zachycení povodňového průtoky a suché ochranné nádrže.



Obrázek 17 – Transformace povodňové vlny v nádrži [11]

4.3 Plánovaná protipovodňová opatření v povodí Melounky a Malého labského náhonu

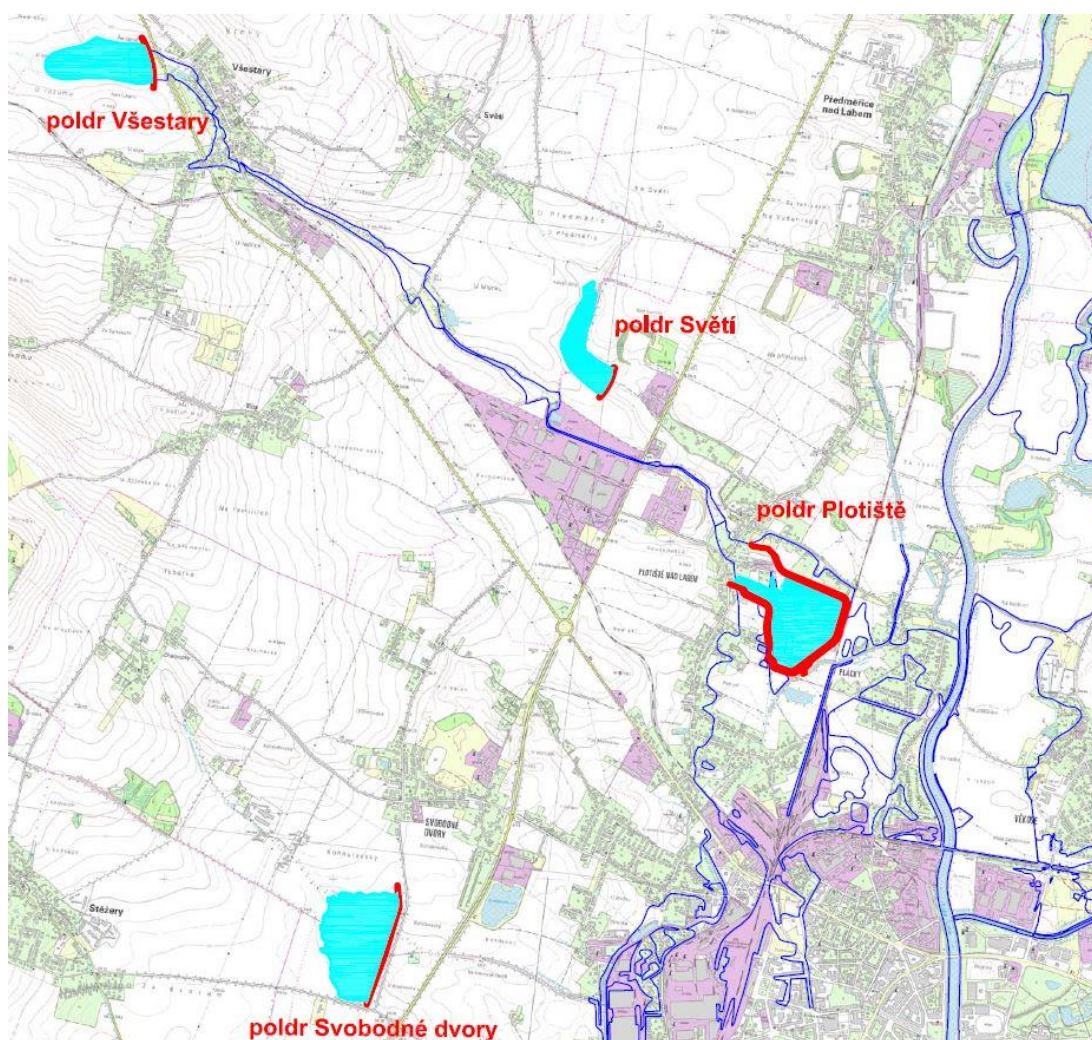
V kapitole číslo 2 bylo zmíněno, že Malý labský náhon vznikl za účelem napájení Velkého březhradského rybníka. Během druhé poloviny 20. století došlo k urbanizaci městských částí Plotiště nad Labem, Svobodné dvory a Kukleny. V rámci výstavby nedošlo ke zkapacitnění koryta Malého labského náhonu. Kapacita některých úseků se pohybuje pod $2 \text{ m}^3/\text{s}$. V minulosti bylo navrhováno zvýšení protipovodňové ochrany přeložením koryta Melounky do Labe a úpravou se zkapacitněním koryta Malého labského náhonu především v oblasti Kuklen. Vzhledem k silné urbanizaci zájmového území a dalším technickým problémům je toto řešení v současné době nerealizovatelné.

Nové řešení protipovodňové ochrany předpokládá transformaci povodňových průtoků soustavou suchých nádrží v povodí Melounky a Chaloupské svodnice (Obrázek 18). V povodí Melounky je připravována výstavba poldru nad obcí Všešary. Další nádrž je situována na přítoku Melounky pod obcí Světí. Nejvýznamnější nádrž v povodí Melounky je navrhována těsně nad soutokem s Malým labským náhonem mezi městskými částmi Plotiště n. Labem a Plácky. Výstavbou všech tří nádrží v povodí Melounky dojde ke snížení stoletého průtoku na soutoku s náhonem z $19,47 \text{ m}^3/\text{s}$ na $4,51 \text{ m}^3/\text{s}$. Na Chaloupské svodnici je poldr

umístěn nad silnicí I/11 u Svobodných Dvorů. Objem nádrže dokáže zachytit celý objem stoleté povodně.

Tabulka 4 – Plánovaná protipovodňová opatření

Tok	Název objektu	objem [tis. m ³]	délka hráze [m]	výška hráze [m]
Melounka	Poldr Všešary	120	345	4,1
Melounka	Suchá nádrž Plotiště	175	2040	2,2
Světská svodnice	Suchá nádrž Světí	140	220	5,25
Chaloupská svodnice	Suchá nádrž Svobodné Dvory	185	737	3,3



Obrázek 18 – Plánovaná protipovodňová opatření

5. HYDRAULICKÉ ŘEŠENÍ PROPUSTKU

V kapitole číslo 3 je zmíněna kritická část zájmového úseku této práce, propustek pod průmyslovým areálem. Tato kapitola má za cíl přiblížit a vysvětlit dělení propustků na základě proudění v nich a nastínit základní postupy při řešení těchto jevů.

5.1 Dělení propustků

Propustkem rozumíme menší stavební objekt na vodním toku, který zpravidla slouží k převedení vody pod silničními nebo železničními komunikacemi. U propustků je nejvýznamnějším rozměrem jejich délka, která převládá nad výškou a šířkou. Otvor objektu má světlou výšku do 2,0 metru. Dříve byl příčný průřez nejčastěji klenutý (půlkruhový nebo parabolický), dnes jsou průřezy kruhové, případně obdélníkové (čtvercové). Oproti proudění mostním objektem, kde vznikají významné energetické ztráty na vtoku a výtoku, je u propustků vzhledem k jejich délce velice významná energetická ztráta třením. Zároveň dochází k rozvinutí průběhu hladin v propustku. [14] [15]

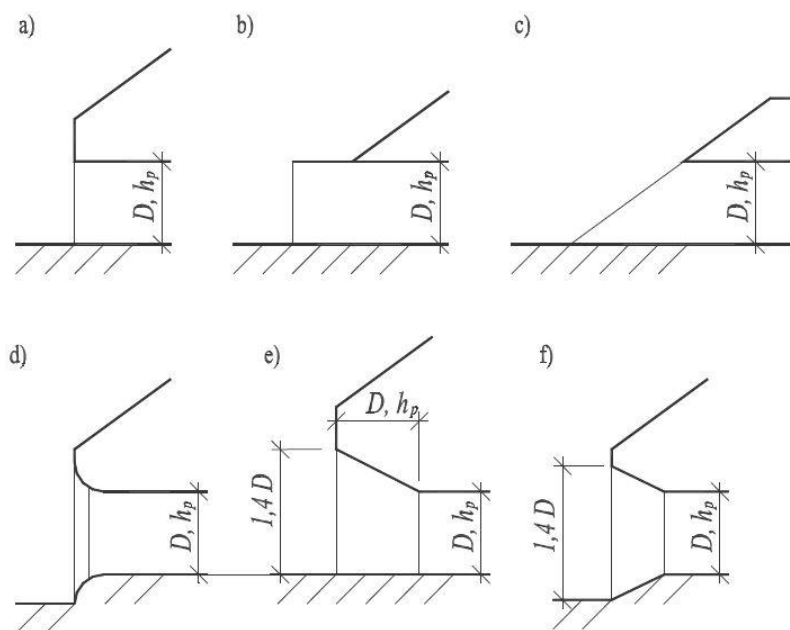
Propustek zužuje průtočný profil, a tedy vytváří překážku ve vodním toku. V zúžení dochází ke ztrátě místní energie. Omezení průtočného profilu způsobuje vzduť hladiny před propustkem. Proudění v propustku může být různé, v odborné literatuře se uvádí více než 95 možných způsobů proudění. To se může měnit v závislosti na délce propustku, sklonu dna, na poměrech vtoku a výtoku z propustku atd. [16]

Proudění v propustku při praktickém výpočtu můžeme rozdělit na tři základní průtoková schémata: propustky s volnou hladinou po celé délce propustku, propustky se zatopeným vtokem (hladina vody před vtokem propustku je vyšší než horní hrana propustku, ale dále v propustku je volná hladina) a tlakové propustky. Tyto popsání způsoby proudění se mohou v čase měnit v závislosti na průtoku. Tlakové proudění nemusí nutně být v celém propustku, může se vyskytovat i jen v jeho části. [16]

5.1.1 Vtok do propustku

Na vtoku do propustku dochází ke kontrakci vodního proudu. Na tvaru vtoku je závislý zúžený průřez, který může být buď volný nebo zatopený (vzdutý) od výtoku

z propustku. Zatopení (nebo vzduť) může být způsobeno volnou hladinou pod propustkem nebo například malým sklonem dna v dlouhém propustku. Obrázek níže (Obrázek 19) znázorňuje různé typy vtoku do propustku. Společně s tabulkou (Tabulka 5) dávají přehled hodnot součinitelů u daných typů propustků. Tyto součinitelé se dále používají k výpočtům proudění propustkem. [16]



Obrázek 19 – Tvary vtoku do propustku [16]

Tabulka 5 – Tabulka součinitelů pro výpočet propustků [16]

typ vtoku (Obrázek X)	součinitel místních ztrát na vtoku ξ_v	rychlostní součinitel φ	součinitel výškového zúžení χ	součinitel zatopení vtoku β
a	0,40 – 0,50	0,85 – 0,82	0,90	1,20 – 1,16
b	0,80 – 0,90	0,75 – 0,73	0,86	1,09 – 1,08
c	0,70 – 0,80	0,77 – 0,75	0,87	1,10 – 1,09
d	0,05 – 0,10	0,98 – 0,95	0,97	1,45 – 1,40
e	0,10 – 0,15	0,95 – 0,93	0,95	1,40 – 1,33
f	0,30 – 0,40	0,88 – 0,85	0,94	1,40 – 1,36

5.2 Propustek s volnou hladinou v celé délce

Propustek s volnou hladinou v celé délce definujeme podle vztahů 5.1 a 5.2.

$$h < \beta D \quad (5.1)$$

$$h < \beta h_p \quad (5.2)$$

- kde h – hloubka před vtokem do [m]
 β – součinitel zatopení vtoku
 D – průměr kruhového propustku [m]
 h_p – světlá výška obdélníkového propustku [m]

5.2.1 Propustky neovlivněné dolní vodou

Jak bylo zmíněno výše, na vtoku do propustku dochází ke kontrakci vodního proudu a hloubka na začátku propustku se snižuje. Tato hloubka je definována podle vztahu 5.3.

$$h_c = \chi h_k \quad (5.3)$$

- kde χ – součinitel výškového zúžení [m]
 h_k – kritická hloubka v daném profilu propustku odpovídající danému průtoku [m]

Protože součinitel výškového zúžení je menší než 1 (Tabulka 5), v zúženém průřezu za vtokem je bystrinné proudění. Bystrinné proudění může být ovlivněno dolní vodou, pokud hloubka vody v propustku za vtokem je větší než druhá vzájemná hloubka vodního skoku.

Při řešení obdélníkového propustku o šířce b musí být hloubka dolní vody menší než druhá vzájemná hloubka h_c (nerovnice 5.4).

$$h_d < \frac{h_c}{2} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{8\beta Q^2}{gh_c^3 b^2}} \right] \quad (5.4)$$

- kde h_d – hladina za výtokem z propustku [m]
 h_c – zúžená hloubka na začátku propustku [m]
 β – Boussinesqovo číslo [-]

Q – průtok [m^3/s]

g – gravitační zrychlení [m/s^2]

b – šířka propustku

Dále je nutné definovat kritickou hloubku obdélníkového koryta vztahem 5.5.

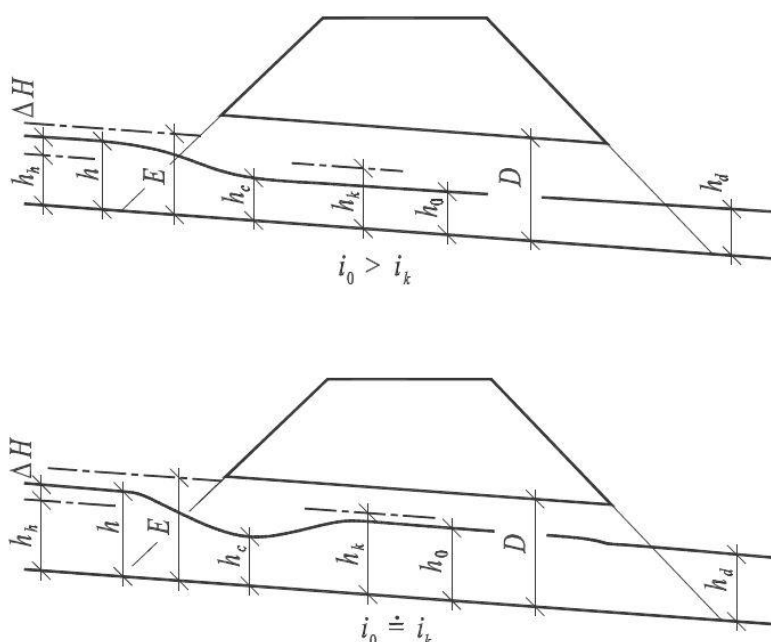
$$h_k^3 = \frac{\alpha Q}{gb^2} \quad (5.5)$$

kde α – Coriolisovo číslo [-]

Při dosazení rovnice 5.3 do vztahu 5.4 a dosazení kritické hloubky (5.5) dostáváme následující vztah 5.6.

$$h_d < \frac{\chi h_k}{2} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{8\beta}{\alpha x^3}} \right] \quad (5.6)$$

Kruhový propustek o průměru D je ovlivněn dolní vodou, je-li sklon dna menší než kritický. Na obrázku (Obrázek 20) je možné vidět neovlivněné kruhové propustky s volnou hladinou, volným vtokem i výtokem. [16]



Obrázek 20 – Průběh hladiny v kruhovém propustku s nezatopeným vtokem a výtokem [16]

U kruhového propustku je nutné ověřit, že daný průtok Q je menší než kapacitní průtok Q_d . Ten je možné určit například z Chézyho a Manningovy rovnice (vztah 5.7).

$$Q < Q_D = \frac{1}{n} R^{2/3} A \sqrt{i_0} \quad (5.7)$$

kde n – Manningův součinitel drsnosti [-]

R – hydraulický poloměr [m]

A – průtočná plocha profilu [m²]

i_0 – sklon propustku [-]

Protože propustek omezuje průtočný profil, dochází před ním ke vzduť hladiny. To je možné definovat následující rovnicí (5.8).

$$\Delta H = h - h_h \quad (5.8)$$

kde h – vzduť hloubka před propustkem [m]

h_h – původní nevzduť hloubka před propustkem [m]

Hloubku vzduť hladiny před propustkem (h) je možné určit z Bernoulliho rovnice (5.9). Rovnice vyjadřuje zákon zachování mechanické energie.

$$h = E - \frac{\alpha_v^2}{2g} \quad (5.9)$$

kde E – energetická výška [m]

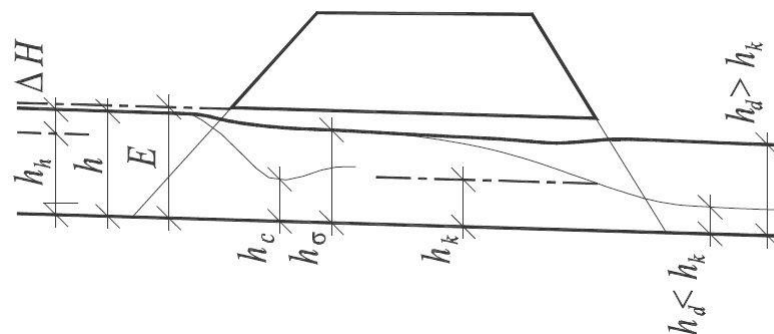
v – rychlost v místě hladiny [m/s]

Pro energetickou výšku zúženého průřezu platí následující vztah (5.10).

$$E = h_c + \frac{v_c}{2g\varphi^2} \quad (5.10)$$

5.2.2 Propustky ovlivněné dolní vodou

Pokud je propustek velmi dlouhý a sklon dna je malý nebo hladina dolní vody je vysoko, dochází k ovlivnění průběhu proudění. Zúžená hloubka h_c je odspodu zatopena (Obrázek 21).



Obrázek 21 – Propustek s volnou hladinou s vtokem zatopeným dolní vodou [16]

Propustek je pak řešen jako nedokonalý přepad přes širokou korunu (rovnice 5.11). Hloubka vody v profilu za vtokem do propustku (h_σ) je vypočtena za využití řešení průběhu hladiny nerovnoměrného proudění od výtoku z propustku.

$$Q = \varphi b h_\sigma \sqrt{2g(E - h_\sigma)} \quad (5.11)$$

kde φ – rychlostní součinitel [-]

h_σ – hloubka vody za vtokem do propustku [m]

5.3 Propustky s volnou hladinou a zatopeným vtokem

V případě zvýšených průtoků může postupně dojít až k zahlcení vtoku do propustku. To nastává, když není splněna podmínka popsána vztahy 5.1 nebo 5.2. Hladina je tedy větší, než výsledná hodnota součinu součinitele zatopení vtoku a průměru propustku (kruhový propustek) nebo světlé výšky (obdélníkový propustek). Propustky s volnou hladinou a zatopeným vtokem je možné rozdělit na dvě kategorie, jako v předchozím případě na ovlivněné a neovlivněné dolní vodou.

5.3.1 Propustky neovlivněné dolní vodou

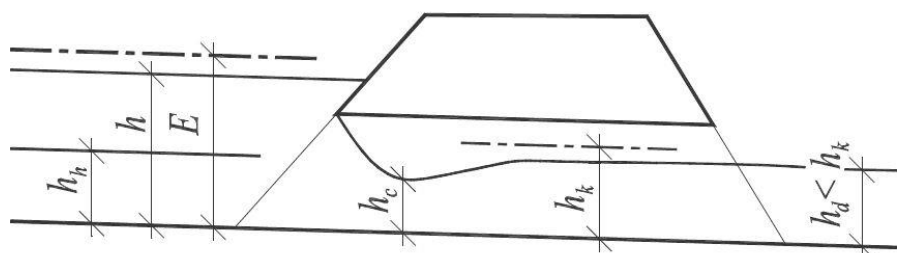
Z obrázku (Obrázek 22) je patrné, že není zatopena zúžená hloubka h_c . Pro výpočet je nutné definovat zúženou hloubku h_c (5.12) a zúženou plochu A_c (5.13) za vtokem do propustku. Pro vypočtení zúžené hloubky h_c u kruhového propustku je výška h_p nahrazena průměrem propustku D .

$$h_c = 0,62h_p \quad (5.12)$$

kde h_p – výška obdélníkového propustku [m]

$$A_c = 0,62A \quad (5.13)$$

kde A – světlá plocha příčného řezu propustkem [m²]



Obrázek 22 – Propustek s volnou hladinou, zatopeným vtokem, neovlivněný dolní vodou [16]

Poté je již možné podle vztahu (5.14) vypočítat průtok propustkem se zahlceným vtokem neovlivněným dolní vodou.

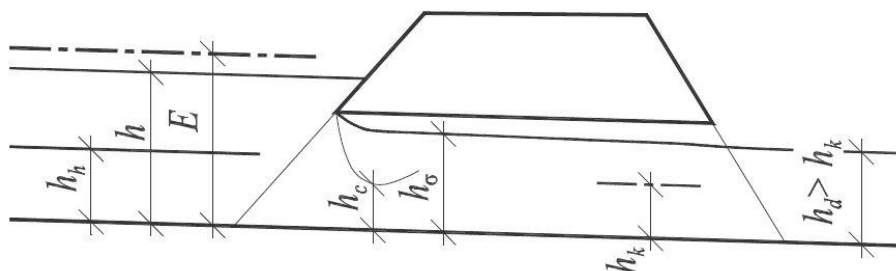
$$Q = \varphi A_c \sqrt{2g(E - h_c)} \quad (5.14)$$

5.3.2 Propustky ovlivněné dolní vodou

K ovlivnění proudění dolní vodou dojde stejně jako v 5.2.2 pokud je sklon dna v propustku velmi malý nebo je hladina za výtokem (h_d) z propustku vysoko. Řešením nerovnoměrného proudění proti proudu, od výtoku z propustku je získána hloubka v profilu za vtokem do propustku (h_σ). V tomto profilu platí pro energetickou výšku následující vztah (5.15). [13]

$$E = h_\sigma + \frac{v_\sigma^2}{2g\varphi^2} = h_\sigma + \frac{Q^2}{2g\varphi^2 b^2 h_\sigma^2} \quad (5.15)$$

kde h_{σ} – hloubka vody za vtokem do propustku [m]
 v_{σ} – rychlost vody za vtokem do propustku [m/s]
 b – šířka propustku [m]



Obrázek 23 – Propustek s volnou hladinou, zatopeným vtokem, ovlivněný dolní vodou [16]

5.4 Tlakové propustky

Tlakové proudění v propustku nastává, když je průtok propustkem Q větší než kapacita propustku Q_D (5.7). Kapacitní průtok Q_D je možné určit například z Chézyho a Manningovy rovnice. Tlakové proudění v propustcích můžeme dále rozdělit na tlakové proudění v celém propustku nebo pouze v jeho části.

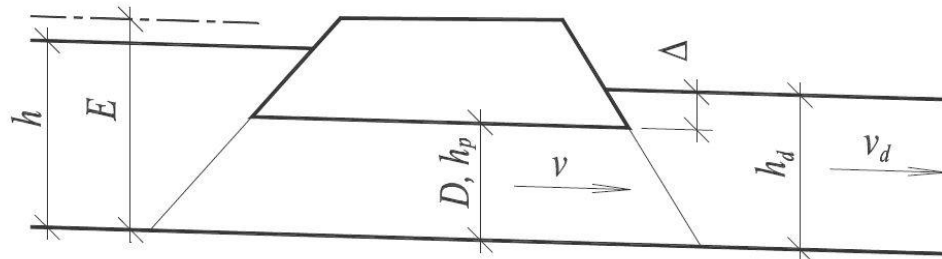
5.4.1 Tlakové proudění v celé délce propustku, zatopený výtok dolní vodou

Na obrázku (Obrázek 24) je možné vidět kruhový propustek se zatopeným výtokem. Aby bylo zajištěno ustálené tlakové proudění v celé délce propustku, je nutné splnit podmínku minimálního převýšení Δ (5.16). Pak bude ve výtokovém profilu tlak větší než atmosférický.

$$\Delta > \Delta_{\min} = \frac{v_d(v - v_d)}{g} \quad (5.16)$$

kde Δ – rozdíl hladiny dolní vody a výtokového profilu propustku [m]
 v_d – rychlost vody v korytě pod propustkem [m/s]

v – rychlost vody v propustku [m/s]



Obrázek 24 – Tlakový propustek, zatopený výtok [16]

Protože propustek významně omezuje průtočný profil, je nutné při výpočtu tlakového proudění zahrnout ztrátu zúžením, dále ztrátu třením po délce propustku, a nakonec Bordovu ztrátu náhlým rozšířením. Poté je možné sestavit Bernoulliho rovnici mezi vstupním a výstupním profilem propustku (5.17).

$$Eh = i_0 L + \frac{\alpha v_h^2}{2g} + h = h_d + \frac{\alpha v_d^2}{2g} + \frac{(v - v_d)^2}{2g} + \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} + \xi \frac{v^2}{2g} \quad (5.17)$$

kde i_0 – podélný sklon propustku [-]

L – délka propustku [m]

v_h – rychlost vody před propustkem [m/s]

λ – součinitel ztrát třením [-]

ξ – součinitel ztrát zúžením [-]

5.4.2 Tlakové proudění v celé délce propustku, výtok nezatopený dolní vodou

Obdobně jako v předchozím případě je možné odvodit Bernoulliho rovnici i pro propustek s tlakovým prouděním s nezatopeným výtokem. Podstatnou změnou je, že na výtoku nedochází k Bordově ztrátě náhlým rozšířením. Hladina dolní vody za propustkem je stejně vysoká, jako profil propustku D .

$$Eh = i_0 L + \frac{\alpha v_h^2}{2g} + h = D + \frac{\alpha v_d^2}{2g} + \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} + \xi \frac{v^2}{2g} \quad (5.18)$$

6. MATEMATICKÝ MODEL A VÝPOČET

Tato kapitola nejprve představuje výpočetní program HEC-RAS, ve kterém je tato práce zpracována. Následuje popis řídicích rovnic 2D modelu a postup vytváření celého modelu, včetně zpracování podkladů. Postupně je popsána tvorba digitálního modelu terénu, výpočetní sítě, určení odporu povrchu, modelování objektů ve vodním toku a zadání okrajových podmínek.

6.1 Výpočetní program HEC-RAS

Výpočetní program HEC-RAS vyvinulo hydrologické inženýrské centrum (Hydrologic Engineering Center), které je součástí US Army Corps of Engineers. Program prošel mnoha aktualizacemi a verzemi, první verze byla vydána již v roce 1995. Tato studie je zpracována ve verzi 6.0 Beta.

Program umožňuje výpočet jednorozměrného i dvojrozměrného ustáleného nebo neustáleného proudění v otevřených neprizmatických korytech v režimových oblastech říčních i bystřinných. Dále například transport sedimentu, analýzu teploty vody nebo simulaci kvality vody. Ve verzi 6.0 tvůrci softwaru představili další nové funkce. Například možnost modelovat prostorové srážky a infiltraci v 2D průtočných plochách, vodních nádržích i mezi příčnými profily v 1D. Dále pak je to řešení 1D za použití metody konečných objemů. Tato metoda v porovnání s metodou konečných diferencí má tu výhodu, že je stabilnější zejména pro velmi malé průtoky nebo při modelování strmých toků. Dále mají uživatelé například možnost zahrnout působení větru do výpočtu v 1D i 2D. [17]

Pro tuto studii je nejdůležitější nová možnost vložit most do 2D modelu. Hydraulické vlastnosti mostu (šířka, výška, odpor atd.) jsou podobně jako v 1D zpracovány do skupiny křivek. Ty jsou pak použity k výpočtu sil způsobených mostem na základě průtoku skrz mostní objekt, případně i přes něj. Tyto síly jsou pak použity na speciální verzi 2D rovnice hybnosti napříč plochami středové linie mostu. [18]

6.2 Řídící rovnice matematického modelu

Při výpočtu a modelování 2D proudění pracuje software HEC-RAS s několika základními předpoklady. Základem modelu je výpočetní síť s elementy o konečné

vzdálenosti. Každý výpočtový bod sítě je možné popsat souřadnicemi [X, Y, Z]. Výchozím předpokladem je zanedbání svislé složky rychlosti. Podmínka použití 2D modelu je, že vektory rychlostí musí mít po celé výšce každé svislice zanedbatelné odchylky ve směru. Model je možné použít i v úsecích s prouděním relativně mělké vody. [19]

Neustálené nerovnoměrné proudění v otevřených korytech je možné popsat rovnicemi. Tyto rovnice jsou pak využity v programu HEC-RAS jako řídicí rovnice výpočtu 2D proudění. Rovnice vycházejí ze dvou zákonů: zákonu zachování hmoty a zákonu zachování hybnosti. Rovnice jsou nazývány jako rovnice spjitosti a diferenciální Navier-Stokesovy pohybové rovnice. Tyto rovnice jsou zjednodušeny zmíněnými předpoklady a ve směru osy x a y mají pak tvar napsaný níže (5.19 resp. 5.20). Rovnice spjitosti je zapsána níže (5.21). [19]

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta \frac{q_x^2}{h} + \frac{1}{2} gh^2 \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\beta \frac{q_x q_y}{h} \right) + gh \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{h}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \alpha q_y + \frac{1}{\rho} \left[\tau_{0x} - \tau_{px} - \frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} - \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right] = 0 \quad (5.19)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\beta \frac{q_y^2}{h} + \frac{1}{2} gh^2 \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta \frac{q_x q_y}{h} \right) + gh \frac{\partial z}{\partial y} + \frac{h}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \alpha q_x + \frac{1}{\rho} \left[\tau_{0y} - \tau_{py} - \frac{\partial(h\tau_{yx})}{\partial x} - \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} \right] = 0 \quad (5.20)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (5.21)$$

- kde
- h – hloubka vody [m]
 - z – kóta dna [m]
 - ρ – hustota [kg/m³]
 - q_x – měrný průtok ve směru osy x [m²/s]
 - q_y – měrný průtok ve směru osy y [m²/s]
 - β – Boussinesqovo číslo [-]
 - p_a – atmosférický tlak (k vodní hladině) [Pa]
 - $\tau_{p,x}$, $\tau_{p,y}$ – smykové napětí na hladině, ve směru os x,y [Pa]
 - τ_{0x} , τ_{0y} – smykové napětí na dně, ve směru os x,y [Pa]
 - $\tau_{x,x}$, τ_{yy} , τ_{xy} , τ_{yx} – smykové napětí vlivem turbulence [Pa]

Celkem existují tři možnosti numerického řešení: metoda konečných diferencí, metoda konečných objemů a metoda konečných prvků. Pro všechny metody platí společný princip. Základní diferenciální rovnice jsou převedeny a zjednodušeny na rovnice lineární. Řešením těchto rovnic jsou získány hodnoty hledaných veličin. [19]

Výhodou metody konečných diferencí je snadné sestavení výpočetní sítě, relativně stabilní výpočet a kratší doba trvání výpočtu. Proto je tato metoda vhodná pro výpočet v rozsáhlých záplavových územích. Naopak metoda konečných prvků najde uplatnění při modelování proudění objektů (jezů, mostní pilíře atd.). Výpočetní síť je snadné přizpůsobit i takto komplikovaným konstrukcím. [19]

6.3 Digitální model terénu a geodetické podklady

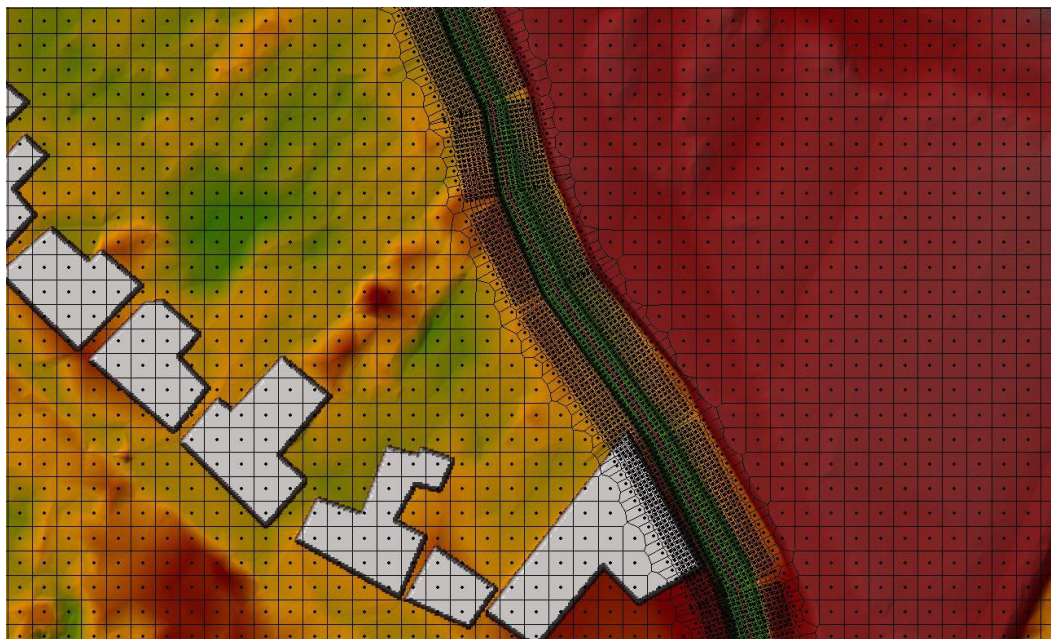
Pro vytvoření matematického modelu je nutné sestavit digitální model terénu (dále DMT). K tomu bylo využito dostupné geodetické zaměření a také body digitálního modelu reliéfu páté generace (DMR 5G).

DMT se skládá z výše zmíněných bodů a dále také prostorových křivek, které reprezentují koryta a břehové linie Melounky i Malého labského náhonu. Dále jsou za pomoci prostorových křivek vymodelovány i břehové opěry mostních objektů a stavební objekty v inundačním území. Aby byla zajištěna neprůtočnost těchto objektů, byla jim přidělena jednotná výška 250 m n. m. Zpracování dat a příprava modelu proběhla v softwaru AutoCAD Civil 3D 2019 a samotná generace DMT v programu Atlas DMT. DMT byl vygenerován s velikostí jedné buňky 0,4 m.

6.4 Tvorba výpočetní sítě a modelování objektů

Digitální model terénu byl dále nahrán do výpočetního programu HEC-RAS. Nad nahaným terénem je již možné vytvořit výpočetní síť. Vytvoření sítě probíhá v několika krocích, nejprve jsou vygenerovány základní elementy výpočetní sítě o daném rozměru. Ten byl v inundačním území zvolen 5 m. Takto velký rozměr by nedokázal postihnout průběh proudění v korytě a těsné blízkosti objektů na vodním toku, proto byla síť zhuštěna funkcí *Breaklines* na 0,8 m v korytě toku. U propustku (ř. km 7,855) byla síť zhuštěna na 0,7 m. Výpočetní síť musela být po zavedení těchto zhuštění zkontrolována, protože v síti se nesmí nacházet element, který má

více než 8 stran. Celkem výpočetní síť tvoří přes 391 000 prvků. Ukázka výpočetní sítě je vidět na obrázku níže (Obrázek 25).



Obrázek 25 – Ukázka výpočetní sítě

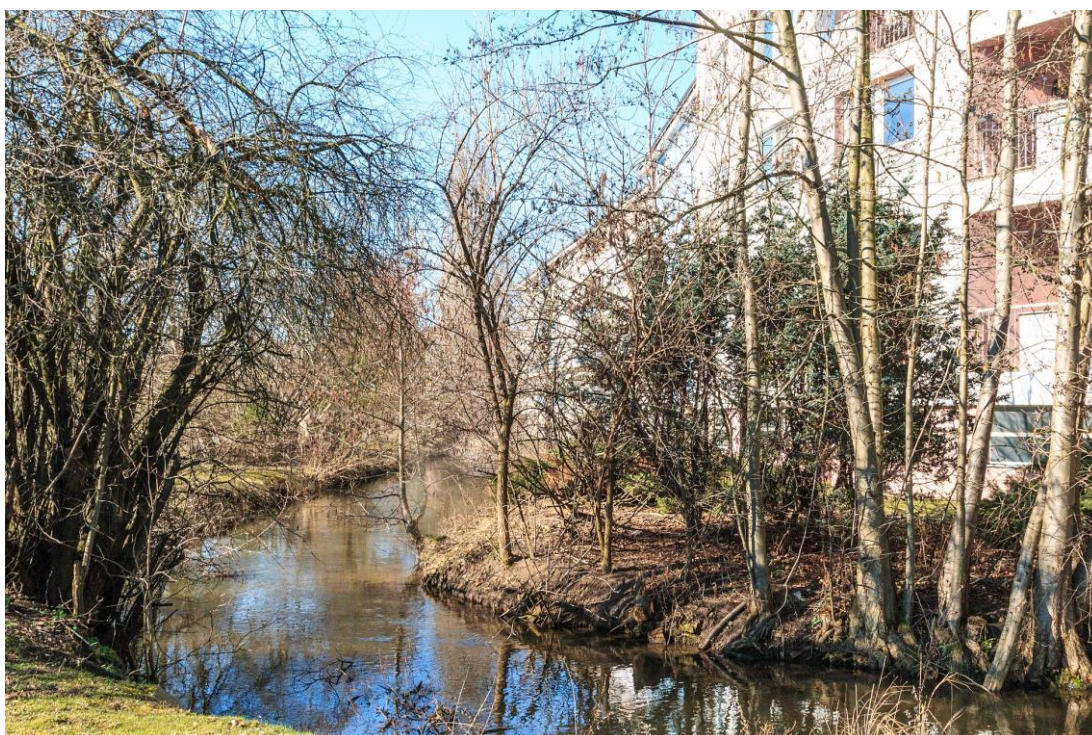
Jak bylo zmíněno v části 6.1 v nové verzi softwaru je možné do 2D ploch vkládat mostní objekty. Všechny objekty, které se na toku Melounky i Malého labského náhonu jsou přehledně zobrazeny v Tabulce 3. Některé z objektů však mají malý nebo žádný vliv na proudění, a proto s nimi není v modelu uvažováno. Jedná se o lávky pro pěší, staničení ř. km: 5,365, 6,817 a 8,695. Zbylé mostní objekty byly vymodelovány podle dostupných podkladů (geodetické zaměření vstupních a výstupních profilů z roku 1997). Ze zaměření byly převzaty výšky mostovky a šířka otvorů. Délka mostů byla odečtena z podélného profilu. V rámci DMT byly vymodelovány břehové opěry mostů a v programu HEC-RAS doplněny o mostovky.

Při zadávání mostního objektu do programu je nutné vybrat modelový přístup k řešení proudění skrze (případně i přes) tuto konstrukci. Pro modelování nízkých průtoků (voda je pod dolní hranou mostovky) jsou dostupné tři přístupy. V anglickém originále *Energy*, *Momentum* a *Yarnell*. Pro výpočet vyšších průtoků je na výběr ze dvou metod: *Energy* a *Pressure/Weir*. Druhá metoda by měla být použita v situacích, kdy objekt výrazně omezuje průtočný profil, a tedy bude velký rozdíl hladin před a za mostem. Pokud mostovka neomezuje tolik průtočný profil, je možné použít první přístup. [18]

Dále je nutné definovat parametry, které slouží k výpočtu skupiny křivek. Postupně se zadává: počet bodů na křivce volného průtoku, počet zatopených křivek, počet bodů na každé zatopené křivce a maximální výška hladiny před mostem. Skupina křivek je vytvořena na základě čtyř příčných profilů. Jeden se nachází těsně před mostem, druhý těsně za vtokem, třetí před výtokem a poslední za výtokem. [20]

6.5 Odpor povrchu

Další součástí matematického modelu je vytvoření hladiny, která každému výpočetnímu elementu přiřazuje hodnotu odporu povrchu. K vytvoření této hladiny byl použit opět software AutoCAD, ve kterém bylo zájmové území rozděleno na části se stejným povrchem dle ortofotografií. Každé části byla pak přiřazena hodnota odporu za použití Manningova součinitele drsnosti. Tato hladina byla přes aplikaci RAS Mapper nahrána k projektu a asociována s modelem. Tabulka níže (Tabulka 6) přehledně zobrazuje přiřazené hodnoty. Hodnoty součinitele byly stanoveny odborným odhadem. Zejména hodnota koryta se může zdát vysoká, na fotografii níže (Obrázek 26) je možné vidět část Malého labského náhonu na podzim.



Obrázek 26 – Malý labský náhon, městská část Kukleny

Tabulka 6 – Hodnoty zadaného Manningova drsnostního součinitele

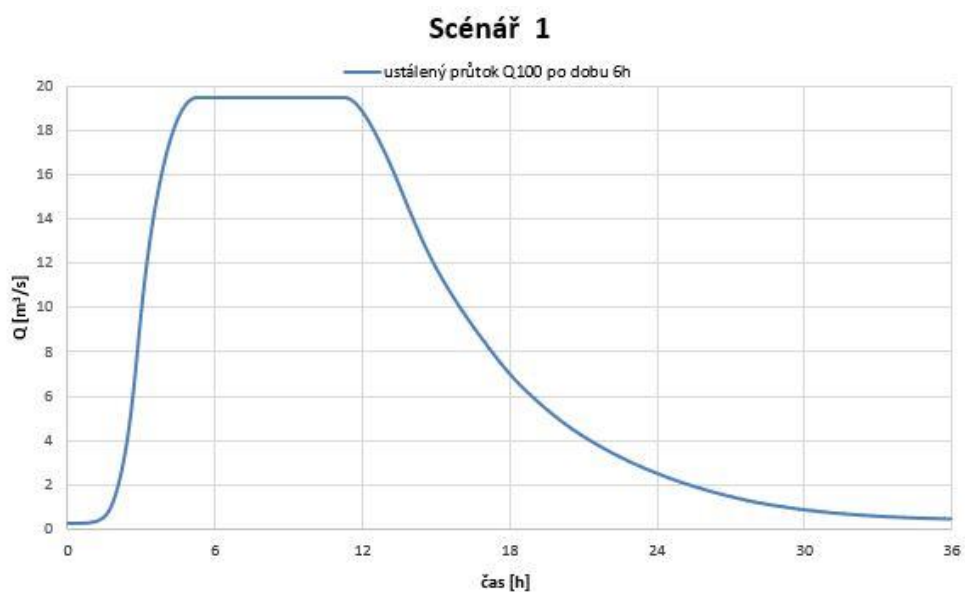
Povrch	n
Silnice (zpevněné plochy)	0,025
Koryto	0,045
Louka (zatravněné plochy)	0,04
Zástavba	0,12

6.6 Okrajové podmínky a výpočetní scénáře

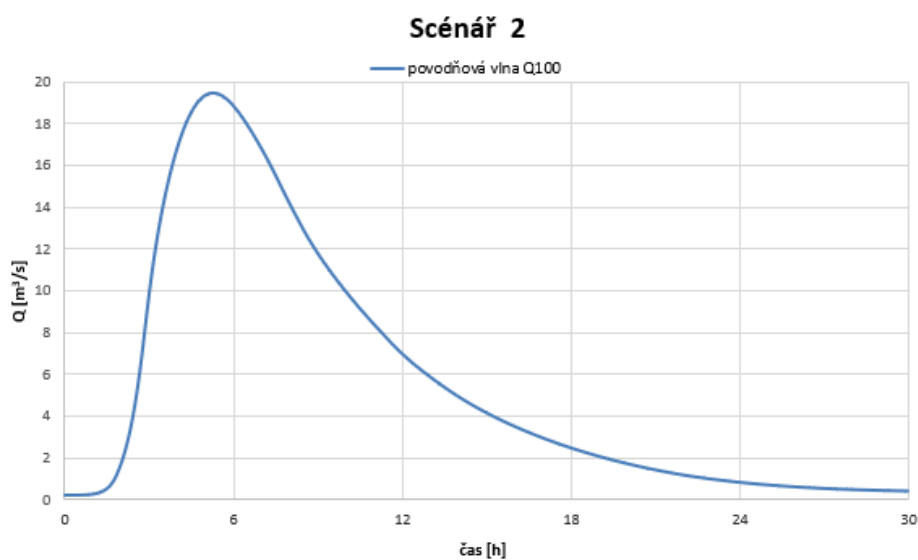
Program HEC-RAS má velké množství okrajových podmínek, se kterými může pracovat. Podmínky se dále dělí na vnitřní a vnější okrajové podmínky. Rozdílem je, že vnitřní okrajovou podmínku může reprezentovat pouze hydrogram. Vnější podmínka se nachází na hraně výpočetní sítě a může být stanovena. Do modelu je také možné vkládat tzv. globální okrajové podmínky (meteorologická data, například srážky nebo vítr), které jsou použity v celém modelu. [20]

Horní okrajovou podmínku v modelu reprezentuje hydrogram. Studie zpracovává několik scénářů a pro každý byl vytvořen vlastní hydrogram, který reprezentuje horní okrajovou podmínku. V části této práce (4.3) jsou představena plánovaná protipovodňová opatření. Podle zapojení jednotlivých nádrží byly zpracovány celkem čtyři scénáře. Všechny hydrogramy jsou vztaženy k ústí Melounky do Malého labského náhonu. Hydrologická data i transformované průtoky byly poskytnuty ČHMÚ. V Malém labském náhonu byl uvažován konstantní průtok $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$.

První výpočetní scénář (Scénář 1) je výpočet pro ustálený průtok Q_{100} . Hydrogram byl odvozen z průběhu povodňové vlny s tím rozdílem, že nedochází k poklesu průtoku po kulminaci a ustálený průtok Q_{100} trval celkem 6 hodin. Sestupná větev hydrogramu je stejná jako u povodňové vlny. Simulace scénáře 1 (Obrázek 27) trvala celkem 36 hodin. Průchod povodňové vlny (Scénář 2) s kulminací Q_{100} při průtoku $19,47 \text{ m}^3/\text{s}$ je možné vidět na grafu dole (Obrázek 27). Kulminační průtok je dosažen v čase 5 hodin a 5 minut. Simulace byla ukončena v čase 30 hodin.

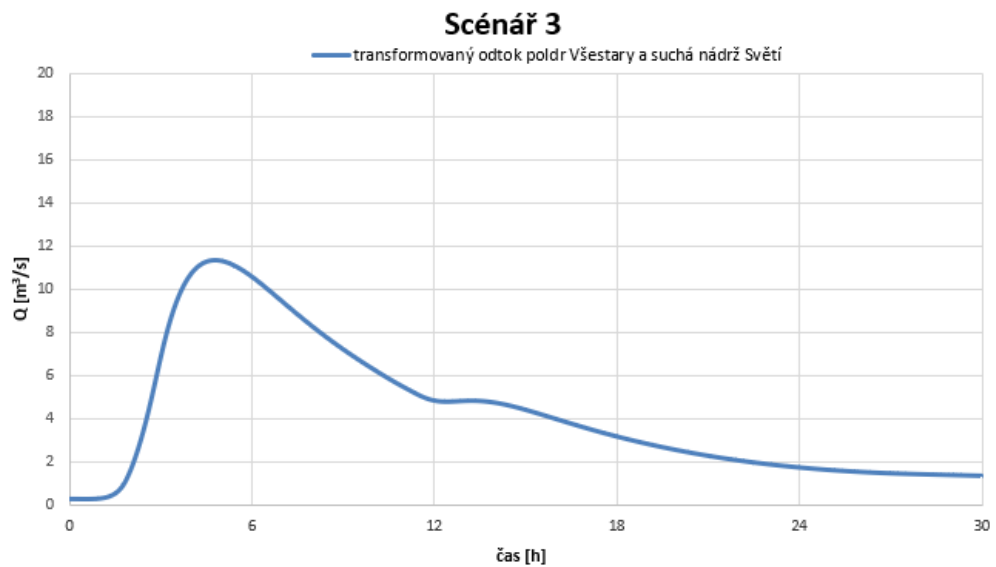


Obrázek 27 – Scénář 1



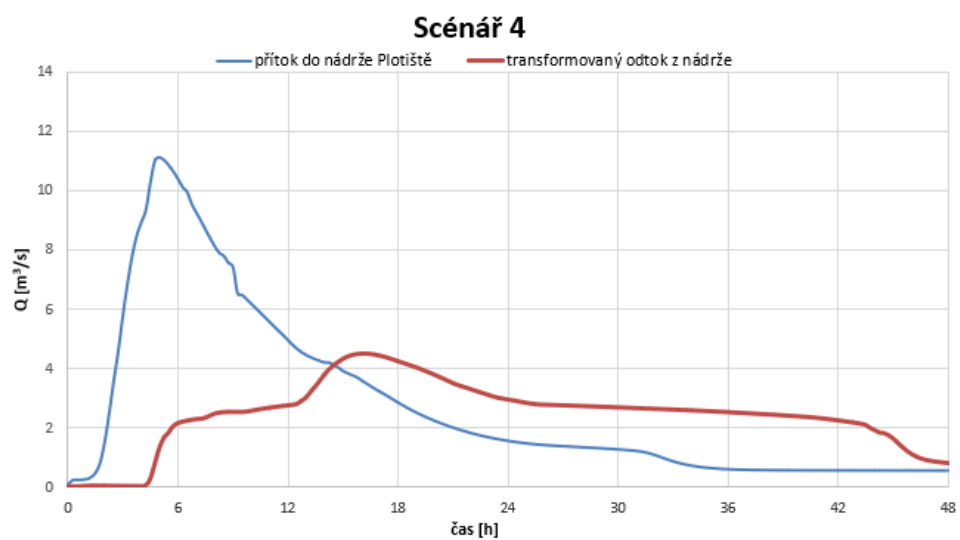
Obrázek 28 – Scénář 2

Scénář 3 (Obrázek 28) počítá se zapojením poldru Všetary a suché retenční nádrže Světí. Níže je vykreslen průběh transformovaného průtoku stoleté povodně v ústí Melounky do náhonu. Nejvyšší hodnota, $11,31 \text{ m}^3/\text{s}$, je dosažena v čase 4 hodiny a 45 minut. Simulace trvala 30 hodin.



Obrázek 29 – Scénář 3

Scénář 4 zohledňuje zapojení suché retenční nádrže Plotiště do transformace povodňové vlny. Celkem se tedy na snížení a oddálení kulminačního průtoku podílejí tři nádrže. Efekt poslední nádrže (Plotiště) je možné vidět na grafu (Obrázek 30). Pro porovnání je vykreslen i přítok do suché nádrže. Dochází k významné transformaci povodňové vlny: oddálení kulminace o 11 hodin a 30 minut a zmenšení kulminačního průtoku z 11,15 m³/s na 4,51 m³/s. Vzhledem k dlouhému prázdňení retenční nádrže byla simulace prodloužena na 48 hodin.



Obrázek 30 – Scénář 4

Dolní okrajová podmínka byla definována normálovou hloubkou, respektive sklonem čáry energie v místě zadané podmínky. Ze zadané hodnoty (0,01) je vypočtena hloubka při rovnoměrném ustáleném proudění.

6.7 Výpočet

Vzhledem k velikosti modelu byla k výpočtu využita metoda difuzní vlny. Metoda umožňuje rychlejší průběh výpočtu s větší stabilitou. Je vhodná při řešení proudění v širokých inundacích, předpokládá se nevýrazné zrychlení kapaliny (absence vln). Pro získání difuzní formy rovnic jsou z výše uvedených momentových rovnic odstraněny změny rychlosti s ohledem na čas a prostor. Tato forma momentových rovnic obsahuje pouze gravitační a třecí složku a tlakové hydrostatické síly. [21]

Rychlost výpočtu ovlivňuje velikost výpočetního modelu, dále hustota elementů a také výpočetní krok, se kterým program počítá. Vzhledem k velikosti výpočetních prvků byla jako výchozí krok zvolena 1 vteřina a dále byl ještě upravován. Software HEC-RAS nabízí výpočet za pomoci proměnného časového kroku. Časový krok je řízen buď na základě výpočtu Courantova čísla nebo uživatelem definovaných dělitelů. Uživatel musí zadat maximální a minimální hodnotu Courantova čísla. Dále je nutné zadat minimální počet překročení před zvýšením (snížením) předchozího časového kroku. Časový krok se vždy dělí nebo násobí 2. [18]

Vzhledem k absenci dat o historických povodňových událostech nemohla u modelu proběhnout jeho kalibrace.

6.7.1 Problémy se stabilitou výpočtu

Nestabilním výpočtem rozumíme událost, kdy je výpočet během svého průběhu neočekávaně ukončen. Tuto nestabilitu může způsobovat mnoho faktorů a pro každý model mohou být příčiny někde jinde. Obecně je možné říct, že je vhodné hledat místa a časy simulace, kdy se například vodní hladina výrazně mění. Dále může nestabilitu způsobovat i náhlá změna průtoku. V této části je uvedeno řešení, které fungovalo v tomto daném modelu s výše popsány okrajovými podmínkami. Při řešení těchto problémů je nutné mít na paměti, jaké změny může zásah do modelu způsobit, respektive jestli nedojde k neakceptovatelnému snížení přesnosti výpočtu.

Při výpočtu všech scénářů, kdy první hodnoty horní okrajové podmínky (průtok Melounky) byly velmi malé ($0,11 \text{ m}^3/\text{s}$ až $0,27 \text{ m}^3/\text{s}$) docházelo ke kolapsu simulace v různých časech nevhledě na délku časového kroku. Doba simulace se nepatrně prodloužila o jednotky minut a poté byla opět ukončena chybovou hláškou. Po sérii pokusů běžel výpočet stabilně při vyšším průtoku. Průtok byl na začátku všech simulací zvýšen na hodnotu $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ (hodnota Q_1 je $2,50 \text{ m}^3/\text{s}$). Tento průtok byl do modelu dodáván až do doby, kdy v hydrogramu dochází k jeho překročení. Dalších změn již nebylo třeba a simulace proběhla úspěšně.

6.7.2 Problémy s mostními objekty

V úvodu této kapitoly byl představen výpočetní program HEC-RAS. Tato práce je zpracovávána v beta verzi tohoto programu a modelování mostních objektů nebylo při řešení 2D proudění v minulých verzích k dispozici. V části 6.4 byly popsány možné přístupy k řešení proudění i potřebné parametry, které musí být definovány.

Pro zadání maximální hladiny v profilu před mostem byl využit základní ruční výpočet. V příčném profilu za ustáleného průtoku (dle scénáře) byla spočtena nejprve hladina a poté přičtena rychlostní výška. Výsledná hodnota (výška čáry energie) byla zadána do modelu. V místech, kde dle stávajícího záplavového území dochází k značným rozlivům, bylo s tímto stavem uvažováno, aby nebyla zadaná výška hladiny příliš vysoká. Počet křivek a jejich bodů byl ponechán výchozí. Jako přístup byl zvolen *Energy* v obou stavech (malý i velký průtok). Stejný postup byl aplikován u každého objektu.

Jako první výpočet byl proveden scénář 2, průchod povodňové vlny. Výpočet byl stabilní, nicméně výsledná zpráva po ukončení výpočtu oznámila, že u mostu na ř. km 8,327 (nedaleko začátku zkoumaného úseku) byl výpočet extrapolován mimo skupinu křivek, které jsou využity k výpočtu proudění mostem. Celková objemová chyba se pohybovala v řádu desítek procent (28 %). Proto byl do další simulace využit postup *Pressure/Weir*. Celková chyba v objemu vody se snížila, nicméně jen o jednotky procent. I takováto chyba je neakceptovatelná. Dalším problémovým objektem byl mostek na ř. km 5,095. Několikrát byl také měněn parametr maximální hladiny před mostním objektem, ale chyba se objevovala dále.

Simulace proběhly i pro další scénáře. Za nízkých průtoků (Scénář 4) výpočet proběhl bez problémů. Ani jeden z výše zmíněných objektů nedošel do stavu, že by měl zatopený vtok. Výpočet scénářů 1 a 2 byl zcela ovlivněn zmíněným mostem (ř. km 8,327). Proto byl tento objekt pro další výpočet úplně odstraněn, s ohledem na jeho umístění a vliv na další průběh výpočtu. Mostní objekt na ř. km 5,095 byl také odstraněn. Výpočet všech scénářů proběhl kvůli uvedeným komplikacím v modelu bez zmíněných mostních objektů.

7. ANALÝZA VÝSLEDKŮ A POZNATKŮ

Celkem byl proveden výpočet čtyř různých scénářů na stejném modelu. V kapitole je nejprve zhodnocen současný stav, který ovlivňuje všechny scénáře. Dále jsou představeny výsledky jednotlivých scénářů a jsou mezi sebou porovnány. Celé mapy hloubek maximálního rozlivu jsou připojeny jako přílohy. Zpracovány byly za použití softwaru QGIS. Hloubky v jednotlivých profilech jsou přehledně zpracovány do psaného podélného profilu, který je přílohou této práce.

Před porovnáním jednotlivých scénářů je nutné zmínit, že vzhledem k charakteru území a nekapacitnímu propustku (ř. km 7,855) dochází v městské části Plácky k transformaci povodňových průtoků a rozliv dále po toku nedosáhne v koncovém čase simulací (dle jednotlivých scénářů 30–48 hodin) maxima.

7.1 Posouzení stávajícího stavu

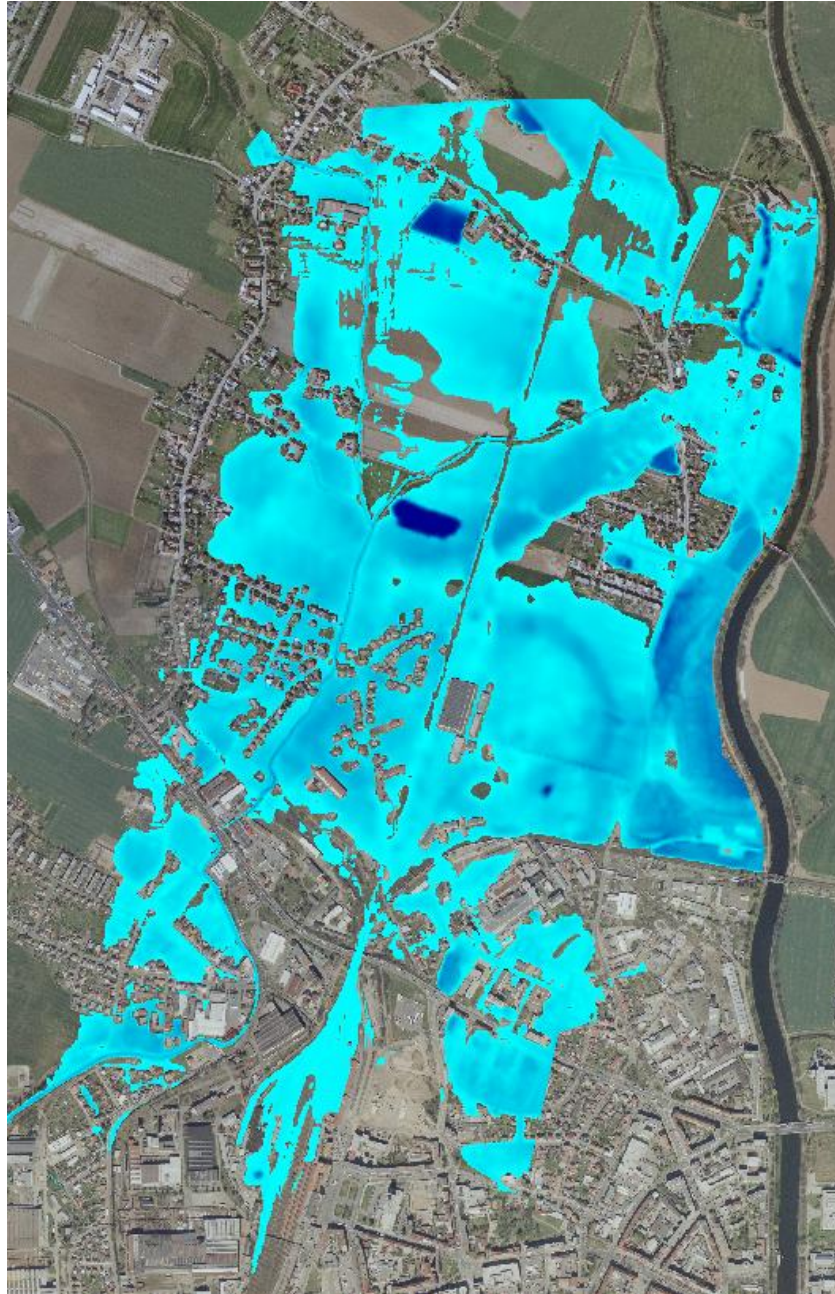
Částečně byl stávající stav popsán v části 3.3 této práce. Rozliv Malého labského náhonu je značný v městské části Plácky již při průtoku Q_5 (Obrázek 14). Je tomu tak kvůli kapacitě koryta, charakteru území i nekapacitnímu propustku. K velkému rozlivu dochází při průtoku Q_{100} zejména na levém břehu náhonu, kde dosahuje až k Labi. V další části povodí, za silničním mostem na ř. km 7,315 je rozliv menší, kapacita koryta je větší. Velmi zasaženou městskou částí jsou Kukleny za Pražskou třídou, kde je rozliv při Q_5 a Q_{100} téměř identický. Kapacita koryta je v této oblasti velmi nedostatečná.

V roce 2020 došlo k čištění části Malého labského náhonu od sedimentů. Celkem bylo z části náhonu mezi ulicí Koutníkova a Pražskou třídou vytěženo 6 500 m³ sedimentů. Správce vodního toku, Povodí Labe, za tyto práce zaplatilo kolem 6 milionů korun. Náhon byl naposledy čištěn v 90. letech. [8]

7.2 Porovnání scénářů 1 a 2

Nejprve došlo k porovnání prvních dvou scénářů, ustáleného průtoku Q_{100} a povodňové vlny. Srovnání výpočtů proběhlo na základě rozlivů a hloubek. Při prvním i druhém scénáři začne docházet k rozlivu mezi druhou a třetí hodinou simulace, kdy je průtok přibližně 2,1 m³/s. Oba scénáře se liší v maximálním rozlivu

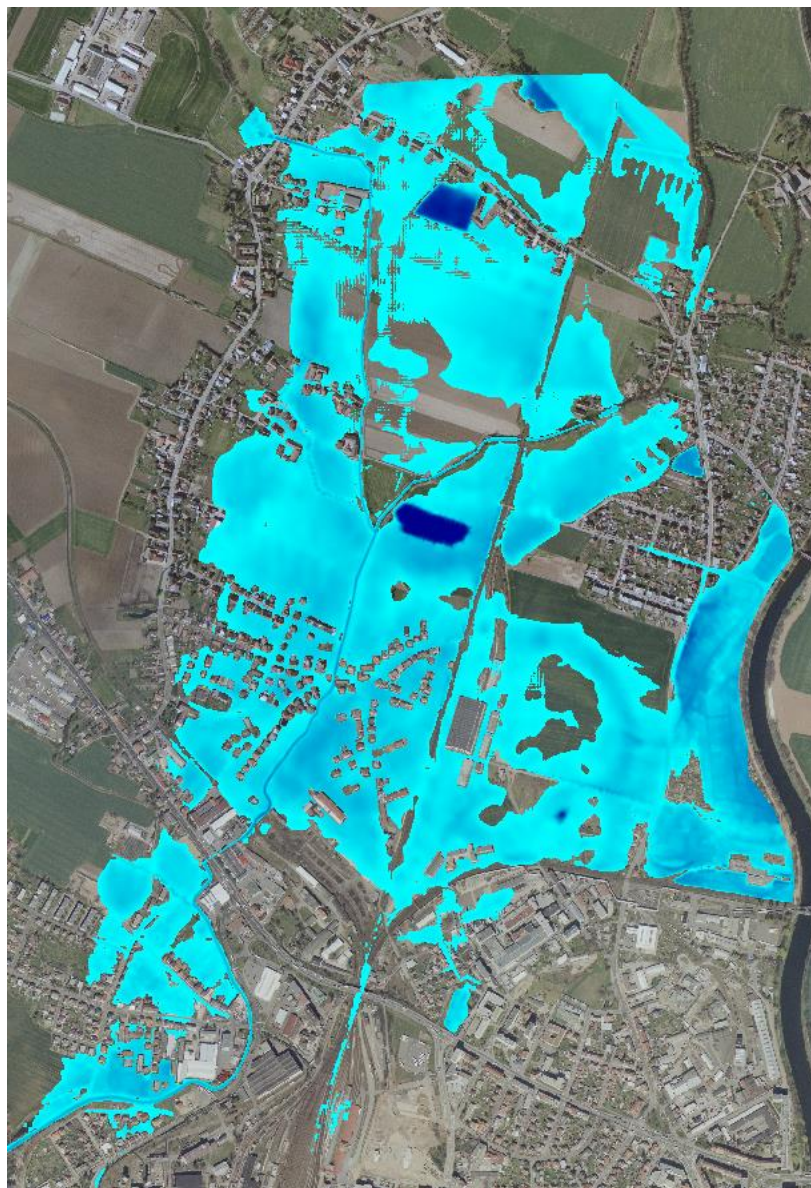
v úseku nad propustkem, jak ukazují obrázky (Obrázek 31 a Obrázek 32). Nejvyšší průtok v propustku byl zaznamenán $3,11 \text{ m}^3/\text{s}$ (Q_{100} v ústí Melounky činí $19,47 \text{ m}^3/\text{s}$).



Obrázek 31 – Maximální rozliv ustálený průtok Q_{100}

Na obrázcích je vidět, že k většímu rozlivu dochází na levém břehu vodního toku. Tento rozliv však nevzniká současně, nejprve dochází k rozlivu na obou březích náhonu. Okolo osmé hodiny simulace se začne u obou scénářů postupně plnit levá

inundace. V městské části Kukleny dojde k vybřežení při scénáři 2 v sedmé hodině výpočtu.



Obrázek 32 – Maximální rozliv povodňová vlna Q_{100}

Ve střední a dolní části zájmového úseku jsou rozlivy téměř stejné. Je nutné zdůraznit, že kvůli málo kapacitnímu propustku nedojde ani ke konci simulace k maximálním rozlivům v městské části Kukleny.

Hloubky jsou porovnány v několika vybraných profilech v tabulce níže (Tabulka 7). Jedná se o nejvyšší zaznamenaný vodní stav během simulace. Pro přehlednost a porovnatelnost jednotlivých scénářů jsou v tabulce uvedeny i hodnoty ze scénářů 3 a 4. Porovnání je dále rozebráno níže. Pro srovnání hloubek byly využity následující

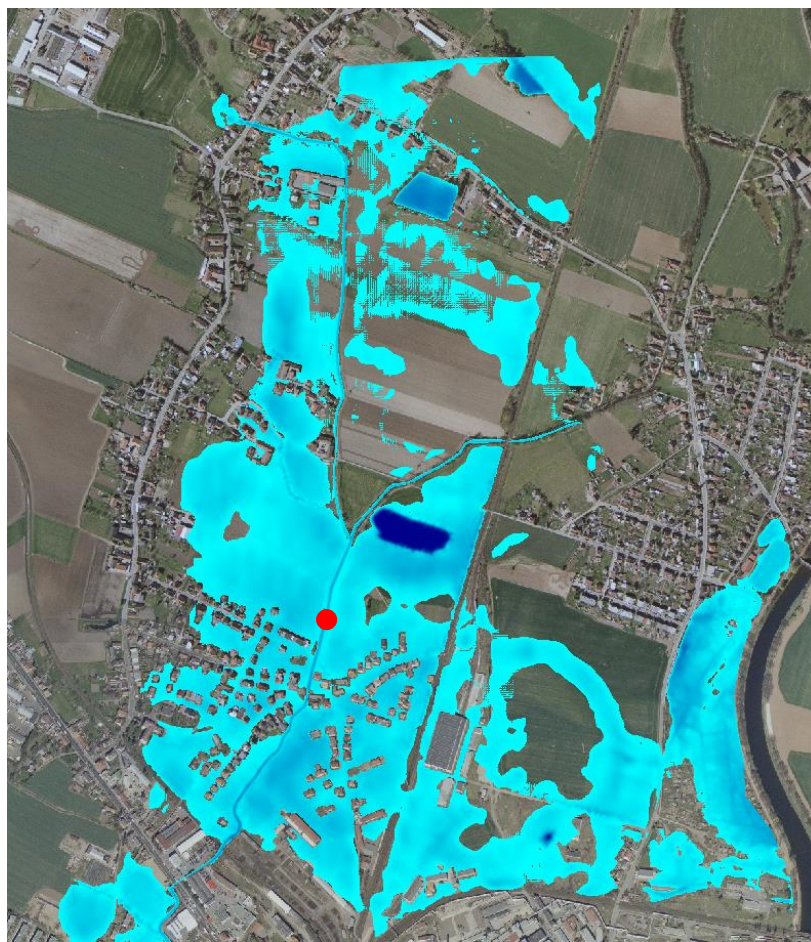
profily: ř. km 8,563 (profil 120 metrů za soutokem Melounky a Malého labského náhonu), ř. km 7,855 (vtok do propustku), ř. km 6,507 a ř. km 5,592 (Kukleny, místo rozlivu). V tabulce jsou tyto profily označeny jako P1 až P4.

Tabulka 7 – Porovnání vypočtených hloubek ve vybraných profilech

Scénář	P1 [m n. m.]	P2 [m n. m.]	P3 [m n. m.]	P4 [m n. m.]
1	232,88	232,83	232,08	231,93
2	232,81	232,77	232,03	231,88
3	232,72	232,67	231,98	231,84
4	232,64	232,57	231,96	231,81

7.3 Porovnání scénářů 3 a 4

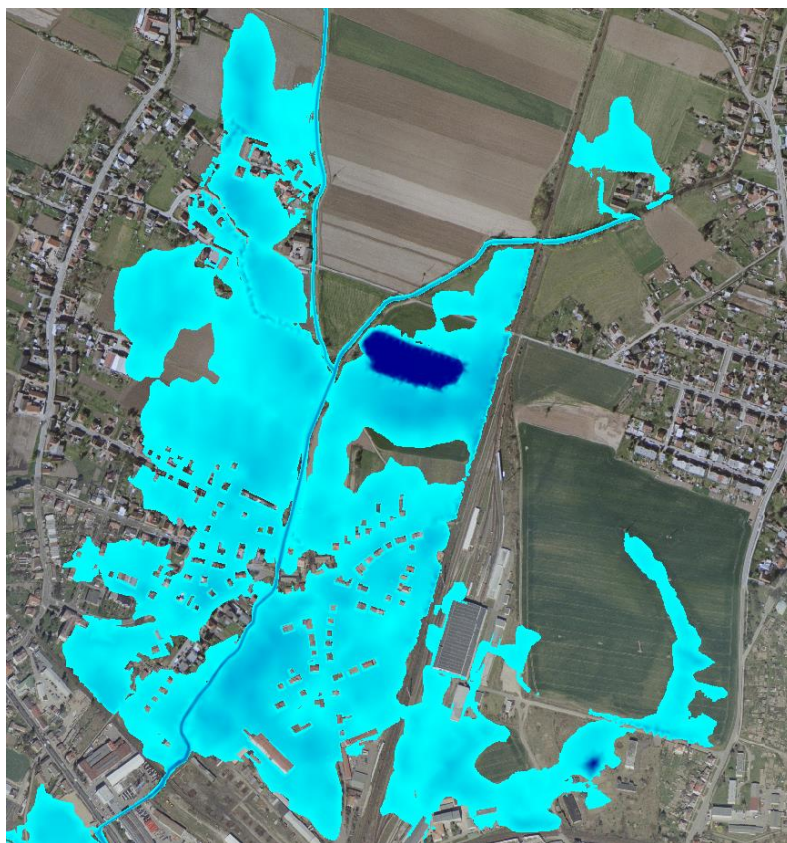
Analogicky jako v předchozím případě došlo k porovnání na základě rozlivů a hloubek. Mezi scénáři je na rozdíl od minulého srovnání větší rozdíl v časech, kdy začne docházet k vybřežení. To je možné vidět i při srovnání výše uvedených hydrogramů jednotlivých simulací (Obrázek 29 a Obrázek 30). K rozlivu začne docházet u scénáře 2 po druhé hodině simulace. U posledního scénáře je to o 4 hodiny později, tj. šestá hodina. Ještě větší časový rozdíl je mezi začátkem rozlivu v městské části Kukleny, u simulace odtoku ze dvou nádrží dojde k vybřežení během osmé hodiny simulace a u posledního scénáře dokonce až ve čtrnácté hodině simulace.



Obrázek 33 – Maximální rozliv, transformace dvě nádrže

Na první pohled se rozliv zdá velmi podobný rozlivu při průchodu povodňové vlny (Obrázek 32). Rozdíl mezi hladinami je 9 cm pro oba scénáře (2 a 3) na ř. km 8,563 (červená tečka na obrázku). Je to kvůli tomu, že k rozlivu začíná docházet již při průtoku $2,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Porovnáním obou hydrogramů bylo zjištěno, že je tento průtok překročen u povodňové vlny celkem 17 hodin, u transformovaného průtoku poldrem Všešary a suchou nádrží Světská dokonce více než 19 hodin. Dvě nádrže protipovodňového opatření nemohou dostatečně snížit průtok, aby došlo k bezpečnému provedení tohoto průtoku.

Výsledky výpočtu čtvrtého scénáře jsou k vidění na další straně (Obrázek 34). Nejen vizuálním porovnáním je rozliv menší, na ř. km 8,563 je hloubka o 8 cm níže, ve výšce 232,64 m n.m. V tomto scénáři nedochází k takovému zatopení levé inundace. Vzhledem k délce trvání poslední simulace (48 hodin) jsou hloubky v dolní části toku vyšší než u scénáře 3.

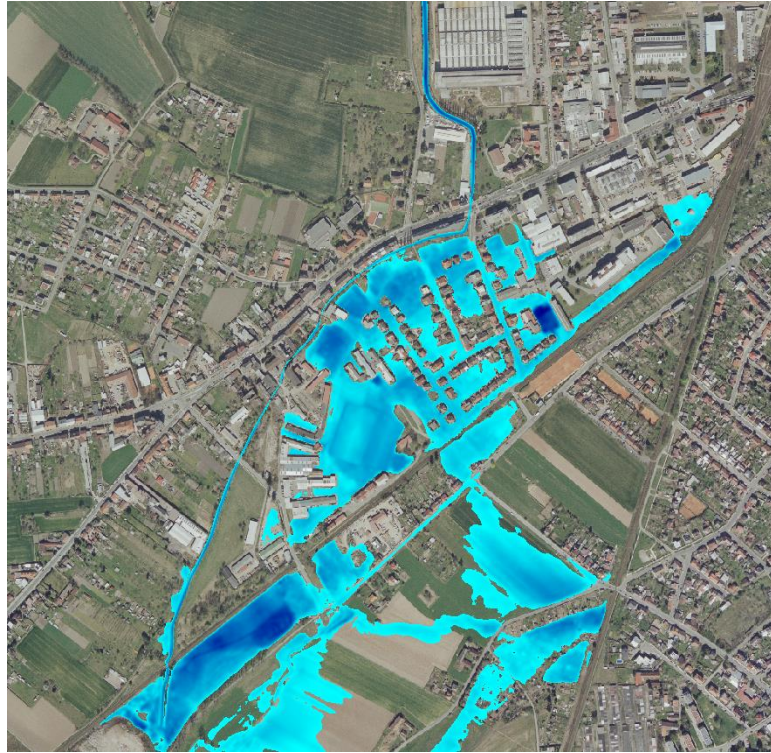


Obrázek 34 – Maximální rozliv, transformace tří nádrže

V městské části Kukleny vychází rozliv pro všechny scénáře velice podobně. Přestože je rozdíl mezi kótami hladin prvního a čtvrtého scénáře 13 centimetrů (Tabukla 7, P4), kóty levého břehu jsou výrazně nižší. V nejnižším místě dosahuje levý břeh výšky 231,04 m n. m. To je téměř o 80 centimetrů níže než vypočtená hladina ze simulace transformace povodňové vlny pomocí tří nádrží. Rozliv v městské části Kukleny je možné vidět na obrázku níže (Obrázek 35).

Tři nádrže (poldr Všešary, suché retenční nádrže Světí a Plotiště) transformují stoletý průtok z 19,47 m³/s na 4,51 m³/s, nicméně i tak po dobu 38 hodin z nádrže Plotiště odtéká průtok vyšší než 2,0 m³/s. Vzhledem k malé kapacitě koryta (některé úseky jen 1,5 m³/s) dochází i v tomto případě k výrazné záplavě intravilánu městských částí. Ani tři nádrže nemohou dostatečně transformovat povodňovou vlnu, aby nedošlo k rozlivu do obytných částí a k ekonomickým škodám.

Ve čtvrtém scénáři dochází k nejmenším rozlivům, největším rozdílem oproti ostatním je oddálení času výskytu rozlivu.



Obrázek 35 – Maximální rozliv Kukleny, transformace tři nádrže

8. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zhodnocení schopnosti navrhovaných protipovodňových opatření v povodí Melounky transformovat povodňové vlny. Vyhodnocení proběhlo na základě výpočtů jednotlivých scénářů v 2D matematickém modelu. Výpočet proběhl za použití difuzní vlny v beta verzi 6.0.3 softwaru HEC-RAS.

U všech vypočtených scénářů dochází k velkým rozlivům v horní části zájmového území. Přestože navržená protipovodňová opatření snižují kulminační průtok stoleté povodňové vlny z 19,47 m³/s na 11,31 m³/s (2 nádrže) a 4,51 m³/s (3 nádrže), schopnost nádrží transformovat průtok na neškodný nebyla potvrzena. Ani v jednom případě nedojde k dostatečnému snížení průtoku. Málo kapacitní koryto, rovinný charakter území a nekapacitní propustek na ř. km 7,855 způsobují přirozenou transformaci povodňové vlny v horní části zájmového úseku. Vzhledem k šířce inundace dochází k zaplavení rozsáhlého území s velkým objemem zadržené vody, což způsobuje přirozenou transformaci povodňových průtoků.

Kvůli délce úseku a popsané razantní transformaci v horní části zájmového území nedojde u žádné ze simulací k maximálnímu rozlivu v dolní části úseku, městské části Kukleny. Tato městská část je postižena velmi podobně bez ohledu na velikost povodňového průtoku, důvodem je značně nekapacitní koryto a také nízký levý břeh.

Vzhledem k výše uvedeným důvodům je možné konstatovat, že navrhovaná protipovodňová opatření transformují stoletou povodňovou vlnu nedostatečně. Pro zajištění bezpečného převedení sníženého průtoku bude nutné zvýšit kapacitu koryta v některých úsecích a také upravit kapacitu propustku.

9. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Informace o záplavovém území [online]. [cit. 2021-3-15]. Dostupné z: http://editor.dppcr.cz/pk_zuz/objzuzinfo.php?vhrseq=1044024&typ=zuz&seq=1044044&asrc=zuzinfo
- [2] Labe a Orlice v Hradci Králové – část 1 [online]. [cit. 2021-3-15]. Dostupné z: <http://genea.zikl.cz/labe-a-orlice-v-hradci-kralove-cast1/>
- [3] Plán oblasti povodí Horního a středního Labe [online]. [cit. 2021-3-15]. Dostupné z: <http://www.pla.cz/planet/projects/planovaniiov/>
- [4] Podnebí Česka. Wikipedia [online]. [cit. 2021-3-15]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Podnebí_Česka
- [5] Podnebí Hradec Králové [online]. [cit. 2021-3-15]. Dostupné z: https://www.meteoblue.com/cs/počasí/historyclimate/climatemodelled/hradec-králové_Česko_3074967
- [6] Geovědní mapy, Česká Geologická Služba [online]. [cit. 2019-3-15]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>
- [7] Půdní mapy [online]. [cit. 2021-3-15]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/pudni_mapy
- [8] Povodí Labe čistí Malý labský náhon v Hradci Králové. Zlepší tak průtok a sníží riziko záplav [online]. [cit. 2021-4-16]. Dostupné z: <https://hradec.rozhlas.cz/povodi-labe-cisti-maly-labsky-nahon-v-hradci-kralove-zlepsi-tak-prutok-a-snizi-8231724>
- [9] Ministerstvo vnitra ČR, Mimořádné události, Pojmy [online]. [cit. 2021-4-05]. Dostupné z: <https://www.mvcr.cz/clanek/zaplavova-cara.aspx>
- [10] Povodňový informační systém [online]. [cit. 2021-4-22]. Dostupné z: <http://povis.cz/html/>
- [11] Co je to povodeň? [online]. [cit. 2021-4-16]. Dostupné z: http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/STRIMAI/STRIMA_II_k1_Co_je_to_povoden.pdf

- [12] Hlásná a předpovědní povodňová služba [online]. [cit. 2021-4-16]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/verejnost_povoden_definice.html
- [13] HAVLÍK, Aleš. Povodně na území Česka [online]. [cit. 2021-4-16]. Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Vin/ke_stazeni/Povodne.pdf
- [14] CTN PRAGOPROJEKT, a.s. ČSN 73 6200. Mosty – Terminologii a třídění. [Norma]. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, červenec 2011. Třídící znak 736200.
- [15] Proudění mostními objekty a propustky [online]. [cit. 2021-4-16]. Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke_stazeni/pr ednpred/HY2V_08_Mosty_propustky.pdf
- [16] JANDORA, Jan, Jan ŠULC a Vysoké učení technické v Brně. Stavební fakulta. Hydraulika: modul 01. [cit. 2021-04-15]. Vyd 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 8072045121;9788072045129
- [17] HEC-RAS What's new [online]. [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/whats_new.aspx
- [18] HEC-RAS River Analysis System, 2D Modeling User's Manual [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%202D%20Modeling%20Users%20Manual.pdf>
- [19] HAVLÍK Aleš, Matematické modelování proudění vody s volnou hladinou [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/1837043-Matematicke-modelovani-proudeni-vody-s-volnou-hladinou.html>
- [20] HEC-RAS User's Manual [online]. [cit. 2021-4-20]. HEC-RAS User's Manual 6.0. Dostupné z: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_6.0_UsersManual.pdf
- [21] Modeler Application Guidance for Steady vs Unsteady, and 1D vs 2D vs 3D Hydraulic Modeling [online]. [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/publications/TrainingDocuments/TD-41.pdf>

10. SEZNAM PŘÍLOH

A Výkresy:

A1 – Situace

A2 – Podélný profil Melounka

A3.1 – Podélný profil Malý labský náhon

A3.2 – Podélný profil Malý labský náhon

B Mapové výkresy:

B1 – Mapa hloubek vody, ustálený průtok Q_{100}

B2 – Mapa hloubek vody, povodňová vlna Q_{100}

B3 – Mapa hloubek vody, transformovaný průtok Q_{100} 2 nádrže

B4 – Mapa hloubek vody, transformovaný průtok Q_{100} 3 nádrže

C Psaný podélný profil:

C1 – Melounka

C2 – Malý labský náhon

11. SEZNAM VZTAHŮ A ROVNIC

Podmínka volné hladiny, kruhový propustek	(5.1)
Podmínka volné hladiny, obdélníkový propustek	(5.2)
Zúžená hloubka za vtokem do propustku	(5.3)
Podmínka výšky hladiny dolní vody	(5.4)
Kritická hloubka obdélníkového koryta	(5.5)
Úprava kritické hloubky	(5.6)
Ověření kapacity propustku	(5.7)
Vzdutí hladiny před propustkem	(5.8)
Bernoulliho rovnice, výpočet vzduté hladiny před propustkem	(5.9)
Energetická výška v zúženém průřezu	(5.10)
Řešení propustku s volnou hladinou s vtokem zatopeným dolní vodou	(5.11)
Zúžená hloubka	(5.12)
Zúžená plocha	(5.13)
Průtok propustkem se zahlceným vtokem, neovlivněný dolní vodou	(5.14)
Energetická výška propustku ovlivněného dolní vodou	(5.15)
Podmínka minimálního převýšení pro ustálené tlakové proudění	(5.16)
Bernoulliho rovnice vstupní a výstupní profil propustku s tlakovým prouděním	(5.17)
Bernoulliho rovnice tlakový propustek s nezatopeným vtokem	(5.18)
Pohybová rovnice ve směru osy x	(5.19)
Pohybová rovnice ve směru osy y	(5.20)
Rovnice spojitosti (zákon zachování hmoty)	(5.21)

12. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Trasa Melounky a Labského náhonu	11
Obrázek 2 – Náпустný objekt Labského náhonu [3].....	13
Obrázek 3 – Mapa průměrného ročního úhrnu srážek 1981-2010 [4].....	13
Obrázek 4 – Průměrné roční teploty a úhrn srážek v Hradci Králové [5].....	14
Obrázek 5 – Množství srážek Hradec Králové [5].....	15
Obrázek 6 – Větrná růžice pro Hradec Králové [5]	15
Obrázek 7 – Geologická mapa Hradec Králové [6].....	17
Obrázek 8 – Geologická mapa Hradec Králové [7].....	17
Obrázek 9 – Vyznačený zájmový úsek v katastrální mapě.....	18
Obrázek 10 – Malý labský náhon mezi Plotištěm n. L. a Plácky	19
Obrázek 11 – Malý labský náhon ř. km 6,638 [8]	20
Obrázek 12 – Malý labský náhon v Kuklenách	20
Obrázek 13 – Průmyslový areál Kukleny	21
Obrázek 14 – Záplavová území u soutoku Melounky a Malého labského náhonu [10]	23
Obrázek 15 – Záplavová území Malého labského náhonu [10].....	24
Obrázek 16 – Charakteristiky povodňové vlny (podle Kemel M.) [11]	25
Obrázek 17 – Transformace povodňové vlny v nádrži [11]	29
Obrázek 18 – Plánovaná protipovodňová opatření	30
Obrázek 19 – Tvary vtoku do propustku [16].....	32
Obrázek 20 – Průběh hladiny v kruhovém propustku s nezatopeným vtokem a výtokem [16].....	34
Obrázek 21 – Propustek s volnou hladinou s vtokem zatopeným dolní vodou [16] .	36

Obrázek 22 – Propustek s volnou hladinou, zatopeným vtokem, neovlivněný dolní vodou [16].....	37
Obrázek 23 – Propustek s volnou hladinou, zatopeným vtokem, ovlivněný dolní vodou [16].....	38
Obrázek 24 – Tlakový propustek, zatopený výtok [16].....	39
Obrázek 25 – Ukázka výpočetní sítě.....	44
Obrázek 26 – Malý labský náhon, městská část Kukleny.....	45
Obrázek 27 – Scénář 1	47
Obrázek 28 – Scénář 2	47
Obrázek 29 – Scénář 3	48
Obrázek 30 – Scénář 4	48
Obrázek 31 – Maximální rozliv ustálený průtok Q_{100}	53
Obrázek 32 – Maximální rozliv povodňová vlna Q_{100}	54
Obrázek 33 – Maximální rozliv, transformace dvě nádrže	56
Obrázek 34 – Maximální rozliv, transformace tři nádrže	57
Obrázek 35 – Maximální rozliv Kukleny, transformace tři nádrže	58

13. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – N-leté průtoky Melounky v ústí do náhonu	16
Tabulka 2 – N-leté průtoky Melounky v ústí do náhonu	16
Tabulka 3 – Seznam objektů v řešeném úseku	21
Tabulka 4 – Plánovaná protipovodňová opatření.....	30
Tabulka 5 – Tabulka součinitelů pro výpočet propustků [16].....	32
Tabulka 6 – Hodnoty zadaného Manningova drsnostního součinitele.....	46
Tabulka 7 – Porovnání vypočtených hloubek ve vybraných profilech.....	55

14. PŘÍLOHA C1 PSANÝ PODÉLNÝ PROFIL – MELOUNKA

Staničení	Označení	Kóta dna	Q100 ustálený	Q100 povodňová vlna	Q100 trasnformace 2 nádrže	Q100 trasnformace 3 nádrže
ř.km		[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]
0.866	PF 51	234.04	235.60	235.61	235.52	235.30
0.857	PF 50	234.09	235.59	235.60	235.50	235.24
0.841	PF 49	233.98	235.59	235.59	235.48	235.19
0.825	PF 48	233.85	235.54	235.57	235.47	235.13
0.818	PF 47	233.94	235.53	235.51	235.42	235.09
0.796	PF 46	233.97	235.37	235.41	235.32	235.01
0.770	PF 45	233.87	235.25	235.25	235.13	234.94
0.766	PF 44	233.9	235.22	235.18	235.09	234.80
0.762	PF 43	233.87	235.20	235.14	235.04	234.74
0.745	PF 42	233.55	235.11	234.99	234.93	234.61
0.712	PF 41	233.3	234.99	234.86	234.83	234.53
0.698	PF 40	233.28	234.92	234.81	234.75	234.47
0.687	PF 39	233.32	234.84	234.75	234.70	234.42
0.6715	PF 38	233.29	234.79	234.69	234.65	234.39
0.6527	PF 37	233.14	234.70	234.62	234.58	234.31
0.635	PF 36	233.11	234.64	234.53	234.50	234.24
0.619	PF 35	233.05	234.55	234.52	234.45	234.22
0.593	PF 34	232.96	234.42	234.37	234.36	234.15
0.568	PF 33	232.93	234.36	234.33	234.27	234.09
0.530	PF 32	232.78	234.23	234.20	234.17	234.02
0.513	PF 31	232.78	234.18	234.14	234.11	234.00
0.478	PF 30	232.8	234.06	234.02	233.99	233.91
0.447	PF 29	232.8	233.88	233.86	233.86	233.83
0.417	PF 28	232.65	233.83	233.80	233.79	233.77
0.386	PF 27	232.67	233.75	233.73	233.74	233.71
0.367	PF 26	232.64	233.70	233.70	233.71	233.67
0.339	PF 25	232.58	233.65	233.66	233.65	233.62
0.324	PF 24	232.57	233.62	233.62	233.60	233.58
0.3096	PF 23	232.62	233.62	233.60	233.56	233.55
0.2991	PF 22	232.56	233.60	233.60	233.53	233.49
0.287	PF 21	232.44	233.59	233.58	233.48	233.46
0.276	PF 20	232.39	233.57	233.56	233.46	233.44
0.255	PF 19	232.32	233.54	233.51	233.41	233.41
0.245	PF 18	232.32	233.51	233.50	233.39	233.35
0.230	PF 17	232.35	233.50	233.49	233.35	233.35

Staničení	Označení	Kóta dna	Q100 ustálený	Q100 povodňová vlna	Q100 trasnformace 2 nádrže	Q100 trasnformace 3 nádrže
ř.km		[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]
0.212	PF 16	232.3	233.49	233.47	233.29	233.27
0.192	PF 15	232.28	233.46	233.45	233.18	233.18
0.187	PF 14	232.24	233.44	233.43	233.15	233.13
0.184	PF 13	232.19	233.44	233.42	233.14	233.12
0.180	PF 12	232.15	233.43	233.41	233.12	233.11
0.160	PF 11	232	233.36	233.34	233.05	233.04
0.140	PF 10	231.87	233.18	233.17	232.99	232.97
0.120	PF 9	231.8	233.08	233.07	232.93	232.91
0.0878	PF 8	231.77	233.01	232.99	232.85	232.82
0.0746	PF 7	231.63	232.98	232.93	232.83	232.79
0.058	PF 6	231.56	232.94	232.93	232.80	232.87
0.046	PF 5	231.72	232.91	232.91	232.78	232.73
0.033	PF 4	231.69	232.88	232.83	232.75	232.70
0.022	PF 3	231.65	232.88	232.82	232.74	232.68
0.015	PF 2	231.68	232.88	232.82	232.73	232.66
0.003	PF 1	231.59	232.88	232.82	232.73	232.65

15. PŘÍLOHA C2 PSANÝ PODÉLNÝ PROFIL – MALÝ LABSKÝ NÁHON

Staničení	Označení	Kóta dna	Q100 ustálený	Q100 povodňová vlna	Q100 transformace 2 nádrže	Q100 transformace 3 nádrže
ř.km		[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]
9.109	PF 259	231.88	232.91	232.83	232.73	232.65
9.071	PF 258	231.98	232.91	232.83	232.73	232.65
9.047	PF 257	231.83	232.91	232.83	232.73	232.65
9.031	PF 256	231.82	232.90	232.83	232.73	232.65
9.013	PF 255	231.84	232.90	232.83	232.73	232.65
8.999	PF 254	231.90	232.90	232.82	232.73	232.65
8.955	PF 253	231.85	232.90	232.82	232.73	232.65
8.920	PF 252	231.83	232.90	232.82	232.73	232.65
8.885	PF 251	231.67	232.89	232.82	232.73	232.65
8.873	silniční mostek Plácky					
8.869	PF 249	231.64	232.89	232.82	232.73	232.65
8.860	PF 248	231.77	232.89	232.82	232.73	232.65
8.841	PF 247	231.84	232.89	232.82	232.73	232.65
8.828	PF 246	231.81	232.89	232.82	232.73	232.65
8.785	PF 245	231.83	232.89	232.82	232.73	232.65
8.742	PF 244	231.86	232.88	232.82	232.73	232.65
8.718	PF 243	231.65	232.88	232.82	232.73	232.65
8.708	PF 242	231.55	232.88	232.82	232.73	232.65
8.695	lávka u vtoku Melounky					
8.675	PF 240	231.44	232.88	232.82	232.72	232.65
8.656	PF 239	231.41	232.88	232.81	232.72	232.65
8.621	PF 238	231.31	232.88	232.81	232.72	232.65
8.597	PF 237	231.40	232.88	232.81	232.72	232.65
8.563	PF 236	231.54	232.88	232.81	232.72	232.64
8.537	PF 235	231.42	232.88	232.81	232.72	232.63
8.498	PF 234	231.37	232.88	232.81	232.71	232.62
8.472	PF 233	231.26	232.87	232.81	232.71	232.62
8.432	PF 232	231.32	232.87	232.81	232.71	232.62
8.420	PF 231	231.26	232.87	232.81	232.71	232.61
8.395	PF 230	231.33	232.87	232.81	232.71	232.61
8.377	PF 229	231.37	232.87	232.80	232.71	232.60
8.353	PF 228	231.60	232.87	232.80	232.71	232.60
8.333	PF 227	231.40	232.87	232.80	232.70	232.60
8.327	silniční mostek Plotiště					
8.319	PF 225	231.80	232.86	232.80	232.70	232.60

Staničení	Označení	Kóta dna	Q100 ustálený	Q100 povodňová vlna	Q100 transformace 2 nádrže	Q100 transformace 3 nádrže
ř.km		[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]
8.315	PF 224	231.53	232.86	232.80	232.70	232.60
8.303	PF 223	231.30	232.86	232.80	232.70	232.60
8.290	PF 222	231.31	232.85	232.79	232.70	232.60
8.271	PF 221	231.21	232.85	232.79	232.70	232.60
8.254	PF 220	231.43	232.85	232.79	232.70	232.60
8.241	PF 219	231.38	232.85	232.79	232.70	232.60
8.226	PF 218	231.36	232.85	232.79	232.70	232.59
8.210	PF 217	231.35	232.85	232.79	232.70	232.59
8.192	PF 216	231.41	232.85	232.79	232.70	232.59
8.175	PF 215	231.13	232.85	232.79	232.70	232.58
8.163	PF 214	231.19	232.85	232.79	232.70	232.58
8.152	PF 213	231.11	232.85	232.79	232.70	232.58
8.135	PF 212	230.98	232.85	232.79	232.70	232.58
8.124	PF 211	230.95	232.85	232.79	232.70	232.58
8.109	PF 210	231.11	232.85	232.79	232.70	232.58
8.095	PF 209	231.31	232.85	232.79	232.70	232.58
8.086	PF 208	231.23	232.85	232.79	232.70	232.58
8.069	PF 207	231.00	232.85	232.79	232.70	232.58
8.055	PF 206	231.27	232.85	232.79	232.70	232.58
8.032	PF 205	231.03	232.85	232.79	232.70	232.58
8.022	PF 204	231.17	232.85	232.79	232.70	232.58
8.011	PF 203	231.32	232.85	232.79	232.70	232.58
8.005	PF 202	231.27	232.85	232.79	232.70	232.58
7.998	PF 201	230.98	232.85	232.79	232.70	232.58
7.984	PF 200	231.23	232.85	232.79	232.70	232.58
7.973	PF 199	230.85	232.85	232.79	232.70	232.58
7.965	PF 198	231.29	232.85	232.79	232.70	232.58
7.952	PF 197	231.25	232.85	232.79	232.69	232.58
7.945	PF 196	231.51	232.85	232.79	232.69	232.58
7.935	PF 195	231.24	232.85	232.79	232.69	232.58
7.913	PF 194	231.31	232.85	232.78	232.69	232.58
7.903	železniční most					
7.895	PF 192	231.04	232.84	232.78	232.69	232.58
7.892	PF 191	231.46	232.84	232.78	232.69	232.58
7.885	PF 190	231.05	232.84	232.78	232.69	232.58
7.880	PF 189	231.29	232.84	232.78	232.69	232.58
7.874	PF 188	230.76	232.84	232.78	232.69	232.58
7.864	PF 187	231.24	232.83	232.78	232.67	232.58
7.856	PF 186	230.69	232.83	232.77	232.67	232.57
7.855	zatrubněný úsek vstupní PF					

Staničení	Označení	Kóta dna	Q100 ustálený	Q100 povodňová vlna	Q100 trasnformace 2 nádrže
ř.km		[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]
7.759	zatrubněný úsek výstupní PF				
7.744	PF 183	231.41	232.47	232.47	232.38
7.720	PF 182	231.45	232.47	232.46	232.38
7.709	PF 181	231.50	232.46	232.45	232.38
7.702	PF 180	231.37	232.46	232.44	232.37
7.677	PF 179	231.34	232.45	232.43	232.37
7.654	PF 178	231.35	232.45	232.42	232.37
7.642	PF 177	231.31	232.45	232.40	232.37
7.633	PF 176	231.19	232.43	232.40	232.37
7.611	PF 175	231.46	232.43	232.39	232.36
7.566	PF 174	231.44	232.41	232.38	232.35
7.541	PF 173	231.35	232.41	232.37	232.34
7.517	PF 172	231.35	232.40	232.36	232.34
7.496	PF 171	231.28	232.40	232.36	232.33
7.481	PF 170	231.34	232.39	232.36	232.33
7.465	PF 169	231.19	232.39	232.35	232.33
7.449	PF 168	231.32	232.39	232.35	232.33
7.426	PF 167	231.22	232.38	232.33	232.33
7.397	PF 166	231.30	232.37	232.33	232.30
7.390	PF 165	231.26	232.37	232.32	232.30
7.359	PF 164	231.15	232.35	232.31	232.29
7.347	PF 163	231.31	232.35	232.30	232.28
7.324	PF 162	231.38	232.34	232.30	232.27
7.315	silniční most Svobodné Dvory				
7.303	PF 160	231.40	232.33	232.30	232.26
7.296	PF 159	231.28	233.33	232.28	232.26
7.281	PF 158	231.30	233.32	232.27	232.25
7.247	PF 157	231.28	232.29	232.25	232.24
7.217	PF 156	231.34	232.27	232.23	232.23
7.187	PF 155	231.33	232.26	232.21	232.21
7.173	PF 154	231.17	232.24	232.21	232.20
7.142	PF 153	231.28	232.24	232.18	232.19
7.130	PF 152	231.25	232.22	232.18	232.19
7.120	PF 151	231.31	232.21	232.16	232.17
7.090	PF 150	231.19	232.20	232.15	232.16
7.077	PF 149	231.24	232.19	232.15	232.14
7.062	PF 148	231.24	232.18	232.14	232.14
7.028	PF 147	231.17	232.17	232.13	232.12
6.980	PF 146	231.22	232.17	232.12	232.10

Staničení	Označení	Kóta dna	Q100 ustálený	Q100 povodňová vlna	Q100 transformace 2 nádrže	Q100 transformace 3 nádrže
ř.km		[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]
6.958	PF 145	231.25	232.16	232.11	232.09	232.09
6.936	PF 144	231.28	232.16	232.11	232.08	232.08
6.907	PF 143	231.16	232.16	232.11	232.08	232.07
6.878	PF 142	231.13	232.16	232.11	232.07	232.06
6.853	PF 141	231.11	232.16	232.11	232.07	232.06
6.817	lávka pro pěší u rybníka					
6.797	PF 139	231.15	232.16	232.10	232.06	232.04
6.778	PF 138	231.15	232.16	232.10	232.06	232.03
6.746	PF 137	231.18	232.16	232.10	232.05	232.02
6.695	PF 136	231.13	232.15	232.09	232.04	232.01
6.661	PF 135	231.26	232.13	232.08	232.02	232.00
6.638	PF 134	231.09	232.11	232.06	232.01	232.00
6.612	PF 133	231.21	232.11	232.06	232.01	231.99
6.583	PF 132	231.14	232.11	232.05	232.00	231.98
6.561	PF 131	231.21	232.10	232.04	232.00	231.97
6.543	PF 130	231.07	232.09	232.04	231.99	231.97
6.526	PF 129	231.12	232.09	232.03	231.98	231.96
6.507	PF 128	231.10	232.08	232.03	231.98	231.96
6.478	PF 127	231.09	232.07	232.10	231.97	231.95
6.437	PF 126	231.10	232.06	232.00	231.96	231.94
6.383	PF 125	231.07	232.05	231.99	231.94	231.92
6.343	PF 124	230.99	232.05	231.98	231.93	231.91
6.322	PF 123	231.04	232.05	231.97	231.93	231.90
6.305	PF 122	231.07	232.05	231.96	231.92	231.90
6.271	PF 121	231.09	232.05	231.95	231.91	231.89
6.259	PF 120	230.92	232.05	231.95	231.91	231.88
6.223	PF 119	230.90	232.05	231.94	231.90	231.88
6.188	PF 118	230.72	232.05	231.93	231.89	231.87
6.183	mostek do ZVÚ					
6.176	PF 116	230.87	231.98	231.93	231.88	231.86
6.169	PF 115	230.85	231.95	231.92	231.88	231.84
6.109	PF 114	230.77	231.95	231.91	231.87	231.84
6.058	PF 113	230.87	231.95	231.90	231.86	231.84
6.003	PF 112	230.60	231.94	231.89	231.85	231.82
5.974	PF 111	230.70	231.94	231.88	231.85	231.82
5.949	PF 110	230.71	231.93	231.88	231.84	231.82
5.934	PF 109	230.73	231.93	231.88	231.84	231.81
5.918	PF 108	230.69	231.93	231.88	231.84	231.81
5.911	PF 107	230.95	231.93	231.88	231.84	231.81
5.907	PF 106	230.76	231.93	231.88	231.84	231.80

Staničení	Označení	Kóta dna	Q100 ustálený	Q100 povodňová vlna	Q100 transformace 2 nádrže	Q100 transformace 3 nádrže
ř.km		[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]
5.903	PF 105	230.75	231.92	231.88	231.84	231.80
5.882	PF 104	230.60	231.92	231.87	231.84	231.80
5.872	PF 103	230.78	231.92	231.87	231.83	231.80
5.859	PF 102	230.77	231.92	231.87	231.83	231.80
5.815	PF 101	230.68	231.91	231.86	231.82	231.80
5.803	PF 100	230.84	231.91	231.86	231.82	231.80
5.798	PF 99	230.70	231.90	231.86	231.82	231.78
5.783	PF 98	230.65	231.90	231.85	231.82	231.78
5.745	PF 97	230.52	231.89	231.85	231.81	231.78
5.719	PF 96	230.74	231.89	231.85	231.81	231.78
5.697	PF 95	230.60	231.87	231.83	231.79	231.78
5.676	PF 94	230.65	231.87	231.81	231.78	231.77
5.655	silniční most Pražská ulice					
5.628	PF 92	230.72	231.84	231.76	231.74	231.77
5.623	PF 91	230.73	231.79	231.75	231.72	231.77
5.605	PF 90	230.91	231.76	231.75	231.71	231.75
5.598	PF 89	230.96	231.76	231.75	231.71	231.75
5.592	PF 88	230.74	231.76	231.72	231.70	231.75
5.586	PF 87	230.75	231.76	231.71	231.69	231.75
5.552	PF 86	230.81	231.71	231.68	231.66	231.73
5.527	PF 85	230.69	231.71	231.65	231.63	231.71
5.498	PF 84	230.58	231.64	231.63	231.59	231.67
5.490	PF 83	230.83	231.64	231.60	231.59	231.66
5.488	lávka v Kuklenách					
5.486	PF 81	230.84	231.64	231.60	231.59	231.65
5.465	PF 80	230.69	231.59	231.58	231.58	231.64
5.456	PF 79	230.63	231.58	231.57	231.56	231.62
5.447	PF 78	230.63	231.54	231.55	231.53	231.60
5.400	PF 77	230.65	231.48	231.54	231.46	231.58
5.391	PF 76	230.61	231.47	231.48	231.45	231.58
5.374	PF 75	230.73	231.45	231.44	231.43	231.58
5.366	PF 74	230.68	231.43	231.40	231.41	231.57
5.365	lávka v Kuklenách					
5.357	PF 72	230.71	231.43	231.40	231.40	231.54
5.353	PF 71	230.68	231.42	231.40	231.40	231.53
5.348	PF 70	230.72	231.42	231.38	231.39	231.53
5.326	PF 69	230.72	231.39	231.37	231.37	231.51
5.302	PF 68	230.55	231.36	231.36	231.35	231.47
5.281	PF 67	230.66	231.33	231.34	231.33	231.45
5.270	PF 66	230.56	231.32	231.34	231.31	231.43

Staničení	Označení	Kóta dna	Q100 ustálený	Q100 povodňová vlna	Q100 transformace 2 nádrže	Q100 transformace 3 nádrže
ř.km		[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]
5.261	lávka v Kuklenách					
5.248	PF 64	230.36	231.28	231.28	231.27	231.39
5.228	PF 63	230.33	231.27	231.27	231.26	231.38
5.216	PF 62	230.33	231.27	231.25	231.26	231.36
5.192	PF 61	230.43	231.25	231.22	231.24	231.35
5.147	PF 60	230.45	231.23	231.18	231.17	231.35
5.135	PF 59	230.64	231.19	231.16	231.15	231.34
5.119	PF 58	230.56	231.16	231.14	231.14	231.34
5.098	PF 57	230.48	231.14	231.11	231.11	231.30
5.095	silniční mostek areál Kukleny					
5.089	PF 55	230.32	231.12	231.10	231.10	231.25
5.086	PF 54	230.16	231.12	231.09	231.09	231.25
5.065	PF 53	230.22	231.09	231.08	231.07	231.23
5.058	silniční mostek					
5.055	PF 51	230.49	231.08	231.07	231.05	231.19
5.042	PF 50	230.28	231.06	231.06	231.05	231.17
5.037	PF 49	230.34	231.06	231.04	231.04	231.17
5.008	PF 48	230.14	231.02	231.01	231.01	231.14
4.988	PF 47	230.00	231.01	231.00	231.00	231.09
4.944	PF 46	230.31	230.98	230.98	230.97	231.05
4.932	silniční most Kukleny					
4.919	PF 44	230.24	230.96	230.95	230.94	231.03
4.914	PF 43	230.14	230.96	230.94	230.94	231.01
4.875	PF 42	229.97	230.93	230.92	230.92	230.99
4.818	PF 41	230.12	230.91	230.90	230.90	230.95
4.763	PF 40	230.06	230.88	230.88	230.87	230.92
4.744	PF 39	230.00	230.87	230.87	230.87	230.90
4.709	PF 38	229.93	230.87	230.86	230.86	230.89
4.672	PF 37	229.83	230.85	230.85	230.85	230.88
4.631	PF 36	230.01	230.84	230.83	230.83	230.86
4.598	PF 35	229.63	230.83	230.83	230.83	230.86
4.574	PF 34	229.78	230.83	230.82	230.82	230.85
4.565	PF 33	229.91	230.83	230.82	230.82	230.85
4.538	PF 32	229.71	230.82	230.82	230.81	230.84
4.520	PF 31	229.58	230.81	230.81	230.81	230.82
4.510	PF 30	229.79	230.81	230.81	230.80	230.81
4.498	PF 29	229.87	230.80	230.80	230.80	230.80
4.491	železniční most Kukleny					
4.486	PF 27	229.74	230.80	230.80	230.79	230.78
4.476	PF 26	229.96	230.79	230.79	230.79	230.78

Staničení	Označení	Kóta dna	Q100 ustálený	Q100 povodňová vlna	Q100 transformace 2 nádrže	Q100 transformace 3 nádrže
ř.km		[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]
4.462	PF 25	229.81	230.79	230.79	230.79	230.78
4.446	PF 24	229.99	230.79	230.78	230.78	230.78
4.420	PF 23	229.95	230.78	230.78	230.78	230.78