VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

POSOUZENÍ VODNÍHO TOKU VE SPRÁVĚ POVODÍ ODRY, S. P.
ASSESSMENT OF THE WATER FLOW IN THE ODRA RIVER BASIN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Jakub Mláděnka
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. HANA UHMANNOVÁ, CSc.
SUPERVISOR

BRNO 2017

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Jakub Mláděnka
Název	Posouzení vodního toku ve správě Povodí Odry, s. p.
Vedoucí práce	Ing. Hana Uhmannová, CSc.
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Geodetické podklady – příčné řezy.
Odborná literatura:

Raplík M., Výbora P., Mareš K.: Úprava tokov, Alfa, Bratislava. 1989.
Mareš K.: Úpravy toků, ČVUT, Praha. 1997.
Chow, Ven Te.: Open Channel Flow. Mc Graw Hill Book Company. 1959.
http://www.hec.usace.army.mil
Kolář, V., Patočka, C., Bém, J.: Hydraulika. SNTL/ALFA. Praha. 1983.
Just T., Šámal V., Dušek M., Fischer D., Karlík P., Pykal J. Revitalizace vodního prostředí. Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, Praha, 2003.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Bakalářská práce je zaměřena na posouzení současného stavu upraveného koryta toku Luhy v intravilánu obce Jeseník nad Odrou a na ideový návrh případných opatření na toku. Koryto Luhy bylo v řešeném úseku v minulých letech upraveno na kapacitu cca Q20-letou. V současné době se koryto toku postupně zanáší. V rámci bakalářské práce se zaměřte především na:

- popis současného stavu koryta toku,
- zjištění současné kapacity toku,
- návrh opatření na zlepšení současného stavu koryta toku,
- ideový návrh na zvýšení protipovodňové ochrany přilehlého území.

Přesné vymezení řešeného úseku bude provedeno při předání podkladů.
Bakalářská práce bude obsahovat:
Textovou část – úvod, informace o toku, popis řešené lokality, popis stávajícího stavu vodního toku, hydrotechnické výpočty na ověření kapacity, zhodnocení, závěr.
Přílohy – výkresová dokumentace (situace, podélný profil, příčné řezy).

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:
1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Hana Uhmannová, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je podrobně popsat a zhodnotit současný stav koryta toku Luha a objektů s ním spojených v zájmovém úseku ř. km 0,000 – 2,853 v katastrálním území obce Jeseník nad Odrou. Součástí práce je posouzení kapacity koryta toku v řešené lokalitě a návrh ideových opatření, která by ji zvýšila na návrhovou hodnotu dvacetiletého průtoku. Výpočet průběhu hladin je prováděn pomocí 1D matematického modelu HEC-RAS pro vybrané N-leté průtoky. Na základě výsledků průběhů hladin, posouzení kapacity koryta a objektů v řešeném úseku jsou navrženy dvě varianty soustavné úpravy toku pro zlepšení současného stavu koryta a zvýšení protipovodňové ochrany přilehlého okolí.

KLÍČOVÁ SLOVA

Luha, Jeseník nad Odrou, Odra, Povodí Odry, s.p., kapacita koryta, výpočet průtoku, HEC-RAS, posouzení stavu, protipovodňová ochrana, návrhový průtok, most, povodňová zeď.

ABSTRACT

The aim of the bachelor thesis is to describe and evaluate in detail the current state of the Luha river and the objects connected with it, in the interest section – river kilometer 0.000-2.853 in the cadastral area of the Jeseník nad Odrou. Part of the work is to assess the capacity of the river flow in the locality and to propose ideological measures that would increase it to the design value of the 20-year flow. The calculation of the flow rate is performed by using the 1D mathematical model HEC-RAS for selected N-year flows. On the basis of the results of the flow rate, the assessment of the capacity of the channel and the objects in the solved section, two variants of continuous river basin adjustment are proposed to improve the current state of the channel and to increase the flood protection of the neighboring area.

KEYWORDS

Luha, Jeseník nad Odrou, Odra, Povodí Odry, s.p., capacity of the channel, flow calculation, HEC-RAS, condition assessment, flood protection, design flow, bridge, flood wall.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Jakub Mláděnka *Posouzení vodního toku ve správě Povodí Odry, s. p.*. Brno, 2017. 55 s., 54 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Hana Uhmannová, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25.5.2017

Jakub Mláděnka
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto způsobem velice poděkoval paní Ing. Haně Uhmannové, CSc. za odborné vedení této bakalářské práce, za trpělivost a ochotu při konzultacích, za poskytnutí odborných rad a hlavně za čas, který si pro mě ve svém nabitém programu dokázala vždy najít.

OBSAH

1 ÚVOD 11

2 ZÁKLADNÍ INFORMACE 12

2.1 Správní údaje 12

2.2 Údaje o povodí 12

2.3 Geologické poměry 13

2.4 Klimatické podmínky 14

2.5 Hydrologické poměry 14

2.6 Údaje o zemědělství 16

2.7 Údaje o lesnictví 16

2.8 Údaje o průmyslu 16

2.9 Energetické využití 16

2.10 Požadavky na odběr 16

2.11 Splavnost toku 17

2.12 Životní prostředí 17

2.13 Povodně 17

3 POPIS STÁVAJÍCÍHO TOKU 18

3.1 Stávající úprava toku 18

3.1.1 Protipovodňová úprava 19

3.2 Popis dna a podélného sklonu 20

3.2.1 Určení drsnosti dna 20

3.2.2 Popis příčného řezu 21

3.3 Objekty na toku 22

3.3.1 Spádové stupně 22

3.3.2 Křížení inženýrských sítí s tokem 23

3.3.3 Mosty a lávky 23

3.4 Vyústní objekty 26

4 HYDROTECHNICÉ VÝPOČTY 27

4.1 Program HEC-RAS 27
4.1.1 Ustálené proudění (Steady flow) 27
4.1.2 Geometrická data 27
4.1.3 Okrajové podmínky 28

4.2 Stanovení kapacity současného koryta 28

5 ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU 32

5.1 Stav koryta 32
5.1.1 Opevnění kynety 32
5.1.2 Ochranné hráze 33
5.1.3 Vyústní objekty 33

5.2 Průběh hladiny, rozlivy 34

5.3 Důvody nekapacitnosti koryta 34
5.3.1 Nedostačující kapacita prvního úseku 34
5.3.2 Mosty 34
5.3.3 Nedostačující kapacita druhého úseku 35

6 PROTIPOVODŇOVÁ OCHRANA 36

6.1 Povodeň a terminologie 36

6.2 Protipovodňová opatření 36
6.2.1 Technická (strukturální) opatření 37
6.2.2 Netechnická (nestrukturální) opatření 39

7 IDEOVÝ NÁVRH PROTIPOVODŇOVÝCH OPATŘENÍ A ZLEPŠENÍ SOUČASNÉHO STAVU KORYTA 40
7.1.1 Návrhový průtok 41

7.2 Varianta I. 41
7.2.1 Mosty 41
7.2.2 Kyneta 42
7.2.3 Opevnění svahu bermy 43
7.2.4 Vstup a vjezd do koryta 44
7.2.5 Vyústní objekty 44

7.3 Varianta II. 44
7.3.1 Mosty 44
7.3.2 Kyneta 44
7.3.3 Opevnění svahu bermy 45
7.3.4 Vstup a vjezd do koryta 46
7.3.5 Vyústní objekty 46

7.4 Zhodnocení variant 46

7.5 Analýza průběhu hladiny po navržení protipovodňové ochrany 46

8 ZÁVĚR 48

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 49

9.1 Internetové zdroje 49

9.2 Použitá literatura 50

9.3 Fotodokumentace 50

10 SEZNAM TABULEK 51

11 SEZNAM OBRÁZKŮ 52

12 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ 54

13 SEZNAM PŘÍLOH 55

1 ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá celkovou situací toku Luha v okolí a v intravilánu obce Jeseník nad Odrou v řešené lokalitě od soutoku s řekou Odrou (ř. km 0,000) až do říčního kilometru 2,853.

Z historických map je názorný vývoj toku, ke kterému výrazně přispěl zásah člověka. V rámci intravilánu obce je změna velmi dobře patrná. Po roce 1955 došlo (jako i v mnoha jiných případech) k napřímení toku ve snaze eliminovat velikost škod, které by mohla způsobit procházející povodeň. Po roce 2000 byla provedena v intravilánu obce soustavná úprava, která byla uskutečněna v duchu předchozích zásahů do tvaru koryta toku. Úprava spočívala ve zpevnění svahů kynety dřevěnými kmeny a navýšení břehů ochrannými hrázemi na povodňový průtok cca Q_{10} = 47 m^3/s.

Cílem předložené bakalářské práce je podrobně popsat a zhodnotit současný stav koryta toku a objektů s ním spojených. Součástí práce je posouzení kapacity koryta toku v řešené lokalitě a návrh ideových opatření, která by zajistila požadovanou protipovodňovou ochranu obce. Současně je úkolem posoudit koryto vzhledem k jeho funkčnosti a estetickým vlastnostem, z čehož plyne případný návrh úprav koryta toku, spočívající ve vytvoření složeného průtočného profilu se stěhovavou kynetou, která je schopna provést malé průtoky.

Díky složitým pozemkovým poměrům v okolí toku, kvůli kterým v současnosti vázne provedení úprav navržených Povodím Odry, státním podnikem, je snaha se s úpravou koryta pohybovat pouze na pozemcích, které budou reálně dostupné. Mezi takové pozemky je možné zařadit pozemky patřící do vlastnictví obce, státu nebo správce vodního toku. Zvolený přístup může být limitující v rámci úprav pro protipovodňovou ochranu na návrhový průtok Q_{20} = 58,1 m^3/s a zároveň omezující v realizaci návrhu přírodě blízkých protipovodňových opatření.

2 ZÁKLADNÍ INFORMACE

2.1 SPRÁVNÍ ÚDAJE

Řešený tok nese název Luha. Je to pravostranný přítok řeky Odra. Konkrétní území zájmu se nachází v obci Jeseník nad Odrou, která leží v Moravskoslezském kraji. Přesněji od soutoku s Odrou (ř. km 0,000) až do ř. km 2,853. Tok spadá pod správu povodí Odry, státní podnik, sídlem Varenská 3101/49, 701 26 Ostrava. Číslo vodohospodářské mapy je 25-12 a hydrologické pořadí je 2-01-01-063.

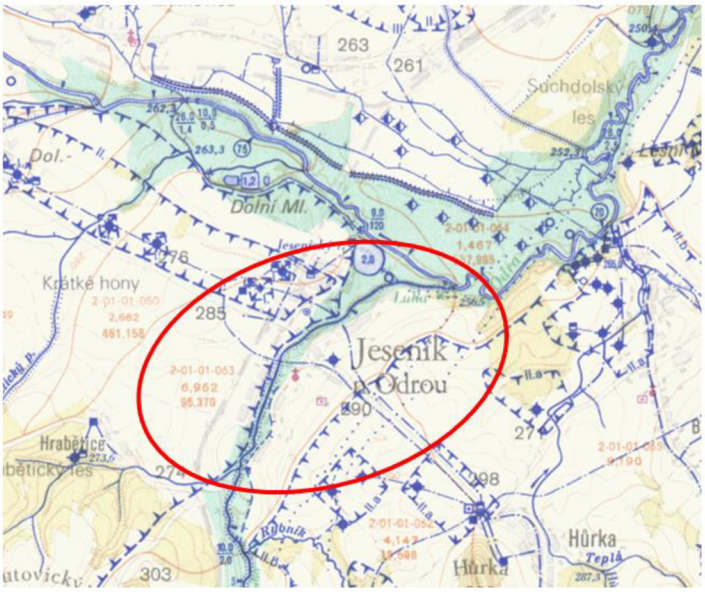
2.2 ÚDAJE O POVODÍ

Luha pramení na západním úbočí vrchu Varta (590 m), severně od Jindřichova, v nadmořské výšce okolo 570 m. Od Bělotína teče říčka východním směrem k Polomi, kde napájí soustavu rybníků. Níže po proudu teče přes obec Jeseník nad Odrou, na jejímž severovýchodním okraji se vlévá do řeky Odry v nadmořské výšce 256 m. Přítoky: Hradečný potok (PB), potok Doubrava (PB), Bělotínský potok (LB), Lučický potok (LB), potok Rybník (PB).

Na Luze není vybudována žádná větší nádrž, na jejím středním toku v Polouvsí, Polomi a Bělotíně je v údolní nivě situováno sedm rybníků, vesměs pro rybochovné a rekreační účely. Zásobovány jsou od nízkých jezů na tomto toku, resp. z melioračních příkopů, které do rybníků ústí.

Spodní úsek Luhy od mostu silnice Vražné – Jeseník nad Odrou – Hůrka (ř. km 1,600) až po ústí je situován do Chráněné krajinné oblasti (CHKO) Poodří.

Plocha povodí: 95,37 km^2.



Obrázek 2.1 – Vodohospodářská mapa [1]

2.3 GEOLOGICKÉ POMĚRY

Luha odvádí vody z pahorkatinné oblasti na rozhraní území náležející geologicky jak k České vysočině (převážně), tak zčásti i Karpatům. Podél toku můžeme najít fluviální hlinitopísčité sedimenty. Vyskytuje se zde problém s usazováním naplaveného materiálu z horního toku Luhy, kvůli velké nezalesněnosti. Splachují se zde z povrchu sprašové hlíny.

Obrázek 2.2 – Geologická mapa [2]

Legenda:

KENOZOIKUM

KVARTÉR

nivní sediment [ID: 6]
Eratém: **kenozoikum**, Útvar: **kvartér**, Oddělení: **holocén**, Horniny: **hlína, písek, štěrk**, Typ ho
[Zobrazit tuto jednotku samostatně]

smíšený sediment [ID: 7]
Eratém: **kenozoikum**, Útvar: **kvartér**, Oddělení: **holocén**, Horniny: **sediment smíšený**, Typ ho
[Zobrazit tuto jednotku samostatně]

písčito-hlinitý až hlinito-písčitý sediment [ID: 12]
Eratém: **kenozoikum**, Útvar: **kvartér**, Horniny: **písčito-hlinitý až hlinito-písčitý sediment**, Ty
Oblast: **kvartér**
[Zobrazit tuto jednotku samostatně]

kamenitý až hlinito-kamenitý sediment [ID: 13]
Eratém: **kenozoikum**, Útvar: **kvartér**, Horniny: **kamenitý až hlinito-kamenitý sediment**, Typ **magmatity**, Oblast: **kvartér**
[Zobrazit tuto jednotku samostatně]

sprašová hlína [ID: 19]
Eratém: **kenozoikum**, Útvar: **kvartér**, Oddělení: **pleistocén**, Suboddělení: **pleistocén svrchní**, **postvariské magmatity**, Oblast: **kvartér**
[Zobrazit tuto jednotku samostatně]

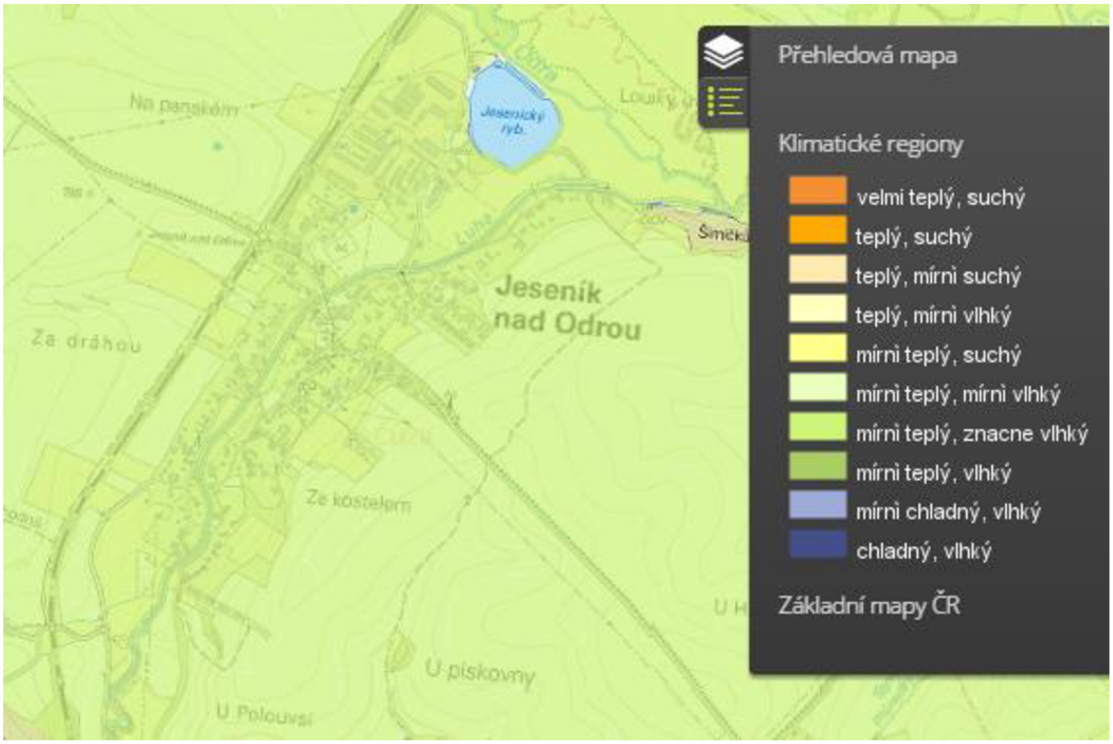
písek, štěrk [ID: 26]
Eratém: **kenozoikum**, Útvar: **kvartér**, Oddělení: **pleistocén**, Suboddělení: **pleistocén střední**, **postvariské magmatity**, Oblast: **kvartér**
[Zobrazit tuto jednotku samostatně]

jíl, varvy [ID: 40]
Eratém: **kenozoikum**, Útvar: **kvartér**, Oddělení: **pleistocén**, Suboddělení: **pleistocén střední**, Oblast: **kvartér**, Region: **kvartér akumulačních oblastí Českého masivu**, Jednotka: **kvartér**
[Zobrazit tuto jednotku samostatně]

Obrázek 2.3 – Legenda k Obrázku 2.2 [2]

2.4 KLIMATICKÉ PODMÍNKY

Zájmová oblast patří do klimatického regionu mírně teplého, vlhkého, což znamená že průměrný roční úhrn srážek je mezi 650 – 750 mm. Průměrná roční teplota v letech je 6 – 7 °C. Viz následujících podklady.



Obrázek 2.4 – Mapa klimatických regionů [3]

Kód regionu	Symbol regionu	Charakteristika regionu	Suma teplot nad 10°C	Průměná roční teplota °C	Průměrný roční úhrn srážek v mm	Pravděpodobnost suchých vegetačních období v %	Vláhová jistota ve vegetačním období
0	VT	velmi teplý, suchý	2800-3100	9-10	500-600	30-50	0-3
1	T 1	teplý, suchý	2600-2800	8-9	< 500	40-60	0-2
2	T 2	teplý, mírně suchý	2600-2800	8-10	500-600	20-30	2-4
3	T 3	teplý, mírně vlhký	2500-2800	(7)8-9	550-650	10-20	4-7
4	MT 1	mírně teplý, suchý	2400-2600	7-8,5	450-550	30-40	0-4
5	MT 2	mírně teplý, mírně vlhký	2200-2500	7-8	550-650	15-30	4-10
6	MT 3	mírně teplý (až teplý) vlhký	2500-2700	7,5-8,5	700-900	0-10	> 10
7	MT 4	mírně teplý, vlhký	2200-2400	6-7	650-750	5-15	> 10
8	MCH	mírně chladný, vlhký	2000-2200	5-6	700-800	0-5	> 10
9	CH	chladný, vlhký	< 2000	<5	> 800	0	> 10

Obrázek 2.5 – Popis jednotlivých regionů. [3]

2.5 HYDROLOGICKÉ POMĚRY

Horní tok Luhy byl do 1.1.2011 pod patronátem Zemědělské vodohospodářské správy. Nyní je celý tok Luha pod správou Povodí Odry, státní podnik. V blízkosti zájmového úseku se nenachází měrný profil. V obci Jeseník nad Odrou je instalován hlásný profil kategorie C: Radarový hladinoměr se nachází na silničním mostě přes Luhu (viz Obrázek 2.6).

Obrázek 2.6 – Hlásný profil

Údaje o N-letých vodách byly měřeny na soutoku s Odrou. Průměrný roční průtok Q_a = 0,83 m^3/s, ostatní průtoky jsou uvedeny v následující Tabulce 2.1.

Tabulka 2.1 – Průtoky na ústí Luhy (Zdroj: ČHMÚ 21.8.2000)

	Q_m – m-denní průtoky [m^3/s]						Q_N – N-leté průtoky [m^3/s]					
	30	**90**	**180**	**270**	**355**	**364**	**1**	**5**	**10**	**20**	**50**	**100**
	2,16	0,897	0,390	0,171	0,035	0,013	12	28	36	45	57	67

Dále byly nalezeny podklady k povodňovému plánu dané obce (viz Obrázek 2.7), které jsou novější a z podkladů je jasné, že Povodí Odry, státní podnik, dané podklady uvažuje ve své prezentaci [4].

Místo profilu	ř. km	Q_a [m^3/s]	N-leté průtoky [m^3/s]						
			1	2	5	10	20	50	100
Hlásný profil kat. C Jeseník nad Odrou, Luha	1.587	---	15,2	23,8	36,5	47,0	58,1	73,7	86,4

Obrázek 2.7 – Průtoky na hlásném profilu kat. C [5]

Údaje N-letých průtoků uvedené v Obrázku 2.7 jsou použity pro výpočty výšky hladiny a kapacity koryta toku.

2.6 ÚDAJE O ZEMĚDĚLSTVÍ

Na levém břehu zájmového úseku (ř. km 0,000 – ř. km 1,000) se vyskytují zemědělsky obdělávaná území. V jejich blízkosti nejsou žádné zemědělské budovy. V části horního toku je zemědělská činnost velmi rozvinuta. Zemědělská pole jsou velkoplošná, bez členění nebo mezí. Povrchový smyv je adekvátní takovémuto hospodaření s ornou půdou a dosahuje velkých hodnot. Toto uspořádání způsobuje následné usazování zeminy na dolním toku, kde chybí dostatečný spád koryta.

2.7 ÚDAJE O LESNICTVÍ

V okolí toku se nachází jen málo lesů, celková zalesněnost k ústí se odhaduje na 20 %. Lesy v okolí jsou spíše smíšeného typu.

2.8 ÚDAJE O PRŮMYSLU

Přímo v obci Jeseník nad Odrou se nachází areál sodovkárny, ovšem v současnosti je společnost Sodovkárna Hůrka s.r.o., která areál spravuje, v likvidaci a žádnou činnost nevykazuje. Jiný průmyslový objekt se v blízkosti řešeného úseku nenachází.

2.9 ENERGETICKÉ VYUŽITÍ

Tok není kvůli nedostatečnému spádu ani průtoku energeticky využíván.

2.10 POŽADAVKY NA ODBĚR

V zájmovém úseku se nenachází žádná odběrná místa. Je zde pouze černá stavba – ponorné čerpadlo vložené do průtočného profilu (vedeno k nemovitosti), viz Obrázek 2.8.

Obrázek 2.8 – Černá stavba – čerpadlo

2.11 SPLAVNOST TOKU

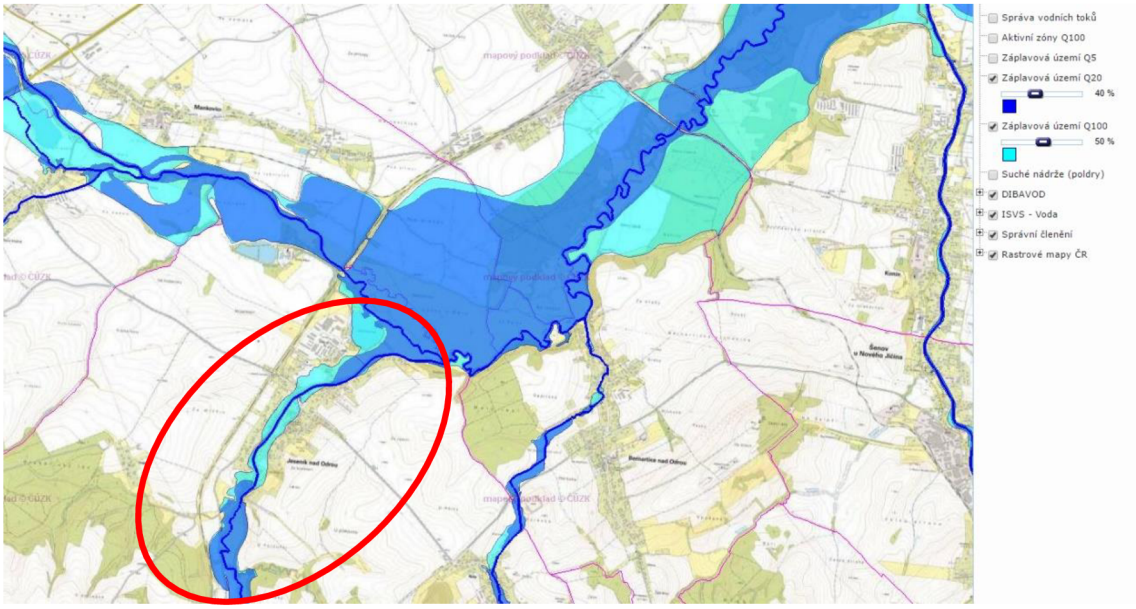
Tok není splavný ani evidovaný jako vodní cesta. V budoucnosti se splavněním neuvažuje.

2.12 ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Spodní úsek Luhy od mostu silnice Vražné – Jeseník nad Odrou – Hůrka (ř. km 1,600) až po ústí je situován do Chráněné krajinné oblasti (CHKO) Poodří (plošná výměra činí 81,5 km^2).

2.13 POVODNĚ

V obci Jeseník nad Odrou byly navrženy a realizovány opatření k převedení cca desetileté povodně. Ovšem dle Povodí Odry, státní podnik, zde Luha vybřežuje už při více jak pětileté vodě. Zjištění nekoriguje s mapou povodňového plánu Ministerstva životního prostředí [6] (viz Obrázek 2.9).



Obrázek 2.9 – Mapa ploch zatopenými povodněmi Q_{20} a Q_{100} (Q_{20} – tmavě modrá, Q_{100} – světle modrá) [6]

Historické povodně – v roce 2002 a zejména v červnu roku 2009, kdy průtok dosáhl přibližně Q ≈ 250 m^3/s, přičemž 100–letý návrhový průtok je Q_{100} = 86,4 m^3/s.

Nevhodné odtokové poměry se v obci dramaticky projevily i za místní přívalové povodně v červnu 2009, kdy v důsledku ní zde došlo k významným škodám na majetku, dokonce i ke ztrátě lidských životů. [7]

3 POPIS STÁVAJÍCÍHO TOKU

3.1 STÁVAJÍCÍ ÚPRAVA TOKU

Nejsouvislejší úprava je na dolním úseku (ř. km 0,000 – 3,200) přes Jeseník nad Odrou. Její účinnost pro ochranu obce před povodněmi je spojená s určitými problémy. Ty jednak způsobuje vliv zpětného vzdutí z Odry na hladinové stavy za povodní, ale i nedostatečná kapacita upraveného profilu přes obec a nevhodnost jeho tvaru zapříčiňující v něm sedimentaci jemného splaveninového materiálu. Ten je sem transportován z výše ležícího zemědělsky intenzivně využívaného a málo zalesněného povodí. [7]

Z historických map je názorný vývoj toku, ke kterému výrazně přispěl zásah člověka. V rámci intravilánu obce je změna velmi dobře patrná. Po roce 1955 došlo (jako i v mnoha jiných případech) k napřímení toku ve snaze eliminovat velikost škod, které by mohla způsobit procházející povodeň. Po roce 2000 byla provedena v intravilánu obce soustavná úprava, která byla uskutečněna v duchu předchozích zásahů do tvaru koryta toku. Úprava spočívala ve zpevnění svahů kynety dřevěnými kmeny a navýšení břehů ochrannými hrázemi na povodňový průtok cca Q_{10} = 47 m^3/s. Dalším účelem těchto úprav bylo získat více volné plochy k možnosti zemědělského obdělávání, nebo k jinému využití (většinou stavebnímu).

Stabilizace svahu kynety byla provedena dřevěnými kmeny od ř. km 0,000 až do ř. km 2,800. V současnosti je původní opevnění poškozeno. Ohrázování koryta je provedeno od ř. km 1,293 do ř. km 2,800 na návrhový průtok cca Q_{10} = 47 m^3/s.

Obrázek 3.1 – Zpevnění svahů kynety dřevěným kmeny

3.1.1 Protipovodňová úprava

Protipovodňová ochrana intravilánu obce je v současnosti řešena pomocí čtyř ochranných (inundačních) hrází, kdy první z nich má šířku v koruně 2 m a jedná se o nezpevněnou korunu. Výška hráze je 1,1 m, sklony vzdušného a návodního svahu jsou 1:1,5. Zbývající tři ochranné (inundační) hráze mají šířku v koruně 2 m a jedná se o nezpevněné koruny. Výška hrází je 1,2 m, sklony vzdušného a návodního svahu jsou 1:1,5.

Název	Obec	Katastr	ř. km do	ř. km od	Typ opatření	Popis
PB hráz pod Obecním úřadem km 2,033 - 2,754	Jeseník nad Odrou	Jeseník nad Odrou	2.033	2.754	Ochranná hráz	Druh ochranné hráze - inundační hráz. Šířka ochr. hr. v koruně - 2 m, nezpevněná koruna. Výška hráze - 1,1 m. Sklony vzdušného a návodního svahu - 1:1,5.
LB hráz pod Obecním úřadem km 2,033 - 2,652	Jeseník nad Odrou	Jeseník nad Odrou	2.033	2.652	Ochranná hráz	Druh ochranné hráze - inundační hráz. Šířka ochr. hr. v koruně - 2 m, nezpevněná koruna. Výška hráze - 1,2 m. Sklony vzdušného a návodního svahu - 1:1,5.
PB hráz u sportovního areálu km 1,293 - 1,964	Jeseník nad Odrou	Jeseník nad Odrou	1.293	1.964	Ochranná hráz	Druh ochranné hráze - inundační hráz. Šířka ochr. hr. v koruně - 2 m, nezpevněná koruna. Výška hráze - 1,2 m. Sklony vzdušného a návodního svahu - 1:1,5.
LB hráz u sportovního areálu km 1,293 - 1,977	Jeseník nad Odrou	Jeseník nad Odrou	1.293	1.977	Ochranná hráz	Druh ochranné hráze - inundační hráz. Šířka ochr. hr. v koruně - 2 m, nezpevněná koruna. Výška hráze - 1,2 m. Sklony vzdušného a návodního svahu - 1:1,5.

Obrázek 3.2 – Podrobný popis hrází [5]

Obrázek 3.3 – PB a LB hráz u sportovního areálu (pohled proti proudu)

3.2 POPIS DNA A PODÉLNÉHO SKLONU

Přirozený podélný sklon dna Luhy (bez ovlivnění spádovými objekty) v její dolní trati mezi ř. km 0,000 – 3,500 činí okolo 1,3 ‰, výše pak proti proudu vzrůstá – ovšem tato část toku je už mimo řešený úsek. V řešeném úseku je sklon roven 1,1 ‰.

Materiál dna je spíše jemnozrnný. Výjimkou je úsek o délce 100 m (ř. km 1,150 – ř. km 1,250), kde byl zřejmě realizován kamenný pohoz na dně toku s kameny o průměrné velikosti (200 – 300) mm.

Obrázek 3.4 – Úsek s kamenným pohozem (pohled proti proudu)

Po celé délce řešeného úseku často probíhá čištění od nánosů splavenin z horního toku.

3.2.1 Určení drsnosti dna

Určení správné drsnosti dna (Manningův součinitel drsnosti *n*), je pro přesný výpočet kapacity toku jedním ze stěžejních faktorů.

Dle dokumentu – Souhrnné hodnocení splaveninového průzkumu hlavních toků v Povodí Odry, s.p. [8], kvůli jehož vyhotovení byl odebrán vzorek dna přímo ve zkoumané obci pro výzkum granulometrické skladby, byl Manningův součinitel drsnosti dna stanoven na hodnotu n = 0,024; dle Stricklerova vzorce pro výpočet drsnosti koryta:

$$n = \frac{1}{21{,}1} d_m \tag{3.2.1}$$

Kde: n… Manningův součinitel drsnosti

d_m… Průměr efektivního zrna

2 - 01 - 01 - 025, 2 - 01 - 01 - 006, 2 - 01 - 01 - 051

Vodní tok: Budišovka, Libavský potok, Luha **Rok odběru:** 1998

odběr	km	popis	spodní vrstva - průměr zrna $d_{i\%}$ [mm]									
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	d_m
4/98	1,33	VP Libavá	7,4	25,0	40,0	44,0	50,0	54,2	63,0	71,0	81,0	48,44
3/98	10,15	Budišov n. Brod.	1,4	4,5	10,1	19,0	28,6	36,0	42,0	50,0	72,0	30,21
3A/98	17,50	Guntrancovice	1,9	5,8	10,0	18,0	18,9	26,1	30,0	36,0	45,0	21,05
		Libavský potok										
1/98	5,40	Libava - most	2,0	4,1	7,1	12,0	18,7	28,1	33,0	47,0	59,0	24,14
2/98	9,20	Norberčany - most	1,8	4,9	9,0	15,0	22,9	30,0	38,0	42,0	49,0	24,82
		Luha										
5/98	1,06	Jeseník - Odra	0,4	0,7	0,9	1,7	5,0	14,1	18,0	28,0	40,0	13,32

Obrázek 3.5 – Hodnoty procentuálního propadu na čarách zrnitosti pro tok Luha, kde d_m = průměr efektivního zrna [mm], [8]

3.2.2 Popis příčného řezu

Od soutoku s Odrou v ř. km 0,000 do ř. km 1,150 je příčný řez tvořen lichoběžníkovým korytem s obdélníkovou kynetou o výšce 0,6 m a šířce 2 – 3 m. Svislé svahy jsou opevněny dřevěnými kmeny, které se nachází na mnoha místech podemleté a v dezolátním stavu. Na kynetu navazují svahy ve sklonu 1:1,5 – 1:2.

Obrázek 3.6 – Profil koryta v úseku ř. km 0,000 – 1,150 (pohled proti proudu)

Od ř. km 1,150 až do ř. km 2,800 je tvar a obložení kynety stejné, ovšem přibylo zde místo pro bermy na obou stranách, a to v šířce 3 – 4 metry na každé straně. Dále je koryto od ř. km 1,293 ohrázováno z obou stran. Hráze jsou podrobně popsány v kapitole 3.1.1.

Obrázek 3.7 – Tvar koryta – kyneta, bermy, hráze (pohled proti proudu)

3.3 OBJEKTY NA TOKU

3.3.1 Spádové stupně

Další zajímavostí je, že se od ř. km 0,000 do ř. km 1,000 nachází cca po 50 m spádové stupně (viz Obrázek 3.8). Jsou jednoduchého tvaru – zapažený dřevěný válec do přilehlého svahu koryta. V podkladech tyto stavby nejsou uvedeny, byly zjištěny až při osobní pochůzce. Pro výpočet kapacity koryta nebudou uvažovány.

Obrázek 3.8 – Rozestavění spádových stupňů, detail spádového stupně

3.3.2 Křížení inženýrských sítí s tokem

V ř. km 1,000 se s tokem kříží potrubí DN 450. Toto potrubí je překlenuto přes průtočný profil toku. Dále se v ř. km 1,587 přidružuje k mostu M2 potrubí DN 400. V ř. km 2,579 se obdobně přidružuje k mostu M4 potrubí DN 400.

Obrázek 3.9 – Přechod potrubí DN 450 (vlevo) a DN 400 u mostu M2 (vpravo)

3.3.3 Mosty a lávky

V řešeném úseku se nacházejí celkem čtyři mosty a jedna lávka pro pěší.

Lávka L1 pro pěší ř. km 0,709

Lávka klenutého tvaru, očividně jako jediná je zřejmě konstruována v dostatečné výšce nad úrovní případné povodňové hladiny. Výška dřevěné mostovky je 0,7 m.

Obrázek 3.10 - Lávka pro pěší, ř. km 0,709

Most M1 – ř. km 1,285

Silniční most silnice Jeseník nad Odrou – Mankovice. Šířka je 13,60 m a výška betonové mostovky je 1,40 m.

Obrázek 3.11 – Most M1, ř. km 1,285 (pohled proti proudu)

Most M2 – ř. km 1,587

Jedná se o vytížený most silnice Vražné – Jeseník nad Odrou – Hůrka. Jeho šířka je 10,75 m a výška betonové mostovky je 1,30 m. K mostu je přidruženo potrubí DN 400.

Obrázek 3.12 – Most M2, ř. km 1,587 (pohled proti proudu)

Most M3 – ř. km 2,032

Zde nalezneme kovový most místního účelu. Jeho šířka je 4,10 m a výška mostovky je 0,55 m.

Obrázek 3.13 – Kovový most M3, ř. km 2,032 (pohled po proudu)

Pilířový most M4 – ř. km 2,579

Dvoupilířový most místního významu. Šířka pilíře cca 1,25 m. Šířka mostovky je 8,25 m a její výška je 0,90 m. K mostu je přidruženo potrubí DN 450.

Obrázek 3.14 – Dvoupilířový most M4 s přidruženým potrubím DN 450, ř. km 2,579 (pohled proti proudu)

3.4 VYÚSTNÍ OBJEKTY

Po celé délce řešeného úseku se nacházejí vyústní objekty, a to od průměru DN 500 až do DN 1000. Většina vyústních objektů je opatřena zpětnou klapkou pro zabránění vzdutí v potrubí při vyšší hladině vody v toku. Celkem se zde nachází 13 levobřežních a 14 pravobřežních vyústních objektů. Jsou zaznamenány v podkladech, ovšem není zaměřena jejich výšková poloha.

Obrázek 3.15 – Vyústní objekty opatřené klapkou

4 HYDROTECHNICÉ VÝPOČTY

4.1 PROGRAM HEC-RAS

HEC-RAS je volně dostupný program, který byl vyvinut v Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers. Tento program řeší 1D a nově 2D model ustáleného i neustáleného proudění v otevřených korytech, rozdělení rychlostí a průtoků v příčném profilu. Výpočet probíhá metodou po úsecích, která vychází z Bernoulliho rovnice a zákona zachování mechanické energie.

HEC-RAS umožňuje řešit i hydraulickou funkci mostních a jezových objektů v rámci výpočtu průběhů hladiny. V programu je také možné zadávat propustky s různým geometrickým průřezem a řešit proudění v různém hydraulickém režimu: proudění o volné hladině, tlakové proudění mostním profilem, přelévání mostních objektů, zatopený vtok a volný výtok.

4.1.1 Ustálené proudění (Steady flow)

Pro účely bakalářské práce byl využit 1D model ustáleného proudění programu HEC-RAS verze 4.1.0.

Pro výpočet ustáleného proudění (Steady Flow) je nutné zadat do programu veškerá potřebná geometrická data (Geometric Data) a okrajové podmínky pro řešení (Steady Flow Data).

4.1.2 Geometrická data

Geometrická data toku Luha, která byla následně použita pro výpočet ustáleného proudění jsou součástí podkladů předaných při zahájení řešení bakalářské práce.

Profily

V podkladech je zaměřeno 33 příčných profilů, pro výpočet kapacity koryta bylo využito jen 28 příčných profilů, zbylých 5 příčných profilů se nacházelo mimo řešený úsek (směrem proti proudu) a byly proto k výpočtu nepotřebné.

Mosty a lávky pro pěší

V řešeném úseku se nachází celkem 4 mosty a 1 lávka pro pěší. Zaměření těchto objektů je neúplné. Zaměřena je pouze jejich výšková pozice a šířka mostovky. Data byla doplněna po osobní pochůzce o změřenou výšku mostovky, která je pro přesný výpočet kapacity koryta stejně důležitá jako ostatní parametry objektů.

Drsnost

Drsnost je jeden ze základních parametrů pro správný výpočet průběhu hladin. Nesprávné určení drsnosti může mít vážný vliv na výsledky výpočtu a ty se mohou velmi oddalovat od reality.

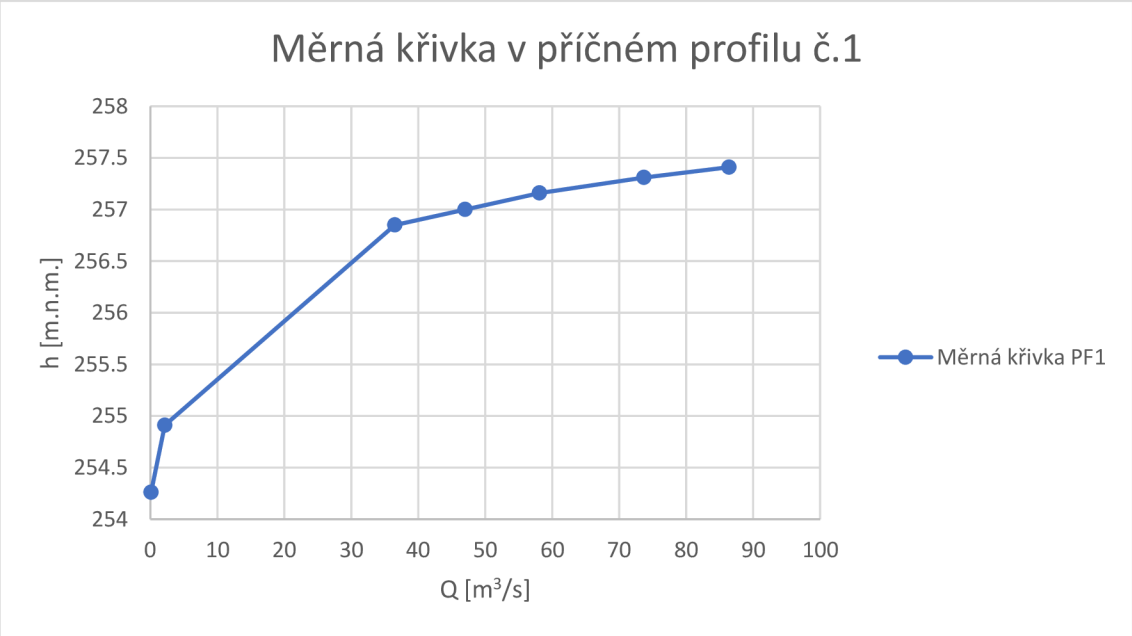
Drsnost v případě řešeného koryta byla stanovena jak výpočtem (pro dno, podrobněji v kapitole 3.2.1), tak odhadem (pro mostní profily, pro svahy kynety a celý zatravněný povrch bermy), vycházejícím z tabulek stupňů drsností běžně uváděných v učebnicích hydrauliky. Hodnoty zadané do programu HEC-RAS jsou:

- Dno kynety – n = 0,024
- Mostní profily (svislé betonové zdi) – n = 0,025
- Svahy kynety (dřevěné kmeny) – n = 0,025
- Povrch bermy (zatravněný) – n = 0,035

4.1.3 Okrajové podmínky

Okrajové podmínky, které byly použity pro výpočet kapacity koryta jsou N-leté a m-denní průtoky, které jsou uvedeny v kapitole 2.5.

Další okrajovou podmínkou, která byla využita při výpočtu kapacity koryta je měrná (Q/h) křivka v příčném profilu číslo 1, která je obsažena v podkladech k bakalářské práci. Křivka je znázorněna na Obrázku 4.1.



Obrázek 4.1 – Měrná křivka v příčném profilu č.1

4.2 STANOVENÍ KAPACITY SOUČASNÉHO KORYTA

Ke správnému stanovení kapacity současného koryta byla využita geometrická data, okrajové podmínky (popsáno výše, v kapitole 4.1) a vše zadáno do výpočetního programu HEC-RAS.

Kapacita koryta byla počítána bez ovlivnění zpětného vzdutí od soutoku s řekou Odrou. V příčných profilech s rozlivem bylo použito omezení inefektivními plochami (Ineffective flow areas).

V následujících tabulkách jsou znázorněny výsledky výpočtů průběhů hladin vztažené k výškám levého i pravého břehu a v závislosti na nich stav vybřežení (ANO/NE).

Tabulka 4.1 – Výška hladiny při průtoku Q_1

Q_1 = 15,2 m^3/s						
Staničení	**Výšková kóta dna**	**Výšková kóta hladiny**	**Levý břeh**	**Pravý břeh**	**Vybřežení levého břehu**	**Vybřežení pravého břehu**
[km]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[ANO/NE]	[ANO/NE]
0,057	254,10	255,65	257,23	257,19	NE	NE
0,204	254,32	256,26	257,31	257,16	NE	NE
0,356	254,50	256,62	257,31	257,28	NE	NE
0,467	254,66	256,80	257,65	257,41	NE	NE
0,610	254,72	257,00	257,77	257,46	NE	NE
0,710	255,04	257,14	257,87	257,46	NE	NE
0,857	255,23	257,34	257,70	257,44	NE	NE
1,060	255,50	257,65	257,96	257,70	NE	NE
1,148	255,57	257,75	258,09	258,06	NE	NE
1,262	255,67	257,97	259,26	259,10	NE	NE
1,307	255,70	257,97	258,98	259,10	NE	NE
1,457	255,83	258,04	259,10	259,10	NE	NE
1,562	255,91	258,07	259,06	259,08	NE	NE
1,604	255,95	258,08	259,17	259,63	NE	NE
1,706	256,03	258,13	259,15	259,16	NE	NE
1,826	256,13	258,21	259,34	259,34	NE	NE
1,918	256,20	258,26	259,43	259,37	NE	NE
2,036	256,30	258,34	259,78	259,75	NE	NE
2,049	256,31	258,37	259,49	259,50	NE	NE
2,163	256,40	258,45	259,61	259,59	NE	NE
2,295	256,51	258,51	259,68	259,64	NE	NE
2,378	256,58	258,55	259,86	259,74	NE	NE
2,478	256,66	258,60	259,84	259,90	NE	NE
2,562	256,73	258,66	259,81	259,89	NE	NE
2,604	256,77	258,70	260,02	259,92	NE	NE
2,677	256,83	258,74	260,01	259,98	NE	NE
2,772	256,90	258,81	259,68	259,88	NE	NE
2,853	256,97	258,87	259,19	259,15	NE	NE

Tabulka 4.2 – Výška hladiny při průtoku Q_5

Q_5 = 36,5 m^3/s						
Staničení	**Výšková kóta dna**	**Výšková kóta hladiny**	**Levý břeh**	**Pravý břeh**	**Vybřežení levého břehu**	**Vybřežení pravého břehu**
[km]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[ANO/NE]	[ANO/NE]
0,057	254,10	256,85	257,23	257,19	NE	NE
0,204	254,32	257,20	257,31	257,16	NE	ANO
0,356	254,50	257,57	257,31	257,28	ANO	ANO
0,467	254,66	257,75	257,65	257,41	ANO	ANO
0,610	254,72	257,95	257,77	257,46	ANO	ANO
0,710	255,04	258,06	257,87	257,46	ANO	ANO
0,857	255,23	258,32	257,70	257,44	ANO	ANO
1,060	255,50	258,49	257,96	257,70	ANO	ANO
1,148	255,57	258,59	258,09	258,06	ANO	ANO
1,262	255,67	258,92	259,26	259,10	NE	NE
1,307	255,70	258,92	258,98	259,10	NE	NE
1,457	255,83	259,00	259,10	259,10	NE	NE
1,562	255,91	259,04	259,06	259,08	NE	NE
1,604	255,95	259,08	259,17	259,63	NE	NE
1,706	256,03	259,13	259,15	259,16	NE	NE
1,826	256,13	259,22	259,34	259,34	NE	NE
1,918	256,20	259,27	259,43	259,37	NE	NE
2,036	256,30	259,34	259,78	259,75	NE	NE
2,049	256,31	259,40	259,49	259,50	NE	NE
2,163	256,40	259,47	259,61	259,59	NE	NE
2,295	256,51	259,54	259,68	259,64	NE	NE
2,378	256,58	259,58	259,86	259,74	NE	NE
2,478	256,66	259,63	259,84	259,90	NE	NE
2,562	256,73	259,68	259,81	259,89	NE	NE
2,604	256,77	259,74	260,02	259,92	NE	NE
2,677	256,83	259,77	260,01	259,98	NE	NE
2,772	256,90	259,83	259,68	259,88	ANO	NE
2,853	256,97	259,93	259,19	259,15	ANO	ANO

Tabulka 4.3 – Výška hladiny při průtoku Q_{10}

Q_{10} = 47,0 m^3/s						
Staničení	**Výšková kóta dna**	**Výšková kóta hladiny**	**Levý břeh**	**Pravý břeh**	**Vybřežení levého břehu**	**Vybřežení pravého břehu**
[km]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[ANO/NE]	[ANO/NE]
0,057	254,10	256,94	257,23	257,19	NE	NE
0,204	254,32	257,42	257,31	257,16	ANO	ANO
0,356	254,50	257,85	257,31	257,28	ANO	ANO
0,467	254,66	258,04	257,65	257,41	ANO	ANO
0,610	254,72	258,25	257,77	257,46	ANO	ANO
0,710	255,04	258,34	257,87	257,46	ANO	ANO
0,857	255,23	258,64	257,70	257,44	ANO	ANO
1,060	255,50	258,76	257,96	257,70	ANO	ANO
1,148	255,57	258,86	258,09	258,06	ANO	ANO
1,262	255,67	259,21	259,26	259,10	NE	ANO
1,307	255,70	259,27	258,98	259,10	ANO	ANO
1,457	255,83	259,35	259,10	259,10	ANO	ANO
1,562	255,91	259,39	259,06	259,08	ANO	ANO
1,604	255,95	259,46	259,17	259,63	ANO	NE
1,706	256,03	259,51	259,15	259,16	ANO	ANO
1,826	256,13	259,59	259,34	259,34	ANO	ANO
1,918	256,20	259,64	259,43	259,37	ANO	ANO
2,036	256,30	259,74	259,78	259,75	NE	NE
2,049	256,31	259,81	259,49	259,50	ANO	ANO
2,163	256,40	259,87	259,61	259,59	ANO	ANO
2,295	256,51	259,94	259,68	259,64	ANO	ANO
2,378	256,58	259,98	259,86	259,74	ANO	ANO
2,478	256,66	260,03	259,84	259,90	ANO	ANO
2,562	256,73	260,08	259,81	259,89	ANO	ANO
2,604	256,77	260,17	260,02	259,92	ANO	ANO
2,677	256,83	260,20	260,01	259,98	ANO	ANO
2,772	256,90	260,25	259,68	259,88	ANO	ANO
2,853	256,97	260,36	259,19	259,15	ANO	ANO

5 ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU

5.1 STAV KORYTA

Koryto toku Luha (ř. km 0,000 – ř. km 2,853) bych pro účely zhodnocení stávajícího stavu rozdělil po délce do dvou dílčích úseků. První úsek by byla část koryta toku od ř. km 0,000 do ř. km 1,285; na jehož konci se nachází most M1. Zde byla provedena úprava koryta do lichoběžníkového tvaru, který navazuje na obdélníkovou kynetu.

Druhým dílčím úsekem by byla část koryta toku od ř. km 1,285 do ř. km 2,853; která vede přes intravilán obce. Zde byla provedena úprava do složeného koryta, taktéž s obdélníkovou kynetou a na ni navazujícími bermami. Tato část je opatřena inundačními hrázemi. V této části je šířka koryta přibližně dvojnásobná než v části první.

5.1.1 Opevnění kynety

Kolmé svahy kynety jsou v obou výše zmíněných úsecích opevněny dřevěnými kmeny. Opevnění je podemleté, poškozené od průchodu povodňových událostí (největší povodeň v roce 2009) a celkově v dezolátním stavu.

Obrázek 5.1 – Dezolátní stav opevnění kynety

Obrázek 5.2 – Podemleté opevnění kynety

5.1.2 Ochranné hráze

Ochranné hráze, nacházející se v druhém úseku, jsou relativně v pořádku. Místy můžeme objevit lehké nerovnosti v koruně hráze, která má šířku cca 2 metry a není zpevněná – čili je velmi omezen jakýkoliv pojezd po hrázi. Hráze mají strmé svahy ve sklonu 1:1,5.

Obrázek 5.3 – Pohled na PB hrázi ve směru proti proudu

5.1.3 Vyústní objekty

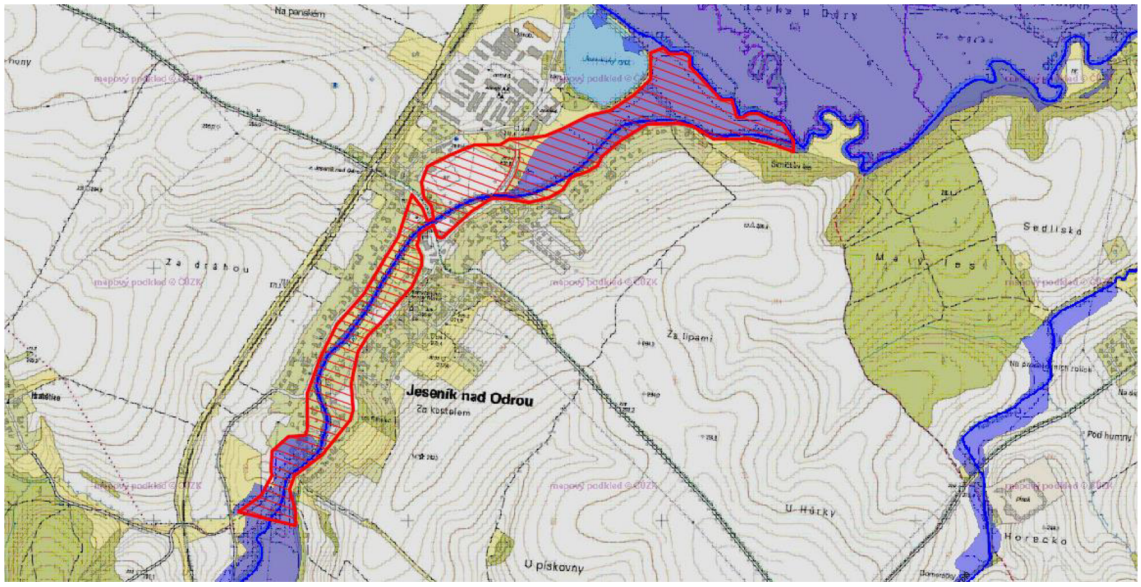
V obou úsecích se celkem nachází 27 vyústních objektů. Vyústní objekty jsou vestavěny ve svahu bermy. Většina z nich je opatřena zpětnými klapkami, na nichž je umístěno kovové závaží. Téměř všechny jsou zaneseny a poškozeny, viz Obrázek 5.4.

Obrázek 5.4 – Zanesený vyústní objekt, zřejmě funkční

5.2 PRŮBĚH HLADINY, ROZLIVY

Jak je z hydrotechnický výpočtů (kapitola 4.2) jasné, tak první úsek nezvládne převést ani pětiletý průtok (Q_5 = 36,5 m^3/s). Druhý úsek je na tom o něco lépe, pětiletý průtok převést dokáže, ale desetiletý průtok (Q_{10} = 47,0 m^3/s) už převést nedokáže. Vybřežení nastává téměř po celé délce obou úseku, a to na levém i pravém břehu.

V souvislosti s tímto zjištěním je nutné poukázat na nesrovnalost hydrotechnických výpočtů včetně následných rozlivů s Mapou ploch zatopenými povodněmi [6] (Obrázek 2.9, kapitola 2.13), ve které se větší průtok Q_{20} v řešené lokalitě v podstatě nerozlévá. Rozdíly jsou zakresleny v Obrázku 5.5. Tato nesrovnalost mohla vzniknout rozdílnými podklady a metodami výpočtů.



Obrázek 5.5 – Mapa ploch zatopenými povodněmi [6] (tmavě modrá – Q_{20} dle [6], červeně šrafovaná oblast – přibližná oblast rozlivu při Q_{20} dle hydrotechnických výpočtů)

5.3 DŮVODY NEKAPACITNOSTI KORYTA

5.3.1 Nedostačující kapacita prvního úseku

Prvním důvodem, který vyplývá z hydrotechnických výpočtů, je malá kapacita prvního úseku. Tato skutečnost velmi podstatně závisí na geometrii profilů v tomto úseku. I když zde byl uvažován rozliv, tak se zvýšení hladiny z tohoto úseku promítá daleko do úseku druhého, který vede přes intravilán obce.

5.3.2 Mosty

Druhým závažným důvodem je malá kapacita mostních profilů. O tomto problému se také zmiňuje Povodí Odry, státní podnik, ve své prezentaci [4]. Povodí Odry, státní podnik, ve výhledu uvažuje se zvýšením výškové úrovně mostovek u objektů M1 – M4. V následující Tabulce 5.1 je znázorněn vliv mostovek na výšku hladiny.

Tabulka 5.1 – Vzdutí a přelití mostovky

Objekt	Dolní hrana mostovky	Horní hrana mostovky	Výška hladiny před mostovkou	Vzdutí hladiny mostovkou	Přelití mostovky
[-]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[ANO/NE]	[ANO/NE]
L1	258,80	259,50	258,60	NE	NE
M1	258,49	259,89	259,61	ANO	NE
M2	258,37	259,67	259,82	ANO	ANO
M3	259,23	259,78	260,05	ANO	ANO
M4	259,49	260,39	260,48	ANO	ANO

5.3.3 Nedostačující kapacita druhého úseku

Z hydrotechnických výpočtů (kapitola 4.2) je jasné, že sice byl druhý úsek upraven na větší kapacitu než první (ochrannými hrázemi, zvětšením šířky příčných profilů), ale i tak zde tok vybřežuje už při desetiletém průtoku $Q_{10} = 47{,}0$ m^3/s. Pro obec Jeseník nad Odrou je uvažována protipovodňová ochrana na návrhový průtok $Q_N = Q_{20} = 58{,}1$ m^3/s (kapitola 7.1.1), tento průtok nemůže koryto v současném stavu zvládnout bezpečně převést.

6 PROTIPOVODŇOVÁ OCHRANA

6.1 POVODEŇ A TERMINOLOGIE

Povodeň – hydrologický jev, jehož příčinou mohou být například srážky, tání sněhu, případně další meteorologické jevy nebo lidská činnost. Povodeň se zpravidla projevuje například výrazným zvýšením odtoku povrchových vod, zvýšením hladiny podzemních vod, přechodným zaplavováním zemského povrchu či erozními procesy. Ve vztahu ke vzniku povodňových škod se často uvádí definice, kdy je povodeň chápána jako přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém již voda zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody. [9]

Povodeň lze dělit dle zákona 254/2001 Sb. v platném znění dělit na:

- *Přirozenou povodeň* – její vznik zapříčiněn přírodními jevy (dlouhodobé deště, vydatné krátkodobé deště, tání sněhu, ledochod, ledové zácpy a nápěchy),
- *Zvláštní povodeň* – způsobena činností člověka (porušení vodního díla).

Povodňové riziko – kombinace pravděpodobnosti výskytu povodní a jejich možných nepříznivých účinků na lidské zdraví, životní prostředí, kulturní dědictví a hospodářskou činnost. Povodňové riziko se dá obecně snížit:

- *Snížením pravděpodobnosti vzniku škod*
- *Omezením dopadů povodně*

Povodňová opatření – přípravná opatření, opatření prováděná při nebezpečí povodně, za povodně a opatření prováděná po povodni.

Mapy povodňového nebezpečí – vymezují území, která by mohla být zaplavena podle různých povodňových scénářů a s využitím stanovených záplavových území. Na mapách povodňových rizik se vyznačí potenciální nepříznivé následky povodní podle těchto scénářů.

6.2 PROTIPOVODŇOVÁ OPATŘENÍ

Opatření jako takové je až výsledek soustavné činnosti ochrany před povodněmi a snahy zmenšit následky povodní, které by bez těchto opatření byly mnohdy katastrofální (škody na majetku i ztráty na lidských životech).

Protipovodňová opatření se mohou dělit obecně na technická a netechnická nebo podle způsobu ochrany na technická a přírodě blízká opatření. Konkrétní varianty opatření jsou zpracovány v Tabulce 6.1.

Tabulka 6.1 – Protipovodňová opatření [13]

PROTIPOVODŇOVÁ OPATŘENÍ	Obecné dělení	Technická (strukturální) opatření	Proti účinkům vody v ploše povodí	regulace rozsahu, druhové a věkové skladby lesů
				regulace zemědělské činnosti v ploše povodí
				budování retenčních a protierozních opatření na vodních tocích
			Proti účinkům na vodních tocích	retenční prostory v údolních nádržích
				retenční prostory v poldrech
				ochranné hráze
				zkapacitnění koryta vodního toku
				snížení hloubkové a boční eroze
				údržba a čištění koryt
		Netechnická (nestrukturální) opatření		definování záplavových zón
				právní zajištění záplavových zón
				předpovědní a varovní systémy
				výchova veřejnosti k odpovědnému chování při povodni
	Dělení dle způsobu ochrany	Technická (strukturální) opatření		kapacitní úpravy koryt
				ohrázování vodních toků
				výstavby velkých retenčních nádrží
		Přírodě blízká opatření	Proti účinkům vody v ploše povodí	agrotechnická protierozní opatření
				organizační protierozní opatření
				biotechnická protierozní opatření
			Proti účinkům na vodních tocích	revitalizace koryta a obnovení přirozených hydrologických funkcí potoční a říční nivy do volné inundace

6.2.1 Technická (strukturální) opatření

Technická opatření zejména zahrnují úpravy na vodních tocích a v inundačních územích. Snahou opatření je zajistit dostatečnou kapacitu koryta toku, stabilitu dna a svahů, zvýšení retenční schopnosti pro lepší transformaci povodňové vlny. Výhodou těchto prvků je jejich okamžité zapojení do procesu transformace. Díky dlouhodobé zkušenosti s těmito ochrannými opatřeními jsou známé jejich výhody, ale i zápory, slabá místa a rizikové faktory.

Zvýšení kapacity koryta

Zvýšení kapacity koryta lze docílit vhodnou úpravou koryta, tj. zvětšením průtočného profilu, úpravou sklonových poměrů, zkapacitněním objektů na vodních tocích jako jsou stupně, jezy a mosty. Jako zkapacitnění koryta je myšlena úprava koryta na jednoduchý lichoběžník či vytvoření složeného lichoběžníkového koryta, který se skládá z kynety a berm. Popřípadě i umělé zvýšení břehové linie (ochranné hráze, ochranné zdi, přírodní valy).

Ochranné hráze

Účelem ochranných hrází je soustředit vysoké průtoky mezi hráze a zabránit zaplavování intenzivněji využívaného území za hrází až do určitého návrhového průtoku. Budování ochranných hrází je opodstatněno v případech, kdy nelze vytvořit koryto toku s kapacitou odpovídající požadovanému návrhovému průtoku, nebo z ekonomických a environmentálních důvodů. Z hlediska materiálového složení lze navrhnout ochrannou hráz jako homogenní nebo nehomogenní. Hráz homogenní je složena z jednoho typu materiálu, součástí nehomogenní hráze je těsnící prvek z materiálu o minimální propustnosti.

Ochranné hráze se nejčastěji využívají v místech, kde jsou výnosné zemědělské pozemky. Výhodou je, že při samotném ohrázování je možné ponechat podél toku dřevinné porosty. Nevýhodou, ale je majetkoprávní vyrovnání s majiteli pozemků. Odkoupení pozemků bývá velmi často zásadním problém při jakýchkoliv úpravách toku a tento problém často pozdržuje stavbu protipovodňových opatření, zatímco se může v této době vyskytnout povodňová situace.

Převýšení dle vyhlášky 590/2002 Sb. v platném znění a ČSN 75 2101 se doporučuje navrhnout v rozmezí 0,3 až 1,0 m při ochraně území Q100, při ochraně nižší pak převýšení do 0,5 m. Přitom se přihlíží k velikosti toku a možným dopadům při případném protržení ochranné hráze. [9]

Povodňové zdi

Povodňové zdi mají podobný úkol jako ochranné hráze a tj. zadržet vysoké průtoky v korytě toku. Navrhují se velmi často v oblastech intravilánů a ve stísněných prostorách.

Stabilní povodňové zdi – obvykle betonové konstrukce vetknuté do podloží. Je nutné, kromě statické rovnováhy konstrukce, zajistit i odolnost vůči prosakující vodě, to se obvykle provádí vertikálním prvkem (štětová stěna).

Mobilní povodňové zdi – navrhují se v místech, kde je potřeba zajistit buď průchod nebo průjezd protipovodňovou zdí. Další možností výskytu je lokalita, kde převažuje estetické hledisko a je potřeba přistoupit k tomuto řešení. Prvky mobilních zdí jsou tvořeny vodorovnými hradidly nebo tabulemi. Tento typ opatření má několik výhod: úspora místa, úplná možnost demontování, opětovné použití a poměrně značná výška možné konstrukce. Oproti tomu nevýhodou je poměrně vysoká pořizovací cena a nutnost zajištění skladovacích prostor. Lze použít hliníkové i dřevěné hradidlové profily.

Obrázek 6.1 – Ukázka řešení vstupu do koryta, drážky pro zasunutí mobilních hradidel [9]

Agrotechnická a biotechnická protierozní opatření

Smyslem těchto opatření je snížit erozi na pozemkách, ze kterých se půda smývá do koryta a zanáší ho. Další účelem je zvýšit retenční schopnost krajiny. Mezi tyto opatření můžeme zařadit vyloučení širokořádkových plodin z pěstování na svažité půdě, vhodné způsoby provádění orby, organizace produkčních ploch, zatravnění svažité orné půdy, výstavba protierozních nádrží, zřizování zasakovacích pásů, průlehů a protierozních mezí.

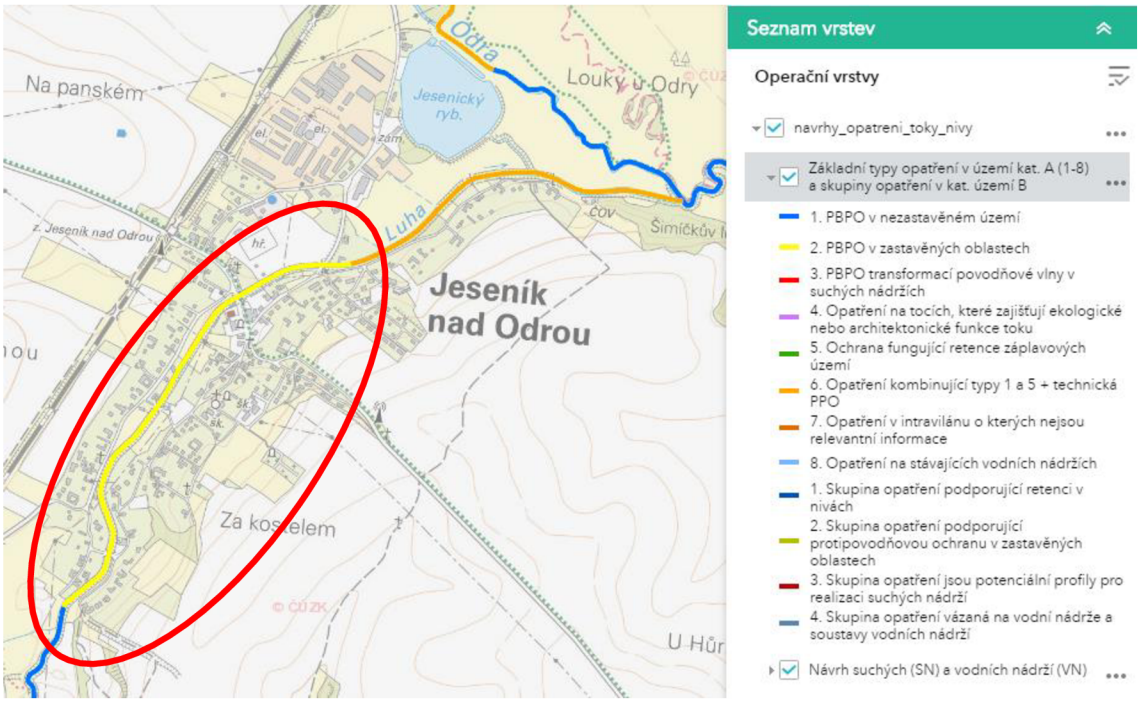
6.2.2 Netechnická (nestrukturální) opatření

Netechnická opatření jsou celkem dobře vymezena ve vodním zákoně 254/2001 Sb. Mezi netechnická opatření se řadí taková opatření, která se snaží člověka lépe informovat o aktuálním stavu za povodně, varovat ho, ale i vychovávat. Patří sem:

- Stanovení záplavových území
- Povodňové plány
- Organizační a technická příprava
- Předpovědní povodňová služba
- Příprava účastníků povodňové ochrany
- Řízené ovlivňování odtokových poměrů
- Činnost hlásné povodňové služby

7 IDEOVÝ NÁVRH PROTIPOVODŇOVÝCH OPATŘENÍ A ZLEPŠENÍ SOUČASNÉHO STAVU KORYTA

V rámci řešení bakalářské práce je také úkolem navrhnout ideové protipovodňové opatření a opatření pro zlepšení současného stavu koryta. Na portálu Voda v krajině [10] je k dispozici mapový podklad k řešení opatření na vodních tocích a nivách, pro celou Českou republiku. V mapovém podkladu je pro konkrétní řešený úsek (ř. km 1,060 – ř. km 2,800) výhledově navrhnuta varianta přírodě blízkých protipovodňových opatření v zastavěném území. Daný termín obecně znamená zkapacitnění koryta a urychlení odtoku, užití složeného profilu se stěhovavou kynetou, revitalizovaným korytem a možností ohrázování zastavěných území.



Obrázek 7.1 – Mapa návrhů opatření na vodních tocích a nivách [10]

Výsledkem je navržení dvou variant ideových návrhů řešení protipovodňových opatření (Varianta I. a Varianta II.) v upravovaném úseku od ř. km 1,060 do ř. km 2,800 toku Luha. Úsek prochází intravilánem obce Jeseník nad Odrou, v němž jsou celkem složité jak prostorové, tak pozemkové poměry. Snahou bylo se přiblížit v obou variantách co nejvíce výhledovému návrhu přírodě blízkých protipovodňových opatření v zastavěném území. V následujících kapitolách jsou obě varianty podrobněji popsány.

7.1.1 Návrhový průtok

Stanovení návrhového průtoku bylo provedeno dle Plánu hlavních povodí České republiky, který byl schválen usnesením vlády ČR dne 23. května 2007 č. 562. Plán stanovuje míru ochrany území dle N-letých kulminačních průtoků. Pro řešenou lokalitu vyhovuje kategorie (rozptýlená obytná a průmyslová zástavba a souvislá chatová zástavba) pro kterou je návrhový průtok $Q_N = Q_{20} = 58{,}1\ m^3/s$ (kapitola 2.5).

7.2 VARIANTA I.

Varianta I. vychází ze současného tvaru upravovaného úseku (kyneta a k ní připojené zatravněné bermy s ochrannými hrázemi) a volně se jím inspiruje. Jak už zde bylo řečeno (kapitola 5.2), není současné koryto schopno adekvátně převést návrhový průtok $Q_N = Q_{20} = 58{,}1\ m^3/s$ (určeno v kapitole 7.1.1).

7.2.1 Mosty

Současná výšková pozice objektů M1 – M4 je nevhodná a zapříčiňuje vzdutí výšky hladiny, jak je rozebráno v kapitole 5.3.2. V současné době i Povodí Odry, státní podnik jedná o zvednutí mostovek s příslušnými úřady.

Navrhuji proto zvednutí mostovek u objektů M1 – M4, dle normy ČSN 73 6201 – Projektování mostních objektů [11], o 0,5 m nad vypočtenou hladinu návrhového průtoku Q_{20}. Objekt L1 (lávka pro pěší) sice nijak výrazně hladinu návrhového průtoku neovlivňuje (viz Tabulka 5.1, kapitola 5.3.2), ale není zde splněna podmínka 0,5 m nad vypočtenou hladinu návrhového průtoku (rozdíl výšky hladiny a výšky dolní hrany mostovky je 0,2 m). Ovšem norma dovoluje výjimku v čl. 12.2.7 – Při přestavbách mostních objektů prováděných v rámci úpravy vodního toku, může být stanoven návrhový průtok i volná výška individuálně, podle požadavků na úpravu vodního toku [11]. Výškové posuny mostovek znázorňuje Tabulka 7.1.

Tabulka 7.1 – Výškový posun mostovek

Objekt	Dolní hrana mostovky	Horní hrana mostovky	Navržená Dolní hrana mostovky	Navržená Horní hrana mostovky
[-]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]
M1	258,49	259,89	259,76	261,16
M2	258,37	259,67	259,78	261,08
M3	259,23	259,78	259,86	260,41
M4	259,49	260,39	260,11	261,01

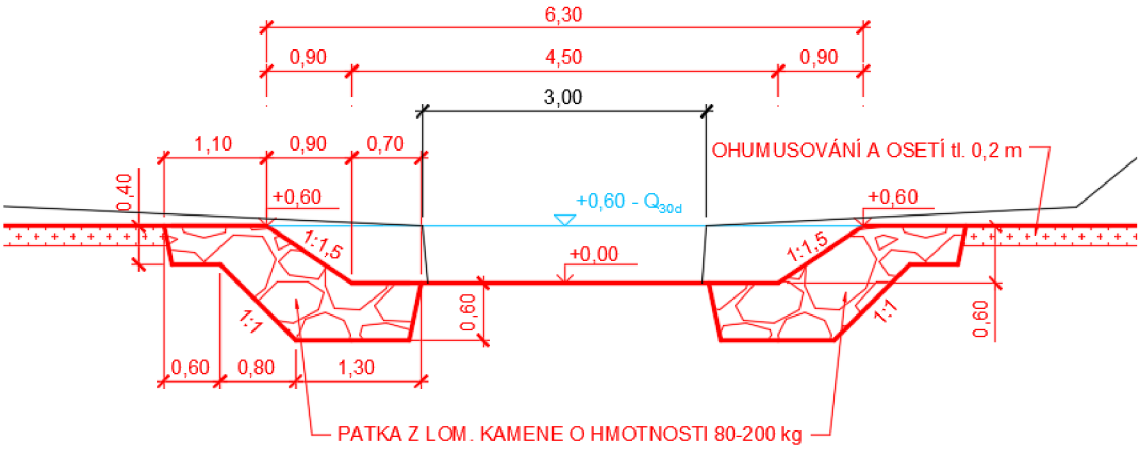
Most M1

Dle osobní pochůzky a rozhovoru s obyvatelem, který vedle tohoto objektu žije, bylo zjištěno, že při povodňovém stavu se tento most rychle ucpává splávím a způsobuje nepřiměřené vzdutí hladiny a dochází k přelití mostovky a rozlivu toku do okolí.

Dle hydrotechnických výpočtů sice k přelití nedojde, ovšem tato zjištěná skutečnost bude muset být brána v potaz v podrobné projektové dokumentaci stavby.

7.2.2 Kyneta

V současném stavu jsou svislé svahy kynety opevněny dřevěnými kmeny. Ve stávajícím tvaru není kyneta schopna pojmout ani Q_{30d} = 2,16 m^3/s, kterýžto průtok se zpravidla navrhuje, dle TNV 75 2103 – Úprava řek [12], jako spodní hranice průtoků kynetou. Na základě těchto poznatků bylo třeba navrhnout širší tvar kynety se svahy ve sklonu 1:1,5, který daný průtok pojme. Tvar stávající kynety a berem (černě) a nové stěhovavé kynety s opevněním (červeně) je znázorněn na následujícím schématu (Obrázek 7.2). Podrobné zobrazení a popis se nachází v přílohách A5 – A9.



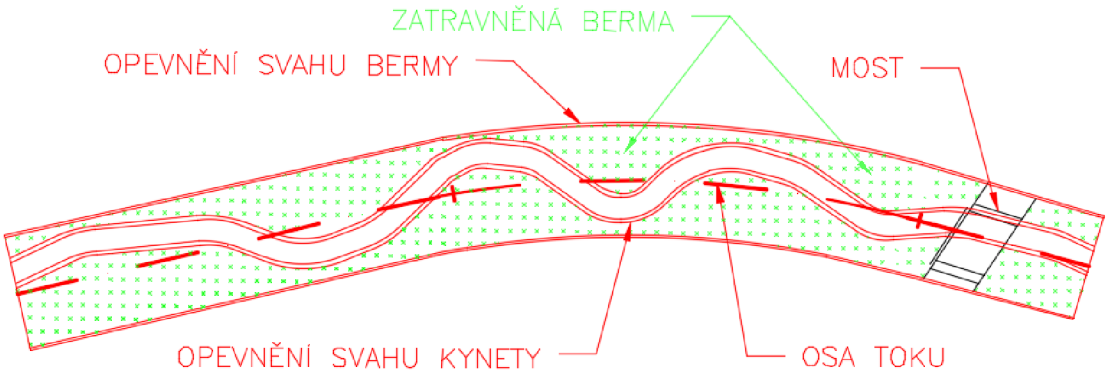
Obrázek 7.2 – Schéma stávající a nově navržené kynety

Opevnění

K opevnění svahu na obou stranách kynety je použita patka z lomového kamene o hmotnosti 80-200 kg, s hrubým urovnáním líce, z prvků s vazbou v podélném i příčném směru. Manningův součinitel drsnosti byl stanoven na n = 0,025. Výška patky (0,6 m) je odvozena od původního dřevěného opevnění, které je touto patkou zcela nahrazeno v upravovaném úseku (ř. km 1,060 – ř. km 2,800). V ř. km 1,060 bude provedeno napojení na stávající dřevěné opevnění svahu viz příloha A1.

Trasa

Navržená trasa kynety nerespektuje původní trasu, která je vedena v ose původní úpravy. Nová trasa se snaží kopírovat přírodě blízký tvar (meandrování) a je vedena prostorem koryta mezi levou a pravou povodňovou zdí. Trasa stěhovavé kynety ve variantě I. je navržena bez možnosti dalšího vývoje. Tvar trasy je schematicky vidět na Obrázku 7.3 a podrobně zobrazen a popsán v přílohách A1, A2.



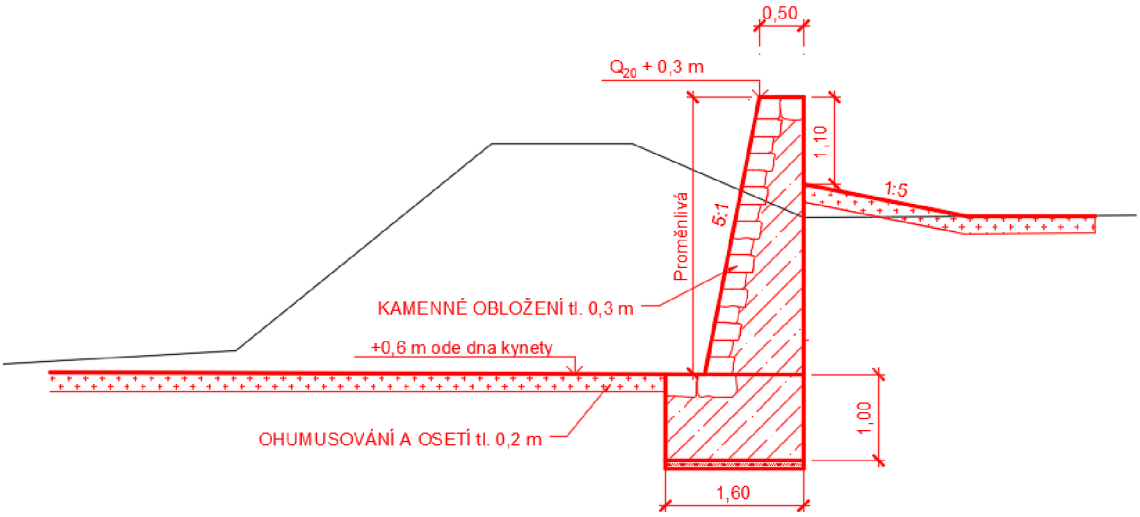
Obrázek 7.3 - Trasa kynety

7.2.3 Opevnění svahu bermy

Břehy toku jsou v současnosti v řešeném úseku (ř. km 1,060 – ř. km 2,800), s výjimkou mostů, navýšeny ochrannou protipovodňovou hrází. Hráz je pro převedení návrhového průtoku $Q_N = Q_{20} = 58{,}1\ m^3/s$ nedostačující (kapitola 5.3.3). Další navýšení hráze není z funkčního ani estetického hlediska možné. Již teď jsou hráze vysoké cca (1,0 – 1,2) m a tvoří v intravilánu obce mohutný prvek. V některých místech dosahují své maximální možné šířky vzhledem k okolní zástavbě.

Po zvážení všech okolností byla navržena stabilní povodňová zeď (ř. km 1,060 – ř. km 2,800) na vnějším okraji ochranných hrází. Celý objem ochranných hrází a svahů na ně navazujících bude odstraněn. Díky tomuto zásahu se výrazně zvýší průtočná plocha koryta čili i jeho retenční schopnost.

Stabilní povodňová zeď bude založena do podloží základem o rozměrech (1,0 x 1,6) m. Návodní líc zdi bude ve sklonu 5:1 a bude opatřen kamenným obložením o tloušťce 0,3 m. Část zdi, která bude vystupovat nad okolní terén, bude ve směru od toku opatřena pohledovým betonem. Zeď je schematicky zobrazena na Obrázku 7.4. Podrobné zobrazení a popis se nachází v přílohách A5 – A9.



Obrázek 7.4 – Schéma stabilní povodňové zdi

7.2.4 Vstup a vjezd do koryta

Pro vstup do koryta je navrženo betonové schodiště, které je součástí stabilní protipovodňové zdi. Schodiště je v povodňové zdi zapuštěno (nepřesahuje do průtočného profilu). Přístup k němu je vyřešen výřezem v povodňové zdi, ve kterém budou po všech stranách zapuštěny drážky ve tvaru U, do kterých se vloží mobilní hradidla (dřevěné nebo hliníkové). Schodiště jsou umístěna na vhodných místech s dobrým přístupem, a to na levém břehu v ř. km 1,314; 1,590; 1,882 a 2,109. Na pravém břehu v ř. km 1,221; 1,280; 2,065 a 2,453. Podrobně zakresleno a popsáno je schodiště v příloze A8.

Pro vjezd do koryta bylo vybráno umístění západně vedle mostu M2 a obecního úřadu, kde vjezd navazuje na silnici Vražné – Jeseník nad Odrou – Hůrka. Výškové osazení terénu je zde vhodné pro přerušení povodňové zdi a vytvoření dlážděného svažitého vjezdu do průtočného profilu. Vjezd je rozměrově koncipován pro průjezd velkých vozidel (nákladní automobil, kráčející bagr…). Objekt je zakreslen v příloze A1 a A2.

7.2.5 Vyústní objekty

Umístění a technické provedení vyústních objektů není v bakalářské práci řešeno. Současný stav je popsán v kapitole 5.1.3. Po rozhovoru s místními obyvateli, při osobní pochůzce, byla zjištěna informace, že se v obci už nachází tlaková kanalizace. Je možné, že některé z vyústí nejsou používány a pro podrobnou projektovou dokumentaci stavby by musela být tato informace zvážena a ověřena.

7.3 VARIANTA II.

Varianta II. vychází ideově z varianty I. Od tohoto se odvíjí stejné principiální řešení téměř všech jednotlivých částí návrhu, které jsou výše popsané u varianty I. V následujícím textu jsou podrobněji rozebrány rozdíly obou verzí.

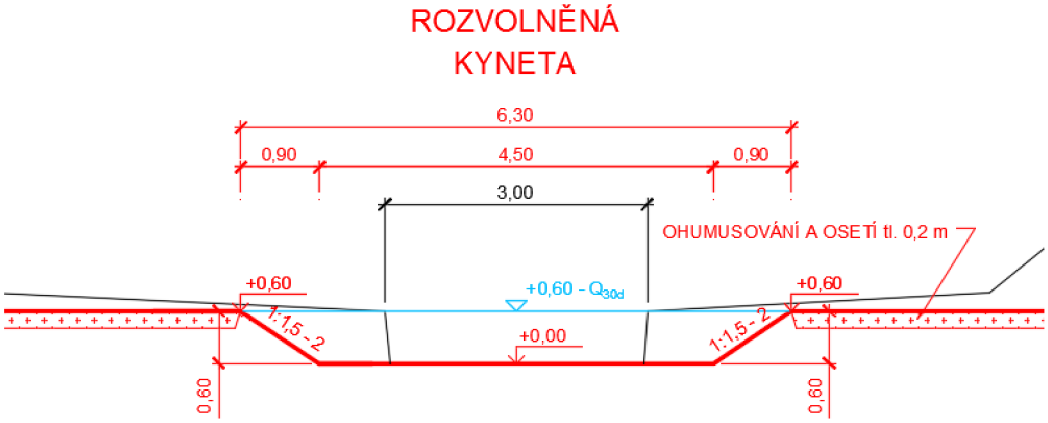
7.3.1 Mosty

Varianta II. také uvažuje s nutným zvednutím mostovek objektů M1 – M4 o 0,5 m nad vypočtenou hladinu návrhového průtoku $Q_N = Q_{20} = 58{,}1\ m^3/s$ (určen v kapitole 7.1.1).

7.3.2 Kyneta

Kyneta je hlavním prvkem návrhu, který je rozdílný od varianty I. Ve variantě II. je navrhnuta rozvolněná stěhovavá kyneta. Na rozdíl od první varianty zde nebudou svahy zpevněny kamennou patkou z lomového kamene. Geometrie zůstává téměř stejná jako ve variantě I, mění se jenom sklon svahů, který není striktně uvažován 1:1,5 ale je v mezích 1:1,5 – 1:2. Manningův součinitel drsnosti svahů se v tomto případě změní jen minimálně,

z drsnosti kamenných patek n = 0,025 na drsnost materiálu dna koryta, n = 0,024 (kapitola 3.2.1). Změny znázorňuje následující schéma (Obrázek 7.5). Podrobně v příloze A10.



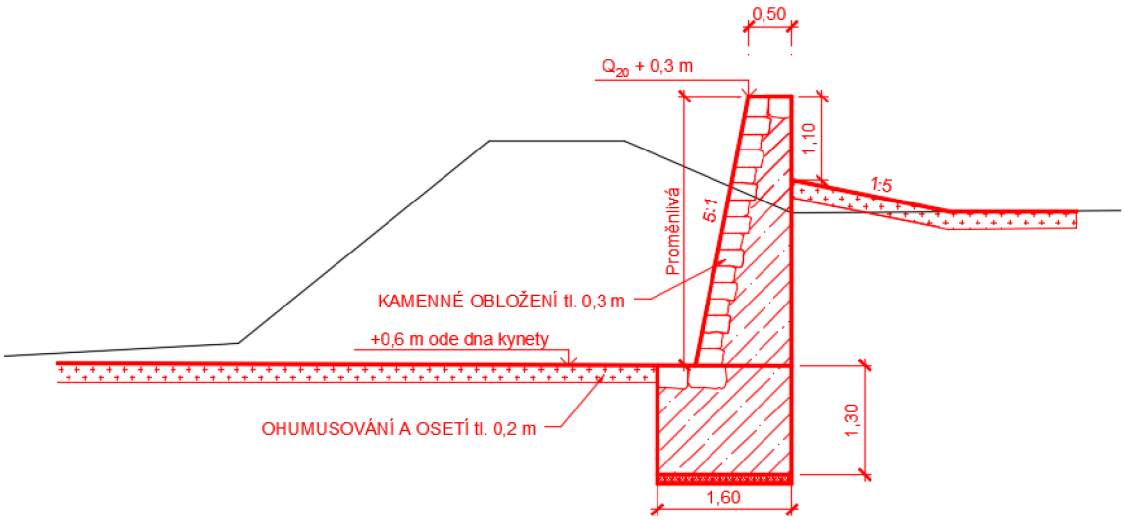
Obrázek 7.5 - Schéma tvaru kynety (varianta II.)

Trasa

Navržená trasa kynety je stejná jako v první variantě. Rozdíl zde můžeme najít v tom, že vývojem času má kyneta možnost samovolně meandrovat, pouze je omezena prostorem mezi statickými povodňovými zdmi. Tento přístup je o něco blíže filozofii přírodně blízkých úprav toků.

7.3.3 Opevnění svahu bermy

Opevnění svahu bermy je navrženo velice podobně jako u varianty I. Jediným rozdílem je zvětšení hloubky založení stabilní povodňové zdi, kvůli absenci kamenné patky ve svazích kynety. Stěhovavá kyneta má umožněn volný pohyb mezi povodňovými zdmi čili se může přiblížit k základům samotné zdi a při malé hloubce základů by je mohla podemlet a hrozil by kolaps povodňové zdi vlivem zatížení zeminy. Stabilní povodňová zeď bude založena do podloží základem o rozměrech (1,3 x 1,6) m. Zeď je schematicky zobrazena na Obrázku 7.6. Podrobné zobrazení a popis je v příloze A10.



Obrázek 7.6 - Schéma stabilní povodňové zdi (varianta II.)

7.3.4 Vstup a vjezd do koryta

Návrh těchto objektů je totožný s Variantou I. Schodiště jsou umístěna na vhodných místech s dobrým přístupem, a to na levém břehu v ř. km 1,314; 1,590; 1,882; 2,109. Na pravém břehu v ř. km 1,221; 1,280; 2,065 a 2,453. Podrobně zakresleno a popsáno je schodiště v příloze A8.

Vjezd do koryta je umístěn na stejném místě jako ve variantě I.

7.3.5 Vyústní objekty

Umístění a technické provedení vyústních objektů není v bakalářské práci podrobně řešeno.

7.4 ZHODNOCENÍ VARIANT

Jelikož se obě navrhované varianty liší pouze v několika rozdílech provedení (celková myšlenka se v obou případech podobá), je třeba se právě zaměřit na tyto drobné rozdíly.

Varianta II. se odlišuje od varianty I. zejména jiným způsobem opevnění svahů kynety. V druhé variantě je místo kamenné patky z lomového kamene navržena rozvolněná stěhovavá kyneta upravená dnovým substrátem. Kdybychom se na tento rozdíl podívali z hlediska ekonomického, tak je zcela jasné, že varianta II. je levnější. Z hlediska prováděcího je také jednodušší provést variantu číslo II. Posledním hlediskem je vrácení k přírodnímu stavu. Na základě tohoto hlediska je zřejmě vhodnější varianta II. Díky ní je umožněno kynetě toku se postupem času volně tvarovat ve vymezeném prostoru.

7.5 ANALÝZA PRŮBĚHU HLADINY PO NAVRŽENÍ PROTIPOVODŇOVÉ OCHRANY

Pro analýzu průběhu hladiny po navržení úprav koryta (varianta I. a varianta II., popsaných v kapitole 7.2 a 7.3) v rámci protipovodňových opatření byly provedeny změny v geometrických datech. Změněny byly příčné profily v úseku navrhované úpravy. Bylo navrženo zvednutí mostovek, které ovlivňovaly hladinu, doplněny drsnosti pro kamennou patu svahu kynety a navrženou povodňovou zeď, která tvoří svah bermy. Drsnost byla stanovena na n = 0,025. Okrajové podmínky zůstaly nezměněny. Analýza byla provedena na návrhový průtok $Q_N = Q_{20} = 58{,}1\ m^3/s$ (určen v kapitole 7.1.1). Výsledky analýzy zobrazuje Tabulka 7.2., ze které vyplývá, že navržená úprava protipovodňové ochrany převede bezpečně návrhový průtok.

Tabulka 7.2 – Analýza výšky hladin v navrženém korytě

Q_{20} = 58,1 m^3/s						
Staničení	**Výšková kóta dna**	**Výšková kóta hladiny**	**Levý břeh**	**Pravý břeh**	**Vybřežení levého břehu**	**Vybřežení pravého břehu**
[km]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[ANO/NE]	[ANO/NE]
0,057	254,10	257,16	257,23	257,19	NE	NE
0,204	254,32	257,68	257,31	257,16	ANO	ANO
0,356	254,50	258,12	257,31	257,28	ANO	ANO
0,467	254,66	258,31	257,65	257,41	ANO	ANO
0,610	254,72	258,51	257,77	257,46	ANO	ANO
0,710	255,04	258,61	257,87	257,46	ANO	ANO
0,857	255,23	258,87	257,70	257,44	ANO	ANO
POČÁTEK ÚPRAVY KORYTA						
1,060	255,50	259,12	259,45	259,45	NE	NE
1,148	255,57	259,13	259,52	259,52	NE	NE
1,262	255,67	259,24	259,57	259,57	NE	NE
1,307	255,70	259,27	259,57	259,57	NE	NE
1,457	255,83	259,29	259,63	259,63	NE	NE
1,562	255,91	259,29	259,63	259,63	NE	NE
1,604	255,95	259,34	259,65	259,65	NE	NE
1,706	256,03	259,35	259,66	259,66	NE	NE
1,826	256,13	259,38	259,68	259,68	NE	NE
1,918	256,20	259,39	259,69	259,69	NE	NE
2,036	256,30	259,36	259,79	259,75	NE	NE
2,049	256,31	259,49	259,79	259,79	NE	NE
2,163	256,40	259,51	259,81	259,81	NE	NE
2,295	256,51	259,53	259,83	259,83	NE	NE
2,378	256,58	259,55	259,85	259,85	NE	NE
2,478	256,66	259,58	259,88	259,88	NE	NE
2,562	256,73	259,6	259,90	259,90	NE	NE
2,604	256,77	259,62	259,92	259,92	NE	NE
2,677	256,83	259,64	259,94	259,94	NE	NE
2,772	256,90	259,64	259,68	260,00	NE	NE
KONEC ÚPRAVY KORYTA						
2,853	256,97	259,58	259,19	259,15	ANO	ANO

8 ZÁVĚR

Předložená bakalářská práce se zabývala podrobným popisem, posouzením a v neposlední řadě ideovým návrhem protipovodňových opatření v řešené lokalitě toku Luha, jež začíná říčním kilometrem 0,000 na soutoku s řekou Odrou a končí v říčním kilometru 2,853; kde tok vstupuje do intravilánu obce Jeseník nad Odrou.

V průběhu práce byla řešená lokalita v rámci posouzení kapacity koryta rozdělena do dvou dílčích úseků, a to od ř. km 0,000 až do ř. km 1,285 a od ř. km 1,285 do ř. km 2,853. V prvním úseku se jako maximální kapacitní průtok ukázal průtok Q_5 = 36,5 m^3/s. Druhý úsek je na tom díky navýšení břehů ochrannou hrází lépe, jako kapacitní průtok byl určen průtok Q_{10} = 47,0 m^3/s. Dle Plánu hlavních povodí České republiky je pro obec Jeseník nad Odrou požadována ochrana na návrhový průtok $Q_N = Q_{20}$ = 58,1 m^3/s – čili jsou oba úseky nedostatečně kapacitní. Malá kapacita koryta v intravilánu obce je částečně zapříčiněna i nevhodným výškovým umístěním čtyř mostů, které tok Luha křižují.

V závislosti na těchto zjištěních a na skutečnosti, že opevnění kynety v intravilánu obce je v dezolátním stavu, byly navrženy dvě varianty soustavné úpravy koryta v úseku od ř. km 1,060 do ř. km 2,800. Na základě porovnání obou variant z ekonomického hlediska, hlediska proveditelnosti a navrácení k přírodě blízkému stavu byla vybrána varianta II. Jedná se o variantu se stabilními povodňovými zdmi a rozvolněnou kynetou.

Závěrem bych chtěl říci, že díky složitým pozemkovým poměrům v okolí toku, (kvůli kterým v současnosti vázne provedení úprav navržených Povodím Odry, státním podnikem) byla snaha se s úpravou koryta pohybovat pouze na pozemcích, které náleží k toku Luha. Zvolený přístup je limitující v rámci úprav pro protipovodňovou ochranu, následkem toho nelze vyhovět požadavkům přírodě blízkých protipovodňových opatření a zároveň převést návrhový průtok Q_{20}. Byl proto zvolen kompromis, který plní funkci protipovodňové ochrany a částečně by posunul koryto toku Luha k přírodě bližšímu stavu, než ho můžeme najít dnes.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

9.1 INTERNETOVÉ ZDROJE

[1] *Vodní hospodářství a ochrana vod.: Hydroekologický informační systém VÚV TGM* [online]. Praha: Výzkumný ústav vodohodpodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce, 1992 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: http://heis.vuv.cz/

[2] *Geologické mapy* [online]. Praha: Česká geologické služba, 2015 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: http://mapy.geology.cz/geocr_25/

[3] *Souhrnné mapy VÚMOP* [online]. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2017 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: http://mapy.vumop.cz/

[5] *ELEKTRONICKÝ DIGITÁLNÍ POVODŇOVÝ PORTÁL: Jeseník nad Odrou* [online]. Praha: EDPP, 2003 [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: https://www.edpp.cz/jno_hydrologicke-udaje/, https://www.edpp.cz/jno_odtokove-pomery/

[6] *Digitální povodňový plán ČR* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2004 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: http://www.dppcr.cz/html_pub/

[7] Atlas hlavních vodních toků povodí Odry. *Povodí Odry* [online]. Ostrava: Povodí Odry, s.p., 2016 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: https://www.pod.cz/atlas_toku/luha.html

[10] VODA V KRAJINĚ: STRATEGIE OCHRANY PŘED NEGATIVNÍMI DOPADY POVODNÍ A EROZNÍMI JEVY PŘÍRODĚ BLÍZKÝMI OPATŘENÍMI V ČESKÉ REPUBLICE. [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2015 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://www.vodavkrajine.cz/

[13] Protipovodňová opatření: Členění protipovodňových opatření dle EU. *Možnosti řešení povodňových situací* [online]. Zlín: Regionální rozvojová agentura Východní Moravy, 2016 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://www.cs-povodne.eu/Protipovodnova-ochrana-a-povodne/Protipovodnova-opatreni

9.2 POUŽITÁ LITERATURA

[4] *Opatření proti povodním a velké opravy a rekonstrukce vodních děl: Pracovní seminář, 5. února 2015*. 1. Praha: Povodí Odry, státní podnik, 2015. ISBN -. ISSN -.

[8] VESELÝ, Jaroslav, Jaroslav MALEŇÁK, Jana PAŘÍLKOVÁ a Zbyněk ZACHOVAL. *Souhrnné hodnocení splaveninového průzkumu hlavních toků v Povodí Odry, s.p.: Granulometrická skladba dna vodních toků v povodí Odry*. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Laboratoř vodohospodářského výzkumu ÚVST, 2008. ISBN -. ISSN -.

[9] DRÁB, Aleš a Jaromír ŘÍHA. *Protipovodňová ochrana: Modul M 01*. 1. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2010. ISBN -. ISSN -.

[11] ČSN 73 6201. *ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA: Projektování mostních objektů*. 1. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2008.

[12] *TNV 75 2103: ÚPRAVY ŘEK*. 1. Praha: Centrum technické normalizace Sweco Hydroprojekt, a.s., 2014.

9.3 FOTODOKUMENTACE

Veškeré obrázky, které nejsou opatřeny citací, byly pořízeny osobně autorem bakalářské práce při pochůzce zájmovou lokalitou.

10 SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1 – Průtoky na ústí Luhy (Zdroj: ČHMÚ 21.8.2000) 15
Tabulka 4.1 – Výška hladiny při průtoku Q_1 29
Tabulka 4.2 – Výška hladiny při průtoku Q_5 30
Tabulka 4.3 – Výška hladiny při průtoku Q_{10} 31
Tabulka 5.1 – Vzdutí a přelití mostovky 35
Tabulka 6.1 – Protipovodňová opatření [13] 37
Tabulka 7.1 – Výškový posun mostovek 41
Tabulka 7.2 – Analýza výšky hladin v navrženém korytě 47

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1 – Vodohospodářská mapa [1] 12

Obrázek 2.2 – Geologická mapa [2] 13

Obrázek 2.3 – Legenda k Obrázku 2.2 [2] 13

Obrázek 2.4 – Mapa klimatických regionů [3] 14

Obrázek 2.5 – Popis jednotlivých regionů. [3] 14

Obrázek 2.6 – Hlásný profil 15

Obrázek 2.7 – Průtoky na hlásném profilu kat. C [5] 15

Obrázek 2.8 – Černá stavba – čerpadlo 16

Obrázek 2.9 – Mapa ploch zatopenými povodněmi Q_{20} a Q_{100} (Q_{20} – tmavě modrá, Q_{100} – světle modrá) [6] 17

Obrázek 3.1 – Zpevnění svahů kynety dřevěným kmeny 18

Obrázek 3.2 – Podrobný popis hrází [5] 19

Obrázek 3.3 – PB a LB hráz u sportovního areálu (pohled proti proudu) 19

Obrázek 3.4 – Úsek s kamenným pohozem (pohled proti proudu) 20

Obrázek 3.5 – Hodnoty procentuálního propadu na čarách zrnitosti pro tok Luha, kde d_m = průměr efektivního zrna [mm], [8] 21

Obrázek 3.6 – Profil koryta v úseku ř. km 0,000 – 1,150 (pohled proti proudu) 21

Obrázek 3.7 – Tvar koryta – kyneta, bermy, hráze (pohled proti proudu) 22

Obrázek 3.8 – Rozestavění spádových stupňů, detail spádového stupně 22

Obrázek 3.9 – Přechod potrubí DN 450 (vlevo) a DN 400 u mostu M2 (vpravo) 23

Obrázek 3.10 - Lávka pro pěší, ř. km 0,709 23

Obrázek 3.11 – Most M1, ř. km 1,285 (pohled proti proudu) 24

Obrázek 3.12 – Most M2, ř. km 1,587 (pohled proti proudu) 24

Obrázek 3.13 – Kovový most M3, ř. km 2,032 (pohled po proudu) 25

Obrázek 3.14 – Dvoupilířový most M4 s přidruženým potrubím DN 450, ř. km 2,579 (pohled proti proudu) 25

Obrázek 3.15 – Vyústní objekty opatřené klapkou 26

Obrázek 4.1 – Měrná křivka v příčném profilu č.1 28

Obrázek 5.1 – Dezolátní stav opevnění kynety 32

Obrázek 5.2 – Podemleté opevnění kynety 32

Obrázek 5.3 – Pohled na PB hrázi ve směru proti proudu 33

Obrázek 5.4 – Zanesený vyústní objekt, zřejmě funkční 33

Obrázek 5.5 – Mapa ploch zatopenými povodněmi [6] (tmavě modrá – Q_{20} dle [6], červeně šrafovaná oblast – přibližná oblast rozlivu při Q_{20} dle hydrotechnických výpočtů) 34

Obrázek 6.1 – Ukázka řešení vstupu do koryta, drážky pro zasunutí mobilních hradidel [9] 39

Obrázek 7.1 – Mapa návrhů opatření na vodních tocích a nivách [10] 40

Obrázek 7.2 – Schéma stávající a nově navržené kynety 42

Obrázek 7.3 - Trasa kynety 43

Obrázek 7.4 – Schéma stabilní povodňové zdi 43

Obrázek 7.5 - Schéma tvaru kynety (varianta II.) 45

Obrázek 7.6 - Schéma stabilní povodňové zdi (varianta II.) 45

12 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ř.km – říční kilometr

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

HEC-RAS – Hydrologic Engineering Centres River Analysis Systém

1D – jednorozměrný model

2D – dvourozměrný model

Q – průtok vody [m^3/s]

Q_{30d} – třicetidenní průtok [m^3/s]

Q_a – průměrný roční průtok [m^3/s]

Q_1 – jednoletý průtok [m^3/s]

Q_2 – dvouletý průtok [m^3/s]

Q_5 – pětiletý průtok [m^3/s]

Q_{10} – desetiletý průtok [m^3/s]

Q_{20} – dvacetiletý průtok[m^3/s]

Q_{100} – stoletý průtok [m^3/s]

Q_N – návrhový průtok [m^3/s]

n – Manningův součinitel drsnosti koryta [-]

PB – pravobřežní

LB – levobřežní

13 SEZNAM PŘÍLOH

A1 – Podrobná situace toku, od km 0,000 do km 1,550	1:2000
A2 – Podrobná situace toku, od km 1,550 do km 3,000	1:2000
A3 – Přehledný podélný profil současného toku	1:2000/100
A4 – Podrobný podélný profil toku s navrženou úpravou	1:2000/100
A5 – Vzorový příčný řez č. 1 (Varianta I.)	1:50
A6 – Vzorový příčný řez č. 2 (Varianta I.)	1:50
A7 – Vzorový příčný řez č. 3 (Varianta I.)	1:50
A8 – Vzorový příčný řez č. 4 (Varianta I.)	1:50
A9 – Vzorový příčný řez č. 5 (Varianta I.)	1:50
A10 – Vzorový příčný řez č. 1 (Varianta II.)	1:50