



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

NÁVRH OPATŘENÍ PRO ÚPRAVU ODTOKOVÝCH POMĚRŮ V PROSTORU MĚSTA LETOVIC

REMEDICATION MEASURES PROPOSAL FOR TREATMENT OF RUNOFF
IN LETOVIC

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Veronika Brázdová

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ JULÍNEK, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	N3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
PRACOVÍŠTĚ	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT	Bc. Veronika Brázdová
NÁZEV	Návrh opatření pro úpravu odtokových poměrů v prostoru města Letovic
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	Ing. Tomáš Julínek, Ph.D.
DATUM ZADÁNÍ	31. 3. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

.....
prof. Ing. Jan Šulc, CSc.

Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA

Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- Fukuoka, Shoji: Floodplain Risk Management, A.A, Balkema, Rotterdam, 1998
Gabriel a kol. 1989. Jezy, SNTL, Praha, 1989.
Jandora, J., Stara, V., Starý, M. 2002. Hydraulika a hydrologie, VUT Brno, 2002.
Konvička, M. a kol.: Město a povodeň, ERA group s.r.o. Brno, 2002
Maleňák, J., Podsedník, O. Šlezinger, M. 2002. Vodní stavby I, VUT Brno, 2002.
Raplík, M., Výbora, P., Mareš, K. 1989. Úprava tokov, Alfa, Praha, 1989.
Říha, J. editor: Riziková analýza záplavových území, ECON publishing, s.r.o., 2002
Šlezinger, M. 1996. Vegetační doprovod vodních toků a nádrží, VUT Brno, 1996.
Kol. autorů: Extrémní hydrologické jevy v povodích - monografie projektu GAČR 103/99/1470, , 2002

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Práce se zaměřuje na návrh opatření na vodních tocích v Letovicích. Jedná se o toky Svitava, Křetínka, jejich přítok a propojení městským náhonem. Hodnocení se bude zaměřovat na následující okruhy:

- kapacita koryta a stávajících objektů na tocích při zohlednění vývoje hydrologických dat pro zájmovou lokalitu
- návrh možných opatření ve vztahu k již realizovaným stavbám (PPO na Svitavě)
- hodnocení rozsahu rozlivu,
- možnosti úprav stávajících objektů (stavidla na náhonu, spádový stupeň) a návrh dalších nových objektů, které mohou ovlivnit odtokové poměry
- posouzení a návrh nakládání s vnitřními vodami.

Obsahem práce bude jednak popisná část shrnující obecné teoretické aspekty a především stávající podmínky v daném vodohospodářském uzlu a část návrhovou včetně hydrotechnických výpočtů a výkresových a mapových příloh.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

.....

Ing. Tomáš Julínek, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zaměřuje na posouzení a návrh protipovodňového opatření ve smyslu manipulace s objekty a převodem vnitřních vod v daném zájmovém území. Jedná se o úsek v intravilánu města Letovice, přesněji od soutoku Svitavy km 59.608 – 61.520 a Křetínky km 0.000 – 1.752 a náhonu mezi nimi. Na výpočet průběhu hladin je použit program MIKE 11, vyvinutý Dánským hydraulickým institutem, pro výpočet nerovnoměrného proudění.

KLÍČOVÁ SLOVA

Povodeň, protipovodňová opatření, MIKE 11, Svitava, Křetínka, nestructurální opatření

ABSTRACT

Diploma thesis deals with design of a flood protection and controlling structures with respect to the problem of inner waters in the area of interest. The river reaches assessed are located mostly in the urban area of the city Letovice, more precisely from the junction of the Svitava and Křetínka river. The reaches are at kilometer 59,608 – 61,520 of the Svitava and kilometer 0-1,752 of the Křetínka river including the reach between them. Program MIKE 11 (developed by Danish hydraulic institut) was used to calculate the water levels as nonuniform flow.

KEYWORDS

Flood, flood protection measures, MIKE 11, Svitava, Křetínka, nonstructural measures

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Veronika Brázdová *Návrh opatření pro úpravu odtokových poměrů v prostoru města Letovic*. Brno, 2016. 74 s., 11 s.příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Tomáš Julínek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 13. 1. 2017

Bc. Veronika Brázdová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 13. 1. 2017

Bc. Veronika Brázdová
autor práce

OBSAH

1	ÚVOD	4
2	CÍLE PRÁCE	5
3	SRÁŽKOOTOKOVÉ POMĚRY	5
3.1	Povodně u nás	7
4	PROTIPOVODŇOVÁ OCHRANA	9
4.1	Technická protipovodňová opatření.....	10
4.2	Přirozená retence.....	10
4.3	Nestrukturální opatření	11
4.4	Vodohospodářské řešení	11
4.5	Návrh pohyblivého jezu	12
4.6	Ustálené proudění v otevřených korytech	15
5	POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	17
5.1	Popis města Letovice a širšího okolí.....	17
5.2	Charakteristika povodí	17
5.2.1	Svitava	17
5.2.2	Křetínka	18
5.2.3	Ostatní přítoky v zájmovém území.....	19
5.3	Historické povodně	19
5.4	Stávající stav PPO	21
6	VSTUPNÍ DATA A JEJICH ANALÝZA	24
6.1	Geometrická data	24
6.1.1	Zaměření toků.....	24
6.1.2	Mosty.....	24
6.1.3	Vzdouvací objekty.....	31
6.1.4	Kanalizace	38
6.2	Hydrologické údaje.....	40
6.2.1	Svitava	40
6.2.2	Křetínka	41

7	HYDRAULICKÉ VÝPOČTY	42
7.1	MIKE 11.....	42
7.2	Geometrické údaje.....	42
7.2.1	Zakreslení sítě (Network Editor)	43
7.2.2	Příčné řezy (Cross Section Editor)	48
7.3	Okrajové podmínky (Boundary Editor).....	49
7.4	Hydrodynamické parametry	49
7.5	Kalibrace	49
8	MODELOVÉ ŘEŠENÍ.....	51
8.1	Návrh pohyblivého jezu	52
8.2	Zkapacitnění Křetínky	53
8.3	Řešené scénáře	Chyba! Záložka není definována.
8.4	Varianta 0.....	56
8.4.1	Scénář 1 - Var 0.....	56
8.4.2	Scénář 2 - Var 0	57
8.4.3	Scénář 3 - Var 0	57
8.4.4	Scénář 4 - Var 0	58
8.5	Varianta 1.....	58
8.5.1	Scénář 1 - Var 1	59
8.5.2	Scénář 2 - Var 1	59
8.5.3	Scénář 3 - Var 1	59
8.5.4	Scénář 4 - Var 1	60
8.6	Varianta 2.....	60
8.6.1	Scénář 1 - Var 2	60
8.6.2	Scénář 2 - Var 2	60
8.6.3	Scénář 3 - Var 2	61
8.6.4	Scénář 4 - Var 2	61
8.7	Porovnání variant pro jednotlivé scénáře	61
8.8	nakládání s vnitřními vodami.....	64
8.9	Další možná řešení.....	65
9	ZÁVĚR	67
10	ZDROJE.....	69
11	SEZNAM TABULEK	71

12	SEZNAM OBRÁZKŮ	72
13	SEZNAM ZKRATEK	74
14	SEZNAM PŘÍLOH.....	76

1 ÚVOD

Jedním z největších přírodních rizik ohrožení majetku a životů obyvatel jsou povodně. Zvýšené průtoky jsou v přírodě přirozenou věcí, která je v některých případech ku prospěchu okolního ekosystému. Kontrolování průtoků a jejich soustředování do koryt začalo až s osídlením okolí toků. Lidé měli vždy tendenci obývat území blízko potoků a řek. Bylo to tak z důvodu zdroje vody a většinou úrodné půdy v okolních nivách. Budovy zde vystavěné tedy vyžadují ochranu před velkou vodou.

Povodně se definují dle Vodního zákona č. 254/2001 Sb. jako: „Přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody. Povodní je i stav, kdy voda může způsobit škody tím, že z určitého území nemůže dočasně přirozeným způsobem odtékat nebo její odtok je nedostatečný, případně dochází k zaplavení území při soustředěném odtoku srážkových vod.“. Téma povodní je v této době stále diskutované a pozornost se tedy zaměřuje na strukturální a nestructurální povodňové opatření. Tato práce se zaměřuje na posouzení povodňové ochrany území vintravilánu města Letovice. Jedná se o úseky toků Svitavy v km 59.608 – 61.520 a Křetínky v km 0.000 – 1.752. Součástí řešení je i náhon mezi nimi a zároveň i hodnocení a návrh strukturálních i nestructurálních opatření, které zahrnuje jak ověření kapacity koryt za stávajícího stavu, tak i návrh na vhodná protipovodňová opatření včetně možností manipulace. Pro výpočet průběhu hladin je použit program MIKE 11, vyvinutý Dánským hydraulickým institutem, pro výpočet neustáleného nerovnoměrného proudění.

2 CÍLE PRÁCE

Tato práce se zaměřuje na posouzení možností povodňové ochrany intravilánu města Letovic v prostoru na soutoku Svitavy a Křetínky. Jedná se o úseky v km 59.608 – 61.520 na Svitavě a km 0.000 – 1.752 na Křetínce včetně náhonu mezi nimi. V rámci šetření je třeba provést návrh strukturálních i nestrukturálních opatření, která povedou ke zvýšení ochrany území. Cílem je ověřit stávající stav a navrhnout opatření s důrazem na manipulační postupy na objektech v zájmovém území. Výsledkem práce budou i doporučení pro nestrukturální opatření, tj. manipulační postupy a také strukturální opatření, tj. návrh objektů na tocích a protipovodňových staveb.

3 SRÁŽKODTOKOVÉ POMĚRY

Srážkoodtokový proces (Obr. 1) je vždy spojen s konkrétním povodím. Na území České republiky je množství vod ovlivněno srážkovými procesy. Jelikož je Česká republika významnou rozvodnicí a všechna voda je odváděna na území sousedních států, je důležitá snaha o co největší akumulaci vod a s jejich racionálním zacházením.

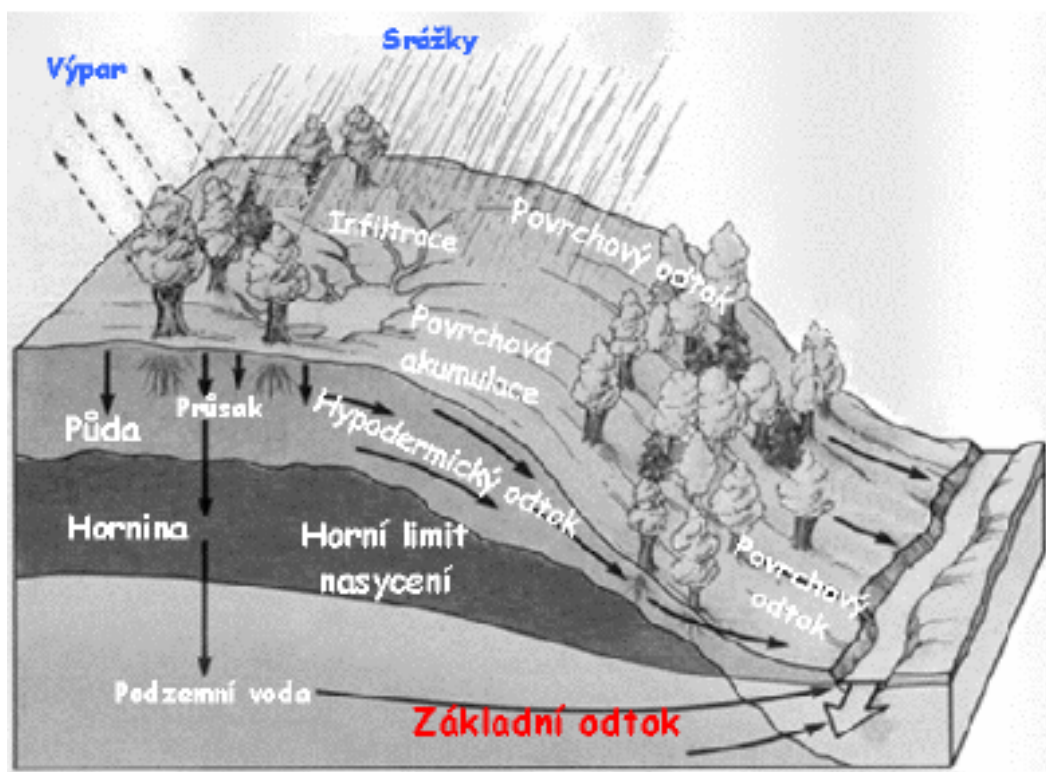
Srážkoodtokovým procesem se rozumí transformace srážky dopadající na povodí, až po odtok ze závěrečného profilu. Proces ovlivňují mnozí činitelé, z nichž nejdůležitější jsou klimatičtí a geografičtí.[1]

Mezi geografické činitele patří:

- plocha povodí
- nadmořská výška
- tvar povodí
- reliéf terénu
- dispozice umístění říční sítě
- vegetační pokryv, využití území, atd.[1]

Mezi klimatické faktory patří:

- časový a prostorový průběh srážkové události a následné povodňové vlny
- doba a intenzita slunečního záření
- teplota a vlhkost vzduchu
- intenzita výměny vzdušných mas[1]



Obr.1 - Srážkoodtokový proces [1]

Vlastní srážkoodtokový proces se skládá z transformace odtoku na úrovni hydrologické (tj. na ploše povodí) a hydraulické (tj. odtok po povrchu a v síti povrchových toků). Hydrologická transformace představuje objem srážek spadlých na plochu povodí, od kterých jsou postupně odečítány ztráty (evapotranspirace, interceptce, navlhání, infiltrace a ztráta povrchovou retencí). Po této fázi nastává povrchový odtok a s tím spojená hydraulická transformace. Odtok se postupně koncentruje v povrchových rýhách a následně v síti povrchových toků, až do závěrečného profilu. Část jeho ztráty tvoří podpovrchový odtok a dotace podzemních vod. [1]

Matematické modelování procesu je často velmi obtížné. Ne vždy lze jít s těmito řešeními do detailů, a to hlavně kvůli velkému počtu proměnných a nedostatku potřebných dat. [1]

3.1 POVODNĚ U NÁS

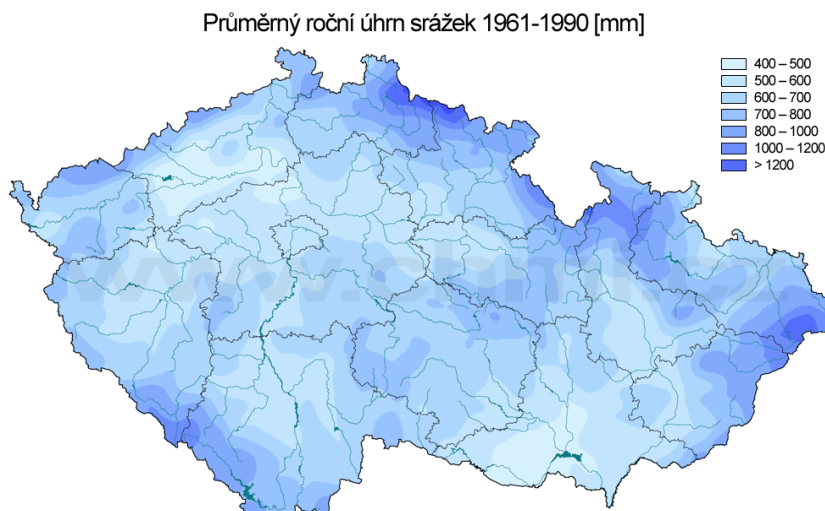
V České republice jsou dva hlavní faktory, ovlivňující množství vod v krajině. Prvním faktorem je úhrn srážek, který se dá určit z průměrného srážkového úhrnu z historických dat. Druhým faktorem je nakládání s vodami z hlediska retenční schopnosti krajiny, které je v dnešní době velmi diskutované. [2]

Povodně lze rozdělit na přírodní a zvláštní. Přírodní povodně jsou způsobeny srážkami, táním ledu nebo zahrazením koryta překážkou (ledochod, atd.). Povodeň nastává při překročení kapacity koryta, které zasáhne větší úsek toku. V určitých situacích může být zaplavení způsobeno lokálně, a to zahrazením nebo zúžením koryta.

Dalším typem je tzv. „zvláštní povodeň“. Ta se objevuje po protržení přehrady nebo ochranné hráze a vyvolává většinou větší škody, než povodeň přírodní. [2]

Srážky, které způsobují povodně, můžeme dělit na regionální deště nebo na deště přívalové. Regionální deště jsou charakterizovány menší intenzitou, velkou plochou a dlouhodobým trváním. V nížinách většinou nepřesahují hodnotu 80 mm za den. Ve vyšších oblastech jsou hodnoty podstatně jiné, a mohou dosahovat až hodnoty 340 mm za den. Příčinou povodně, u regionálních dešťů, je vyčerpání retenční schopnosti půdy, kterou vytrvalý déšť nasytí a voda pak odtéká povrchovým odtokem přímo do koryta toku. Tyto povodně způsobují rozsáhlé povodně v povodí. [3] Průměrný roční úhrn v České republice je znázorněn na Obr. 2.

Přívalové deště jsou charakterizovány kratší dobou trvání, malou plochou a větší intenzitou srážky. Tento typ srážek ovlivňuje hlavně malé povodí a způsobuje tzv. bleskové povodně. Má za následek prudké rozvodnění malých toků a u hospodářských ploch největší odnos ornice. [3]



Obr.2 - Průměrný roční úhrn srážek [2]

Na území Letovic lze předpokládat vznik všech druhů přírodních povodní. Z hlediska vzniku povodně vlivem regionálních srážek mohou být zasaženy všechny toky na území, avšak riziko je větší u významnějších vodních toků. Na řece Křetínce je nebezpečí přirozených povodní mírněno vodním dílem Letovice. Hlavním rizikem vzniku povodní však zůstává řeka Svitava. Město je také ohrožováno možností vzniku bleskových povodní na menších tocích (především přítoky Svitavy). [4]

4 PROTIPOVODŇOVÁ OCHRANA

Povodně se vyskytují nepravidelně a s různou intenzitou. Mezi přírodními živly u nás představují největší riziko ohrožení obyvatel a majetku.

Podle **Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik** lze povodeň definovat jako: „Povodní se rozumí dočasné zaplavení území, které obvykle není vodou zaplaveno. Tento pojem zahrnuje povodně způsobené řekami, horskými bystřinami, občasnými vodními toky ve Středomoří a záplavy z moří v pobřežních oblastech a nemusí zahrnovat povodně způsobené kanalizačními systémy.“[5]

„Plány pro zvládání povodňových rizik by měly být zaměřeny na prevenci, ochranu a připravenost. S cílem zajistit řekám větší prostor by se měly ve vhodných případech zabývat zachováním nebo obnovením záplavových území a opatřeními pro prevenci a omezení škod na lidském zdraví, životním prostředí, kulturním dědictví a ekonomické činnosti. Prvky plánů pro zvládání povodňových rizik je třeba pravidelně přezkoumávat a v případě potřeby aktualizovat, s přihlédnutím k pravděpodobným účinkům změny klimatu na výskyt povodní.“ [6]

Definice povodně je podle **Vodního zákona 254/2001 Sb.**: „Přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody.“

Mezi povodňové zabezpečovací práce dle tohoto zákona patří:

- odstraňování překážek ve vodním toku a v profilu objektů (propustky, mosty) znemožňujících plynulý odtok vody
- rozrušování ledových nápěchů a zácp ve vodním toku
- ochrana koryta a břehů proti narušování povodňovým průtokem a zajišťování břehových nátrží
- opatření proti přelití nebo protržení ochranných hrází
- opatření proti přelití nebo protržení hrází vodních děl zadržujících vodu
- provizorní uzavírání protržených hrází
- instalace protipovodňových zábran
- opatření proti zpětnému vzduť vody, zejména do kanalizací
- opatření k omezení znečištění vody
- opatření zajišťující stabilizaci území před sesuvy[7]

Jako orientační hodnoty pro návrh protipovodňové ochrany se mohou použít hodnoty z Tab. 1. Při výběru stanovení míry ochrany ovšem záleží na mnoha jiných aspektech, které se musí zohlednit.

Tab.1 - Návrhové průtoky pro stanovení míry ochrany [5]

Druh přilehlých pozemků	Návrhový průtok
Historická zástavba	$\geq Q_{100}$
Veřejné komunikace	Dle významu Q_{20} až
Souvislá zástavba, významné průmyslové areály	Q_{100}
Větší sídliště, výrobní objekty	Q_{50} až Q_{100}
Menší sídliště	Q_{20} až Q_{50}
Účelové komunikace	Q_{10} až Q_{50}
Sady, zahrady, chmelnice	Q_{10}
Orná půda	Q_5
Louky, lesy, pastviny	Q_{30d} až Q_1

4.1 TECHNICKÁ PROTIPOVODŇOVÁ OPATŘENÍ

Technická opatření se vyznačují okamžitou odezvou po vybudování a jejich účinek je možné dobře kvantifikovat. Jsou známy jejich negativní účinky, slabá místa a rizikové faktory. Technická opatření zahrnují zejména zajištění dostatečné kapacity koryta toků, stabilitu dna a břehů koryt, zvýšení retenční schopnosti a transformaci objemu povodňové vlny v prostoru i čase. [5]

Zvýšení kapacity koryta se provádí zvětšením průtočného profilu, a to:

- úpravou sklonových poměrů
- rozšířením koryta
- zkapacitněním objektů na tocích (stupňů, jezů, mostů, atd.) [5]

Dalším technickým opatřením jsou ochranné hráze. Účelem ochranných hrází je soustředit vysoké průtoky do mezihrází a zabránit rozlití do více využívaného území. Budují se jen v případě, že nelze jiným způsobem zkapacitnit koryto toku. Dříve bylo trendem navrhovat tyto stavby empiricky bez znalostí hydrauliky a mechaniky zemin, rozvoj nastal až v polovině 20. století. V dnešní době je trendem využívat záplavových území a její retenční schopnosti. Hráze navíc nejde dimenzovat na extrémní průtoky kvůli ekonomické náročnosti. Podobný účel jako ochranné hráze mají povodňové zdi, které mohou být stabilní, mobilní či kombinované. [5]

4.2 PŘIROZENÁ RETENCE

Protipovodňová opatření ve smyslu zvýšení přirozené retence v povodí se můžou zařadit do podskupiny technických opatření. Zahrnují především úpravy pro zvýšení retenční schopnosti území a zvýšení jeho infiltračních schopností. Tato opatření se budují v rámci pozemkových úprav a studií protierozní ochrany území. Opatření mají však smysl jen při povodních s menší intenzitou (Q_{10} až Q_{20}). Přirozené retence můžeme dosáhnout pomocí organizačních, agrotechnických nebo biotechnických opatření. Jako praktické příklady se dají uvést: tvar a velikost pozemku, ochranné

zatravnění a zalesnění, sadba protierozních plodin, směr výsadby, hrázkování povrchu, zasakovací pásy, průlehy, terasování, atd. [5]

4.3 NESTRUKTURÁLNÍ OPATŘENÍ

Nestrukturální opatření zahrnují především operativní opatření a organizování při havarijních stavech. Obsahují kvalifikované hydrologické předpovědi povodňových situací, hlásná a povodňová služba, organizace evakuačních a záchranných prací, územní plánování, atd. [5]

4.4 VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ

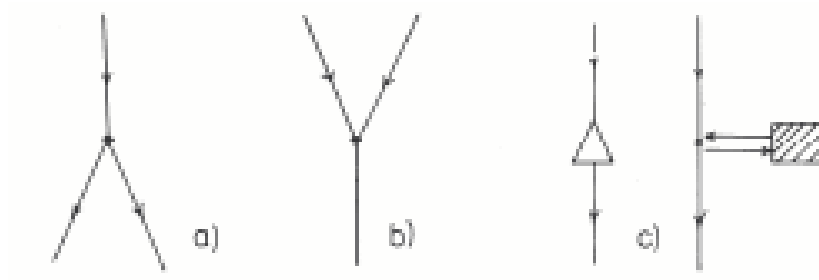
Vodohospodářské soustavy slouží k řízené manipulaci vody a přizpůsobení odtokového režimu pro potřeby společnosti. Základem pro návrh je analýza mezi přirozeným odtokem, prostředkem pro regulování a výsledným odtokem. Odtok lze regulovat po celé ploše povodí nebo v realizaci opatření v samotném toku. Základním hydrologickým podkladem, o skutečném průtoku profilem, je průtoková řada stanovená na základě měření. [8]

Nádrž je obecně omezený prostor určený k shromažďování vody za účelem jejího pozdějšího využití, zachycení a transformaci povodňových průtoků nebo k ochraně území pod nádrží. Nádrže jsou prvky k regulaci vody tak, aby nevybočila z požadovaného rozpětí. [8]

Vodohospodářským řešením se rozumí soubor vodohospodářských prvků se vzájemnými vazbami. Vyrovnání kapacity se provádí pomocí vodohospodářských zařízení, sloužících k dopravě vody a regulaci jako:

- jímací a odběrné objekty
- kanály a přivaděče
- čerpací stanice[8]

Základem řešení je vyznačit na zkoumaném úseku řadu uzlů řízení (Obr. 3), ve kterých se dělí nebo skládá průtok. [8]



Obr.3 - Příklad uzlů řízení[8]

Dalším krokem je definovat systém. Pro ochranu před velkými vodami je vhodný systém konstrukce orientovaného grafu (rozdělení na vodní zdroje a uzly) a následné ohodnocení grafu. Tok vody hranami grafu se vypočítá podle základní rovnice pro neustálené proudění v neprizmatických korytech. [8]

Na zájmovém území se bude řešit systém několika objektů. Jedná se o soutok dvou toků, Křetínky a Svitavy. Na řece Křetínce se nachází významné vodohospodářské dílo Vodní nádrž Letovice, které transformuje povodňovou vlnu. Nádrž má ovladatelný průtok spodní výpustí do $7 \text{ m}^3/\text{s}$. Po překročení tohoto průtoku se spodní výpusti zavírají a odtok se realizuje pouze přelivem. Hodnoty pro jednotlivé n-leté průtoky jsou uvedeny níže, v hydrologických podkladech. Na řece Svitavě se nachází stavidlový jez, který slouží k akumulaci vody pro technologické účely vlastníka díla. V případě povodně se postupně zvedá stavidlo pro udržení hladiny 372.02. Pokud už nelze hladinu dále regulovat stavidlo se zcela vyhradí. Na náhonu mezi Křetínkou a Svitavou se nachází celkem 3 stavidla.

Jako řešení pro zmírnění povodňových škod se předpokládá návrh pohyblivého jezu na Křetínce v místě nátoku do náhonu. Dále bude systém doplněn o čerpání, které zajistí možnost nakládání s vnitřními vodami.



Obr.4–Říční síť v zájmovém území

4.5 NÁVRH POHYBLIVÉHO JEZU

Účelem jezové konstrukce je vzdouvat úroveň hladiny na požadovanou hodnotu, aby bylo možné zabezpečit různé vodohospodářské potřeby. Důvodem výstavby jezu bývá malá hloubka v korytě nebo velká rozkolísanost hladiny během roku. [9]

Pro samotný návrh je třeba stanovit umístění jezu, hladinu stálého vzduť a spád jezu. Musí se brát ohled na životní prostředí, rybářství, urbanistické a hygienické požadavky. Teprve na základě analýzy všech aspektů lze dosáhnout optimálního řešení. [9]

Umístění jezu závisí na jeho účelu a na respektování tvaru říčního toku. Jez je ve většině případů umístěn ve zlomech v niveletě, přímé trase či na začátku oblouku. Založení je vhodné vždy v místě skalního podloží. Rozhodujícím faktorem bývá míra vzduť hladiny. Její stanovení je složitou inženýrskou úlohou, která se týká všech vlastníků dotčených pozemků. Také je nutné brát ohled na manipulace v přilehlých zdržích, průtokové poměry v mostních profilech a možnost odběrů. [9]

Při návrhu jezu je nutné stanovit průtok přes samotný jez. Ten může být obtékaný nebo neobtékaný. Ze stavebního hlediska lze rozdělit jezy na pevné a pohyblivé. Návrh typu konstrukce vyplývá ze zhodnocení hydraulických a hydrologických podmínek v uvažované lokalitě, profilu toku, z charakteru okolního území a účelu jezu. Návrhový průtok přes jez se stanoví vzhledem k lokalitě a charakteru území. Jako orientační se použijí hodnoty v Tab. 2.. [9]

Tab.2 - Doporučené návrhové průtoky pro jezy [9]

Q_N	Druh pozemku
Q_{100}	Intravilány obcí a průmyslových oblastí
Q_{50}	Průmyslové zemědělské oblasti
$Q_1 - Q_{50}$	Zemědělské oblasti
Q_{10}	Lesní a luční oblasti

Základní požadavky pro návrh jezu:

Pevný jez

- jez nebude zanášen splaveninami (návrh šterkové propusti)
- HSV bude v úrovni, která vyhovuje všem kritériím
- nedochází k nežádoucím rozlivům
- jezové těleso je přibližně rovno šířce koryta[9]

Pohyblivý jez

- KLAPKOVÝ JEZ – pro jemnou regulaci horní hladiny (navrhuje se do výšky 8 m)
- SEGMENTOVÝ JEZ – pro propouštění splavenin pod jezem (výšky víc 1,5 m)
- TABULOVÝ JEZ – navrhuje se tam, kde se vyžaduje propouštění splavenin (do výšky 8 m)
- VAKOVÝ JEZ – pro toky bez výrazného splaveninového režimu (do výšky 7 m) [9]

Pohyblivý jez je tvořen pevnou spodní stavbou, na které jsou uloženy uzávěry. Většinou je rozdělena pilíři na jednotlivá jezová pole. Doporučena jsou dvě jezová pole kvůli opravám. Jedno se navrhuje pouze výjimečně. Pohyblivé jezy vzdouvají hladinu vody na požadovanou úroveň, většinou na konstantní úrovni. Na definované úrovni (obvykle HSV) se udržují při zvýšení průtoku manipulací s uzávěrem. Po vyčerpání kapacity se pohyblivý jez chová obdobně jako jez pevný. Při návrhu je také důležitý tvar obtékaných pilířů, který bývá přizpůsoben tvaru pohyblivé konstrukce. [9]

Hydrotechnické výpočty

Základní rozměry se stanoví na základě hydrotechnických výpočtů, které vychází z vodohospodářské koncepce (HSV, nejvyšší hladina, rozdíl nivelety před a za jezem, tlumení energie proudu). Musí se rozhodnout o ovlivnění životního prostředí stavbou. [9]

Jezovým profilem musí být bezpečně převeden návrhový průtok Q_N . Jeho velikost se volí jako výhledová kapacita toku nad navrhovaným objektem. U pohyblivých jezů se návrhový průtok zpravidla převádí všemi vyhrazenými jezovými poli. Proto musí být v návrhu zajištěno vyhrazení uzávěrů v požadovaném čase. U zdvižných uzávěrů musí být hrany minimálně 1 m nad hladinou. [9]

Hladina HSV je dána účelem jezu. Při výpočtu šířky přelivu vycházíme z požadovaného průtoku, který musí být jezem bezpečně převeden. Při výpočtu vycházíme ze základní rovnice pro stanovení průtoku přes jez:

$$Q_N = \sigma_z \sigma_\xi m b_o \sqrt{2gh_o}^{3/2} \quad (4.1)$$

Q_N návrhový průtok $[m^3/s]$

σ_z součinitel zatopení $[-]$

σ_ξ součinitel šikmosti $[-]$

m součinitel přepadu $[-]$

b_o účinná šířka přepadu $[m]$ [9]

Při přepadu přes hradicí uzávěr se mění jeho výška a často také tvar přelivné hrany. Proto se mění i hodnota přepadového součinitelem. [9]

Při přepadu přes hradicí konstrukci je třeba tlumit kinetickou energii přepadajícího paprsku, který by způsoboval pod konstrukcí výmol. Pod jezem dochází k přechodu z bystrinného proudění do říčního vodním skokem. Nejvýhodnější k utlumení energie je záměrné vytvoření vzdutého vodního skoku v prohloubeném vývaru. Jinou možností je rozdělení proudu rozrážeči nebo zdrsněním koryta. [9]

4.6 USTÁLENÉ PROUDĚNÍ V OTEVŘENÝCH KORYTECH

Při ustáleném proudění se průtok, průřezová rychlost, průtočná plocha v čase nemění. Ustálené proudění se dělí na rovnoměrné a nerovnoměrné. Rovnoměrné proudění se vyskytuje jen u umělých prizmatických koryt a v přírodě se téměř nevyskytuje. U přirozených koryt se každá změna šířky, sklonu dna či překážka v toku může projevit na změně polohy hladiny. K tomu se připojuje časová nestálost tvaru koryta, kdy dochází k vymílání nebo zanášení toku. [10]

Výpočet průřezové rychlosti se stanoví podle Chézyho rovnice pro rovnoměrné ustálené proudění:

$$v = C\sqrt{Ri} \quad R = \frac{S}{O} \quad (4.2)$$

C	rychlostní součinitel	$[m^{0,5}/s]$
R	hydraulický poloměr	$[m]$
i	sklon čáry energie	$[-]$
S	průtočná plocha	$[m^2]$
O	omočený obvod	$[m]$

Pro rychlostní součinitel C výzkum předložil velké množství vztahů, které jsou většinou empiricky získané z vyhodnocení měření v přírodě nebo na modelech. V našich podmínkách jsou nejčastěji používané vztahy dle Manninga, Stricklera a Pavlovského. [10]

$$\text{Pavlovsky:} \quad C = \frac{1}{n}R^y \quad y = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0.1) \quad (4.1)$$

n – drsnostní součinitel $[-]$

$$\text{Strickler:} \quad v = k_s R^{2/3} i^{1/2} \quad k_s = \frac{21.1}{\sqrt[6]{d_s}} \quad (4.2)$$

d_s – 55% hodnota zrna na zrnitostní křivce

$$\text{Manning:} \quad C = \frac{1}{n}R^{1/6} \quad (4.3)$$

[10]

Drsnostní součinitel n se volí podle druhu dnových materiálů a stavu koryta. Hodnotu je možno odhadnout za použití literatury na základě osobní prohlídky.[10]

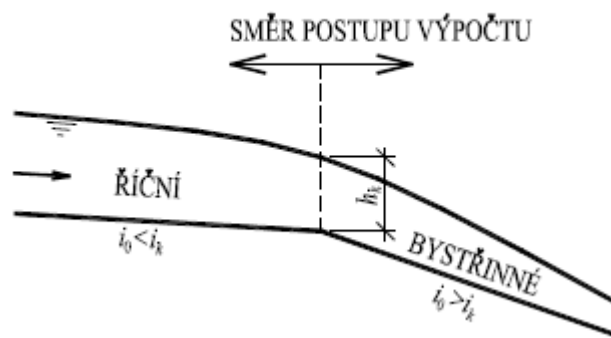
Při nerovnoměrném ustáleném proudění je průtok konstantní a v prostoru (po délce) se mění průřezová rychlost, plocha, sklon koryta, atd. Při tomto proudění dochází ke ztrátám energie místním a ztrátám tření po délce. Postaví-li se v proudu překážka, dochází k vzduť hladiny, nazývaná křivka vzduť. V opačném případě, kdy se například postaví stupeň ve dně, vytvoří hladina křivku snížení. V přirozených korytech se velikost profilů mění a dochází tedy ke sledu křivek vzduť a snížení.

Nerovnoměrný pohyb se řeší tzv. metodou po úsecích, kdy se koryto rozdělí po délkách ΔL_j . Změny hladiny Δh_j se vypočítají podle vztahu odvozeného z Bernoulliho rovnice:

$$\Delta h_j = \frac{\alpha(v_{i+1}^2 - v_i^2)}{2g} + h_{zj} \quad (4.6)$$

$$h_{zj} - \text{celková ztráta výšky na úseku } j \quad h_{zj} = h_{tj} + h_{mj} \quad [m]$$

Průběh výpočtu záleží na typu proudění (Obr. 5). Při bystrinném proudění postupujeme od horního profilu k dolnímu. U proudění říčního od spodního profilu k hornímu. V práci je použit softwarový prostředek MIKE11 pro řešení proudění v síti vodních toků – rozhoduje automaticky. [10]



Obr.5 - Směr výpočtu řešení u nerovnoměrného proudění [10]

5 POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

5.1 POPIS MĚSTA LETOVICE A ŠIRŠÍHO OKOLÍ

Město Letovice se nachází přibližně 50 km severně od Brna na území Jihomoravského kraje v okrese Blansko. Velikost území katastrálního území obce je 51 km². Z toho 51,8 % tvoří zemědělská půda, 35 % lesy, 1,4 % vodní plochy a 11,7 % ostatní plochy. [11]

Geomorfologicky jsou Letovice situovány do údolí řeky Svitavy v průměrné nadmořské výšce 330 m n. m. v oblasti Brněnské a Českomoravské vrchoviny. Město leží mezi zalesněnými svahy, které se nachází na méně zastavěném území na okraji města. Terén je konfigurován četnými menšími vodními toky a dvěma hlavními toky, řekou Svitavou a Křetínkou. Do těchto řek se vlévají četné přítoky, z nichž nejvýznamnější jsou levobřežní přítoky Kladerubka a Třebětínka. Na řece Křetínce se km 2.812 nachází vodní nádrž Letovice. [11]

Vodní nádrž Letovice má následující funkce:

- kompenzační nalepšení průtoků ve Svitavě na $Q_{\min} = 0,860 \text{ m}^3/\text{s}$ do profilu pod soutokem Svitavy a Křetíny
- zajištění minimálního zůstatkového průtoku pod přehradou MZP = $0,100 \text{ m}^3/\text{s}$
- energetické využití odtoků z nádrže v MVE
- rekreace
- chov ryb pro sportovní rybářství
- snížení povodňových průtoků neovladatelným retenčním prostorem [11]

5.2 CHARAKTERISTIKA POVODÍ

5.2.1 Svitava

Svitava je levostranný přítok Svatky, do které se vlévá v Brně, v nadmořské výšce 191.29 m n. m. Pramení ve Svitavské pahorkatině asi 3 km severozápadně od Svitav u obce Javorník v nadmořské výšce 471.93 m n. m. Teče převážně k jihu, mezi Blanskem a Brnem protéká hlubokým údolím na okraji Moravského krasu. Největším přítokem je Křetínský (31.4 km), dále pak Bělá, Křetínský potok a Punkva. V povodí se nachází 583 vodních ploch s celkovou rozlohou 407.49 ha. Největší z nich je vodní nádrž Letovice (97.8 ha) a Boskovice (50.97 ha).

S výjimkou úseku mezi Blanskem a Brnem a také úseku nad Březovou nad Svitavou je celé údolí Svitavy velmi hustě osídleno. Na jejím toku leží města Svitavy, Hradec nad Svitavou, Březová nad Svitavou, Letovice, Svitávka, Skalice nad Svitavou, Blansko, Adamov, Bílovice nad Svitavou, Brno.

V Letovicích je průtočný profil Svitavy ohraničen říčním údolím a na pravém břehu hlavní železniční tratí Brno – Česká Třebová. Na levém břehu leží frekventovaná komunikace I/43. [11]

Číslo hydrologického pořadí:	4-15-02-(105-109)
ID toku:	10100024
Délka toku:	98,39 km
Recipient:	Svratka
Plocha povodní:	1149,43 km ²

[11]

5.2.2 Křetínka

Křetínka je pravobřežným přítokem řeky Svitavy v Letovicích. Pramení v lese „Na Padělkách“ nad Stašovem ve výšce cca 660 m n. m. Odtud teče přibližně jihovýchodním směrem katastry obcí Hamry, Svojanov, Bohuňov, Horní Poříčí, Prostřední Poříčí, Křetín, Lazinov, Vranová a Letovice.[12]

Křetínka protéká úzkým údolím souběžně se silnicí Letovice – Polička. Nejužší údolí je v úseku nad Letovicemi, kde je vybudována retenční nádrž. Na k.ú. Letovice ústí do řeky Svitavy v nadmořské výšce cca 335 m n.m.[12]

Tok má protáhlý tvar povodí. Sousedí na východě s povodím Svitavy, na západě s povodím Svratky. Křetínka má v celém úseku téměř bystřinný charakter. Sklon dna od Bohuňova do Svojanova se pohybuje od 5 do 15,7%, šířka dna nejčastěji od 4 do 6 m, výjimečně je i širší v okolí jezů. Absolutní spád toku je 310 m, délka údolí 28,1 km.

Srážkové poměry v dlouhodobém průměru se vyznačují největším srážkovým normálem 644 mm.[12]

V rámci stavby VD Letovice bylo zaústění Křetínky do Svitavy posunuto přibližně o 1,3 km směrem po proudu Svitavy. Koryto je v současné době vedeno podél železniční tratě na pravé straně Svitavy. [12]

Číslo hydrologického pořadí:	4-15-02-032
ID toku:	10100160
Délka toku:	31,403 km
Recipient:	Svitava
Plocha povodí:	127 km ² [12]

5.2.3 Ostatní přítoky v zájmovém území

Pravobřežní bezejmenný přítok Křetínky km 0.870

Číslo hydrologického pořadí: 4-15-02-034/2

ID toku: 10206706

Délka toku: 2,878 km

Recipient: Křetínka[13]

Pravobřežní bezejmenný přítok Křetínky km 0.255

Číslo hydrologického pořadí: 4-15-02-034/2

ID toku: 10186037

Délka toku: 2,494 km

Recipient: Křetínka[13]

Vodní toky v zájmové oblasti jsou znázorněny v příloze A. 2..

5.3 HISTORICKÉ POVODNĚ

Větší povodňové stavy postihly Letovice v letech 1997 a 2002. V obou případech škody dosahovaly několika milionů Kč. Horší z těchto povodní byla ta v roce 1997, která měla celorepublikový charakter.

Červnová povodeň v roce **1997** měla neočekávaně ničivý charakter a to hlavně v horních tocích, kde došlo k úplnému zničení koryt toků. V dolní části toku pak zvýšený průtok způsoboval záplavy podél řek. Plošný rozsah a hloubky rozlivů překročil všechny dosud naměřené hodnoty. Celkové škody povodně v povodí Moravy a Dyje dosahovaly více jak 20 miliard korun. V povodí Dyje nebyly škody tak katastrofické jako u řeky Moravy. Mohl za to fakt, že zastavěné celky měly lepší vybudovanou regulaci a úpravu toků, zajišťující bezproblémové odvádění povodňových stavů. Letovice postihla povodeň ve čtyřech dnech a to od 7-10. 7. 1997. Dne 8. 7. 1997 došlo ke kulminaci povodně, kdy průtoky přesahovaly hodnoty stoleté vody, a to 97 m³/s. Povodňová aktivita byla ukončena 10. 7. 1997 dopoledne. Při povodni došlo k rozsáhlému zaplavení území od místní části Borová po místní část Zboněk, což zahrnuje téměř celé území Letovic. Silnice I/43 u odbočky na Slatinku byla zatopena, čímž došlo k její neprůjezdnosti. Došlo ke stržení mostu ke Kolářovu mlýnu a porušení dvou lávek. Byly zaplaveny veřejné budovy jako ZŠ Tyršova, MŠ Čapkova, bytové domy na ul. Tyršova, stavba ČOV, budova Městského úřadu Letovice a zničení řady chodníků v zaplaveném území. Na Masarykově náměstí dosahovala hloubka hladiny více jak 1 m. Celkově dosahovaly škody ve městě Letovice více jak 20 milionů korun. [14]

O něco méně ničivé dopady měla povodeň v roce **2002**. Na území Letovic měly srážky dle kroniky spíše přívalový charakter. První přívalové deště proběhly ve dnech 15 – 16. 7. 2002 a 2. 8. 2002. Tyto povodně nespádaly pod velké povodně v roce 2002, které zasáhly v ničivé formě povodí Vltavy a rakouskou část povodí Dyje. Tyto povodně se vyskytly v období 6. – 7. 8. 2002 a 11. – 13. 8. 2002. V Letovicích byly během zaplavení poškozeny v převážné míře komunikace, kanalizace, chodníky a opěrné zdi. Došlo k zatopení několika domů na ulicích V Potůčkách, Pražská, U Hájku, Smetanově a Bohuslava Martinů. Celková škoda byla vyčíslena na 9 mil. Kč. [14]

Nejvyšší zaznamenané povodně jsou zaznamenány v Tab. 3-5.

Tab.3 - Nejvyšší zaznamenané stavy Svitava– Letovice[15]

<i>[cm]</i>	<i>V. - XI</i>	<i>[cm]</i>	<i>XII. – IV.</i>
319	08. 07. 1997	320	01. 03. 1937
303	26. 08. 1938	202	01. 04. 2006
300	15. 06. 1926	294	20. 03. 1947
272	18. 07. 1965	280	11. 03. 1941
147	02. 06. 2010	203	08. 03. 1937

Tab.4 - Nejvyšší zaznamenané stavy Svitava– Rozhraní[16]

<i>[cm]</i>	<i>V. - XI</i>	<i>[cm]</i>	<i>XII. – IV.</i>
248	08. 07. 1997	154	29. 03. 2006
202	26. 08. 1938	241	01. 03. 1937
147	28. 10. 1930	200	20. 03. 1947
135	11. 06. 1939	188	14. 03. 1940

Tab.5 - Nejvyšší zaznamenané stavy Křetínka– Letovice - pod přehradou [17]

<i>[cm]</i>	<i>V. - XI</i>	<i>[cm]</i>	<i>XII. – IV.</i>
207	08. 07. 1997	150	01. 04. 2006
170	18. 07. 1965	147	13. 03. 1937
160	27. 08. 1938	142	08. 02. 1946
139	14. 05. 1962	133	10. 03. 1941
		129	22. 03. 1947

5.4 STÁVAJÍCÍ STAV PPO

Při stávající situaci může dojít k ohrožení povodněmi z důvodů srážek, zpětného vzduť, splachy z polí nebo nefunkční kanalizace. Při povodni je ohrožováno kolem 209 budov, které obývá asi 670 osob. V záplavovém území se také nachází objekty, které by při povodni mohly být zdrojem ohrožení z hlediska úniku nebezpečných látek či uvolnění většího počtu materiálu. Jedná se hlavně o objekty: ČOV Tylex a.s., LPG stanice Verde s.r.o., čerpací stanice Shell, Sběrný dvůr odpadů města Letovice, Tylex Letovice (výrobce záclon a technických textilií). [18] Objekty jsou znázorněny v příloze A. 2.

V roce 2011 byla na řece Svitavě a části řeky Křetíny dokončena protipovodňová opatření v délce 2 km. Tato opatření by měla město chránit až před stoletými povodněmi. [4] Rozsah PPO znázorněn v příloze A. 2.

Na tocích se vyskytuje velké množství mostů, propustků a jezových zdrží, které při povodňových stavech mohou způsobit vybřežení v důsledku nedostatečné kapacity nebo snížení kapacity v důsledku ucpání (Obr. 6). Ledové jevy se mohou objevit na všech jezových zdržích, nekapacitních mostech, mostech se středními pilíři a lávkách. Řeka Svitava se řadí do toků s častým výskytem ledových jevů. Řeka Křetína je tímto jevem zasažena jen v horní části toku. V dolní části u města Letovice jsou ledové jevy eliminovány vodní nádrží Letovice. [19]



Obr.6 - Mapa objektů omezující průtočnost při povodni [13]

Na území města se z vodních děl I. až IV. kategorie VD nachází vodní nádrž Letovice a Letovický rybník. Retenční nádrž na řece Křetínce patří do II. kategorie VD a v případě havárie může kvůli své poloze výrazným způsobem ohrozit město Letovice. Riziko může představovat i Letovický rybník nad sportovním areálem, který patří

do IV. kategorie VD a může ohrozit zejména zmíněný sportovní areál a přilehlé objekty. [20]



Obr.7 - Znázornění objektů ohrožujících intravilán města Letovice při zvláštní povodni [15]

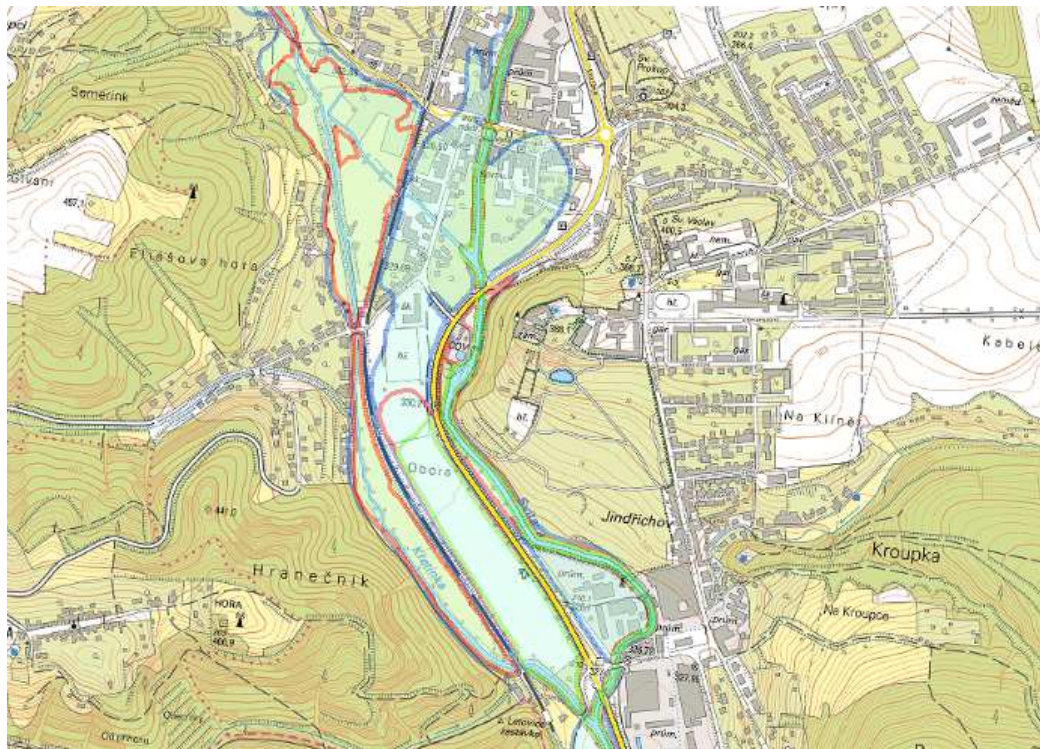
Řešené zájmové území se nachází u soutoku Křetínky a Svitavy a náhonu mezi Křetínkou a Svitavou, který slouží k převedení povodňových průtoků z Křetínky do Svitavy. Náhon byl před výstavbou VD Letovice přirozené koryto Křetínky. Po výstavbě přehrady se zaústění přesunulo o 1.312 km po směru toku Svitavy na km 59.934 a náhon se uzavřel stavidlem. Náhon byl ponechán kvůli nadlepšení již zrušené VE Tylex. V současnosti slouží k odvodnění inundačního území za drážním tělesem při vybřežení Křetínky.

Hodnocené úseky toků v rozsahu zájmového území jsou na Svitavě km 59.608 – 61.520 a na Křetínce km 0.000 - 1.752. V roce 2012 došlo na Svitavě k výstavbě protipovodňových opatření ve formě úprav břehů, opěrných zídek, rekonstrukci stávajících opěrných zídek a odstranění sedimentů. Jednalo se o úpravy:

- km 60.285 – 60.328 – pravobřežní opěrná zeď
- km 60.328 – 60. 564 – pravobřežní úprava terénu
- km 61.161 – 61.205; 61.2255 –61.3705 – levobřežní úprava terénu
- km 61.202 – 61.386 - pravobřežní úprava terénu
- km 61.3705 – 61.476 – levobřežní opěrná zeď
- km 61.386 – 61.476 - pravobřežní opěrná zeď
- km 61.476 – 61.540 – levobřežní rekonstrukce opěrné zdi

- km 61.476 – 61.564 – pravobřežní rekonstrukce opěrné zdi
- km 60.266 – 61.527 – odtěžení sedimentů

Mezi Křetínkou a Svitavou se nachází železnice, která odděluje zaplavované území Křetínky a Svitavy (Obr. 8). U **Křetínky** dochází k rozlívání při průtocích překračujících Q_5 . Pravý břeh je velmi příkrý a nedochází k velkému rozlívání. Na levém břehu dochází k rozlívání, které se zastaví o těleso železniční dráhy. Zaplavena je orná půda a hospodářská budova. **Svitava** se rozlévá pro průtoky překračující Q_{100} . Zasaženy jsou veřejné budovy městského úřadu na Masarykově náměstí a MŠ Čapkova na pravém břehu. Rovněž jsou zasaženy budovy Základní umělecké školy, knihovny, Masarykova střední škola a domov mládeže. Areál ČOV Letovice je proti stoleté vodě chráněn. Dále je zasažen areál textilní firmy Tylex Letovice, a.s. v km 60.250. Na Obr. 8 je patrný rozsah rozlívání. Rozlívání pro stoletou vodu je také znázorněno v příloze A. 2. Rozsah rozlívání byl převzat od Povodí Moravy s. p.. Jak je patrné v kapitole 7. 5., hladina vody vyšla obdobně jako ve studii od Povodí Moravy s. p..



Obr.8 -Záplavové území zájmového území

6 VSTUPNÍ DATA A JEJICH ANALÝZA

6.1 GEOMETRICKÁ DATA

Použitá vstupní data byla získána z osobní prohlídky zájmového území a z poskytnutých digitálních dat od Povodí Moravy s.p..

6.1.1 Zaměření toků

Zaměření bylo získáno od PMO s. p., které bylo provedeno v rámci Aktualizace záplavového území Svitavy KM 11,000 – 68,369 z roku 2014 a Studie záplavového území Křetínky z roku 2008. Bylo poskytnuto zaměření příčných profilů, podélné profily a průvodní zprávy. Účelem studií bylo určit záplavové území pro Q_5 , Q_{20} a Q_{100} .

Příčné profily byly poskytnuty od PMO s. p. v digitální podobě jako výkres v dwg.. Data byla přepsána do Excelu. Jelikož se český systém značení toků orientuje od dolní části toku k horní, byl nutný přepočítání pro MIKE 11. Příčné profily se přetočily kolem vlastní osy a byla vytvořena přepočtová tabulka, kde staničení začínalo od 0 na nejhornější části vybraného úseku toku. Poté byly profily zadány do programu. Je nutné, aby měl každý profil lokalizaci (jméno toku, ID číslo toku). Pro dobrou orientaci se ke každému profilu zadalo číslo příčného profilu. Součinitel drsnosti se odhadl z katalogu součinitele drsnosti po osobní prohlídce území. Poté se měnil kvůli kalibraci výpočtového modelu.

Zájmové území se nachází na **Svitavě** v km 59,608 – 61,520. Kvůli značnému počtu objektů jsou příčné profily v km 59,608-60,292 zaměřeny po přibližně 20 m. V oblasti objektů jsou zaměřeny před a za objektem. Dále proti proudu jsou rozestupy mezi měřeními větší, pohybující se ve stovkách metrů. Zaměřeno bylo koryto toku spolu s inundačním územím. Na **Křetínce** jsou příčné profily zaměřeny ve větším počtu ve vzdálenostech přibližně po 30 m. Je zaměřeno koryto a inundační území.

6.1.2 Mosty

Zaměření mostů bylo získáno z PMO s. p. v rámci studií o záplavovém území. Z vlastního výpočtu byla zjištěna kapacita mostních objektů uvedena v tab. 6. Všechny mosty jsou dle tohoto výpočtu kapacitní. Dřevěná lávka v km 1.008 je přelévána již při Q_5 .

K inundačnímu mostu v km 60.910 (Obr. 13) se nepodařilo dohledat potřebný počet informací. Nachází se nad areálem Tylex a má proto dobrou funkci při ochraně tohoto areálu. Tento most převádí průtoky za silnici I/43, kde se nachází volná zeleň. Z leteckých fotografií je patrné, že tento prostor je dobře udržován, bez větších stromů.

Tab.6- Mosty

Km	Tok	Účel	Vrch mostovky [m n. m]	Spodek mostovky [m n. m]	Kapacita	Q_N	Δh
60.004	Svitava	Silniční most	328.32	326.51	Q ₁₀₀	325.23	1.65
60.077	Svitava	Hospodářský most	326.94	325.87	Q ₁₀₀	325.32	0.59
60.232	Svitava	Ocelová lávka	328.03	326.88			
60.275	Svitava	Most v areálu Tylex	328.91	327.97	Q ₁₀₀	328.37	0.62
60.910	Svitava	Inundační most					
61.191	Svitava	Silniční most	331.75	330.12	Q ₁₀₀	329.47	0.92
0.041	Křetínka	Silniční mostek	326.39	325.84	Q ₁₀₀	326.72	0.71
0.236	Křetínka	Železniční most	328.60	327.27	Q ₁₀₀	326.97	1.20
1.008	Křetínka	Dřevěná lávka	328.35	328.15	Q ₅	328.44	-0.30
1.127	Křetínka	Silniční most	332.30	330.89	Q ₁₀₀	329.90	0.4
0.126	Náhon	Silniční most	329.45	328.80			
0.168	Náhon	Hospodářský most	329.10	328.60			
0.234	Náhon	Železniční most	329.64	331.05			

Na Obr.9 – 18 jsou znázorněny mosty uvedené v tab. 6. Tyto objekty jsou rovněž vykresleny v přílohách B. 1, B. 2 a B. 3..



Obr.9 - Silniční most km 60.004 proti toku [21]



Obr.10 - Betonový most Svitava proti proudu [21]



Obr.11 - Ocelová lávka Svitava po proudu



Obr.12 - Betonový most v areálu Tylex Svitava po proudu [21]



Obr.13 - Inundační most Svitava[21]



Obr.14 - Silniční most Svitava po proudu



Obr.15 - Silniční mostek Křetínka po proudu[12]



Obr.16 - Železniční most Křetínka proti toku [12]



Obr.17–Dřevěná lávka Křetínka



Obr.18 - Silniční most Křetínka proti toku

6.1.3 Vzdouvací objekty

Na zájmovém území se nachází celkem 4 stavby s možností manipulací. Jedná se o jez na řece Svitavě v areálu Tylexa o 3 stavidla na náhonu mezi Svitavou a Křetínkou. Dále se v oblasti nachází VD Letovice na řece Křetínce. Pro jednotlivé objekty byly zajištěny manipulační řády, které obsahují informace o objektech, kapacitu objektů a pravidla manipulace s objekty při různých vodních stavech.

VD LETOVICE

Číslo hydrologického pořadí:	4 – 15 – 02 – 034
Číslo základní vodohospodářské mapy:	24-12 – Letovice
Km:	2,923
Kraj:	Jihomoravský
Obec s rozšířenou působností:	Město Boskovice
Vodoprávní úřad:	Městský úřad Boskovice
Obec:	Letovice
K.ú.:	Letovice

Přehrada částečně transformuje povodňovou vlnu. Transformace závisí na hladině vody v nádrži. V Tab. 8 jsou uvedeny 2 situace transformace povodňové vlny.

Hráz je nehomogenní sypaná z hlinitokamenité sutě se středním jílovým těsněním. Spodní výpusti jsou umístěny v manipulačním objektu s osou vtoku na kótě 335,85 m n. m. Výpusti jsou dvě potrubí DN 700 uložené na betonových stoličkách vedených výpustnou štolou. Odpadní koryto zajišťuje napojení funkčních zařízení přehrady, t.j. spodních výpustí a přelivu na stávající koryto Křetínky. Kapacita koryta je v této upravené části cca 40 m³/s. [22] Průtoky spodními výpustěmi jsou uvedeny v Tab. 7.

Tab.7 - Spodní výpustě [22]

při hladině stálého nadržení 346,90 m n. m.	2 x 2,17 m ³ /s
při max. zásobní hladina 360,10 m n. m.	2 x 3,51 m ³ /s
při max. hladině 361,10 m n. m.	2 x 3,59 m ³ /s

Průtoky ve vodním toku

A. Minimální zůstatkový průtok

- V profilu Křetínky pod přehradou je stanoven minimální zůstatkový průtok v množství 100 l/s . Tato hodnota byla stanovena s ohledem na protékání Křetínky zastavěnou částí města Letovice.

- Ve vodoměrném profilu Svitava – Letovice (pod soutokem Křetíanky se Svitavou) je stanoven minimální zůstatkový průtok $0,860 \text{ m}^3/\text{s}$, v suchých obdobích je povoleno snížení až na $0,600 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0,300 \text{ m}^3/\text{s}$.

B. Neškodný průtok

- V toku pod nádrží je neškodný průtok $7 \text{ m}^3/\text{s}$
- Na toto množství je dimenzována maximální kapacita spodních výpustí[22]

Hydrologické údaje

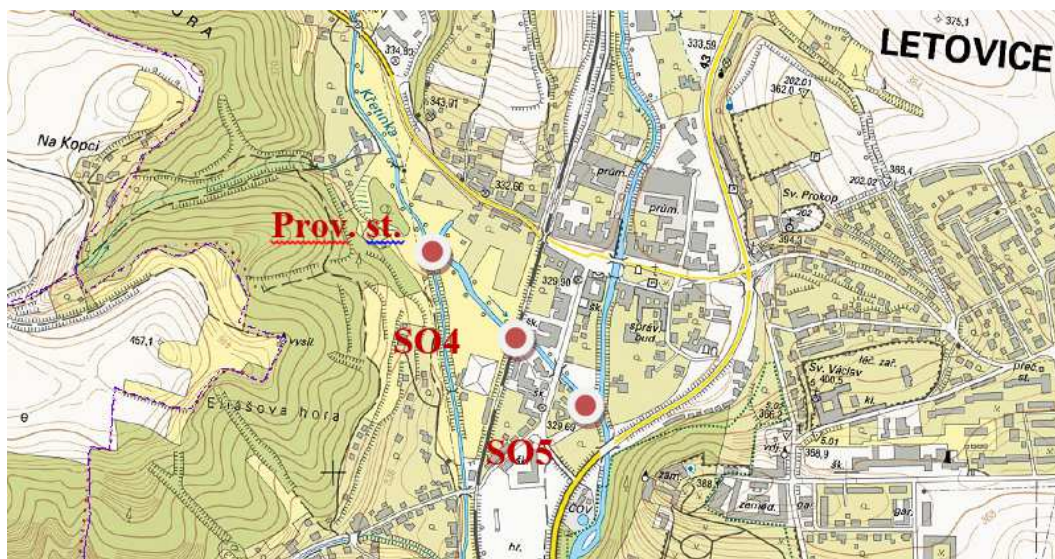
Tab.8 - Transformace VD Letovice [22]

N -let	$Q_N [\text{m}^3/\text{s}]$	Transformace při hladině 360.10 m n. m. $[\text{m}^3/\text{s}]$	Transformace při hladině 358.6 m n. m. $[\text{m}^3/\text{s}]$
Q_1	7.5	7.0	-
Q_5	18.0	13.9	7.0
Q_{10}	24.0	19.0	7.0
Q_{20}	30.5	25.4	10.0
Q_{50}	41	34.2	19.6
Q_{100}	50	41.8	26.6

OBJEKTY NA NÁHONU A POPIS NÁHONU

Jedná se o přírodní koryto s místním opevněním, které prochází intravilánem města Letovice. Náhon je na tok Křetíanky napojen v km 1.600 a do Svitavy se zaústíuje v km 61.246. Účelem náhonu je odvodňovat inundační území při vybřežení Křetíanky, při povodňových stavech. Přes náhon přechází železniční trať a silniční most ulice Tyršova. V tomto místě je do náhonu zaústěna dešťová kanalizace z této ulice. Před výstavbou VD Letovice byl náhon hlavním tokem Křetíanky. Dříve sloužil k nadlepšování průtoků ve Svitavě kvůli vodní elektrárně v areálu Tylexu. [23]

Na náhonu jsou situovány tři stavidlové uzávěry detailněji popsány níže. Umístění stavidel je znázorněno na Obr. 19.



Obr.19 - Stavidla náhonu[23]

[23]

Parametry náhonu:

Celková délka:	463,0 m
Průměrný spád:	0,503 %
Průměrná hloubka:	1,3 m

V běžném období se se stavidly nemanipuluje. Stavidla SO4 a SO5 jsou trvale vyhrazena. Výjimku tvoří provizorní stavidlo na nátoku do náhonu, které je trvale zahrazeno. V manipulačním řádu byly uvedeny 2 situace pro manipulaci s objekty:

1. Situace I

- odtok z VD Letovice přesáhl $5 \text{ m}^3/\text{s}$,
- stavidlo SO5 je vyhrazeno,
- průtoky ve Svitavě nejsou povodňové (bez dosažení SPA)

Provizorní stavidlo se zcela zahradí. Kvůli odvádění vod z inundačního území zůstane stavidlo SO4 vyhrazeno a průtoky jsou převáděny do řeky Svitavy.

2. Situace II

- na stavidle SO5 je dosažena hladina 327.40 m n. m. (II. SPA),
- Křetínka - normální stav nebo průtoky nad $5 \text{ m}^3/\text{s}$

Při dosažení hladiny před stavidlem na úrovni 327.75 m n. m. je stavidlo SO4 a SO5 zahrazeno. Při zahrazení stavidel je nutné čerpání vnitřních vod z náhonu.

K opětovnému vyhrazení stavidel se přikročí při dlouhodobém poklesu hladin. Provizorní stavidlo Křetínka a dále pak stavidlo SO4 lze vyhradit v případě, kdy odtok z VD Letovice bude trvale snížen pod $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Stavidlo SO5 lze vyhradit, klesne-li dlouhodobě hladina řeky Svitavy pod kótu 327,40 m n. m. a dle vývoje počasí a situace

na toku nelze předpokládat další nárůst hladiny v řece Svitavě v profilu stavidla SO5.[23]

Stavidlo SO4 bylo rekonstruováno a SO5 nově zbudováno v rámci akce „Svitava, Letovice – zvýšení kapacity koryta“ v roce 2011.

Stavidlo SO4(viz příloha C. 5) se nachází v drážním tělese (Obr. 20) v ř. km 0,243 náhonu. V rámci rekonstrukce původního stavidla v roce 2011 byla vyměněna dřevěná stavidlová tabule za ocelovou o původních rozměrech. Stavidlo je ovládáno pomocí cévové tyče. Význam stavidla spočívá v zabrání průniku povodňových průtoků z Křetínky do Svitavy v případě, že jsou na Svitavě také povodňové stavy. Průtoky z Křetíny navyšují hladinu, která způsobuje zaplavení zastavěného území. [23]

Technické parametry stavidla SO4:

Kóta dosedacího prahu:	327,30 m n. m.
Kóta horní hrany zahrazeného stavidla:	328,50 m n. m.
Počet polí:	1
Výška hradící konstrukce:	1200 mm
Šířka hradící konstrukce:	3750 mm
Kapacita:	8 m ³ /s



Obr.20 - Stavidlo v drážním tělese [21]

Účelem stavidla SO5 (viz příloha C. 6) je zabránění průniku zpětného vzduší do chráněného území koryta náhonu.

Stavidlo SO5 (Obr. 21) je umístěno na soutoku náhonu (ř. km 0,043 náhonu) a řeky Svitavy. Konstrukce stavidla sestává ze dvou hradících tabulí o šířce 2190 mm a výšce 2500 mm. Tabule se ovládají ručně pomocí cévových tyčí.

Ve vzdálenosti 4,7 m z obou stran stavidla je koryto opevněno kamennou dlažbou tl. 400 mm uloženou na desku z podkladního betonu tl. 150 mm. Stavidlo je opatřeno betonovou lávkou uloženou na betonová křídla stavidla.

Mezi hradícími tabulemi, na pilíři, je umístěno automatické měřicí zařízení před stavidlem ze strany Svitavy, které nepřetržitě sleduje hladinu.[23]

Technické parametry stavidla SO5:

Kóta dosedacího prahu:	326,50 m n. m.
Kóta horní hrany zahrazeného stavidla:	329,00 m n. m.
Počet polí:	2
Výška hradící konstrukce:	2500 mm
Šířka hradící konstrukce:	2190 mm
Kapacita:	14 m ³ /s



Obr.21 - Stavidlo na výústění náhonu

Provizorní stavidlo má při zvýšených odtocích z VD Letovice za úkol zmírnit podmáčení pozemků mezi nátokem z Křetínky a stavidlem SO4. Stavidlo sestává ze dvou U profilů, do nichž jsou zasunuty dubové hradící desky. [23]

Technické parametry:

Počet polí:	1
Výška hradící konstrukce:	1100 mm
Šířka hradící konstrukce:	1300 mm[23]

JEZ TYLEX



Ob.22 - Jez Tylex[21]

Jez se nachází na Svitavě v km 60.266. Účelem vodního díla je vzdouvání a akumulace vody pro odběr, pro potřeby výrobní technologie a jako zdroj napájecí vody pro kotelnu jiného subjektu, jako zdroj požární vody pro přilehlé objekty, dále pak k zachování ekologické rovnováhy v areálu přírodní památky – parku Letovice.[24]

Dřevěný stavidlový jez je dobře udržovaný a v dobrém stavu (Obr. 22). Hradící konstrukci jezu tvoří stavidlo ovládané elektromechanicky, v případě poruchy lze stavidlo ovládat též ručně. Dosedací plochu stavidla tvoří betonový práh, do kterého je zabudováno dřevěné prahové těsnění, na které přímo navazuje jezový vývar. Stavidlo jezu je obsluhováno z dřevěné lávky kryté střechou. Provozní potíže vznikají usazováním jemných částí z vody a sezónních mnohdy četných plavenin (např. listů), kterými je jezová zdrž velmi často zanesena.[24]

Parametry vodního díla

Šířka stavidla:	5,660 m
Výška stavidla:	2,350 m
Průměrná tloušťka stavidla:	0,250 m
Kóta dosedacího prahu:	324,45 m n.m.
Šířka prahového těsnění:	0,305 m
Délka vzduť:	1180 m
Objem jezové zdrže:	11 391 m ³

Manipulace s vodou

Při minimální provozní hladině na kótě 326,92 m n.m., tzn. při tloušťce přepadajícího paprsku vody 10 cm přes hranu hradící konstrukce, je zajištěn přepadem přes hradící konstrukci minimální průtok v toku pod jezem $MZP = 0,35 \text{ m}^3/\text{s}$ a jsou umožněny všechny povolené odběry vody.[24]

V případě nárůstu hladiny v nadjezí nad kótu 327,02 m n.m. ($Q = 0,989 \text{ m}^3/\text{s}$) se začíná vyhrazovat stavidlo. Pokud má hladina i po vyhrazení stále stoupající charakter, nemůže již manipulace s jezem hladinu nijak ovlivnit. [24]

PEVNÝ JEZ

Na Křetínce se v km 1.595 nachází nízký kamenný jez(Obr. 23). Jez se nachází pod nátokem do náhonu. Přepadová hrana se nachází ve výšce 329.00 m n. m. Výška jezu je přibližně 0.55 m.



Obr.23 - Pevný jez a nátok do náhonu

6.1.4 Kanalizace

Pro přítok vnitřních vod do náhonu dešťovou kanalizací se provedl zjednodušený výpočet v Excelu podle intenzity srážky a plochy odváděné vodu do dešťové kanalizace (Obr. 24). Intenzita deště byla zvolena po 15-ti minutový dešť pro periodicitu 1. Výpočty jsou uvedeny v Tab. 9 – 10.

Kanalizace v blízkosti zájmového území je řešena jako oddílná. Do Křetínky zaústějí 4 dešťové kanalizace přibližně mezi km 1.120 – 1.270. Odvodňují se místní komunikace a střechy přilehlých domů. Plocha byla vypočítána jen pro zastavěné území s odtokovým součinitelem 0.7. Přítok z dešťové kanalizace jen mírně ovlivňuje průtok v Křetínce.

Tab.9–Dešťová kanalizace zaústěná do Křetínky

OZN	ψ	P_j	Q	Recipient
		[ha]	[m ³ ·s ⁻¹]	
Š103	0.7	0.74	0.064	Křetínka
Š660	0.7	0.05	0.004	Křetínka
Š658	0.7	0.043	0.004	Křetínka
Š656	0.7	0.13	0.011	Křetínka

Σ 0.084

OZN	ψ	P_j	Q	Recipient
		[ha]	[m ³ /s]	

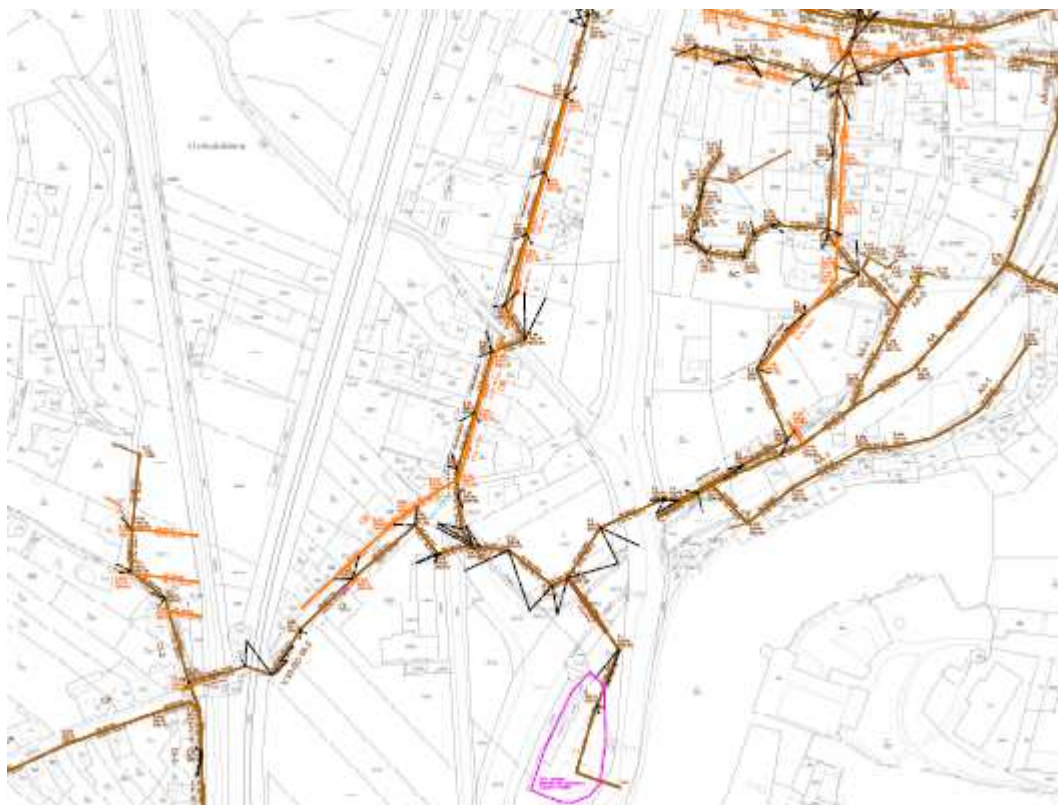
Š103	0.7	0.74	0.064	Křetínka
Š660	0.7	0.05	0.004	Křetínka
Š658	0.7	0.043	0.004	Křetínka
Š656	0.7	0.13	0.011	Křetínka
Σ			0.084	

Do náhonu je zaústěna dešťová kanalizace z ulice Tyršova. Kdy z pravobřežní strany je zaústěna dešťová kanalizace DN 400 délky přibližně 150 m. Z levobřežní strany je to DN 300 o délce přibližně 145 m. Je zde hustá zástavba s asfaltovou silnicí. Odtokový součinitel byl zvolen 0.85. Při součtu levého a pravého přítoku je průtok 0.34 m³/s. Tento průtok ovlivňuje průtok v náhonu.

Tab.10–Dešťová kanalizace zaústěná do náhonu

OZN	Ψ	P_j [ha]	Q [m ³ /s]	Recipient
Š637	0.85	1.74	0.183	Náhon
Š625	0.85	1.5	0.158	Náhon

Σ **0.341**



Obr.24 - Kanalizační síť v zájmovém území

V km 61.216 Svitavy se nachází zaústění z odlehčovací komory DN 1000 (Obr. 25). Svitava působí jako recipient pro vyústění z ČOV Letovice. Výúst' se nachází v km 61.090. ČOV Letovice je, dle záplavového území, chráněna na Q_{100} .



Obr.25 - Zaústění odlehčovací komory km 61.216

6.2 HYDROLOGICKÉ ÚDAJE

Hydrologické údaje byly získány z měrných profilů od ČHMÚ, které se nachází v blízkosti zájmového území a ze studie záplavového území. Hlásný profil v km 59.400 n Svitavě se nachází jen 208 m od začátku výpočtového profilu. Hodnoty se tedy mohou převzít bez ovlivnění přítoků. V horním toku se nejbližší hlásný profil nachází až v km 69.600, což je od prvního výpočtového profilu v km 61.520. Pod tímto hlásným profilem se do Svitavy vlévají 2 významné přítoky Kladorubka a Třebětínka. Proto se průtoky převzaly z vypracované studie záplavového území. V tabulkách 9 – 11 se porovnávají průtoky z minulých let. Označené průtoky se použily pro výpočet.

6.2.1 Svitava

Průtoky na hlásném profilu Letovice

Provozovatel stanice:	ČHMÚ Brno
Č. profilu:	378
Kategorie hl. profilu:	A
Tok:	Svitava
Ř. km:	59.4[15]

Tab.11 - Průtoky – Letovice(porovnání s minulými lety)[15]

<i>Rok</i>	Q_N	Q_a	Q_1	Q_5	Q_{10}	Q_{50}	Q_{100}
2016	$[m^3/s]$	1.61	14.50	34.40	45.70	78.10	95.00
2012	$[m^3/s]$	-	14.50	34.50	45.50	78.00	98.00
1998	$[m^3/s]$	-	18.00	46.00	62.00	82.00	87.00

Průtoky ze studie záplavového území v km 59.944 – 61.520

Tab.12–Průtoky – Získány ze studie záplavového území v km 59.944 – 61.520 ((porovnání s minulými lety) [21]

<i>Rok</i>	Q_N	Q_a	Q_1	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}
2012	$[m^3/s]$	1.26	10.00	27.00	37.00	47.00	59.00	71.00
1998	$[m^3/s]$	-	10.00	27.00	37.00	47.00	59.00	71.00

6.2.2 Křetínka

Průtoky na hlásném profilu Letovice – pod přehradou

Provozovatel stanice: Povodí Moravy Brno

Č. profilu: 377

Kategorie hl. profilu: A

Tok: Křetínka

Ř. km: 2.75[12]

Tab.13 - Průtoky – Letovice –pod přehradou[12]

	Q_N	Q_a	Q_1	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}
2016	$[m^3/s]$	0.65	4.70	13.30	18.60	-	34.70	43.50
2012	$[m^3/s]$	-	5.00	14.00	19.50	26.00	36.00	45.00
1989	$[m^3/s]$	-	7	18	23	28	34	40

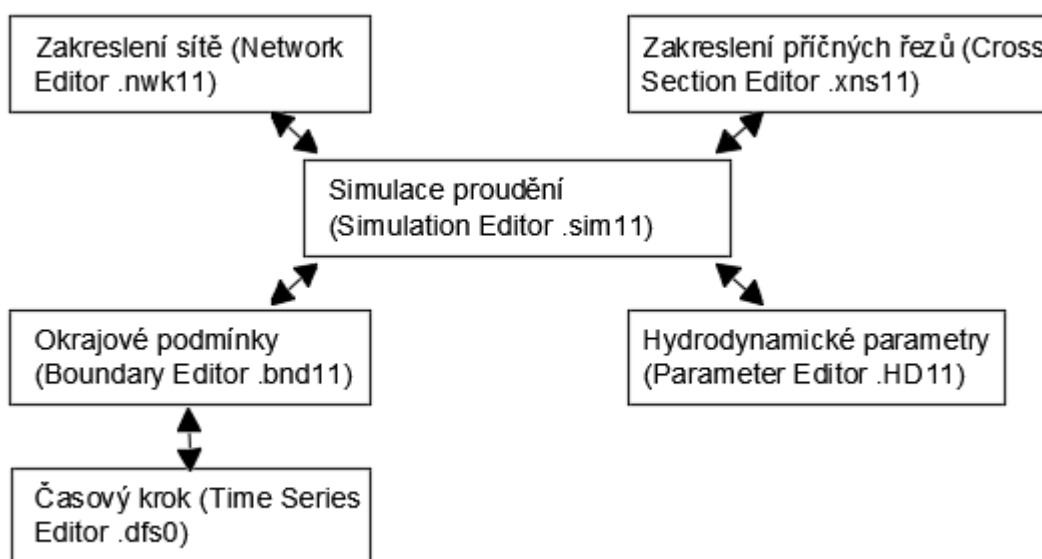
7 HYDRAULICKÉ VÝPOČTY

Pro výpočet byl zvolen jednorozměrný numerický model MIKE 11 od firmy DHI. Jednorozměrný model je vhodné použít v případech, kdy je v průtočném profilu dostatečně přesná aproximace rychlosti proudění a polohy hladiny. Pro výpočet 1D numerických modelů je nutné mít vstupní parametry a okrajové a počáteční podmínky (geometrie koryta a inundačního území, údaje o drsnostech, údaje o průtocích, atd).

7.1 MIKE 11

MIKE 11 je inženýrský software vyvinutý v roce 1987, který se používá k simulaci proudění vody, určení kvality vody a k přesunu sedimentů. Je to dynamický 1D model k detailní analýze, stylizaci a řízení jednoduchých i složeným říčním komplexům. Řešení vychází z aplikace rovnice pro zachování kontinuity a hybnosti.

MIKE 11 hydrodynamický model používaný k výpočtu neustáleného proudění v tocích. Model dokáže určit podkritické a nadkritické proudění pomocí numerického schématu, který se adaptuje podle lokálních podmínek (v čase a prostoru). Výpočetní program zahrnuje popis proudění, včetně možnosti popisu výpočtu. Parametry pro výpočet jsou zakresleny na Obr. 26. [25]



Obr.26 - Schéma výpočtu MIKE 11 [25]

7.2 GEOMETRICKÉ ÚDAJE

Do programu Mike 11 se geometrické údaje zadávají pomocí nákresu toků a příčných profilů. Na rozdíl od běžného vodohospodářského staničení toků se příčné profily v MIKE11 zadávají ve směru toku, a proto se musely vzdálenosti příčných profilů přepočítat.

7.2.1 Zakreslení sítě (Network Editor)

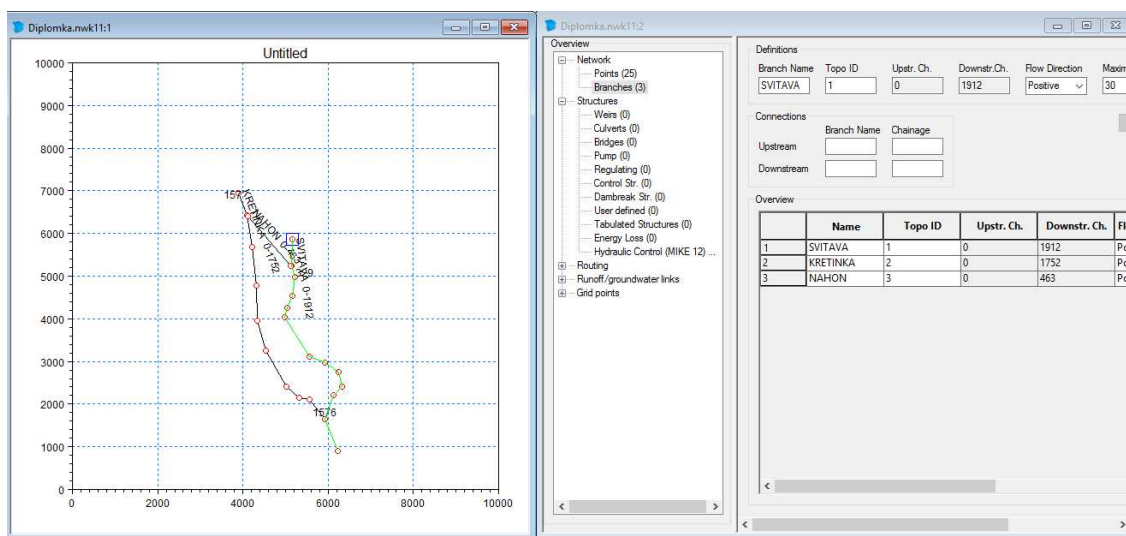
„Network Editor“ je jedním ze základních částí MIKE 11. Graficky se v něm znázorňuje síť a dají se z něj získat přehledné informace z ostatních částí programu. Skládá se ze dvou zobrazení: tabulkového (tabularview) a grafického (graphicalview). Dají se zde také definovat objekty na toku (jezy, mosty, propustky, čerpání,...)

SCHEMATIZACE SÍTĚ

V tabulkovém zobrazení se nastavují charakteristiky úseku toku:

- Branchname (název toku)
- Topo ID (identifikační číslo)
- Maximum dx (maximální vzdálenost mezi výpočtovými body) – vytvoří interpolační závislost mezi jednotlivými příčnými profily, velikost má vliv na stabilitu výpočtu
- Branch type (typ toku) –
 - Regular (obvyklý) – pro běžné toky
 - Link Channel – nejsou zde potřebné žádné průřezy, většinou pro krátké kanály spojující 2 paralelní toky[25]

Na Obr. 27 je vidět ukázka zakreslení toku a tabulkové nastavení.



Obr.27 - Ukázka Network Editor[25]

OBJEKTY

Objekty se dají zadat jako Regular (na toku), SideStructure (boční) nebo SideStructurewithReservoir (boční s retenčním prostorem). U každého objektu se zadávají identifikační údaje (staničení, název toku, ID). [25]

Weirs (jezy)

Jezy se obvykle definují jako objekty na toku (regular). Schéma jezu je znázorněno na Obr. 28. Základní možnosti specifikace jezů jsou následující:

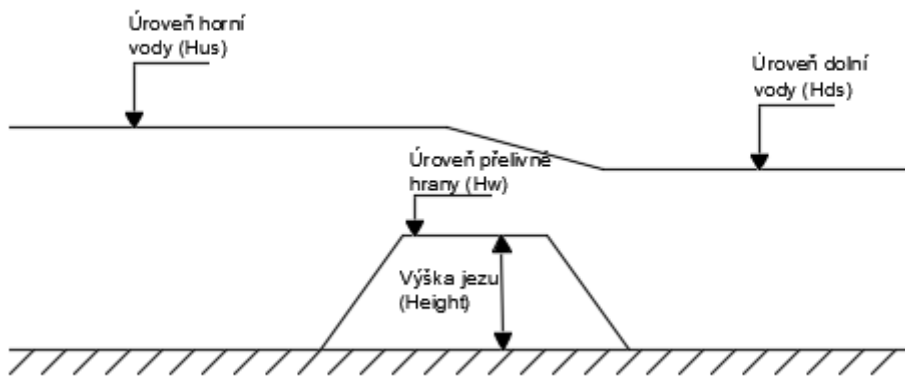
- BroadCrestedWeir (široká koruna) – pro výpočet se automaticky vypočítá Q/h křivka ze zadané geometrie, z geometrie se automaticky vypočítají ztráty a

kalibrační koeficienty, automaticky se přepíná výpočet pro dokonalý a nedokonalý přepad

- SpecialWeir (speciální jez) – Q/h křivka se musí zadat manuálně uživatelem
- WeirFormula 1 (přepadová rovnice) – používá se zde rovnice pro výpočet přepadu, rovnice má tvar:

$$Q = b \cdot m \cdot (H_{us} - H_w)^k \cdot \left[1 - \left(\frac{H_{ds} - H_w}{H_{us} - H_w} \right)^k \right]^{0.385} \quad (7.1)$$

Q	průtok přes jez	$[m^3/s]$
B	šířka	$[m]$
m	přepadový součinitel	$[-]$
k	exponenciální koeficient	$[-]$
H_{us}	hladina horní vody	$[m]$
H_{ds}	hladina spodní vody	$[m]$
H_w	úroveň koruny jezu	$[m]$



Obr.28 - Schéma jezové konstrukce

-WeirFormula 2 (přepadová rovnice dle Honma) –

$$Q = \begin{cases} m_1 b (H_{us} - H_w) \sqrt{H_{us} - H_w} & \text{pro } (H_{ds} - H_w)/H_{us} < 2/3 \\ m_2 b (H_{ds} - H_w) \sqrt{H_{us} - H_{ds}} & \text{pro } (H_{ds} - H_w)/H_{us} \geq 2/3 \end{cases} \quad (7.1)$$

Q	průtok přes jez	$[m^3/s]$
B	šířka	$[m]$
m_1	první přepadový součinitel	$[-]$
m_2	druhý přepadový součinitel $C_2 = \left(\frac{3}{2}\right)\sqrt{3C_1}$	$[-]$
H_{us}	hladina horní vody	$[m]$
H_{ds}	hladina spodní vody	$[m]$
H_w	úroveň koruny jezu	$[m]$

- WeirFormula 3(rozšířená rovnice dle Honma) – počítá se třemi typy přepadu a to dokonalý, nedokonalý a ZATOPENÝ. Volba režimu se volí podle poměru dolní a horní vody nad korunou jezu. [25]

Na Obr. 29 je vidět ukázka zadání klasického pevného jezu se zadáním přepadového součinitele. Musí se ovšem použít součinitel pro rovnici 7. 9, která se liší v struktuře zápisu.

River	Chain.	ID	Type	Valve
1			Weir Formula 1	Only Positive Flow

Obr.29 - Zadání jezové konstrukce[25]

Culverts (propustky)

Jsou charakterizovány výškou nátoku a výtoku, délkou a drsnostním součinitelem. Dále jde vybrat uzavřený nebo otevřený propustek, kdy otevřený se počítá jako koryto. [25]

V geometrii je na výběr z možností:

- obdélník (Rectangular) – zadává se výška a šířka
- kruh (Circular) – zadává se průměr
- nepravidelný (IrregularLevel-Width Table) – zadává se nadmořská výška a šířka
- nepravidelný (IrregularDepth-Width Table) – zadává se hloubka a šířka
- tvar z příčného profilu (Section DB)

Po zadání všech parametrů výše je nutné vyplnit Q/h křivku. K tomu slouží funkce pro výpočet Q/h křivky. Automaticky se určí také typ proudění v propustku.

Křivka se nemění automaticky se změnou parametrů. Je nutné pokaždé nový přepočít. [25]

Na Obr. 30 je vidět zadání nepravidelného tvaru propustku. Zadává se zde úroveň na nátok, úroveň na výtoku, délka, Manningův součinitel drsnosti a počet propustků.

The screenshot shows a software interface for defining a weir structure. It includes several sections:

- Branch Information:** Branch Name (NAHON), Chainage (229), ID (km 0.234), Type (Regular).
- Attributes:** Upstream Invert (327.46), DownStr. Invert (327.26), Length (18), Manning's n (0.013), No. of Culverts (1), Valve Regulation (Only Positive Flow), Section Type (Closed).
- Head Loss Factor:** Inflow, Out Flow, Free Overflow, Bends for Positive and Negative Flow.
- Geometry:** Type (Irregular, Level-Width Table), Circular (Diameter 0), Rectangular (Width 0, Height 0).
- Level-Width Table:**

	Level	W
1	327.26	3.61
2	328.5	3.61
3	328.96	3.20
- Flow Conditions:** Q-h relations, Hydraulic Parameters, Orifice Flow Coefficients.

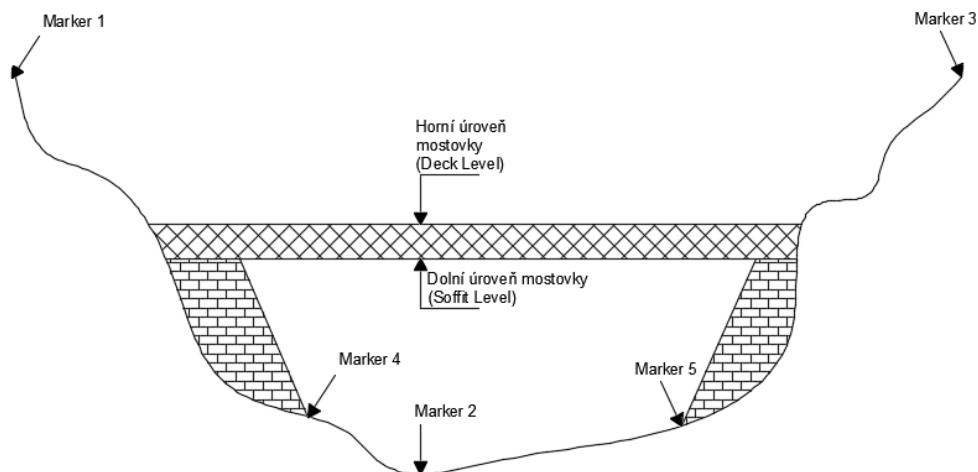
	y	Qc, Po	Type
38	15.6755	86.0864	Orifice
39	16.1929	87.4931	Orifice
40	16.7103	88.8777	Orifice
- Summary Table:**

	Branch	Chain.	ID	Upstream Invert	Downstream Invert	Length	Manningsn	No. of Culvert
1	NAHON	229	km 0.234	327.46	327.26	18	0.013	1

Obr.30 - Ukázka zadání propustku[25]

Bridges (mosty)

Mike 11 nabízí spoustu způsobů při modelování mostů. Modelování lze rozdělit do volného průtoku a metody pro ponoření/přetékání. Dále mohou být metody rozděleny do metod pro pilíře nebo oblouk. Metody, které kombinují ponoření a přetékání jsou podle klasické Bernoulliho rovnice (EnergyEquation) nebo podle experimentálních rovnic (FederalHighwayAdministration (FHWA) WSPRO method, US Bureau of Public Roads (USBPR) method). Je nutné zadat charakteristiky bodů podle Obr. 31.



Obr.31 - Označení bodů mostu[25]

Manipulovatelné objekty

Možnost zadat manipulace nabízí MIKE 11 v několika typech zadání. Jedna z možných zadání je kontrola objektů (ControlStructure), kde je na výběr z několika typů konstrukcí (přetékaná, podtékaná, průtok, segment a stavidlo). Pro výpočet stavidla se počítá s prouděním pod objektem a s možným přetékáním konstrukce. U všech typů se zadávají podmínky v pořadí jejich důležitosti. U každé software kontroluje, zda je splněna či nesplněna. U nesplněné podmínky automaticky pokračuje na nadcházející podmínku. Dalším typem zadání je tabulkové (TabulatedStructure), kde se definuje průtok, hladina dolní vody a hladina dolní vody. [25]

Postup zadání v řešeném výpočtu

Prvním krokem bylo tedy zakreslení toků do sítě. Toho se docílí pomocí funkce „Addnewpoints to last activebranch“ pro zakreslení jednotlivých bodů a větví toku. Stanovení bodů se definuje v „Tabularview“ po zadání typu bodu „User defined“. Stanovení se změní jen u pár bodů a ostatní body se automaticky dopočítají. Dále se musí definovat větve toku, a to kvůli propojení s příčnými profily. Větve musí mít stejný název a ID. Je možnost u větví vybrat typ toku. Pro „obyčejný“ tok se zadá typ „Regular“. Dále se zadává výpočtová vzdálenost mezi příčnými body „dx“. Jednotlivé příčné body se nainterpolují z již existujících profilů. Pro náš výpočet byla zadána na Křetínce a Svitavě vzdálenost 10 m. Pro náhon vzdálenost 20 m kvůli propustku, který tuto vzdálenost přesahuje a při zadání kratší vzdálenosti dx ohlásil program chybu.

Bylo zadáno celkem 9 mostů, z nichž 4 leží na Svitavě, 3 na Křetínce a 2 na náhonu. Pro všechny mosty byla vybrána možnost ponoření a přelití. Pro ponoření byla vybrána experimentální metoda FHWA WSPRO, kde se zadala dolní hrana mostovky. Pro přelití byla vybrána metoda Energyequation, kde se zadala horní hrana mostovky. Žádný z mostů není přeléván.

Na náhonu se nachází 1 propustek pod železničním mostem. Na začátku propustku se nachází ocelové stavidlo, které slouží k zabránění průtoku za železniční

trati. Propustek byl zadán jako nepravidelný se zadáním nadmořské výšky a šířky. Q/h křivka se dopočítá automaticky.

Stavidla náhonu se zadaly pomocí funkce „ControlStructures“, kde je možnost zadání výpočtu pro stavidlo. Ve volbě atributů se tedy zvolil typ objektu, počet stavidel, výška, šířka, nadmořská výška prahu a maximální rychlost. Tvar konstrukce se zkontroloval v grafickém zakreslení, kde se může posunout s osou objektu a zadat stupeň otevření konstrukce. Nové stavidlo na Křetíně se zadalo pomocí tabulkového zadání.

7.2.2 Příčné řezy (Cross Section Editor)

Zadávají se zde geometrická data jednotlivých příčných profilů. Pro kompilaci je nutné zadat stejné identifikační údaje jako v „Network Editor“ (jméno toku, Topo ID). Dále se zde zadává staničení, které se orientuje ve směru toku.

Jednotlivým bodům (Obr. 32) lze přiřadit charakteristika. Lze tak změnit automatické přiřazení. Jedná se celkem o 7 druhů bodu.

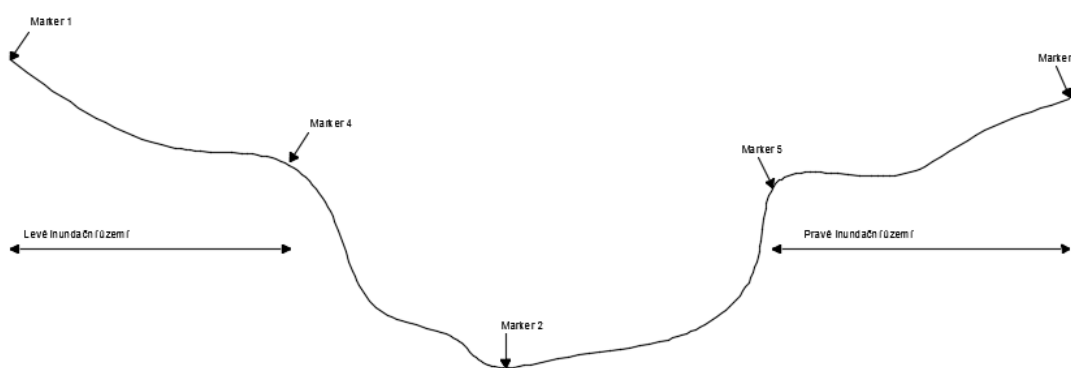
1, 3 - Left and rightlevee bank (levý a pravý břeh) - vymezuje aktivní výpočtovou část

4, 5 - Left and rightlowflow bank (levý a pravý břeh vymezující koryto toku bez inundačního území)

6, 7 – Left and rightcoordinatemarkers (pro korespondenci s koordinačním systémem)

2 - Lowest point (nejnižší bod) – značka není důležitá pro výpočet, pro zobrazení podélného profilu

[25]



Obr.32 - Zobrazení značení bodů[25]

Jako typ toku se zadává jako:

- Open section (otevřený řez) – pro běžné toky
- Closedirregular (nepravidelný uzavřený)
- Closedcircular (uzavřený kruhový)

- Closedrectangular (uzavřený obdelníkový)

Ve výběru lze zadat několik možností zadání součinitele drsnosti. Pro zadání je tu možnost jednotného zadání, rozdělení na nižší a vyšší zónu nebo rozdělené zadání pro každý zadaný bod v příčném profilu. Lze také vybrat typ součinitele drsnosti (Manningův součinitel drsnosti, Chezyho rychlostní součinitel, Darcy-Weisbach, atd.) [25]. Drsnost se zadala jako různá, pro každý bod, pomocí Manningova součinitele drsnosti n . Jednotlivé typy bodů se zadaly ručně.

7.3 OKRAJOVÉ PODMÍNKY (BOUNDARY EDITOR)

Do editoru okrajových podmínek se zadává:

- BoundaryDescription (druh okrajové podmínky)
- Boundary Type (typ okrajové podmínky)
- BoundaryLocation (lokalita okrajové podmínky)[25]

Program umožňuje zadání několika druhů okrajové podmínky. Základním druhem je otevřená okrajová podmínka, která se zadává na začátku toku. Zde jde vybrat například mezi zadáním průtoku, konstantní hodnotu hladiny vody, Q/h křivku, atd. Dále lze zadat druh okrajové podmínky jako bodový zdroj, distribuovaný zdroj, atd. [25]

Horní okrajová podmínka se zadala jako proudění na začátku úseku u Křetínky a Svitavy. Hodnoty N -letých průtoků se získaly z hlásných profilů výše na toku. Na Křetínce se hlásný profil nachází pod VD Letovice na km 2.750, začátek zájmového úseku na Křetínce je v km 1.752. Na Svitavě se průtok zadal z hodnot obsažených ve studii záplavového území Svitavy.

Dolní okrajová podmínka je zadána jako kritická hloubka v koncovém profilu, která se automaticky vypočítá.

7.4 HYDRODYNAMICKÉ PARAMETRY

Používají se pro upřesnění doplňkových informací pro úspěšnou simulaci. Editor obsahuje mnoho možností pro zadání parametru (hladinu vody, vítr, součinitel drsnosti, tepelnou bilanci, atd.). [25]

V záložce „Initial“ (počáteční podmínky) se zadala globální výška vody a výška vody v lokálních bodech.

7.5 KALIBRACE

Kalibrace výpočetního modelu byla prvním krokem modelové analýzy zájmového území. Kalibrace byla provedena na základě podkladů od PMO s. p.. Kalibrace byla provedena vůči úrovním hladiny vynesných v podélných řezech pro hladiny Q_5 , Q_{20a} Q_{100} na Křetínce a Svitavě. Bylo provedeno srovnání v několika uzlech výpočetní sítě. Výsledky kalibrace jsou uvedeny v Tab. 14 – 16. Výsledné průběhy hladiny se mírně lišily přibližně o 10 cm na Křetínce. Na řece Svitavě byla místně dosažena větší

odchylka. V maximu se jednalo o odchylku 25 cm, která se však objevovala pouze lokálně.

Tab.14 - Kalibrace pro Q₅

Tok	PF	Staničení		n [-]		Δh [m]
		[km]	h [m n. m.]	svah/dno	h [m n. m.]	
Křetínka	PF1	0.028	324.29	0.04-0.032	324.2	-0.09
	PF9	0.241	325.73	0.04-0.032	325.6	-0.13
	PF24	0.86	327.96	0.04-0.032	327.85	-0.11
	PF35	1.642	330.06	0.04-0.032	330	-0.06
Svitava	PF61	59.608	323.68	0.037-0.037	323.65	-0.03
	PF71	60.233	325.65	0.037-0.037	325.6	-0.05
	PF77	61.036	328.19	0.037-0.037	328.1	-0.09
	PF82	61.52	328.63	0.037-0.037	328.4	-0.23

Tab.15 - Kalibrace pro Q₂₀

Tok	PF	Staničení		n [-]		Δh [m]
		[km]	h [m n. m.]	svah/dno	h [m n. m.]	
Křetínka	PF1	0.028	324.94	0.04-0.032	325.1	0.16
	PF9	0.241	326.17	0.04-0.032	326.2	0.03
	PF24	0.86	328.15	0.04-0.032	328	-0.15
	PF35	1.642	330.49	0.04-0.032	330.3	-0.19
Svitava	PF61	59.608	324.18	0.037-0.037	324	-0.18
	PF71	60.233	326	0.037-0.037	326.05	0.05
	PF77	61.036	328.76	0.037-0.037	328.6	-0.16
	PF82	61.52	329.27	0.037-0.037	329.1	-0.17

Tab.16 - Kalibrace pro Q₁₀₀

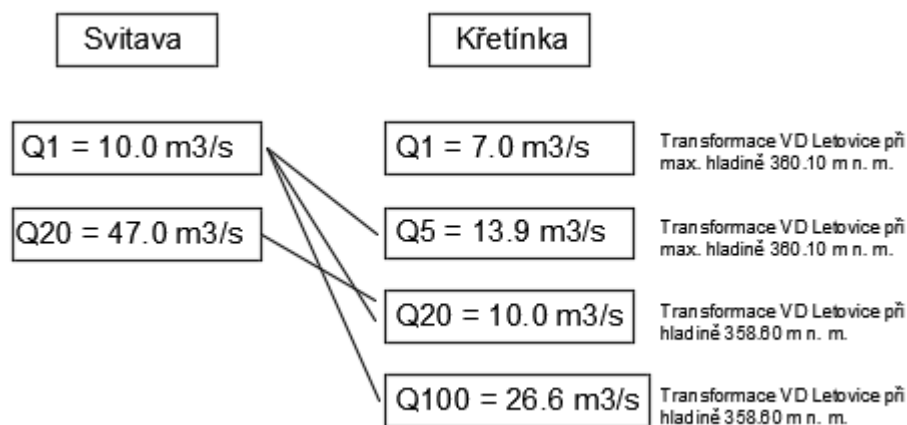
Tok	PF	Staničení		n [-]		Δh [m]
		[km]	h [m n. m.]	svah/dno	h [m n. m.]	
Křetínka	PF1	0.028	324.3	0.04-0.032	324.2	-0.1
	PF9	0.241	326.19	0.04-0.032	326.1	-0.09
	PF24	0.86	328.31	0.04-0.032	328.2	-0.11
	PF35	1.642	330.88	0.04-0.032	330.7	-0.18
Svitava	PF61	59.608	323.68	0.037-0.037	323.55	-0.13
	PF71	60.233	325.65	0.037-0.037	326.5	0.85
	PF77	61.036	329.26	0.037-0.037	329.1	-0.16
	PF82	61.52	329.72	0.037-0.037	329.5	-0.22

8 MODELOVÉ ŘEŠENÍ

Modelové řešení bylo zpracováno pro tři varianty technického řešení a pro čtyři definované průtokové scénáře. Varianty technického řešení zohledňují tři základní možnosti opatření v zájmových úsecích toků. Jedná se o následující varianty:

- Varianta 0 – současný stav
- Varianta 1 – návrh klapky na Křetíně a zkapacitnění náhonu (viz Kap 8.1)
- Varianta 2 – návrh zkapacitnění koryta Křetínky (viz Kap 8.2)

Definice průtokových scénářů byla provedena na základě stávající kapacity toků a manipulačních pravidel pro jednotlivé VH objekty. (viz kap. 6.1.3). Pro vlastní řešení byl proveden odhad přítoku vnitřních vod pro dané scénáře (viz Kap. 6. 1. 4). Scénáře řešení byly navrženy pro situace, které odpovídají kombinaci povodňových událostí na Křetíně a Svitavě. Kombinace byly voleny s ohledem na pravděpodobnost souběhu průtokových stavů na jednotlivých tocích. Celkem byly hodnoceny 4 scénáře kombinací průtoků dle následujícího grafu (Obr.33) a Tab.17.



Obr. 33 - Graf řešených scénářů

Tab. 17 - Scénáře řešení

	Svitava	Křetínka
Scénář	$[m^3/s]$	$[m^3/s]$
1	10	13.9
2	10	10
3	10	26.6
4	47	10

8.1 NÁVRH POHYBLIVÉHO JEZU

Jako návrh pro odlehčení povodňových stavů na Křetíně byla navržena klapka (viz příloha C.1 – C.3) , která bude situována místo dosavadního spádového stupně v km 1.595. Zároveň s tímto řešením se zkapacitní koryta nad jezem a odlehčovací náhon.

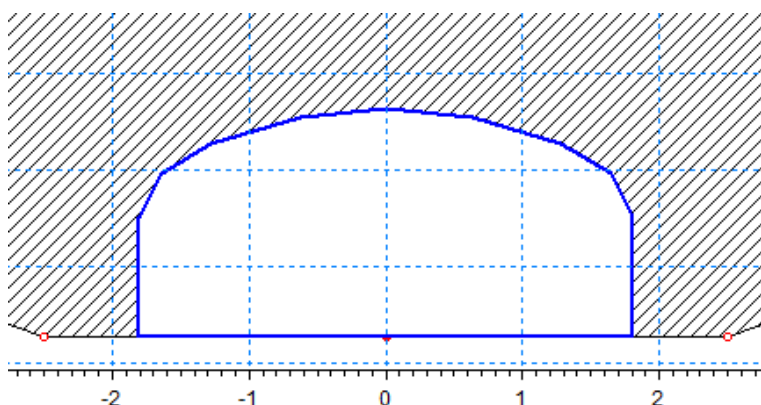
Řešení náhonu

Současná kapacita náhonu je přibližně $6 \text{ m}^3/\text{s}$, které v současném stavu odpovídá zhruba Q_5 na Křetíně. Návrh opatření se navrhne na Q_{20} ($26 \text{ m}^3/\text{s}$). Koryto Křetínky je pod odbočkou do náhonu kapacitní na Q_5 ($14 \text{ m}^3/\text{s}$). Navrhne se proto konstrukce, která převede tento průtok do Křetínky a ostatní průtoky převede do náhonu a dále do Svitavy. Náhon se upraví na pravidelné lichoběžníkové koryto s šířkou ve dně 5 m, svahováním 1:2a sklonem dna 2.4 ‰, které bylo uvažováno ve výpočtu.

Tímto opatřením se povodňové stavy převedou náhonem do Svitavy a zamezí se tak rozlivům. Důležitým aspektem je kapacita propustku pod železniční tratí, která odděluje záplavové území Křetínky a Svitavy. Ten je široký 3.61 m a vysoký 2.38 m. Tvar propustku je obdélníkový se zaobleným stropem (viz Obr. 34). Měrná křivka propustku byla vypočtena na základě geometrických parametrů v program MIKE 11. Měrná křivka podle výpočtu v MIKE 11 je ukázaná v Tab. 18.

Tab.18 - Q/h propustku

h [m]	Q_p [m^3/s]
0.00	0.00
0.03	0.02
0.10	0.16
0.21	0.53
0.36	1.23
0.53	2.33
0.73	3.88
0.96	5.92
1.20	8.43
1.47	11.37
1.76	14.68



Obr.34 - Tvar propustku

Tab.19-Výpočet kapacity náhonu

Úsek 0.243 - 0.463 - náhon

$b=$	5 m	$h_{max}=$	3 m
$n_d=$	0.035 (-)	$m=$	2 (-)
$n_s=$	0.035 (-)	$i=$	0.0024

h [m]	S [m^2]	O [m]	R [m]	n [-]	C [$\text{m}^{0.5}/\text{s}$]	v [m/s]	Q [m^3/s]
0	0	0	0	0	0	0	0

0.1	0.52	5.45	0.095	0.035	19.315	0.29	0.15
0.2	1.08	5.89	0.183	0.035	21.533	0.45	0.49
0.3	1.68	6.34	0.265	0.035	22.897	0.57	0.97
0.4	2.32	6.79	0.342	0.035	23.890	0.68	1.58
0.5	3	7.24	0.415	0.035	24.672	0.77	2.32
0.6	3.72	7.68	0.484	0.035	25.318	0.86	3.19
0.7	4.48	8.13	0.551	0.035	25.870	0.94	4.19
0.8	5.28	8.58	0.616	0.035	26.352	1.01	5.32
0.9	6.12	9.02	0.678	0.035	26.780	1.07	6.58
1	7	9.47	0.739	0.035	27.167	1.14	7.97
1.1	7.92	9.92	0.798	0.035	27.519	1.20	9.49
1.2	8.88	10.37	0.857	0.035	27.844	1.26	11.15
1.3	9.88	10.81	0.914	0.035	28.145	1.31	12.95
1.4	10.92	11.26	0.970	0.035	28.425	1.36	14.90
1.5	12	11.71	1.025	0.035	28.689	1.42	16.99
1.6	13.12	12.16	1.079	0.035	28.937	1.47	19.23
1.7	14.28	12.60	1.133	0.035	29.173	1.51	21.61

Řešení pohyblivé konstrukce

V km 1.595 v místě stávajícího jezu byla navržena pohyblivá hradící konstrukce k regulaci hladin za zvýšených průtoků (viz Příloha B.1. a B. 2.). Jelikož hlavním cílem práce nebyl podrobný návrh pohyblivé konstrukce, byly u klapky navrženy jen hlavní parametry (viz Příloha C. 3.). Jako hradící konstrukce byla navržena klapka výšky 0.8 m, šířky 6.5 m a výška prahu konstrukce je ve výšce 328.7 m n. m. Hydraulické výpočty klapky jsou uvedeny v příloze C. 3. Jez je jednopólový s jednostranným ovládním cévovou tyčí servomotorem na levé straně konstrukce. Těleso jezu je konstruováno z vodohospodářského betonu. Návrh vývaru v této práci nebyl proveden.

Současně s výstavbou nového jezu se navrhne nové stavidlo na nátoku do Manipulace s klapkou jsou uvedeny níže u řešení scénářů v Kap. 8.3. náhonu. Toto stavidlo je široké 3.0 m, vysoké 2 m a výška přepadového prahu je 328.45 m n. m..

8.2 ZKAPACITNĚNÍ KŘETÍNKY

Křetínka se vylévá z koryta již při Q_5 . Při větších průtocích navíc dochází k zaplavení inundačního území a voda se přelévá do Svitavy. Při nižších průtocích na Svitavě je převod z Křetínky žádoucí. Nežádoucím se stává v okamžiku, kdy jsou vyšší povodňové stavy i na Svitavě a může tak dojít k zaplavení zastavěného území. Navrhne se proto koryto, které převede průtoky pro Q_{20} , které odpovídají charakteru území. V současné době se na záplavovém území nacházejí zemědělské pozemky. Podle územního plánu Letovic se tato oblast uvažuje jako zastavitelná plocha. Výběr návrhového průtoku se řídil podle Tab. 1. Jako podklad pro vyhodnocení se použil podélný profil, pro zjištěný sklon, a příčné profily.

Celkem se budou upravovat 3 úseky. Pro každý úsek byla vypočítána geometrie koryta, která pro všechny úseky vyšla stejná. Tvar koryta je tedy lichoběžníkový s šířkou ve dně 4 m a sklonem svahů 1:2. Dojde také k upravení nátoku do náhonu, kdy

se nátok zvýší a upraví se provizorní stavidlo. Nátok bude tedy na kótě 328.77 m n. m. Výška stavidla je 0.8 m a při zvýšených průtocích m za úkol koncentrovat vodu v Křetínce do koryta.

Tab.20–Výpočet kapacity 1. úseku

I. Úsek 0.000 - 0.786

$b=$	4	m	$h_{max}=$	3	m
$n_d=$	0.032	(-)	$m=$	2	(-)
$n_s=$	0.040	(-)	$i=$	0.0049	

h [m]	S [m ²]	o [m]	R [m]	n [-]	C [m ^{0.5} /s]	v [m/s]	Q [m ³ /s]
0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0.42	4.45	0.094	0.031	22.123	0.48	0.20
0.2	0.88	4.89	0.180	0.031	24.302	0.72	0.64
0.3	1.38	5.34	0.258	0.031	25.533	0.91	1.26
0.4	1.92	5.79	0.332	0.032	26.375	1.07	2.05
0.5	2.5	6.24	0.401	0.032	27.009	1.20	3.00
0.6	3.12	6.68	0.467	0.032	27.518	1.32	4.12
0.7	3.78	7.13	0.530	0.032	27.943	1.43	5.40
0.8	4.48	7.58	0.591	0.032	28.310	1.53	6.85
0.9	5.22	8.02	0.650	0.033	28.634	1.62	8.47
1	6	8.47	0.708	0.033	28.926	1.71	10.26
1.1	6.82	8.92	0.765	0.033	29.192	1.79	12.23
1.2	7.68	9.37	0.820	0.033	29.437	1.87	14.38
1.3	8.58	9.81	0.874	0.033	29.666	1.95	16.72
1.4	9.52	10.26	0.928	0.033	29.881	2.02	19.25
1.5	10.5	10.71	0.981	0.033	30.083	2.09	21.98
1.6	11.52	11.16	1.033	0.033	30.276	2.16	24.90
1.7	12.58	11.60	1.084	0.033	30.459	2.23	28.03
1.8	13.68	12.05	1.135	0.033	30.635	2.29	31.37
1.9	14.82	12.50	1.186	0.033	30.803	2.36	34.93
2	16	12.94	1.236	0.033	30.966	2.42	38.70
2.1	17.22	13.39	1.286	0.034	31.122	2.48	42.70

Tab.21–Výpočet kapacity 2. úseku

II. Úsek 1.150 - 1.400

$b=$	4	m	$h_{max}=$	3	m
$n_d=$	0.032	(-)	$m=$	2	(-)
$n_s=$	0.040	(-)	$i=$	0.0013	

h [m]	S [m ²]	o [m]	R [m]	n [-]	C [m ^{0.5} /s]	v [m/s]	Q [m ³ /s]
0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0.42	4.45	0.094	0.031	22.123	0.24	0.10
0.2	0.88	4.89	0.180	0.031	24.302	0.37	0.32
0.3	1.38	5.34	0.258	0.031	25.533	0.46	0.64
0.4	1.92	5.79	0.332	0.032	26.375	0.54	1.04
0.5	2.5	6.24	0.401	0.032	27.009	0.61	1.53
0.6	3.12	6.68	0.467	0.032	27.518	0.67	2.10
0.7	3.78	7.13	0.530	0.032	27.943	0.73	2.75
0.8	4.48	7.58	0.591	0.032	28.310	0.78	3.48
0.9	5.22	8.02	0.650	0.033	28.634	0.82	4.31
1	6	8.47	0.708	0.033	28.926	0.87	5.22
1.1	6.82	8.92	0.765	0.033	29.192	0.91	6.22
1.2	7.68	9.37	0.820	0.033	29.437	0.95	7.31
1.3	8.58	9.81	0.874	0.033	29.666	0.99	8.50
1.4	9.52	10.26	0.928	0.033	29.881	1.03	9.79
1.5	10.5	10.71	0.981	0.033	30.083	1.06	11.17
1.6	11.52	11.16	1.033	0.033	30.276	1.10	12.66
1.7	12.58	11.60	1.084	0.033	30.459	1.13	14.25
1.8	13.68	12.05	1.135	0.033	30.635	1.17	15.95
1.9	14.82	12.50	1.186	0.033	30.803	1.20	17.76
2	16	12.94	1.236	0.033	30.966	1.23	19.68
2.1	17.22	13.39	1.286	0.034	31.122	1.26	21.71
2.2	18.48	13.84	1.335	0.034	31.274	1.29	23.86
2.3	19.78	14.29	1.385	0.034	31.421	1.32	26.12
2.4	21.12	14.73	1.434	0.034	31.563	1.35	28.51
2.5	22.5	15.18	1.482	0.034	31.701	1.38	31.02
2.6	23.92	15.63	1.531	0.034	31.836	1.41	33.65
2.7	25.38	16.07	1.579	0.034	31.968	1.43	36.42

Tab.22–Výpočet kapacity 3. úseku

III. Úsek 1.400 -1.752

$b=$	4	m	$h_{max}=$	3	m
$n_d=$	0.032	(-)	$m=$	2	(-)
$n_s=$	0.040	(-)	$i=$	0.0048	

h (m)	S (m ²)	o (m)	R	n	C	v (m/s)	Q (m ³ /s)
0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0.42	4.45	0.094	0.031	22.123	0.47	0.20
0.2	0.88	4.89	0.180	0.031	24.302	0.71	0.63
0.3	1.38	5.34	0.258	0.031	25.533	0.90	1.24
0.4	1.92	5.79	0.332	0.032	26.375	1.05	2.02
0.5	2.5	6.24	0.401	0.032	27.009	1.18	2.96
0.6	3.12	6.68	0.467	0.032	27.518	1.30	4.06
0.7	3.78	7.13	0.530	0.032	27.943	1.41	5.32
0.8	4.48	7.58	0.591	0.032	28.310	1.51	6.75
0.9	5.22	8.02	0.650	0.033	28.634	1.60	8.34
1	6	8.47	0.708	0.033	28.926	1.68	10.10
1.1	6.82	8.92	0.765	0.033	29.192	1.77	12.04
1.2	7.68	9.37	0.820	0.033	29.437	1.84	14.16
1.3	8.58	9.81	0.874	0.033	29.666	1.92	16.46
1.4	9.52	10.26	0.928	0.033	29.881	1.99	18.95
1.5	10.5	10.71	0.981	0.033	30.083	2.06	21.64
1.6	11.52	11.16	1.033	0.033	30.276	2.13	24.52
1.7	12.58	11.60	1.084	0.033	30.459	2.19	27.60
1.8	13.68	12.05	1.135	0.033	30.635	2.26	30.89
1.9	14.82	12.50	1.186	0.033	30.803	2.32	34.39
2	16	12.94	1.236	0.033	30.966	2.38	38.10
2.1	17.22	13.39	1.286	0.034	31.122	2.44	42.04

8.3 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY - VARIANTA 0

Tato varianta zahrnuje manipulaci pro současný stav bez opatření, jak je popsáno v kapitole 6.1.3.

8.3.1 Scénář 1 - Var 0

Křetínska $Q_5 = 13.90 \text{ m}^3/\text{s}$

Svitava $Q_1 = 10 \text{ m}^3/\text{s}$

- jez Tylex – zcela vyhrazen
- stavidla SO4 a SO5 – zcela vyhrazena
- zahrazení provizorního stavidla na náhonu na úroveň 329.00 m n. m.

Svitava je kapacitní a nikde se při tomto scénáři nevytlívá ze svého koryta. Křetínka se vylívá z koryta v několika místech. Jedná se o úseky:

- km 1.275 – 1.752 – levý břeh – zaplavena orná půda mezi Křetínkou a drážním tělesem
- km 0.205 – 1.004 – levý i pravý břeh – na pravém břehu zaplavena cyklostezka a na levém orná půda mezi Křetínkou a drážním tělesem

V tomto případě došlo k úplnému zahrazení provizorního stavidla na náhonu, který přepouští minimum vody ($1.20 \text{ m}^3/\text{s}$). Jelikož je stavidlo přibližně na stejné úrovni jako pevný jez v km 1.595, dochází u něj i v nízkých průtocích k přelití. Při otevření stavidla se přepouští přibližně $2.7 \text{ m}^3/\text{s}$ náhonem a odlehčí se tak koryto Křetinky, kterým teče $11.2 \text{ m}^3/\text{s}$ a koryto se nevytlívá v úseku km 0.205 – 1.004. Svitava je stále kapacitní. Vzhledem k účelu zaplavených ploch se nevyžaduje žádné protipovodňové opatření nebo čerpání vod.

8.3.2 Scénář 2 – Var 0

Křetínka $Q_{20} = 10.00 \text{ m}^3/\text{s}$

Svitava $Q_1 = 10 \text{ m}^3/\text{s}$

- jez Tylex – zcela vyhrazen
- stavidla SO4 a SO5 – zcela vyhrazena
- zahrazení provizorního stavidla na náhonu na úroveň 329.00 m n. m.

Svitava je kapacitní. Křetínka se mírně vylívá z koryta na levém břehu v úseku km 0.407 – 0.829, kde zasáhne orné půdy mezi Křetínkou a drážním tělesem. Při plném zahrazení provizorního stavidla se voda přelévá a přepouští do náhonu přibližně $0.65 \text{ m}^3/\text{s}$. Při plném otevření přepouští $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$, což ovlivní hladinu v korytě Křetinky, kterým teče $7.8 \text{ m}^3/\text{s}$ a nevytlívá se z koryta. Nevyžaduje se žádné čerpání vod ani protipovodňové opatření.

8.3.3 Scénář 3 – Var 0

Křetínka $Q_{20} = 26.60 \text{ m}^3/\text{s}$

Svitava $Q_1 = 10 \text{ m}^3/\text{s}$

- jez Tylex – zcela vyhrazen
- stavidla SO4 a SO5 – zcela vyhrazena
- zahrazení provizorního stavidla na náhonu na úroveň 329.00 m n. m.

Svitava je kapacitní. Křetínka se při tomto stavu vylívá z koryta hned v několika úsecích:

- PB km 1.752 – 1.459 – zaplavení cyklostezky a zeleně
- LB km 1.752 – 1.459 – zaplavení zahrad
- LB km 1.459 – 1.130 – zaplavení orné půdy mezi Křetínkou a drážním tělesem
- PB km 1.159 - 1.130 – zaplavení cyklostezky

- LB km 1.130 – 0.241 – zaplavení orné půdy mezi Křetínkou a drážním tělesem

8.3.4 Scénář 4 – Var 0

Křetínka $Q_{10} = 10 \text{ m}^3/\text{s}$

Svitava $Q_{20} = 47 \text{ m}^3/\text{s}$

- jez Tylex – zcela vyhrazen
- stavidla SO4 a SO5 – zcela zahrazena
- čerpání vody z náhonu
- plně zahrazené provizorní stavidlo na náhonu

Křetínka se mírně vylévá z koryta na levém břehu v úseku km 0.407 – 0.829, kde zasáhne orné půdy mezi Křetínkou a drážním tělesem. Do náhonu proudí přibližně $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$ od přelítí přes provizorní stavidlo. Vzhledem k zahrazenému stavidlu SO4 v drážním tělese a SO5 na soutoku se Svitavou je nutné čerpání. Čerpat se bude do Svitavy v území mezi drážním tělesem a stavidlem S04. Dále se musí přečerpat množství v náhonu z nátoku od Křetinky a případné vody z dešťové kanalizace (viz Kap. 6. 1. 4.). Svitava je kapacitní a část povodňové vlny se transformuje v inundačním území, do kterého natéká inundačním mostem v km 60.910. Pro nedostatek informací nejde určit přesné množství.

8.4 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY - VARIANTA 1

Varianta 1 uvažuje s návrhem klapky blíže popsané v Kap. 8.1. Manipulaci při různých průtocích znázorňuje Tab. 24. Úroveň přelivné hrany klapky při manipulaci je znázorněna v Tab. 23.

Tabulka 23 - Úroveň přelivné hrany při manipulaci

Poloha	h_{klapka}
	[m n. m.]
0	329.5
1	329.3
2	329.1
3	328.9
sklopená	328.7

Tabulka 24 - Manipulace s klapkou a stavidlem na Křetínce

$Q_{\text{Křetínka}}$	Q_{Svitava}	Jez Křetínka			Stavidlo náhon	
		Poloha klapky	h [m]	Q_k [m^3/s]	Otevření [m]	Q_s [m^3/s]
26.6	10.0	sklopená	1.40	17.50	1.5	9.1
13.9	10.0	2. poloha	0.75	6.90	1.0	7.0
10.0	10.0	2. poloha	0.66	5.70	0.5	4.3
10.0	47.0	sklopená	0.90	10.00	0.0	0.0

8.4.1 Scénář 1 – Var 1

Křetínka $Q_5 = 13.90 \text{ m}^3/\text{s}$

Svitava $Q_1 = 10 \text{ m}^3/\text{s}$

- jez Tylex – zcela vyhrazen
- stavidla SO4 a SO5 – zcela vyhrazena
- stavidlo na náhonu – otevření 1 m
- klapka v 3. poloze – výška přelivné hrany 329.1 m n. m.

Svitava je kapacitní. Náhon převádí $7,1 \text{ m}^3/\text{s}$ a ulehčuje tím toku Křetínky, ve které proudí $6.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Ta se jen mírně vylévá na pravém břehu za mostem v km 0.860 – 0.777, což je pozemek mezi Křetínkou a cyklostezkou. Nevyžaduje se žádné čerpání vod ani protipovodňové opatření.

8.4.2 Scénář 2 – Var 1

Křetínka $Q_{20} = 10.00 \text{ m}^3/\text{s}$

Svitava $Q_1 = 10 \text{ m}^3/\text{s}$

- jez Tylex – zcela vyhrazen
- stavidla SO4 a SO5 – zcela vyhrazena
- klapka v 2. poloze - výška přelivné hrany 329.1 m n. m.
- stavidlo na náhonu – otevření 0.5 m

Svitava je kapacitní. V korytě Křetínky zůstává po odlehčení náhonem $4.3 \text{ m}^3/\text{s}$, tento průtok se nevylévá z koryta řeky. V náhonu teče $5.7 \text{ m}^3/\text{s}$. Nevyžaduje se žádné čerpání vod ani protipovodňové opatření.

8.4.3 Scénář 3 – Var 1

Křetínka $Q_{20} = 26.60 \text{ m}^3/\text{s}$

Svitava $Q_1 = 10 \text{ m}^3/\text{s}$

- jez Tylex – zcela vyhrazen
- stavidla SO4 a SO5 – zcela vyhrazena
- stavidlo na náhonu – otevření 1.5 m
- sklopená klapka

Svitava je kapacitní s možností nátok do inundace v km 60.910 pod inundačním mostem. K inundačnímu mostu nejsou geometrické informace, proto se nátok může jen odhadovat. Křetínka se vylévá v několika úsecích, a to na pravém břehu v km 1.671, kde se voda rozlije do přilehlých zahrad. Dále je to úsek na pravém břehu km 1.459 - 0.241, kdy se zaplaví orná půda mezi Křetínkou a drážním tělesem.

Náhon převádí v této situaci $9.1 \text{ m}^3/\text{s}$ do Svitavy. Vzhledem k zvýšenému průtoku na Svitavě nepřevádí Náhon požadované množství vody.

8.4.4 Scénář 4 – Var 1

Křetínka $Q_{10} = 10 \text{ m}^3/\text{s}$

Svitava $Q_{20} = 47 \text{ m}^3/\text{s}$

- jez Tylex – zcela vyhrazen
- stavidla SO4 a SO5 – zcela zahrazena
- čerpání vody z náhonu
- zahrazení stavidla na náhonu
- plně sklopená klapka

Křetínka se mírně vylévá z koryta na levém břehu v úseku km 0.407 – 0.829, kde zasáhne orné půdy mezi Křetínkou a drážním tělesem. Stavidlo na nátok do náhonu se plně uzavře a průtok je tedy nulový. Musí se ovšem počítat s průsakovými vodami a s vodou z dešťové kanalizace. Vzhledem k uzavření náhonu je nutné čerpání. Z území za stavidlem v drážním tělese se voda čerpá zpět do Křetínky. Voda před tímto stavidlem se čerpá do Svitavy. Svitava je kapacitní a část povodňové vlny se transformuje v inundačním území, do kterého natéká inundačním mostem v km 60.910. Pro nedostatek informací nejde určit přesné množství.

8.5 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY - VARIANTA 2

Situace v této variantě je blíže popsána v Kap. 8.2. Jedná se o úpravu koryta Křetínky.

8.5.1 Scénář 1 – Var 2

Křetínka $Q_5 = 13.90 \text{ m}^3/\text{s}$

Svitava $Q_1 = 10 \text{ m}^3/\text{s}$

- jez Tylex – zcela vyhrazen
- stavidla SO4 a SO5 – zcela vyhrazena
- zahrazení provizorního stavidla na náhonu

Svitava je kapacitní. Křetínka se vylévá na levém břehu v úseku za mostem na km 0.860 – 0.777. Je zaplaveno území mezi Křetínkou a drážním tělesem. U tohoto návrhu se přepadá přes stavidlo náhonu $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$. V korytě Křetínky tedy teče $13.10 \text{ m}^3/\text{s}$. Při plně vyhrazeném stavidle přepouští náhon $4.6 \text{ m}^3/\text{s}$, což výrazně sníží hladinu v korytě Křetínky, v které proudí $9.3 \text{ m}^3/\text{s}$.

8.5.2 Scénář 2 – Var 2

Křetínka $Q_{20} = 10.00 \text{ m}^3/\text{s}$

Svitava $Q_1 = 10 \text{ m}^3/\text{s}$

- jez Tylex – zcela vyhrazen
- stavidla SO4 a SO5 – zcela vyhrazena
- zahrazení provizorního stavidla na náhonu

Svitava je kapacitní. Křetínka se vylévá na pravém břehu za mostem v 0.854 – 0.975 km, což je území mezi korytem Křetínky a drážním tělesem. Náhonem se přepouští 0.25 m³/s. Nevyžaduje se žádné čerpání vod ani protipovodňové opatření.

8.5.3 Scénář 3 – Var 2

Křetínka $Q_{20} = 26.60 \text{ m}^3/\text{s}$

Svitava $Q_1 = 10 \text{ m}^3/\text{s}$

- jez Tylex – zcela vyhrazen
- stavidla SO4 a SO5 – zcela vyhrazena
- zahrazené provizorní stavidlo na náhonu

Svitava je kapacitní. Křetínka se vylévá na LB v km 0.786 – 0.975, kde je orná půda mezi korytem Křetínky a drážním tělesem. Do náhonu přepadá přes provizorní stavidlo 3,0 m³/s. Nevyžaduje se žádné čerpání vod ani protipovodňové opatření.

8.5.4 Scénář 4 – Var 2

Křetínka $Q_{10} = 10 \text{ m}^3/\text{s}$

Svitava $Q_{20} = 47 \text{ m}^3/\text{s}$

- jez Tylex – zcela vyhrazen
- stavidla SO4 a SO5 – zcela zahrazena
- čerpání vody z náhonu
- zahrazení provizorního stavidla na náhonu

Křetínka se mírně vylévá z koryta na levém břehu v úseku km 0.407 – 0.829, kde zasáhne orné půdy mezi Křetínkou a drážním tělesem. Stavidlo na nátok do náhonu se plně uzavře a průtok je tedy nulový. Musí se ovšem počítat s průsakovými vodami a s vodou z dešťové kanalizace. Vzhledem k uzavření náhonu je nutné čerpání. Z území za stavidlem v drážním tělese se voda čerpá zpět do Křetínky. Voda před tímto stavidlem se čerpá do Svitavy. Svítava je kapacitní a část povodňové vlny se transformuje v inundačním území, do kterého natéká inundačním mostem v km 60.910. Pro nedostatek informací nejde určit přesné množství.

8.6 POROVNÁNÍ VARIANT PRO JEDNOTLIVÉ SCÉNÁŘE

V předcházející kapitole (Kap 8.6) proběhl výpočet pro jednotlivé scénáře ve vybraných variantách. Pro srovnání ovlivnění hladiny byly vybrány 3 profily na každém toku. V tab. 24 je uvedeno staničení profilu a kapacita levého a pravého břehu ve stávajícím stavu. V tab. 25 – 28 je červenou barvou označeno vybřežení.

Tab.25 - Profily pro porovnání hladiny vody

		Q_N		Nadmořská výška[m n. m.]	
Tok	Km	Levý břeh	Pravý břeh	Levý břeh	Pravý břeh
Svitava	61.265	$<Q_{100}$	$<Q_{100}$	329.45	329.30
	60.640	$>Q_{100}$	$<Q_{20}$	328.45	327.30
	59.944	$<Q_{20}$	$<Q_{100}$	324.45	325.01
Křetínka	1.459	$<Q_{20}$	$<Q_5$	330.10	329.40
	0.737	$<Q_5$	$<Q_5$	327.18	326.95
	0.407	$<Q_5$	$<Q_5$	326.15	326.00
Náhon	0.377	Dle manipulace		329.64	329.17
	0.269			328.52	328.44
	0.068			327.86	328.00

Z porovnání v Tab. 25 vyplývá, že po vybudování jezu na Křetínce se sníží hladina při této manipulaci přibližně o 35 cm u neupraveného koryta pod jezem.

Tab.26 - Porovnání variant při scénáři 1

1	Varianta/Km	Svitava			Křetínka			Náhon		
		61.265	60.640	59.944	1.459	0.737	0.407	0.377	0.269	0.068
h [m n. m.]	1 - současný stav	327.30	326.25	323.60	329.30	327.05	326.14	328.02	327.88	327.26
	2 - návrh klapky – úprava náhonu	327.59	326.47	323.60	328.88	326.74	325.87	328.62	328.52	327.59
	3 - zkapacitnění Křetíny	327.30	326.25	323.60	329.35	327.10	325.55	328.00	327.75	327.25

Z porovnání v Tab. 26 vyplývá, že po vybudování jezu na Křetíně se sníží hladina při této manipulaci přibližně o 25 cm u neupraveného koryta pod jezem.

Tab.27 - Porovnání variant při scénáři 2

2	Varianta/Km	Svitava			Křetínka			Náhon		
		61.265	60.640	59.944	1.459	0.737	0.407	0.377	0.269	0.068
<i>h [m n. m.]</i>	1 - současný stav	327.28	326.17	323.50	329.06	326.87	326.03	327.90	327.70	327.22
	2 - návrh klapky – úprava náhonu	327.44	326.34	323.50	328.78	326.67	325.78	328.41	328.34	327.45
	3 - zkapacitnění Křetíny	327.21	326.15	323.50	329.16	326.96	325.44	327.80	327.60	327.21

Z porovnání v Tab.27 vyplývá, že po vybudování jezu na Křetíně se sníží hladina při této manipulaci přibližně o 20 cm u neupraveného koryta pod jezem.

Tab.28 - Porovnání variant při scénáři 3

3	Varianta/Km	Svitava			Křetínka			Náhon		
		61.265	60.640	59.944	1.459	0.737	0.407	0.377	0.269	0.068
<i>h [m n. m.]</i>	1 - současný stav	327.38	326.30	323.90	329.73	327.08	326.33	328.24	328.06	327.40
	2 - návrh klapky – úprava náhonu	327.79	326.56	323.90	329.57	326.89	326.11	328.99	328.94	327.75
	3 - zkapacitnění Křetíny	327.40	326.28	323.90	395.82	327.50	325.93	328.36	328.15	327.39

Z výsledků v tabulce 28 vyplývá, že navrhované řešení nemá vliv na stav vody ve Svitavě. Výsledky se ovšem můžou lišit kvůli nedostatku informací, a to hlavně o inundačním mostě na Svitavě. Stav na náhonu se nedá jednoznačně určit.

Tab.29 - Porovnání variant při scénáři 4

4	Varianta/Km	Svitava			Křetínka			Náhon		
		61.265	60.640	59.944	1.459	0.737	0.407	0.377	0.269	0.068
<i>h [m n. m.]</i>	1 - současný stav	328.64	327.58	324.45	329.06	326.89	326.04	Dle čerpání		
	2 - návrh klapky - úprava náhonu	328.64	327.58	324.45	329.07	326.90	326.06	Dle čerpání		
	3 - zkapacitnění Křetínky	328.64	327.58	324.45	329.16	326.96	325.44	Dle čerpání		

8.7 NAKLÁDÁNÍ S VNITŘNÍMI VODAMI

Náhon

Náhon mezi Křetínkou a Svitavou slouží k odlehčení povodňových průtoků na Křetínce. Dříve bylo toto koryto hlavním tokem Křetínky. Po výstavbě VD Letovice se zaústění uměle posunulo asi 1.3 km po toku Svitavy. Poté původní koryto (náhon) sloužilo k nadlepšení průtoku ve Svitavě kvůli vodní elektrárně Tylex.

Problémem náhonu je dnes malá kapacita koryta a také odnášení splavenin, které jsou do toku vnášeny hlavně ze železniční tratě. Tyto splaveniny jsou poté odnášeny do Svitavy a omezují její průtočnost.

Z porovnání navrhované úpravy se dá vyzorovat, že po rekonstrukci náhonu výrazně odlehčí toku Křetínky. Při povodni na Svitavě ovšem voda v náhonu stoupne natolik, že ohrožuje okolní budovy včetně Masarykovy střední školy.

V současné situaci se na náhonu nacházejí 3 objekty, a to:

- stavidlo SO5 v km 0.043
- stavidlo v drážním tělese SO4 v km 0.243
- provizorní stavidlo na nátoku z Křetínky

Postup je takový, že při hladině na Svitavě u stavidla SO5 327,75 m n. m se stavidlo zahradí a je zajištěno čerpání vnitřních vod z náhonu. Musí se také uvažovat o kombinaci povodňových stavů na Svitavě a Křetínce při delších regionálních deštích. Do koryta náhonu je zaústěna dešťová kanalizace z ulice Tyršova (viz Kap 6. 1. 3.), z které je do náhonu vypouštěno nezanedbatelné množství vody.

Jako možné řešení by se dalo uvažovat o gravitačním převádění vod do jímky zřízené v blízkosti náhonu. Ta by mohla také sloužit k zachycení vody z dešťové kanalizace. Jako vhodné území se jeví pozemek na levém břehu náhonu, těsně před zaústěním do Svitavy (Obr. 39).



Obr.35 - Vhodné umístění jímky

8.8 DALŠÍ MOŽNÁ OPATŘENÍ

Hlavním problémem Letovic jsou průtoky ze Svitavy, které zaplavují zastavěné území města včetně Masarykova náměstí. Jako jedno z řešení se jeví odstranění nebo úprava jezu v areálu Tylex, který vzdouvá hladinu nad jezem. Odstraněním jezu by se dosáhlo většího sklonu nivelety a tím i rychlejšího odvedení povodňových průtoků. Jez Tylex slouží v současné době k odběru vody pro průmyslový areál Tylex. Hlavním účelem v minulosti však bylo vzdouvání vody pro zaniklou VE Tylex. Voda pro areál by se dala zajistit jinými způsoby jako např. řadou jímacích studní, vybudováním nádrže, atd.

Jako dobré řešení se jeví také vybudování nádrže na Svitavě (Obr. 40), která by zároveň zajistila ekologicky stabilní prvek po zničení přirozených mokřad kolem Svitavy.

Důležitým prvkem je též inundační most nad areálem Tylex. Ten při povodni odvádí průtoky do inundačního území mezi silnicí I/43 a drážní těleso. V tomto území by se dalo uvažovat o vybudování suché vodní nádrže, ke které by průtoky byly přiváděny příkopem kolem silnice I/43. K nádrži by se také mohly přivádět vody z náhonu po vybudování svodného kanálu. Toto řešení by ovšem vyžadovalo větší investiční prostředky. Prostor pro případnou nádrž je široký 120 m a dlouhý přibližně 500 m. Toto umístění by bylo vhodné také kvůli areálu Tylex, který by z této nádrže odebíral vodu. To by umožnilo zrušení jezu Tylex, který k tomuto účelu slouží.



Obr.36 - Vhodné místo pro vytvoření nádrže

9 ZÁVĚR

V diplomové práci bylo provedeno posouzení zájmového území z hlediska manipulace s objekty a návrhu vhodného protipovodňového opatření. Podklady pro zpracování byly poskytnuty ze studie záplavového území od Povodí Moravy s. p.. Sestavení výpočtového modelu bylo provedeno v programu MIKE 11, vyvinutý Dánským hydraulickým institutem, pro výpočet nerovnoměrného proudění.

Práce se zaměřila na posouzení záplavového území v intravilánu města Letovice, přesněji soutoku Svitavy km 59.608 – 61.520 a Křetínky km 0.000 – 1.752 a náhonu mezi nimi. Záplavové území těchto toků je odděleno železničním valem. Mezi nimiž se nachází náhon, který byl dříve hlavním tokem Křetínky. Po vybudování VD Letovice se zaústění Křetínky posunulo o 1.312 km níže po toku Svitavyv km 59.934. Náhon se tedy začíná na Křetínce v km 1.600 a zaústíuje na Svitavě v km 61.246. Na zájmovém území se nachází několik manipulovatelných objektů, které ovlivňují průběh hladin. Jedná se zejména na Křetínce o VD Letovice v km 2.923, která transformuje povodňové průtoky podle hladiny vody v nádrži (viz Kap. 6. 1. 3.). Dále se jedná o menší objekty na náhonu a jez Tylex na řece Svitavě. Na náhonu se nachází 3 stavidlové uzávěry, které jsou detailněji popsány v Kap. 6. 1. 3. Ve zkratce se jedná o provizorní stavidlo u napojení s Křetínkou, které má funkci zmírnit podmáčení pozemků mezi Křetínkou a drážním tělesem při povodňových stavech. Dále je to stavidlo v drážním tělese SO4, které bylo v roce 2011 zrekonstruováno v rámci PPO na Svitavě. Stavidlo slouží k uzavření náhonu při vyšších povodňových stavech na Křetínce a zároveň při zvýšené hladině na Svitavě. U soutoku náhonu a Svitavy se nachází nově zbudované stavidlo z roku 2011 SO5, které slouží k uzavření náhonu v případě, že voda přesáhne kótu hladiny 327.75 m n. m. Na Svitavě se nachází jez Tylex v km 60.266. Ten slouží k vzdouvání vody kvůli odběru pro průmyslové účely a jako odběr vody v případě požáru.

V první řadě byly posouzeny stávající objekty z hlediska různých povodňových situací na Křetínce a Svitavě. Byly vypracovány 4 scénáře průtoků podle pravděpodobnosti jejich výskytu (viz Kap. 8). Z výsledků vyplynulo, že se voda v Křetínce vylévá již při Q_5 a zaplavuje rozsáhlé území mezi Křetínkou a drážním tělesem na levém břehu v km 0.241 – 1.459. Dle územního plánu města Letovic se s tímto pozemkem uvažuje jako se zastavitelnou plochou. Navrhly se proto dvě řešení pro ochranu tohoto pozemku. Prvním návrhem byl návrh klapky na Křetínce v km 1.595, která nahradí stávající pevný jez (viz Kap. 8.1). Pro návrh parametrů klapky byl vypracován hydraulický výpočet v Excelu. Zároveň s tímto opatřením se zkapacitnilo koryto náhonu a navrhne se nové stavidlo od nátoku do náhonu. Toto opatření má za účel odlehčit koryto Křetínky a převést povodňové průtoky do Svitavy. Jako druhé řešení se uvažuje zkapacitnění Křetínky na návrhový průtok Q_{20} . Dle výpočtů se Křetínka vylévá z koryta v některých úsecích již při Q_5 . Zaplavuje se hlavně inundační území na levém břehu Křetínky, až k drážnímu tělesu. Problém nastává, když se voda z inundačního území dostane za val drážního tělesa propustkem na náhonu při zvýšené hladině na Svitavě. Voda z Křetínky ovlivňuje hladinu na Svitavě a přispívá k zatopení

zastavěného území. Úpravou Křetínky se tedy průtoky udrží v korytě a neovlivní hladinu vody ve Svitavě. Obě tyto varianty byly vůči sobě porovnány v Kap. 8.6. Návrh klapky na Křetínce (Var 1) převádí částečně povodňové průtoky do Svitavy a tím chrání území pod klapkou. Toto řešení má výhodu malého zásahu do koryta Křetínky, a tím i menší vliv na zdejší ekosystém. Nevýhodou jezu je, že při zvýšených průtocích na Svitavě a Křetínce přepouští méně vody náhonem a tím dochází k rozlivům Křetínky.

Diplomová práce se zaměřila více na problémy řeky Křetínky, hlavním problémem Letovic jsou ovšem povodňové průtoky ze Svitavy. Ta při stoleté vodě způsobuje rozsáhlou záplavu v centru města. Možné řešení pro Svitavu jsou uvedeny v Kap. 8.8. Jednou z variant se jeví zrušení stávajícího jezu Tylex nebo využití potenciálu území za inundačním mostem na Svitavě v km 60.910 pro vybudování nádrže.

10 ZDROJE

1. Prof. Ing. Miloš Starý, CSc. *Hydrologie*. Brno : autor neznámý, 2005.
2. *CHMI*. [Online]
http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/verejnost_povoden_definice.html.
3. Ochrana před povodněmi v urbanizovaných územích. *Ireas*. [Online]
http://www.ireas.cz/images/projekty/pop/pop_publicace.pdf.
4. ELEKTRONICKÝ DIGITÁLNÍ POVODŇOVÝ PORTÁL. [Online]
http://www.edpp.cz/let_prirozena-povoden.
5. doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D. a prof. Ing. Jaromír Říha, CSc. *Protipovodňová ochrana*. Brno 2010.
6. Dibavod. *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2007/60/ES*. [Online] [Citace: 5. Prosinec 2016.]
http://www.dibavod.cz/data/povodnova_smernice_eu.pdf.
7. Zákon č. 254/2001 Sb. - Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní. Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). *Zákony pro lidi*. [Online] [Citace: 6. Prosinec 2016.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254/historie>.
8. prof. Ing. Miloš Starý, CSc. *Nádrže a vodohospodářské soustavy*. Brno 2006.
9. ELEKTRONICKÝ DIGITÁLNÍ POVODŇOVÝ PORTÁL. [Online]
https://www.edpp.cz/let_odtokove-pomery/.
10. PMO, s. p. Studie záplavového území Křetínka. Brno 2008.
11. HYDROEKOLOGICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM VÚV TGM. [Online]
<http://heis.vuv.cz/data/webmap/>
12. Letovice, MÚ. Kronika města Letovice
13. Evidenční list hlásného profilu č.378. *ČHMI*. [Online] 2016.
http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=306987.
14. Evidenční list hlásného profilu č.376. *ČHMI*. [Online]
http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=306985.
15. Evidenční list hlásného profilu č.377. *CHMI*. [Online]
http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=2505250.
16. ELEKTRONICKÝ DIGITÁLNÍ POVODŇOVÝ PORTÁL. [Online]
http://www.edpp.cz/let_charakteristika-ohrozenych-objektu/.
17. ELEKTRONICKÝ DIGITÁLNÍ POVODŇOVÝ PORTÁL. [Online]
http://www.edpp.cz/let_prirozena-povoden-ovlivnena-mimoradnymi-pricinami/.
18. Zvláštní povodeň. *ELEKTRONICKÝ DIGITÁLNÍ POVODŇOVÝ PORTÁL*. [Online]
http://www.edpp.cz/let_zvlastni-povoden/.

19. PMO, s. p. AKTUALIZACE ZÁPLAVOVÉHO ÚZEMÍ SVITAVY KM 11,000 – 68,369. Brno 2014.
20. Manipulační řád VD Letovice. 2009.
21. Manipulační řád pro stavidla náhonu. 2015.
22. MANIPULAČNÍ ŘÁD PRO JEZ TIS LETOVICE . 2016.
23. Ing. Hana Uhmánová, CSc. a Šlezinger, prof. Dr. Ing. Miloslav. *Vybrané statě z hydrotechniky*. Brno 2007.
24. doc. Ing. Jan Jandora, Ph.D. a prof. Ing. Jan Šulc, CSc. *Hydraulika*. Brno : Cerm, 2006.
25. DHI. MIKE 11. *A Modelling System for Rivers and Channels - User Guide*. 2016.
26. ELEKTRONICKÝ DIGITÁLNÍ POVODŇOVÝ PORTÁL. [Online]
http://www.edpp.cz/let_mapa-povodnoveho-planu-mesta/
27. Povodňový plán města. *ELEKTRONICKÝ DIGITÁLNÍ POVODŇOVÝ PORTÁL*. [Online] http://www.edpp.cz/let_mapa-povodnoveho-planu-mesta/

11 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 - Návrhové průtoky pro stanovení míry ochrany [5]	10
Tab. 2 - Doporučené návrhové průtoky pro jezy [9].....	13
Tab. 3 - Nejvyšší zaznamenané stavy Svitava – Letovice [15].....	20
Tab. 4 - Nejvyšší zaznamenané stavy Svitava – Rozhraní [16].....	20
Tab. 5 - Nejvyšší zaznamenané stavy Křetínka– Letovice - pod přehradou [17]	20
Tab. 6 - Mosty	25
Tab. 7 - Spodní výpustě [22].....	31
Tab. 8 - Transformace VD Letovice [22].....	32
Tab. 9 - TODO	38
Tab. 10 - Dešťové průtoky náhon	39
Tab. 11 - Průtoky – Letovice (porovnání s minulými lety) [15].....	41
Tab. 12 – Průtoky – Získány ze studie záplavového území v km 59.944 – 61.520 ((porovnání s minulými lety) [21]	41
Tab. 13 - Průtoky – Letovice – pod přehradou [12].....	41
Tab. 14 - Kalibrace pro Q_5	50
Tab. 15 - Kalibrace pro Q_{20}	50
Tab. 16 - Kalibrace pro Q_{100}	50
Tab. 17 - Q/h propustku	52
Tab. 18 - TODO	52
Tab. 19 - TODO	54
Tab. 20 - TODO	55
Tab. 21 - TODO	56
Tab. 22 - Scénáře řešení	51
Tab. 23 - Profily pro porovnání hladiny vody.....	62
Tab. 24 - Porovnání variant při scénáři 1	62
Tab. 25 - Porovnání variant při scénáři 2	63
Tab. 26 - Porovnání variant při scénáři 3	63
Tab. 27 - Porovnání variant při scénáři 4	64

12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Srážkoodtokový proces [1].....	7
Obr. 2 - Průměrný roční úhrn srážek [2].....	8
Obr. 3 - Příklad uzlů řízení [8].....	11
Obr. 4 – Říční síť v zájmovém území.....	12
Obr. 5 - Směr výpočtu řešení u nerovnoměrného proudění [10]	16
Obr. 6 - Mapa objektů omezující průtočnost při povodni [13].....	21
Obr. 7 - Znázornění objektů ohrožujících intravilán města Letovice při zvláštní povodni [15]...	22
Obr. 8 -Záplavové území zájmového území	23
Obr. 9 - Silniční most km 60.004 proti toku (16)	26
Obr. 10 - Betonový most Svitava proti proudu [21]	26
Obr. 11 - Ocelová lávka Svitava po proudu.....	27
Obr. 12 - Betonový most v areálu Tylex Svitava po proudu [21].....	27
Obr. 13 - Inundační most Svitava [21].....	28
Obr. 14 - Silniční most Svitava po proudu.....	28
Obr. 15 - Silniční mostek Křetínka po proudu [12]	29
Obr. 16 - Železniční most Křetínka proti toku [12]	29
Obr. 17 – Dřevěná lávka Křetínka	30
Obr. 18 - Silniční most Křetínka proti toku	30
Obr. 19 - Stavidla náhonu [23].....	33
Obr. 20 - Stavidlo v drážním tělese [21].....	34
Obr. 21 - Stavidlo na zaústěním náhonu	35
Ob. 22 - Jez Tylex [21]	36
Obr. 23 - Pevný jez a nátok do náhonu	38
Obr. 24 - Kanalizační síť v zájmovém území	39
Obr. 25 - Zaústění odlehčovací komory km 61.216	40
Obr. 26 - Schéma výpočtu MIKE 11 [25].....	42
Obr. 27 - Ukázka Network Editor [25]	43
Obr. 28 - Schéma jezové konstrukce	44
Obr. 29 - Zadání jezové konstrukce [25]	45
Obr. 30 - Ukázka zadání propustku [25].....	46

Obr. 31 - Označení bodů mostu [25].....	47
Obr. 32 - Zobrazení značení bodů [25]	48
Obr. 33 - Tvar propustku.....	52
Obr. 34 - Vzorový příčný řez úpravy Křetínky.....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 35 - Hladina vody při Q_{20} v novém korytě Křetínky	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 36 - Hladina vody v náhonu při průtoku Q_{20} v Křetínce .	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 37 - Graf řešených scénářů	51
Obr. 39 - Vhodné umístění jímky	65
Obr. 40 - Vhodné místo pro vytvoření nádrže	66

13 SEZNAM ZKRATEK

Q	průtok	[m ³ /s]
Q _N	návrhový průtok	[m ³ /s]
σ _z	součinitel zatopení	[-]
σ _ξ	součinitel šikmosti	[-]
m	součinitel přepadu	[-]
b _o	účinná šířka přepadu	[m]
C	rychlostní součinitel	[m ^{0.5} /s]
R	hydraulický poloměr	[m]
i	sklon čáry energie	[-]
S	průtočná plocha	[m ²]
O	omočený obvod	[m]
E	energie	[m]
g	gravitační zrychlení	[m/s ²]
Fr	Froudovo kritérium	[-]
α	Coriolisovo číslo	[-]
ΔL	rozdíl délek	[m]
Δh	rozdíl hladin	[m]
h _z	ztrátová výška	[m]
h _t	ztráty třením	[m]
h _m	ztráty místní	[m]
k	exponenciální koeficient	[-]
H _{us}	hladina horní vody	[m]
H _{ds}	hladina spodní vody	[m]
H _w	úroveň koruny jezu	[m]
Go	otevření brány	[m]
Hg	výška brány	[m]
L _s	šířka prahu	[m]

y_c kritická hloubky [m]

14 SEZNAM PŘÍLOH

A Mapové přílohy

A. 1. Přehledná situace širšího okolí

A. 2. Přehledná situace zájmového území

B Kalibrace a návrh řešení

B. 1. Podélný profil – Kalibrace - Svitava

B. 2. Podélný profil - Kalibrace – Křetínka

B. 3. Podélný profil - Návrh řešení – Křetínka

B. 4. Podélný profil – Náhon

C Objekty

C. 1 Klapka - Půdorys

C. 2. Klapka - Řez

C. 3. Hydraulický výpočet – Klapka

C. 5. Stavidlo SO4

C. 6. Stavidlo SO5