



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

NÁVRH OPRAVY JEZU HRANICE

RECONSTRUCTION OF THE HRANICE WEIR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Křenek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ JULÍNEK, Ph.D.

BRNO 2021



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Tomáš Křenek
Název	Návrh opravy jezu Hranice
Vedoucí práce	Ing. Tomáš Julínek, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Úprava tokov, Raplík, M., Výbora, P., Mareš, K., Alfa, Praha, 1989.

Jezy, Gabriel a kol., SNTL, Praha, 1989.

Navrhování jezů, Výbora P., Podsedník, O. VUT Brno, 1989.

Vodní stavby I, Maleňák, J., Podsedník, O. Šlezinger, M., VUT Brno, 2002.

Vegetační doprovod vodních toků a nádrží, Šlezinger, M., VUT Brno, 1996.

Hydraulika a hydrologie, Jandora, J., Stara, V., Starý, M., VUT Brno, 2002

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Účelem práce je navrhnout úpravu stávající jezové konstrukce na řece Bečvě v lokalitě Hranice. Návrh bude uvažovat s pohyblivými hradíci prvky. V zájmovém úseku bude zhodnocen a popsán stávající stav a navrženy parametry nové jezové konstrukce tak, aby byly zajištěny stávající funkce vzdouvacího objektu a byl dodržen stupeň ochrany okolního území před povodněmi na úroveň návrhové povodně. Návrh bude zahrnovat jak zhodnocení stávající situace (pevné konstrukce, toku, atd.), tak i návrh vhodného typu pohyblivé hradící konstrukce včetně úprav přilehlé části koryta. Ideově bude provedeno hodnocení a návrh opatření z hlediska migrační prostupnosti (rybí přechod). Součástí by měl být i návrh souvisejících objektů, uspořádání břehových partií a doprovodných porostů.

Řešení bude obsahovat textovou část včetně hydraulických výpočtů provedených za použití vhodných softwarových prostředků a část výkresovou, která bude zahrnovat jednoduchou výkresovou dokumentaci navržené konstrukce. Obsahem bakalářské práce bude:

1. Technická zpráva včetně hydraulických výpočtů
2. Situace navrhovaných opatření v měř. 1:1000
3. Podélný profil v měř. 1:1000/100
4. Výkresové přílohy navržené konstrukce (půdorys, řezy)
5. Fotodokumentace

Ing. Tomáš Julínek, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá úpravou stávající jezové konstrukce v Hranicích na řece Bečvě v říčním kilometru 38,300. V první části je vypracována rešerše zabývající se tematikou jezových konstrukcí. Ve druhé části je nejprve popsána zájmová lokalita. Dále následuje zmínka o historickém vývoji koryta řeky Bečvy a původního pevného jezu, která přechází k popisu stávající jezové konstrukce. Následně bylo provedeno vyhodnocení jednotlivých návrhů rekonstrukce a vybrána nejvhodnější varianta, včetně volby typu konstrukce spodní stavby, pohyblivých uzávěrů a rybího přechodu. V poslední řadě byly provedeny hydrotechnické výpočty, které taktéž obsahují dílčí výpočet stability navržené konstrukce.

KLÍČOVÁ SLOVA

Jez, pohyblivá hradící konstrukce, manipulace, rybí přechod, klapkový uzávěr, ledové jevy

ABSTRACT

The bachelor's thesis is the modification of the existing weir structure in Hranice on the river Becva at river kilometer 38,300. The first part is a search dealing with the topic of weir structures. In the second part, the locality of interest is first described. Then there is a mention of the historical development riverbed of the Becva and the original fixed weir, which goes on to describe the existing weir structure. Subsequently, the individual reconstruction proposals were evaluated and the most suitable variant was selected, including the choice of the type of substructure construction, movable valve and the fish pass. Last but not least, hydrotechnical calculations were performed, which also contain a partial calculation of the stability of the proposed structure.

KEYWORDS

Weir, movable barrier structure, handling, fish pass, butterfly valve, ice phenomena

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Tomáš Křenek *Návrh opravy jezu Hranice*. Brno, 2021. 85 s., 6 ks. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Tomáš Julínek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Návrh opravy jezu Hranice* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 23. 5. 2021

Tomáš Křenek
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Návrh opravy jezu Hranice* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 23. 5. 2021

Tomáš Křenek
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Tomáši Julínkovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc, cenné rady a čas, který mi věnoval na konzultacích při vypracování této práce.

OBSAH

1	ÚVOD	11
1.1	Cíl práce.....	11
2	TEORIE JEZOVÝCH KONSTRUKCÍ	12
2.1	Jezová konstrukce.....	12
2.2	Dělení jezových konstrukcí	12
2.2.1	Pevný jez.....	13
2.2.2	Pohyblivý jez	14
2.3	Související jezové objekty	17
2.3.1	Odběrné objekty.....	17
2.3.2	Vodní elektrárny	17
2.3.3	Plavební komory	18
2.3.4	Štěrková a sportovní propust	18
2.3.5	Rybí přechody	18
2.4	Ledové jevy	20
2.5	Hydraulika přelivu.....	21
2.5.1	Průtočná kapacita jezu	21
2.5.2	Výpočet podjezí.....	24
2.5.3	Výpočet stability	26
3	VSTUPNÍ ÚDAJE	27
3.1	Identifikace území.....	27
3.2	Zájmové území	27
3.3	Hydrologické poměry	29
3.4	Klimatické poměry	29
3.5	Geomorfologické poměry	31
3.6	Geologické a hydrogeologické poměry.....	32
3.7	Záplavové území.....	33
3.8	Ledové jevy v zájmovém území	34
4	HISTORIE A STÁVAJÍCÍ STAV	36
4.1	Dřívější konstrukce.....	36
4.2	Historické povodně	42
4.3	Stávající konstrukce jezu.....	43
4.4	Stávající stav koryta v nadjezí	45

4.5	Stávající stav koryta v podjezí	45
4.6	Přilehlé objekty	46
4.7	Aktuální rekonstrukce.....	47
5	NÁVRH REKONSTRUKCE	48
5.1	Návrhy situací jezu	48
5.2	Volba rybího přechodu	52
5.3	Volba hradící konstrukce	52
6	HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY	53
6.1	Hydrologická data.....	53
6.2	Hladina stáلهo vzduťí	53
6.3	Návrh spodní stavby	53
6.4	Měrná křivka přelivu	57
6.5	Návrh vývaru a podjezí	67
6.5.1	Posouzení prolomení vývarové desky.....	69
6.5.2	Délka obtékaného obrysu.....	70
7	TECHNICKÉ ŘEŠENÍ	71
7.1	Jezové těleso.....	71
7.2	Dělicí pilíře.....	71
7.3	Břehová a zavazovací křídla	72
7.4	Vývarová deska	73
7.5	Rybí přechod	74
7.6	Mostové konstrukce a přístupové komunikace	75
7.7	Manipulace s uzávěry	75
7.8	Začlenění do krajiny	76
8	ZÁVĚR	77
9	POUŽITÁ LITERATURA.....	78
10	SEZNAM TABULEK.....	80
11	SEZNAM OBRÁZKŮ	81

12	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	83
13	SEZNAM PŘÍLOH.....	85

1 ÚVOD

Téma bakalářské práce je navrhnout zkapacitnění stávajícího pohyblivého jezu Hranice a ideově rybí přechod pro umožnění migrace vodních živočichů. Práce se dělí na teoretickou a praktickou část.

V teoretické části bude vypracována rešerše zabývající se tematikou a problematikou jezových konstrukcí, která slouží k získání povědomí o důležitých pojmech a základním rozdělení jezů. V závěru teoretické části budou uvedeny základní hydraulické vztahy, následně použité v praktické části při návrhu pevné spodní stavby a pohyblivé hradící konstrukce.

V úvodu praktické části bude zpracován rozbor historických skutečností a stávajícího stavu zájmové lokality včetně širších souvislostí v rozsahu povodí. Budou sestaveny základní charakteristiky povodí řek Moravy a Bečvy. Pozornost bude věnována historickému vývoji řeky Bečvy v zájmovém úseku i vlastní jezové konstrukce. Stávající pohyblivý jez Hranice leží v říčním kilometru 38,300. V dalším kroku bude analyzován stav a podmínky stávajícího jezu a souvisejících objektů. Následně budou vypracovány koncepce variantního řešení nové jezové konstrukce. Na základě formalizovaného srovnání variant bude vybrána nejvhodnější varianta a ta bude dále rozpracována v návrhu. Pro vybranou variantu řešení se stanoví návrhový průtok Q_n a hladina stálého vzduť, následně budou provedeny základní hydrotechnické výpočty jak pro spodní stavbu (pevný práh), tak i pro navržené pohyblivé hradící prvky. Koncepčně bude proveden i návrh jednotlivých objektů přilehlých k jezu, především rybího přechodu. Pro navrženou konstrukci bude zpracována základní výkresová dokumentace.

1.1 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je návrh zkapacitnění stávajícího pohyblivého jezu Hranice na řece Bečvě v říčním kilometru 38,300. Výstupem práce bude:

- výběr vhodné koncepční varianty pro návrh rekonstrukce jezu,
- volba návrhového průtoku a stanovení hladiny stálého vzduť,
- návrh a hydrotechnické výpočty pro spodní stavbu a navržené pohyblivé hradící prvky,
- koncepční návrh rybího přechodu,
- zpracování výkresové dokumentace.

2 TEORIE JEZOVÝCH KONSTRUKCÍ

2.1 JEZOVÁ KONSTRUKCE

Jezovou konstrukcí se rozumí vodní dílo, které je vybudováno v korytě toku, v němž se trvale či dočasně vzdouvá voda za účelem následného využití pro různé vodohospodářské potřeby.

Základní funkce jezů:

- zajištění potřebné hloubky k odběru vody pro vodárenské, průmyslové, zemědělské a protipožární účely,
- zajišťují potřebnou plavební hloubku pro splavnění vodních toků,
- plní funkci spádového stupně, vyrovnávají spádové poměry, umožňují vypouštění vod do podjezí,
- umožňují gravitační odběr vody a využití vytvořeného spádu pro energetické účely,
- regulují výšku hladiny podzemní vody v přilehlém říčním údolí,
- mají estetický význam, vytváří vodní plochu využitelnou k rekreačním účelům [1].

Jezové konstrukce mohou mít také nežádoucí účinky. Při vzdouvání vody v nadjezí může dojít k porušení stability břehů, které se budou muset dodatečně upravit, usazování splavenin a zhoršení chodu ledů přes těleso jezu viz kap. 3.8. Také je nutné brát ohled na nebezpečné podmáčení okolních pozemků umístěných nad jezem a k vysoušení pozemků, které jsou umístěny pod ním [1].

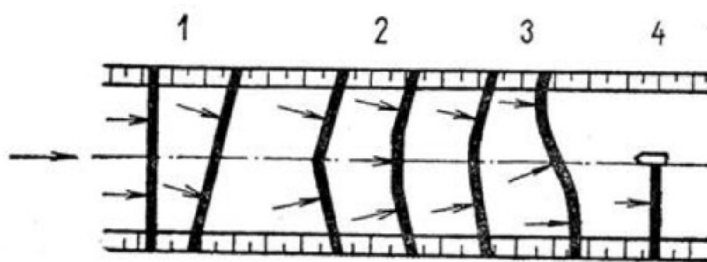
2.2 DĚLENÍ JEZOVÝCH KONSTRUKCÍ

A. Podle charakteru konstrukce

- **Pevný jez** – pevná konstrukce, bez ovladatelných hradících uzávěrů, nelze regulovat výšku hladiny vzduť.
- **Pohyblivý jez** – skládá se z pevné spodní části a pohyblivé hradící konstrukce, kterou lze regulovat výška hladiny vzduť v nadjezí.
- **Kombinovaný jez** – jezová konstrukce, která má některá jezová pole tvořena pevnou jezovou konstrukcí a některá pole jsou osazena pohyblivou hradící konstrukcí.
- jsou to kombinované jezy, kdy například jedno jezové pole je tvořeno pevnou jezovou konstrukcí a zbylé pole je pohyblivého charakteru [1].

B. Podle půdorysného uspořádání

- **Přímé jezy** – osa jezu (přelivná hrana) je v půdorysu kolmá na osu vodního toku (1).
- **Lomené jezy** – osa jezu (přelivná hrana) je v půdorysu zalomená (2).
- **Zakřivené jezy** – se zakřivenou osou jezu (přelivnou hranou) v půdorysu (3).
- **Částečné jezy** (4) [1].



Obr. 1 Rozdělení jezů podle půdorysného tvaru [4]

C. Podle přelivu:

- ostrohranný,
- proudnicový,
- se širokou korunou,
- boční.

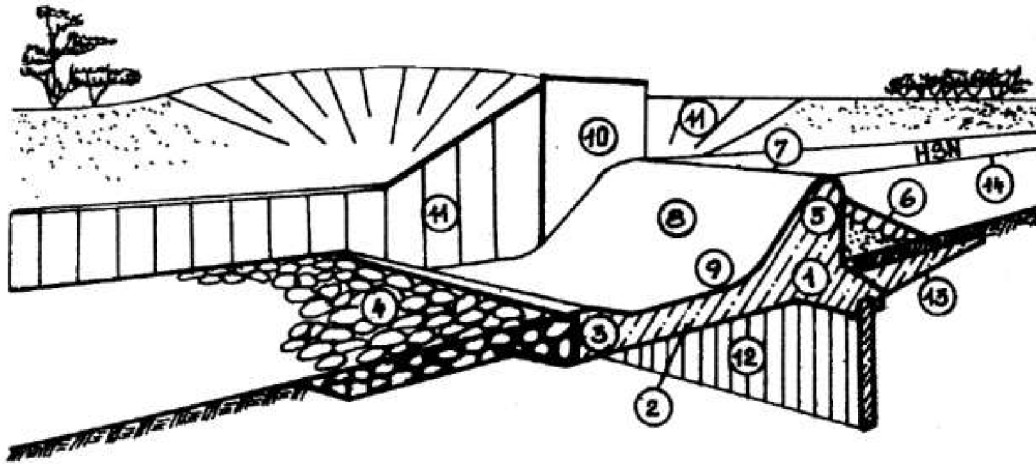
D. Podle druhu stavebního materiálu:

- dřevěné,
- kamenné,
- betonové,
- železobetonové,
- z jiných materiálů.

2.2.1 Pevný jez

Je pevná konstrukce, která neobsahuje žádné pohyblivé hradící uzávěry na koruně přelivné hrany. Hladina vody v nadjezí se mění pouze v závislosti na velikosti průtoků, a tedy množství vody přepadající přes pevnou jezovou konstrukci. K nejstarším pevným jezovým konstrukcím patří pevné jezy ze dřeva. Vzhledem k malé životnosti materiálu se dnes staví zřídka, a to převážně jako provizorní stavby. Výjimku tvoří srubové jezové konstrukce s kamennou výplní. Tyto se dnes využívají zejména v horských a lesnatých oblastech s balvanitým podložím [1][2].

Postupem času se začaly využívat betonové či železobetonové materiály, které jsou odolnější a pevnější. Jezy budované v této době obsahují čtyři hlavní části. Pevné jezové těleso, podjezí s vývarovou deskou, konstrukční prvky zabraňující průsaku a břehové pilíře se zavazujícími křídly [2].



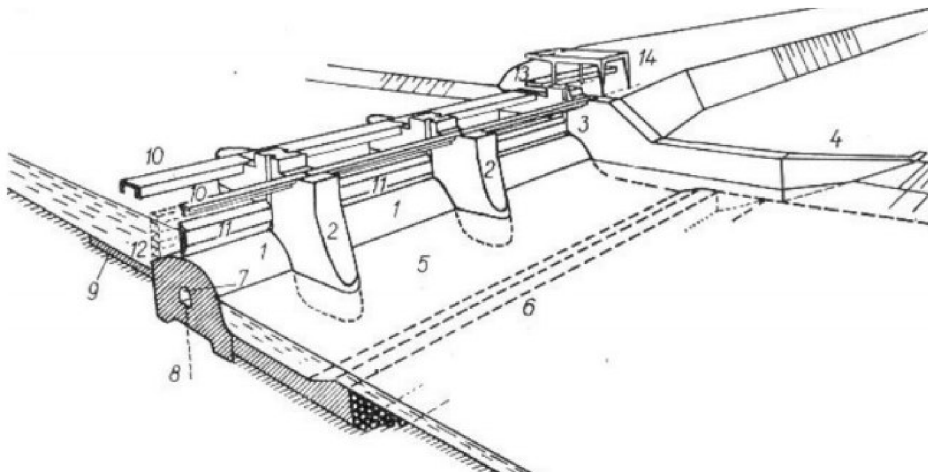
- 1) jezové těleso, 2) vývarová deska, 3) vývarový práh, 4) kamenný zához, 5) koruna jezového tělesa, 6) předprsí jezu, 7) přelivná hrana, 8) přelivná plocha, 9) přechodová plocha, 10) břehový pilíř, 11) jezová křídla, 12) svislý těsnící prvek, 13) vodorovný těsnící prvek, 14) HSN – hladina stálého nadržení

Obr. 2 Části pevného jezu [2]

2.2.2 Pohyblivý jez

Pohyblivá jezová konstrukce umožňuje plynulou regulaci výšky hladiny v nadjezí, pomocí pohyblivého uzávěru, který je osazený na pevné spodní stavbě a je umístěn mezi dělicími nebo břehovými pilíři. Zpravidla se navrhuje nejméně dvě jezová pole, aby byla v případě nutnosti možná oprava jednoho pole s tím, že by druhé převádělo průtok [2].

Dle konstrukce hradícího uzávěru se dělí jezy na stavidlové, klapkové, hradidlové, hradlové, segmentové, válcové, sektorové, vakové, kombinované a speciální. Jezy mohou být ovládány mechanicky nebo hydraulicky [1].



- 1) spodní stavba jezového prahu s přelivnou plochou, 2) střední pilíře, 3) břehové pilíře, 4) břehové křídlo, 5) vývar, 6) práh vývaru, 7) kontrolní štola, 8) injekční štola, 9) nepropustný koberec, 10) komunikační lávka, 11) pohyblivý hradící uzávěr, 12) provizorní hrazení, 13) skládka provizorního hrazení, 14) jeřáb

Obr. 3 Základní schéma pohyblivého jezu [1]

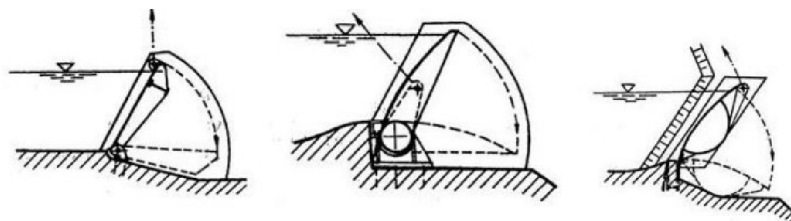
Stavidlový jez je charakteristická hradicí konstrukce, která je tvořena stavidly. Ke korigování množství protékané vody se využívají tabule, které jsou osazené v drážkách pilířů. Tabule se pohybují po válečcích, popřípadě podvozcích mechanickým ovládním. Pro větší výšky vzduť se někdy používají dvě, nebo i více tabulí nad sebou. Pro větší rozpětí jsou vhodná ocelová stavidla, která jsou dále vyztužená příhradovými nosníky [3][6].

Pokloповé (klapkové) jezy byly v počátku desky řazené vedle sebe, které nahradily hradla. Pro udržení v šikmé poloze se každá deska opatřila vzpěrou. Jelikož je poklop kloubově připevněný k pevné spodní stavbě, tak regulace neboli sklopení klapky probíhalo vysunutím vzpěry. Vztyčení desky do požadované úrovně bylo zajištěno mechanickým zařízením, nejčastěji jeřábem. Pokloповé jezy dělíme do tří skupin, podle umístění otočné osy poklopu vzhledem ke spodní stavbě a k hladině horní vody [1][3].

- pokloпы s osou otáčení na spodní stavbě,
- pokloпы s osou otáčení nad spodní stavbou, ale pod hladinou vzduť vody,
- pokloпы s osou otáčení nad hladinou vzduť vody [1]

V dnešní době jsou nejpoužívanějším druhem pokloповé uzávěry otočné kolem spodní hrany za pomoci kloubů ukotveného do spodní stavby jezu. Tento typ pokloповého uzávěru nazýváme klapkou nebo jako klapkový uzávěr [1].

Klapky jsou poměrně lehká konstrukce, což je jedna z jejich výhod. K dalším výhodám patří také to, že z větší části přenášejí zatížení od vodního tlaku a vlastní tíhy ložisky do pevné spodní stavby, a dále pak do podloží, a to vše rovnoměrně po celé délce. Nejsou vhodné pro návrh pohyblivého jezu do míst, kde se vyskytuje značný chod splavenin, protože by mohlo dojít k zanesení vývaru jezu a tím znemožnit sklopení či vztyčení klapky. Proto se klapkové uzávěry hodí spíše pro nešterkonosné toky [1].

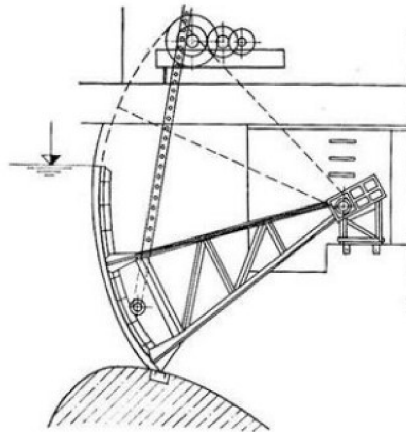


Obr. 4 Základní typy klapek: desková – troubová – dutá [1]

Segmentové jezy jsou hradicí konstrukce, která je tvořena segmentovými hradicími tělesy. Ocelové segmenty jsou spojeny s rameny, které se opírají o čepy kotvené do zdi pilířů. Při manipulaci se segment otáčí kolem vodorovné osy v místě čepů [1].

Pro regulaci úrovně hladiny v nadjezí se využívají různé druhy manipulací se segmenty. Takzvané zdvižné segmenty, kdy při vyhrazení voda proudí mezi stavbou a spodní hranou segmentu – vysoké pilíře. Spustné segmenty fungují na opačném principu, kdy voda přepadává přes přelivnou hranu uzávěru, která se reguluje postupným spouštěním do spodní stavby. Je tedy potřeba hluboká spodní stavba. V případě povodňové situace lze spustný segment zcela zasunout do spodní stavby, a zdvižný naopak vysunout nad úroveň povodňové hladiny. Nevýhodou segmentů je propouštění ledů viz kapitola 2.4 a jiných plovoucích předmětů do podjezí. Naopak výhodou je poměrně menší velikost sil ke zdvihu než v případě tabulových

uzávěrů. Také jsou vhodné, díky prostorové tuhosti konstrukce, ke hrazení velkých výšek a šířek. Při výstavbě jezů se v dnešní době segmentové uzávěry značně rozšířily [1][3].

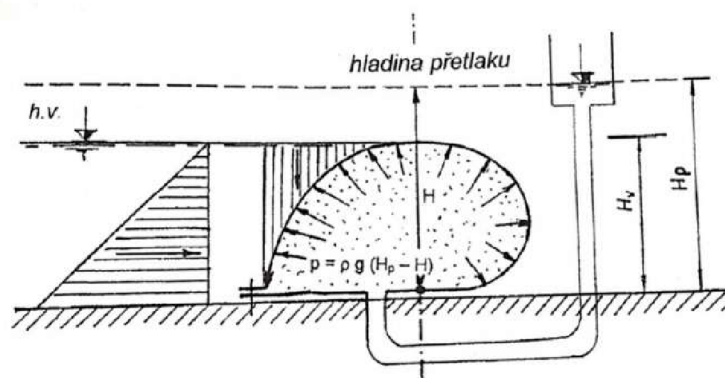


Obr. 5 Segmentový uzávěr [4]

Vakový jez neboli pneumatický je tenkostěnná dutá konstrukce tvořená vakem z vhodné nepropustné textilie, nejčastěji se používají gumotextilie, folie z umělých hmot nebo nylon-neoprenová tkanina. Vak je připevněn na spodní stavbě pomocí ocelového kotvení a kotvicích šroubů z korozivzdorné oceli. Ukládá se na rovinnou plochu, která je na návodní straně vyvýšená o určitou výšku, aby nedošlo k porušení vaku splaveninami nebo jinými předměty. Vak se dále naplní médiem, obvykle vodou z jezové zdrže, pomocí potrubí umístěného ve spodní stavbě jezu. Hradicí vakový jez je tedy propojen potrubním systémem s ovládací šachtou v břehovém pilíři, která automaticky zajišťuje, pomocí elektronického zařízení, požadované vypouštění či napouštění vaku. Tlak, který je potřebný pro vztyčení vaku je zajištěn obvykle vyšší úrovní hladiny v přetlakové komoře, než je v jezové zdrži viz. Obr. 6 [1][3][5].

Výhody vakové hradicí konstrukce jsou především nízké pořizovací náklady, jelikož je zde oproti ostatním jezovým uzávěrům menší spotřeba oceli. Další z výhod je snadná doprava, montáž, údržba a obsluha během provozu. Konstrukce je odolná proti vzniku vibrací při přepadu vody [1][5].

Z hlediska nevýhod je zde možnost protržení či proříznutí plovoucími předměty nebo vandaly [1].



Obr. 6 Vakový uzávěr [3]

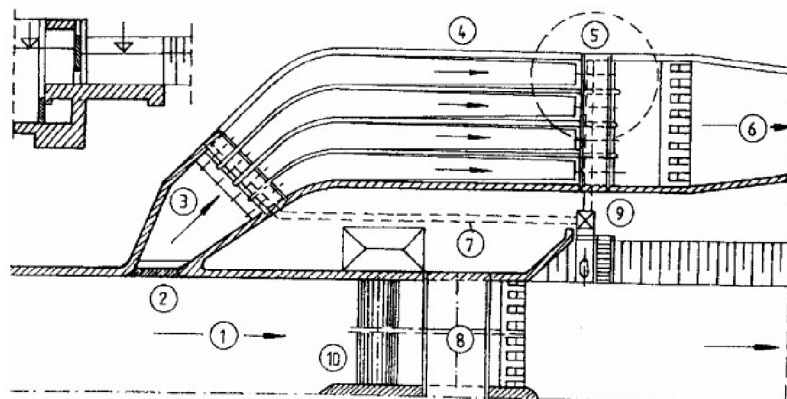
2.3 SOUVISEJÍCÍ JEZOVÉ OBJEKTY

Jezové stavby jsou doprovázeny výstavbou dalších objektů, které umožňují využití vzduť vody k různým vodohospodářským účelům. Doprovodné stavby jsou: odběrné objekty, které umožňují odběr vody z nadjezí, malé vodní elektrárny, šterkové a sportovní propusti, rybí přechody a plavební komory.

2.3.1 Odběrné objekty

Odběrné objekty slouží k odebrání požadovaného množství vody z jezové zdrže za účelem následného využití pro závlahové účely, průmyslové využití, při větších jezových zdržích i zásobování pitnou vodou pro obyvatele a pro dodávky vody do malé vodní elektrárny na výrobu elektrické energie [1].

Návrh objektu sloužícího pro gravitační odběr vody by měl být vhodně hydraulicky řešený z hlediska tlakových ztrát. Důraz by se měl klást i na lokalizaci odběrného objektu, který by měl být chráněn před usazení splavenin. Ze zmíněného důvodu se na odběrný objekt osazují česle, normé stěny, které slouží pro zachycení plovoucích nečistot a vybudování vtokového prahu pro zachycení splavenin sunutých po dně koryta [6].



1) vodní tok, 2) náhon, 3) stavidla, 4) usazovací nádrž, 5) stavidla, 6) kanál, 7) proplachovací zařízení, 8) vývařiště, 9) proplachování, 10) jez

Obr. 7 Odběr z jezové zdrže [6]

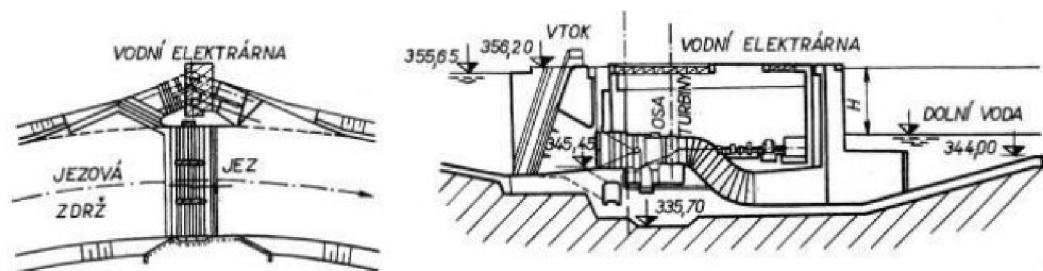
V případě potřeby dopravy vody pro závlahové účely do vyšších poloh se využívá takzvaný odběr čerpáním. Ten závisí na umístění čerpací stanice do zdroje vody, břehu nebo do určité vzdálenosti od zdroje vody [6].

2.3.2 Vodní elektrárny

Malé vodní elektrárny slouží k přeměně potenciální nebo kinetické energie uložené ve vodních tocích v podobě proudění. Jsou často budovány u vzdouvacích zařízení, jakou jsou jezy, přehrady a hráze. Výkon malých vodních elektráren závisí na velikosti průtoku a spádové výšky. Jelikož průtok vody v menších tocích bývá v průběhu roku značně nerovnoměrný v závislosti na počasí, je naší snahou využít co největší spád. Tím se sníží potřebné množství vody, které je nutné akumulovat [7][8].

Musí se dbát na vhodný odběrný objekt, který by měl být umístěn a opatřen tak, aby do elektrárny nevnikaly splaveniny a plaveniny různého druhu viz kap. 2.3.1

Při vhodném stavebním a konstrukčním řešení a dodržení všech předpisů patří malé vodní elektrárny k neekologičtějším a neekonomičtějším energetickým zdrojům výroby elektrické energie [7].



Obr. 8 Umístění a řez vodní elektrárny [4]

2.3.3 Plavební komory

Plavební komory umožňují lodím a plavidlům zdolávat výškové rozdíly mezi horní a dolní zdrží, které vznikají výstavbou jezových konstrukcí či přehrad. Plavební komory se skládají z horního a dolního zhlaví, vlastní plavební komory a vrat, které umožňují oddělení plavební komory od horní a dolní zdrže. Při proplouvání komorou ve směru toku se voda v komoře nejprve napustí na úroveň hladiny v horním toku. Po napuštění vpluje plavidlo do komory, horní vrata se uzavřou a komora se začne vypouštět až po výšku hladiny v dolním toku [6][9]

2.3.4 Štěrková a sportovní propust

Propust je část jezu, otvor v jezovém tělese či hrázi, žlab nebo koryto, umožňující protékání vody o volné hladině pod vzdouvající stavbu. Přelivná hrana je položena níže, než je přelivná hrana vzdouvací stavby [10].

Štěrková propust slouží k odstranění usazenin nashromážděných v jezových zdržích nebo přehradních nádržích. Usazeniny se odstraňují otevřením štěrkové propusti a následně se pomocí vzniklého vodního proudu hydraulicky transportují do koryta pod vzdouvací stavbu. Využití je zejména u jezů v blízkosti náhonu, aby se zabránilo vniknutí nežádoucích materiálů do malých vodních elektráren [1].

Sportovní propust je otevřený delší kanál s volnou hladinou, kterou využívají vodáci pro překonání spádu, vzniklého vybudováním jezové konstrukce. Vzdouvací propust často najdeme umístěnou v bývalých vorových propustech. Je to dlouhý kanál, který umožňuje bezpečný sjezd raftů, nafukovacích člunů a jiných plavidel [1].

2.3.5 Rybí přechody

Výstavba příčných staveb v korytě toku, jako jsou například jezy, tvoří překážku pro migraci ryb a dalších živočichů. Jelikož pro ryby je migrace základní životní funkcí, musí se zajistit možnost migrovat. Z hlediska způchodnění příčných překážek platí, že musí být při povolování vodních děl, rekonstrukcích a změnách užívání, zohledněna ochrana vodních a na vodu vázaných ekosystémů [12].

Rybí přechod představuje koryto, žlab nebo zařízení, které je určeno pro protiproudni migraci ryb. Měl by rybám poskytnout podobné podmínky, s jakými se mohou setkat ve volném toku a poskytnout jim přijatelné prostředí pro překonání překážky nebo i místo pro úkryt [11].

Rybí přechody se rozdělují na různé typy z hlediska lokalizace, konstrukce, hydrodynamiky:

- bazénové přechody,
- skluzy,
- propustkové přechody,
- kartáčový přechod,
- výtahy a rybí komory [11].

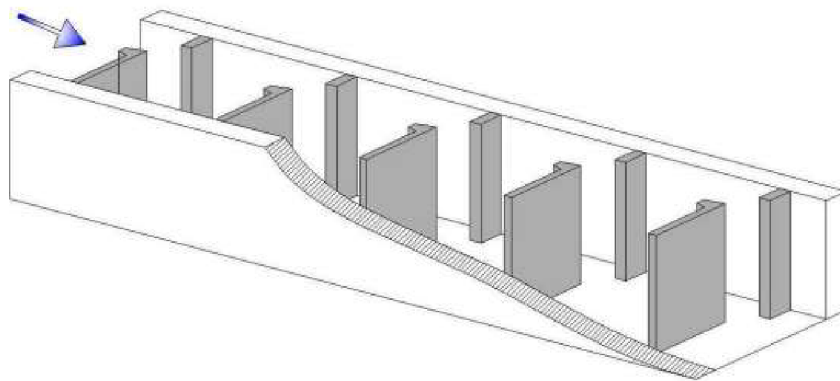
V praxi se také používá členění podle prostorového vedení trasy – a to na obtoková koryta takzvaný „bypass“ a rampy. Obtokové koryto obtéká překážku za břehovou linii koryta, rampa modifikuje říční koryto [11].

Obtokový kanál neboli bypass je v současné době preferovaný typ rybích přechodů složených z tůní oddělených přepážkami nebo přírodními balvany zapuštěnými do betonového lože. Tyto obtokové kanály vytváří přírodě blízký habitat a je osídlován vodními organismy. Značnou nevýhodou tohoto řešení je velká náročnost na prostor. Při nižších průtocích lze hůře kontrolovat hydraulické parametry [13].



Obr. 9 Rybí přechod (bypass) Loučná, mlýn Sárovec [14]

Štěrbínový rybí přechod je technicky nejvhodnější rybí přechod. Používá se na místech, kde nejsou vhodné podmínky pro výstavbu obtokových, přírodně bližších, kanálů. Díky možnosti plně kontrolovat hydraulické podmínky je možno realizovat přechody o poměrně vysokém průměrném spádu. Dno je vhodné vyplnit přírodními prvky, hrubšími kameny s většími rozestupy a štěrkem. Přechod se tak více přiblíží přirozené situaci, a také zvýší drsnost koryta a tlumení rychlosti [13].



Obr. 10 Šterbinový rybí přechod [15]

2.4 LEDOVÉ JEVY

Vlivem výměny tepla mezi hladinou vody v korytě toku a ovzduším se za mrazivého počasí přechladí hladina a na ní vzniká první led. O rozvoji ledu rozhoduje charakter a rychlost proudění v toku. U břehů se vyskytuje rychlost velmi malá, proto nejdříve pozorujeme vznik břehového ledu a později pak zamrzání celé hladiny pokrývkou z povrchového ledu (ledovou celinou). V tocích se vyskytují dva druhy ledu, povrchový a vnitrovodní [27].

Povrchový neboli hladinový led vzniká na hladině toku. Jeho představiteli jsou Ledová celina, břehový led a ledová mázdra což je dynamický ledový útvar. Plave a pohybuje se na hladině rychlostí proudící vody a jak se jeho rozsah zvětšuje, tak naráží na další mázdrové útvary a jeho rychlost se zmenšuje [27].

Vnitrovodní led se tvoří v tocích s velkou turbulencí proudu, který strhne pod hladinu ledové částičky tvořící se na hladině toku. Pokud je voda v proudu přechlazená, částičky dále rostou a množí se. Turbulence způsobuje jejich neuspořádaný pohyb v proudu, kdy se ledové částičky a vločky střetávají a shlukují. Tento jev nazýváme vznášený led [27].

Ledová kaše se tvoří z vnitrovodního ledu. Ten se buď zachytává na dně a vytváří dnový led nebo z ledových částic a vloček vznikají shluky (hroudy) s přibližně stejnou hustotou jako má voda, a proto mají tendenci stoupat k hladině. Na hladině se postupně přetváří v malé plošné útvary, které nejsou strhávány pod hladinu. Malý plošný útvar je pak směsí povrchového a vnitrovodního ledu. Při svém transportu se různě deformuje a povrchový led, který se v nich vytváří, se následně tříští a postupně vzniká směs ledových částic jak povrchového, tak vnitrovodního ledu, kterou nazýváme ledovou kaší [27][28].

Ledový nápěch vzniká nahromaděním ledové kaše a tříště v místě koryt, kde dochází ke zmenšení rychlosti vody nebo snížení kapacity toku. Taková místa jsou například úseky s menším sklonem dna, koryta s ostrým obloukem, jezové zdrže a konce vzduť nádrží. Na takových překážkách dochází, při velkém transportu ledové kaše, k ucpaní hladiny. Ledová kaše se zastaví před překážkou a následně je strhávána pod prvotní ledovou pokrývkou a začne na ní přimrzat. Pokud je v období mrazů vzdouvání vody díky ledovému nápěchu tak velké, že se začne voda vylévat z koryta, vznikne tzv. ledová povodeň [27][28].

Ledová zácpa vzniká na místech, kde je znemožněn průchod ledu v době jeho tání. Za zácpu se často mylně nazývá ledový nápěch. Rozdíl je, že nápěch vzniká transportem ledové kaše v období mrazů, kdežto zácpa je především z ledových ker. Tyto ledové kry se nejprve kupí

před překážkou (například jezem) a následně se vlivem termického namáhání prolomí a na vodním toku vznikne bouřlivý chod vlny ledových ker a vody [27][28].

K zajištění bezpečného provozu jezů v zimním režimu se využívá řada vhodných opatření.

Spolehlivou manipulací jezových uzávěrů. Jelikož je voda v jezové zdrži náchylnější k zamrznutí z důvodů snížené rychlosti průtoků, jsme schopni vlivem manipulace s pohyblivými uzávěry zajistit dostatečné rychlostní proudění vody a tím snížit tvorbu ledové pokrývky (ledové celiny). Výskyt ledové pokrývky v nadjezí lze ovlivnit pouze v omezeném rozsahu.

K zabránění namrznání jezových uzávěrů, a tím zajištění spolehlivé manipulace se využívají různé způsoby rozmrazování například:

Rozmrazování ledu bublinkováním. Děrovaným potrubím v blízkosti dna se vhánějí bublinky vzduchu do vody, které při stoupání k hladině s sebou strhávají teplejší vodu, a tím dochází k rozpuštění ledovou celinu.

Rozmrazování ledu čerpáním vody. Voda se čerpá ponorným čerpadlem z hlubších míst než 3 m.

Rozmrazování ledu prouděním vody. Pomocí vrtulového čerpadla, které se umístí na dno před hradičí konstrukcí a šikmo vzhůru vhání teplejší vodu podél hradičí konstrukce.

2.5 HYDRAULIKA PŘELIVU

2.5.1 Průtočná kapacita jezu

Pro výpočet přepadu přes jezová tělesa můžeme použít rovnici následujícího tvaru [16]:

$$Q = \sigma_z m b_0 \sqrt{2g} h_0^{3/2} \quad (2.4.1)$$

Kde: σ_z součinitel zatopení [-] (pro dokonalý přepad $\sigma_z = 1$, pro nedokonalý $\sigma_z < 1$),

b_0 účinná šířka přelivu [m]

m součinitel přepadu přes jezová tělesa [-]

h_0 energetická přepadová výška [m]

g gravitační zrychlení [m/s²]

Energetická přepadová výška „ h_0 “ – je to přepadová výška „ h “ zvětšená o rychlostní výšku „ k “.

$$h_0 = h + \frac{v_0^2}{2g} = h + k \quad (2.4.2)$$

Účinná šířka přelivu „ b_0 “

$$b_0 = b - (n\varepsilon_p + 2\varepsilon_k)h_0 \quad (2.4.3)$$

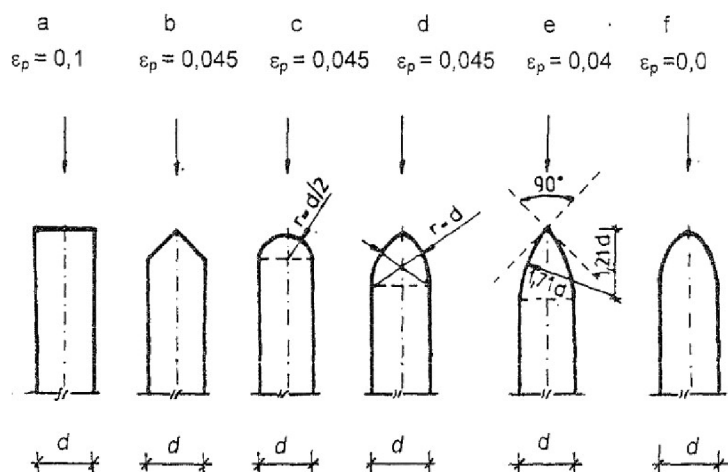
Kde: b šířka jezového pole [m]

n počet kontrakcí návodních pilířů [-]

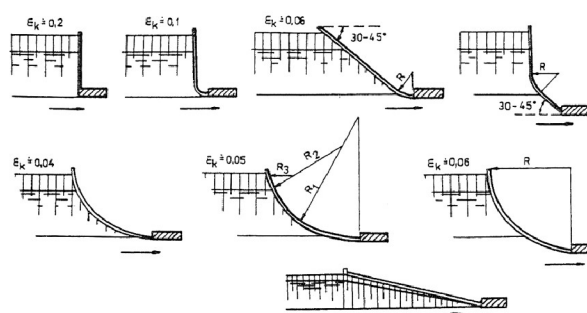
ε_p tvarový součinitel návodních pilířů [-]

ε_k tvarový součinitel bočních křídel břehových pilířů [-]

h_0 výška přepadového paprsku se započítanou rychlostní výškou [m]



Obr. 11 Součinitelé a tvary přední i zadní zhlaví návodních pilířů [2]



Obr. 12 Součinitele a tvary křídel břehových pilířů [2]

Součinitel přepadu přes jezová tělesa „m“

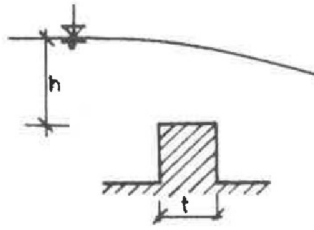
Součinitel přepadu vyjadřuje vliv tvaru jezového tělesa, kdy závisí na přepadové výšce a na uspořádání, tvaru přelivné plochy a drsnosti. Z ekonomického hlediska je výhodné dosáhnout co nejvyšší hodnoty, které vede k úspornějšímu řešení jezové konstrukce [2].

Pevné spodní stavby starších jezů mívají tvar příčného obdélníkového nebo lichoběžníkového. U novějších jezů se budují zaoblené přelivné plochy nebo se navrhuje s proudnicovou přelivnou plochou, kdy je její tvar odvozen z plochy paprsku přepadajícího přes ostrohanný přeliv [2].

Obdélníkový tvar:

- pro $t \leq 0,67h$ je součinitel přepadu $m \approx 0$
- pro $0,67 < t < 2h$ závisí na poměru h/t

$$m = 0,3 \text{ až } 0,42$$



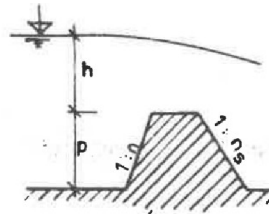
Obr. 13 Obdélníkový průřez [2].

Lichoběžníkový tvar:

Součinitel přepadu závisí na poměru h/p a na sklonu přelivných ploch. Podle výšky přelivných ploch se rozdělují jezy vysoké, střední, které se rozlišují ještě podle sklonu návodní a vzdušné stěny, a jezy nízké [2].

- vysoké jezy $p > 5$ m ($n \leq 0,5$, $n_s \leq 0,5$)

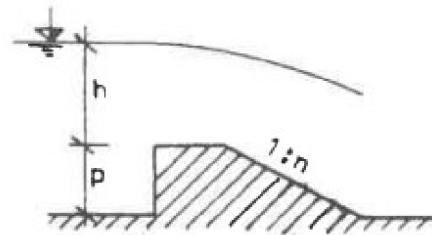
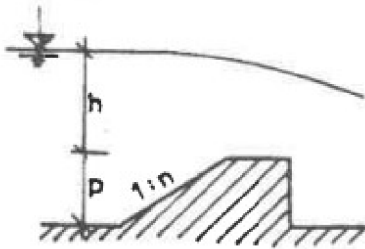
$$m = 0,35 \text{ až } 0,42$$



Obr. 14 Lichoběžníkový tvar vysokého jezu [2].

- střední jezy $2 < p < 5$ m

$$m = 0,37 \text{ až } 0,44$$



Obr. 15 Střední jezy, zleva se skloněnou návodní stěnou a se skloněnou vzdušnou stěnou [2].

- nízké jezy $p < 2$ m

$$m = 0,35 \text{ až } 0,42$$

Jamborův práh

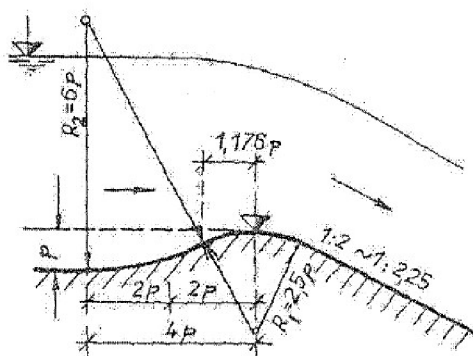
Jamborův práh způsobuje velmi malé vzduť hladiny horní vody. Výška prahu „ p “ by měla být navržena v závislosti na výšce H , kde H je hloubka vody nad jezem při návrhovém průtoku, v rozmezí: $p = (0,15 - 0,3)H$. Při výšce prahu $p < 0,15H$ bývá vzduť hladiny zanedbatelné [2].

U dokonalého přepadu by bylo vhodné dodržet poměr $p/H = 0,1$ a u nedokonalého přepadu poměr $p/H = 0,15 - 0,25$ [2].

Pro výpočet součinitele přepadu „ m “ můžeme použít odvozené vzorce dle J. Skaličky a Laca v závislosti součinitele „ m “ na poměru p/h [2].

Hodnoty součinitele přepadu se pohybují v rozmezí:

$$m = 0.42 - 0.53$$



Obr. 16 Jamborův práh [2]

Součinitel zatopení „ σ_z “ v případě dokonalého přepadu je hodnota $\sigma_z = 1$ a pokud je přepad nedokonalý $\sigma_z < 1$ [16]. Pro přesnější určení lze interpolovat hodnoty σ_z , které jsou závislé na stupni zatopení h_z/h_0 , uvedené níže v tabulce pro Jamborův práh.

Tabulka 1: Součinitelé zatopení pro Jamborův práh [2]

h_z/h_0	0,50	0,60	0,70	0,80	0,85	0,90
σ_z	1,00	0,99	0,98	0,96	0,91	0,79

2.5.2 Výpočet podjezí

Návrh podjezí slouží k utlumení kinetické energie přepadajícího vodního proudu. Jeho působením na dno pod jezem mohou vznikat výmoly. Pro utlumení energie je nutné navrhnout prohloubený vývar a tím záměrně vytvořit přilehlý vodní skok [2].

Hloubka vývaru „ d “

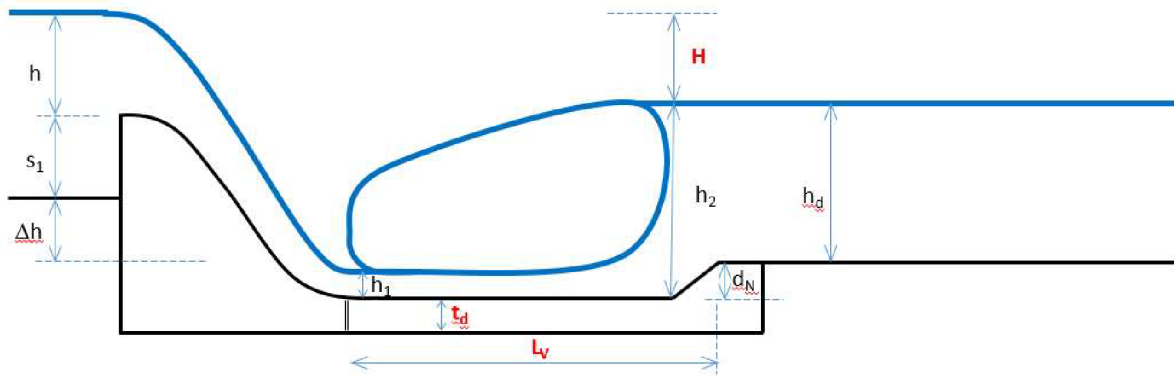
Pokud nebudeme uvažovat vlivy rychlostních výšek mezi vývarem a dolní zdrží, zanedbají se ztráty na výtoku z vývaru do dolní vody a zahloubení vývaru se navrhne s ohledem na hloubku dolní vody, druhou vzájemnou hloubku a součinitel určující doporučenou míru vzduť.

$$d_n = \sigma h_2 - h_d \quad (2.4.4)$$

Kde: σ součinitel určující doporučenou míru vzduť stabilní přilehlého vodního skoku ($\sigma = 1.05$ až 1.1)

h_d hloubka dolní vody

h_2 druhá vzájemná hloubka



Obr. 17 Rozměry vývaru

Délka vývaru „ L_v “

$$L_v = K(h_2 - h_1) \quad (2.4.5)$$

- Kde: L_v aktivní délka vývaru [m]
 h_1, h_2 vzájemné hloubky [m] viz Obr. 14
 K součinitel závislý na poměru h_2/h_1

Tabulka 2: Součinitel K [2]

h_2/h_1	K
3 - 4	5,5
4 - 6	5,0
6 - 20	4,5
> 20	4,0

Délka opevnění za vývarem „ L_0 “

$$L_0 = (10 \div 13)h_d \quad (2.4.6)$$

- Kde: h_d hloubka dolní vody [m]

Hloubka výmolu „ A_0 “

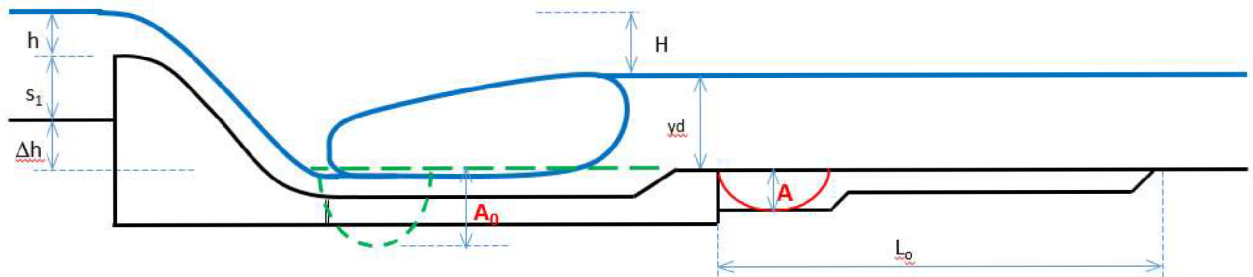
$$A_0 = \left(6H^{0.25}q^{0.5} \left(\frac{h_d}{d_{90}} \right)^{0.333} \right) - h_d \quad (2.4.7)$$

- Kde: A_0 hloubka výmolu od původního dna [m]
 H rozdíl hladin horní a dolní vody [m]
 q specifický průtok $q = \frac{Q}{b}$ [m³/s], kde b je šířka přelivné hrany [m]
 h_d hloubka dolní vody [m]
 d_{90} 90% zrna z křivky zrnitosti [mm]

Hloubka výmolu za prahem vývaru „A“

$$A = k A_0 \quad (2.4.8)$$

Kde: k se pohybuje v rozmezí 0,45 až 0,65 obvykle volíme $k = 0,5$



Obr. 18 Rozměry opevnění a výmolů

2.5.3 Výpočet stability

- Stabilita proti posunutí,
- stabilita proti usmyknutí,
- stabilita proti překlopení,
- stabilita proti nadzvednutí [2].

Pro posouzení stavebních částí jezu je nejdůležitější vybrat nejnepříznivější kombinace zatížení, které působí na jezovou konstrukci a vypočítat je. Zatížení je možné rozdělit na dvě základní skupiny, stálá „G“ a nahodilá „Q“, která se dále dělí na dlouhodobá, krátkodobá a mimořádná [2].

K nejčastějším zatížením působící na konstrukci jezu jsou:

- vlastní tíha konstrukce,
- vlastní tíha uzávěrů,
- zatížení od nasycené zeminy pod konstrukcí,
- aktivní zemní tlak,
- tlak vody.

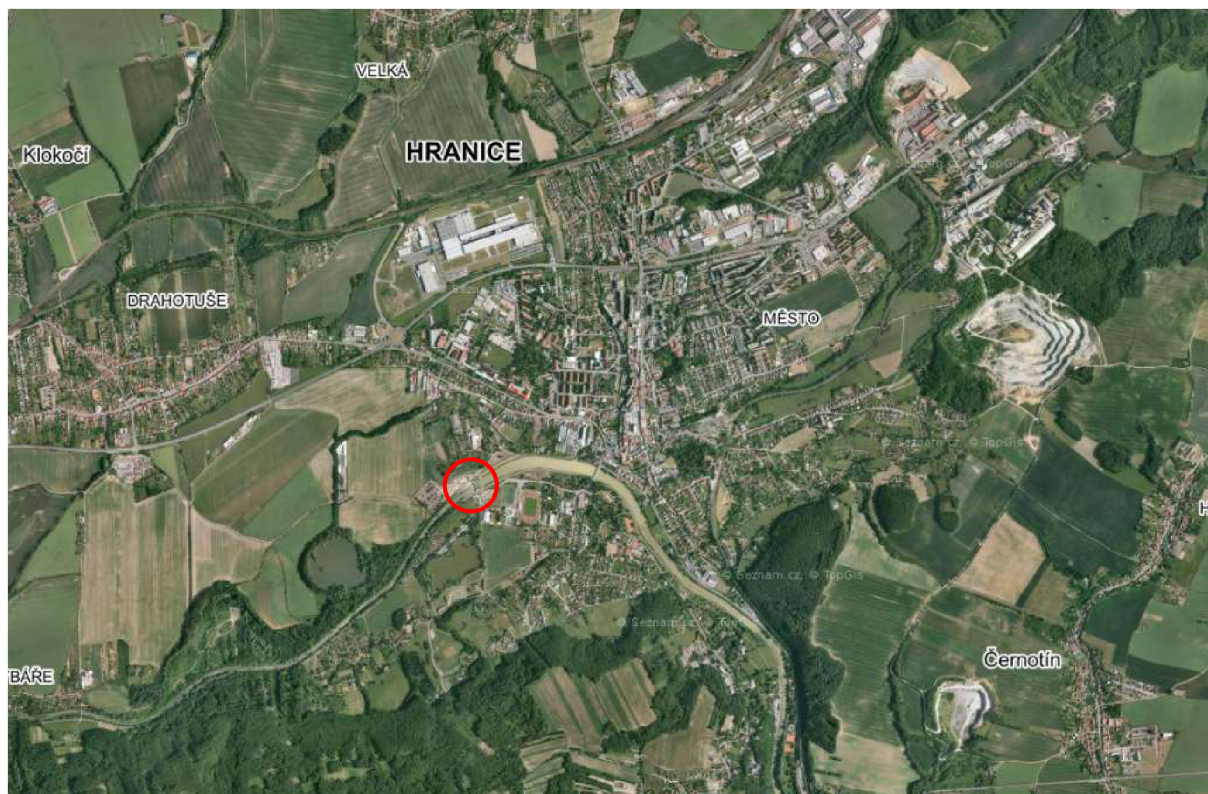
3 VSTUPNÍ ÚDAJE

3.1 IDENTIFIKACE ÚZEMÍ

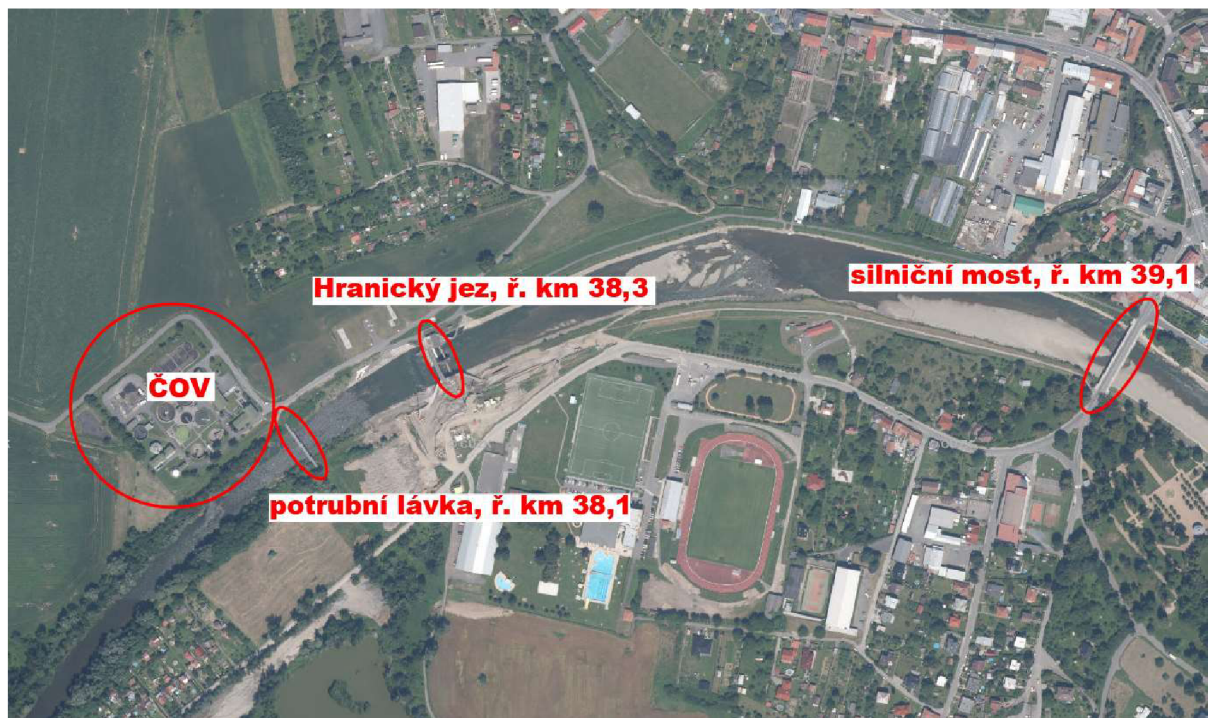
- Název toku: řeka Bečva
- Říční kilometr: 38,7
- Katastrální území: Hranice
- Kraj: Olomoucký
- Správce: Povodí Moravy, s. p.
- Číslo vodohospodářské mapy: 25-12
- Číslo hydrologického pořadí: 4-11-02-001

3.2 ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ

Zájmová lokalita se nachází v katastrálním území Hranice, které leží ve východní části Olomouckého kraje v Moravské bráně v nadmořské výšce cca 260,00 m n. m. [17]. Jezová konstrukce se nachází na 38,300 říčním kilometru pod intravilánem města Hranice nad čistírnou odpadních vod. Zájmový úsek toku je přibližně vymezen potrubní lávkou (říční kilometr 38,100) a silničním mostem (říční kilometr 39,100). Na jihovýchodní straně řešeného úseku se nachází stadion SK Hranice s fotbalovým hřištěm a ze severní strany řešený úsek obklopuje mírně zastavěná oblast rodinnými domy a velkoobchodem [18]. Poloha objektu je konkrétněji upřesněna na obrázcích 16, 17, 18.



Obr. 19 Upřesnění lokality Hranického jezu [18]



Obr. 20 Zájmové území [18]



Obr. 21 Detail - Hranický jez [18]

3.3 HYDROLOGICKÉ POMĚRY

Vodní tok Bečva o celkové délce 61,50 km a plochou povodí 1620,19 km² je největším levostranným přítokem řeky Moravy. Řeka vzniká soutokem Vsetínské Bečvy (59,00 km) a Rožnovské Bečvy (39 km) v nadmořské výšce 288,00 m n. m. u Valašského Meziříčí. Řeka Bečva dále protéká pohořím západních výběžků Beskyd směrem k Hranicím, dále okolím Lipníka nad Bečvou, přes Přerov a přibližně jeden kilometr za obcí Troubky se vlévá do řeky Moravy, v nadmořské výšce 195,00 m n. m. [23].

Významné přítoky řeky Bečvy jsou levostranný přítok Loučka v říčním kilometru 60,700, levostranný přítok Juhyně v říčním kilometru 54,600, pravostranný přítok Mřenka v říčním kilometru 53,100 a dalších menších přítoků [19][20].

Jelikož Bečva svádí vodu z míst bohatých na dešťové srážky, významně ovlivňuje vodní režim na středním, a dokonce na dolním toku Moravy. Nejvíce vody mívá řeka v březnu, nejméně pak v září [23].

Pro monitoring aktuálního stavu na toku se využívají dva hlásné profily [21].

- Teplice nad Bečvou v říčním kilometru 41,400
- Dluhonice v říčním kilometru 9,30

Tabulka 3: N-leté průtoky na řece Bečvě, stanice Teplice nad Bečvou [22]

Stanice Teplice nad Bečvou N-leté průtoky [m ³ /s]						
Q ₁	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
219	317	452	555	659	799	908

Tabulka 4: N-leté průtoky na řece Bečvě, stanice Dluhonice [22]

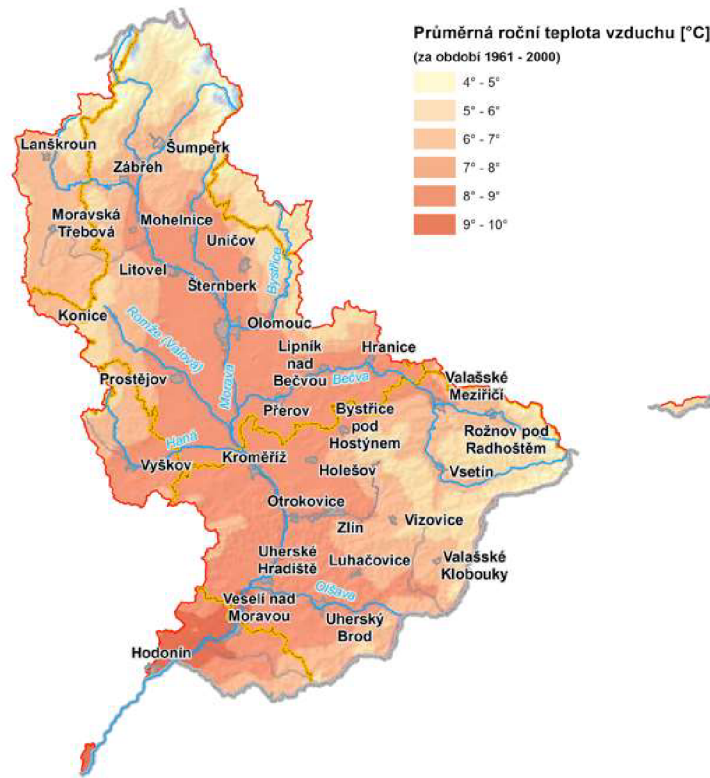
Stanice Dluhonice N-leté průtoky [m ³ /s]						
Q ₁	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
239	337	466	564	662	792	892

3.4 KLIMATIKÉ POMĚRY

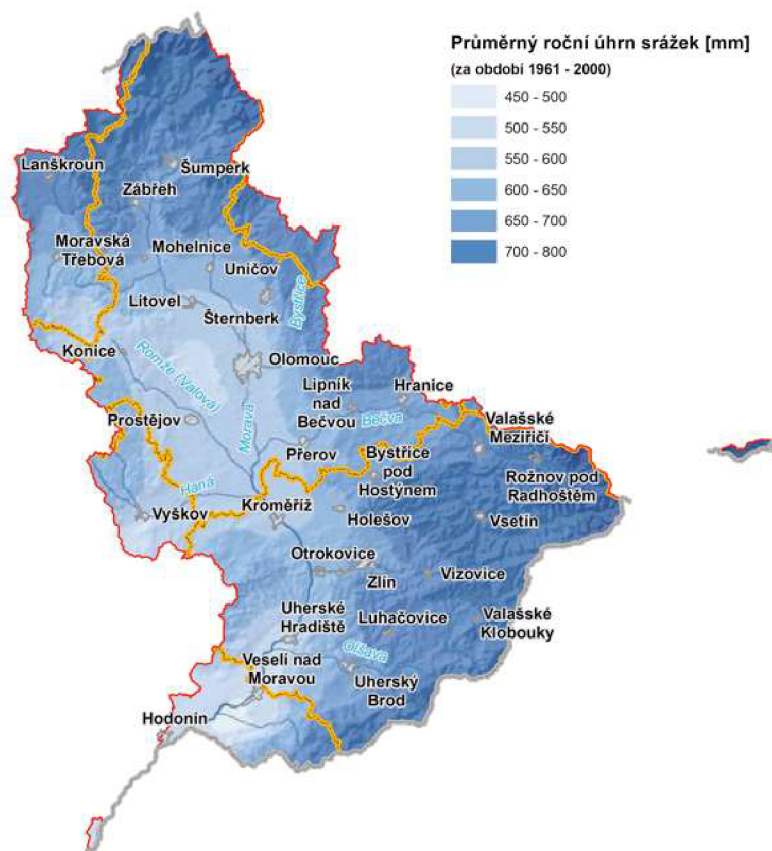
Díky značným výškovým rozdílům je území povodí Moravy z klimatologického hlediska velice pestré. V celém povodí Moravy jsou zahrnuty klimatické oblasti teplé, mírně teplé i chladné [23].

Průměrný dlouhodobý úhrn srážek pro povodí Moravy za období 1961-1990 činí 670 mm. Nejbohatším měsícem v dlouhodobém průměru je červen s úhrnem srážek 89 mm, následuje měsíc červenec a květen s úhrnem srážek 80 respektive 75 mm. Naopak nejméně srážek spadlých na území povodí Moravy bývá v měsících únor a březen s dlouhodobým úhrnem srážek 37 mm [23]. Konkrétně v městě Hranice je průměrný úhrn srážek ve vegetačním období 400 – 450 mm a v zimním období 200 – 250 mm [17].

Průměrná dlouhodobá roční teplota vzduchu v povodí je 8,1 °C, kdy nejteplejším měsícem je červenec s průměrnou dlouhodobou teplotou vzduchu 17,7 °C, nejchladnějším měsícem je leden s průměrnou dlouhodobou teplotou vzduchu -2,6 °C. Průměrné teploty vzduchu v povodí Moravy jsou dále zobrazeny na obrázku č. 19 [17]



Obr. 22 Povodí Moravy - průměrná roční teplota vzduchu [°C] [23]



Obr. 23 Povodí Moravy – roční úhrn srážek [mm] [23]

3.5 GEOMORFOLOGICKÉ POMĚRY

Oblast povodí Moravy leží na rozhraní Hercynského a Alpsko-Himalájského. Do povodí zasahují dvě provincie, a to Česká vysočina (Český masiv) a Západní Karpaty. Subprovincie Vněkarpatské sníženiny svými celky Moravská brána a Vyškovská brána rozdělují oblast povodí na severozápadní a jihovýchodní část, přičemž střed povodí je tvořen Hornomoravským úvalem [23].



Obr. 24 Geomorfologické poměry povodí Moravy [23]

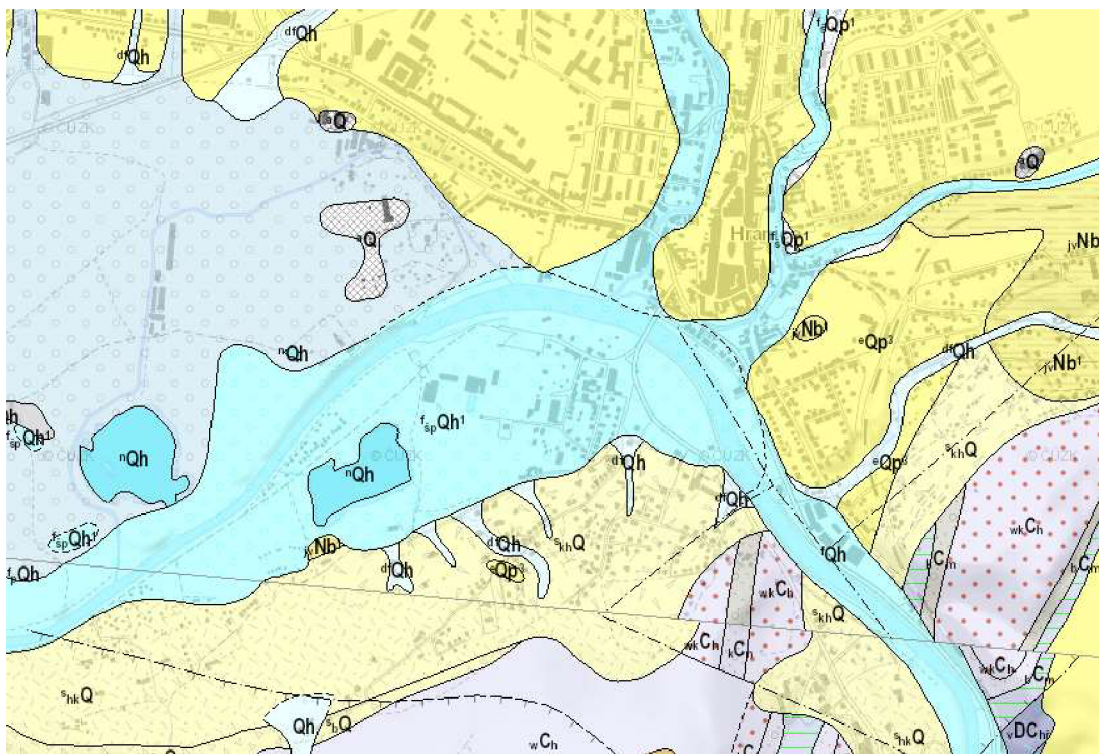
Nejvyšším bodem povodí Moravy je vrchol Praděd v Hrubém Jeseníku (1 492,00 m n. m.), nejnižším bodem je soutok Moravy a Dyje na hranicích území (150,00 m n. m.) [23].

Vzhledem k zastoupení jednotlivých provincií je reliéf oblasti povodí Moravy poměrně různorodý a pestrý. Základní rozdíl je mezi starší Českou vysočinou na západě a mladým pásemným pohořím Karpat na východě zvyrazněný systémem nížin mezi nimi [23].

Z hlediska regionální morfologie a geologie se zájmové území Hranice nachází v úvalu Moravské brány, která představuje samostatný geomorfologický celek, začleněný do soustavy Vněkarpatských sníženin, podsoustavy Západní, tvořený jihozápadním - severovýchodním směrem protaženým pruhem plochého nížinového a pahorkatinného reliéfu [17].

3.6 GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

Zájmová oblast spadá do hydrogeologického rajónu č.2211 – Bečevská brána. Ležící v jihozápadní části Moravské brány mezi Hranicemi a Přerovem. Reliéf je zde charakterizován jako plochá pahorkatina, tvořená neogenními sedimenty (vápnitými jíly), překryté sprašemi a sprašovými hlínami, fluviálními štěrky a povodňovými hlínami. Podrobněji je na obr.25 znázorněná zájmová lokalita s legendou [23][24].



$f_{sp}Qh^1$ - fluviální písčité štěrky, $s_{hk}Q$ - svahové hlinitokamenité sedimenty, nQh – sedimenty vodních nádrží, $dfQh$ – písčitohlinité sedimenty, eQp^3 – spraše a sprašové hlíny, aQh – antropogenní sedimenty, $wkCh$ – lavicovitě střídaní drob a slepenců,

Obr. 25 Geologické poměry Hranice [25]

Podloží jezu tvoří neogenní sedimenty překryté kvartérními usazeninami. Materiály v blízkosti jezu jsou vápnité, svrchu tuhé až pevné konzistence a ve větších hloubkách pak tvrdé a vrstevnaté. Z hlediska mechaniky jsou materiály podloží klasifikovány jako soudržné. Můžeme je rozdělit do tří skupin [24]:

- prachovité jíly, vysoce plastické,
- písčité prachy, středně plastické s vysokým podílem jemného písku,
- písky jemné až prachovité

V oblasti nacházející se blízko Hranického jezu se dá rozdělit na pět základních geotechnických poloh.

- I. poloha – antropogenní navážka obsahující stavební suť.
- II. poloha – směs navážek a náplavových usazenin, zejména písčitých až štěrkovitých, které obsahují značné množství soudržných příměsí pevné konzistence.
- III. poloha – vyskytují se zde štěrky s příměsí jemnozrné zeminy G3-G-F, které jsou díky přítomnosti jemnozrné příměši považovány za namrzavé. Při větším obsahu

jemnozrnných příměsí jsou šterky G3-GM a šterky jílovité G5-GC považovány za nebezpečně namrzavé.

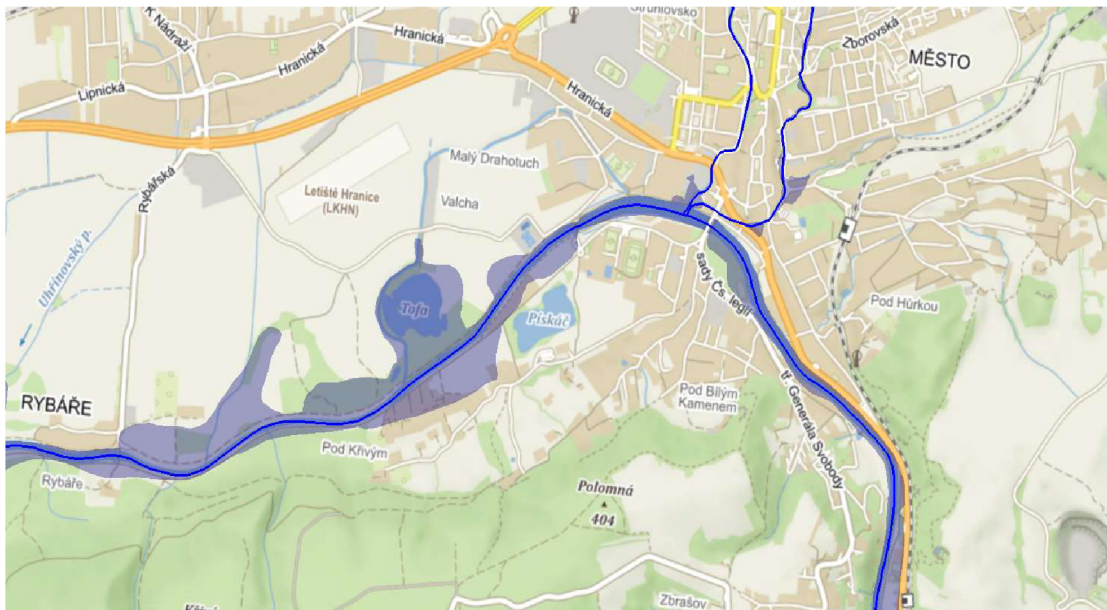
- IV. poloha – vyskytují se zde soudržné málo propustné zeminy, které jsou vhodné pro těsnící jádro hrází. Tyto zeminy obsahují vápnitou příměs s velkým rozsahem plasticity od písčité hlíny F3-MS až po jíly s vysokou plasticitou F8-CH ke hranici jílu se střední plasticitou F6-CI.
- V. poloha – obsahuje stejné zeminy jako poloha IV s jedním rozdílem a to, že jemnozrnné zeminy zvětšují svoji konzistenci v závislosti na hloubce uložení [24].

Díky nepropustnému homogennímu podloží jezu nedojde téměř k žádnému ovlivnění podzemních vod v okolí zájmového území.

3.7 ZÁPLAVOVÉ ÚZEMÍ

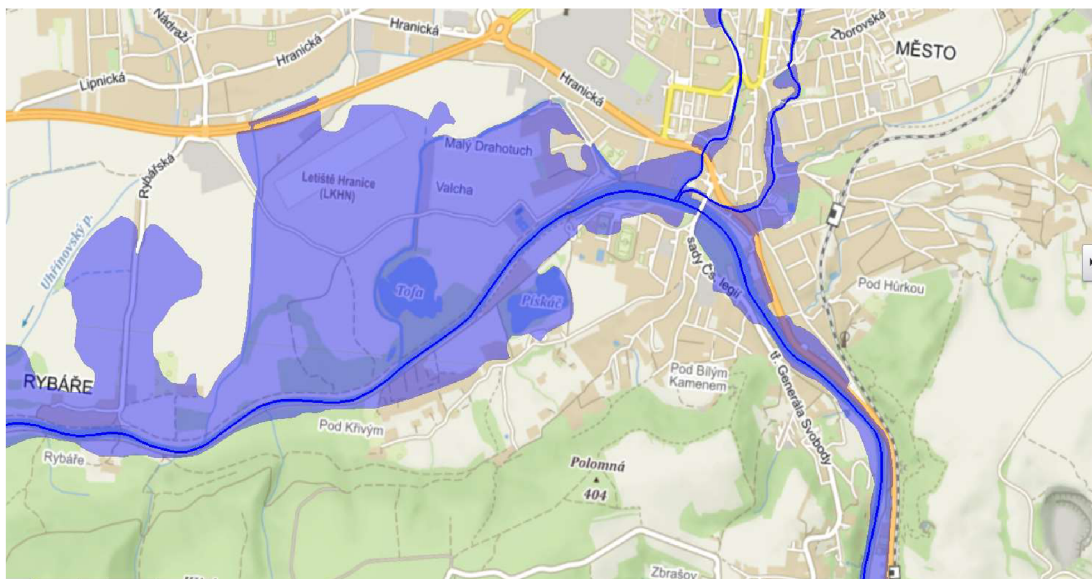
Rozsah záplavového území při průtocích Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , v prostoru města Hranice a okolí můžeme vidět z níže přiložených obrázků 26, 27 a 28.

Při úrovni hladiny Q_5 dochází k mírnému zaplavení v oblasti pod jezovou konstrukcí v místě Drahotuš, kde se nachází chatová oblast. Problémová oblast se také nachází mezi jezem a silničním mostem, v zaústění pravostranných přítoků Veličky a Ludiny.



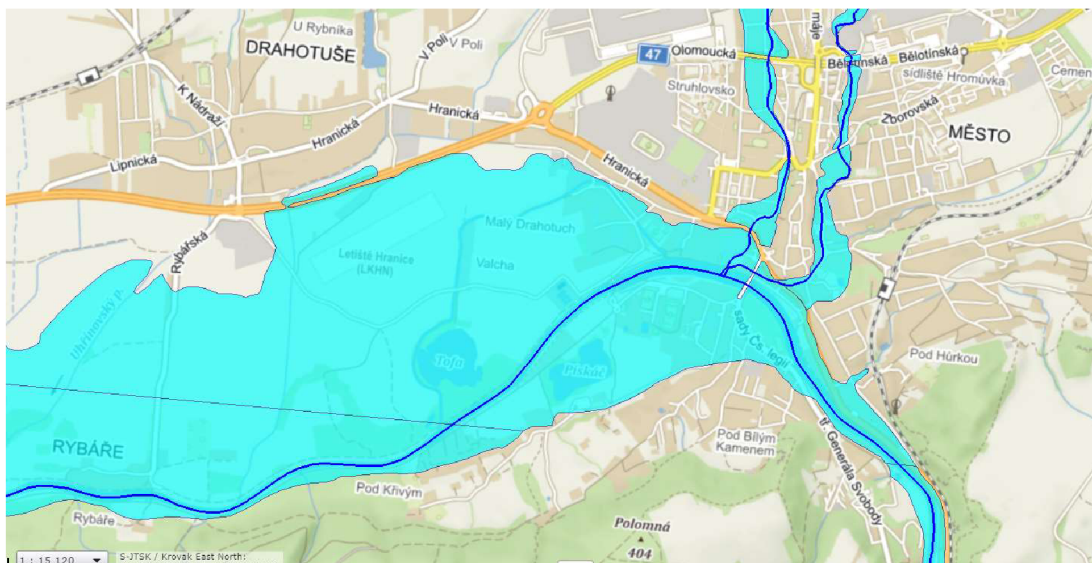
Obr. 26 Záplavové území Hranice při Q_5 [26]

Při úrovni hladiny Q_{20} se zaplavuje velká část území pod jezovou konstrukcí, jak je vidět na obr. 27 a voda se rozlévá z koryta řeky Bečvy rovněž v území nad jezem, kde zasahuje na levém břehu fotbalové hřiště a začíná zaplavovat přilehlou zástavbu na obou březích řeky.



Obr. 27 Záplavové území Hranice při Q_{20} [26]

Při úrovni hladiny Q_{100} dochází k výraznému zaplavení celých Malých Drahotuch, oblasti Rybáře včetně sad Československých legií a přilehlé zástavby.



Obr. 28 Záplavové území Hranice při Q_{100} [26]

Ve stávající podobě poskytuje koryto ochranu pouze před maximálně dvacetiletou vodou. Tento fakt by měla napravit nová protipovodňová ochrana, která bude realizována na ulici Kropáčkova a podél sadu Československých legií. Připravované opatření by mělo poskytnou ochranu městu až do úrovně padesátileté povodně. Významnou součástí protipovodňové ochrany bude zkapacitnění jezu Hranice.

3.8 LEDOVÉ JEVY V ZÁJMOVÉM ÚZEMÍ

V zájmovém území dochází k ledovým jevům, které byly blíže popsány v kapitole 2.5. Jeden z problémů způsobující tyto jevy je malá průtoková kapacita stávající jezové konstrukce. Rekonstrukce (zkapacitnění) jezu příznivě přispěje k řešení nepříznivých ledových jevů.

Například v roce 2012 se následkem intenzivní oblevy zvedly průtoky na řece Bečvě, a to mělo za následek chod ledové zácpy dlouhé cca 5 kilometrů. Ledové kry valící se korytem k Hranickému jezu představovaly nebezpečí z hlediska ucpání koryta a následnému rozliti řeky Bečvy. Pracovníci Povodí Moravy proto přešli k manipulaci s jezovými uzávěry, aby zajistili bezpečné převedení ledových ker. Správná manipulace umožnila průchod ledové zácpy přes jezové těleso. Odhadovaný objem ledové masy byl cca 250 000 m³, což podle zdroje [23] patří k největším převedeným objemům za posledních 30 let.



Obr. 29 Ledová zácpa na řece Bečvě – Hranice [29]

4 HISTORIE A STÁVAJÍCÍ STAV

4.1 DŘÍVĚJŠÍ KONSTRUKCE

Umístění jezu

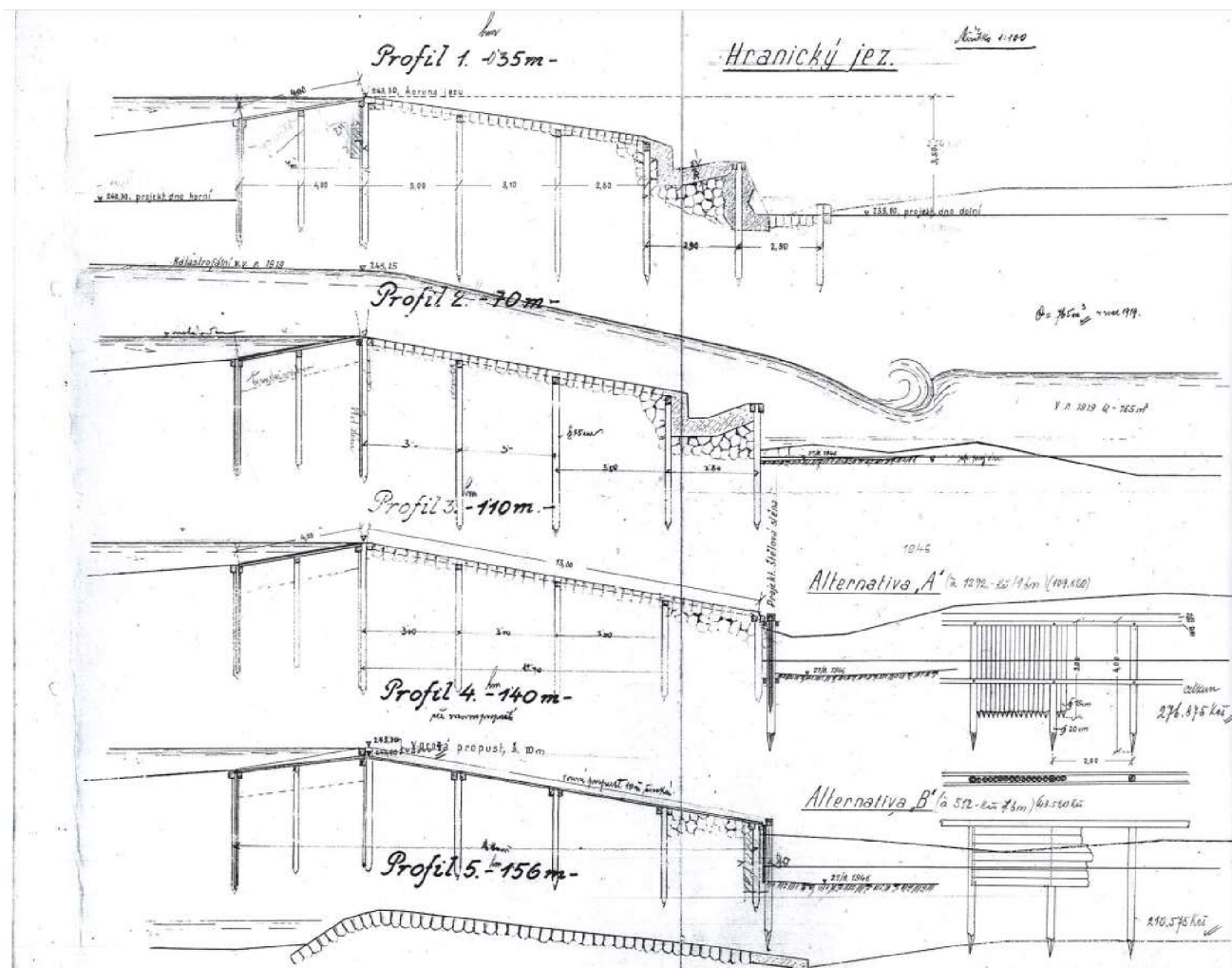
Koryto řeky Bečvy je z důvodu intenzivního osídlení významně ovlivněno z hlediska antropogenní činnosti. Kdy tyto činnosti začaly už v 80. letech 16 století. Právě tehdy byl vybudován pevný jez, který se nacházel v blízkosti centra města cca 300 m protiproudu od nynějšího pohyblivého jezu společně s náhonem mlýnské strouhy [30]. Jez zde tvořil důležitý spádový stupeň, umožňoval vzdouvání vody a její odběr pomocí náhonu, což prospívalo místnímu průmyslu. Na obrázku 30 můžeme vidět umístění původního pevného jezu.



Obr. 30 Umístění původního pevného jezu v Hranicích [34]

Konstrukce jezu

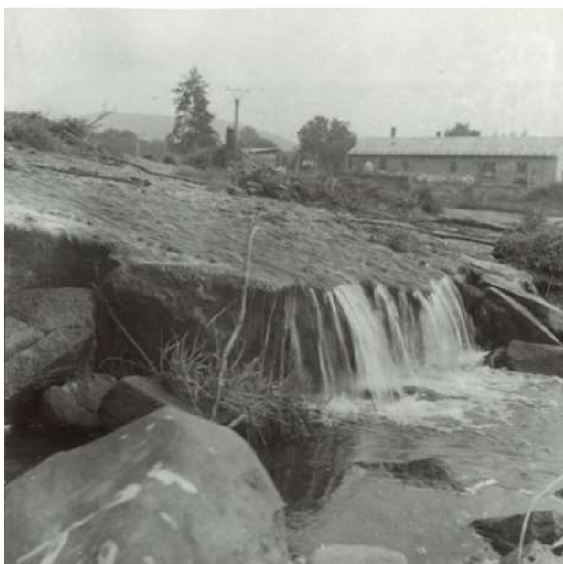
Konstrukční řešení původního jezu je patrné z dochované dokumentace z konce 19. století [32]. Konstrukce jezu byla tvořena kostrou ze dřeva složenou z několika řad pilotů, vyplněná kamenem a štěrkem. Pilotová řada v koruně jezu byla později doplněna štetovou stěnou a betonovou membránou. Návodní strana jezu byla tvořena dřevěnými rošty vyplněnými kamennou dlažbou do betonu. Součástí jezu byla také vorová propust šířky 10 m (viz profil 4. na obr. 31), která se v pozdějších letech zrušila. Kóta přelivné hrany jezu byla na 243,30 m n. m. Jez byl po dobu svého působení mnohokrát opravován, například po povodních v roce 1958 se na návodní straně vytvořily kaverny, do kterých se propadla kamenná dlažba. Opravy spočívaly v tom, že se prostory vyplnily kamenem do betonu s úpravou povrchu na způsob dlažby. Cílem bylo udržet jez až do doby, kdy bude vybudován nový (stávající) jez. Konstrukce jezu je znázorněna na obrázku č. 31, na kterém taktéž můžeme vidět povodeň z roku 1919, kdy průtok dosahoval 765 m³/s. Celkový pohled na konstrukci jezu a detaily poškození jsou zobrazeny na obr. 32 a 33.



Obr. 31 Původní pevný jez v Hranicích - podélné řezy [32]



Obr. 32 Pohled na původní pevný jez z podjezí směrem k centru města 1982 [32]



Obr. 33 Detail konstrukce původního pevného jezu 1975 [32]

V letech 1984 – 1987 byl zrušen tehdejší pevný jez, který byl nahrazen novým vodním dílem, a to stávajícím segmentovým jezem o dvou 16 metrových polích. Na obr. 34 jsou zachycené počátky výstavby vodního díla Hranice.



Obr. 34 Výstavba stávajícího pohyblivého jezu 1986 [32]

Jez byl dostavěn v roce 1987 a jelikož se počítalo s vybudováním velké nádrže Teplice, která by zachytávala a regulovala kritické průtoky, byl jez postaven jako součást dvouprvkové ochrany. Z tohoto důvodu se neuvažovalo o rozšíření koryta, jelikož kritické povodňové průtoky by transformovala nádrž. Koryto před jezem tedy zůstalo zúžené a nekapacitní pro převedení větších průtoků než Q_{20} [17] [30]. Obr. 35 zachycuje jak výstavbu stávajícího pohyblivého jezu, tak v popředí probouraný původní pevný jez.



Obr. 35 Pohled na jezy v Hranicích 1986 [32]



Obr. 36 Pohledy na jezy v Hranicích 2011 [32]

Koryto Bečvy

Řeka Bečva měla v 19. století nepravidelné koryto s četnými meandry, kdy při každé povodni koryto měnilo svůj tvar a často zůstávalo po nepravidelných povodních koryto široké několik desítek až stovek metrů.

První pokusy o usměrnění toku řeky byly z důvodů soustředění toku pod mosty nebo na vodní díla. Jen výjimečně byla snaha o ochranu významnějších pozemků. Tyto pokusy byly realizovány pomocí dostupného místního materiálu. Využívaly se zejména vrby a olše, ze kterých se vytvářely haťové válce a plůtky a později i haťošterkové válce. Dalším nedostupnějším materiálem byl šterk a písek naplavený tokem. Tyto materiály doplněny o dřevěné piloty a popřípadě nalámaný kámen vytvářely relativně odolné stavby. Problém byl v nesouvislosti staveb, a to vedlo k malé účinnosti těchto prvotních úprav.

Díky hustějšímu osídlení podél řeky Bečvy se škody na majetku způsobené povodněmi výrazně zvětšovaly. Povodňové průtoky také způsobovaly silné poškození zpevněných břehů a prohloubení dna koryta [30]. Z těchto důvodů se v polovině osmdesátých let 19. století začalo pracovat na projektech úprav koryta. Lze říci, že trasa koryta v zájmovém úseku se od konce 19. století nezměnila.

V roce 1893 se schválil projekt celkové úpravy řeky Bečvy a přistoupilo se k jeho realizaci ve čtyřech etapách.

První etapa

V první etapě, která probíhala v letech 1893 – 1901, byla provedena regulace, která se týkala úpravy spádu dna a taktéž se vyrovnání směru toku. Regulace byly prováděny pomocí kamenných staveb a stupňů ve dně.

Druhá etapa

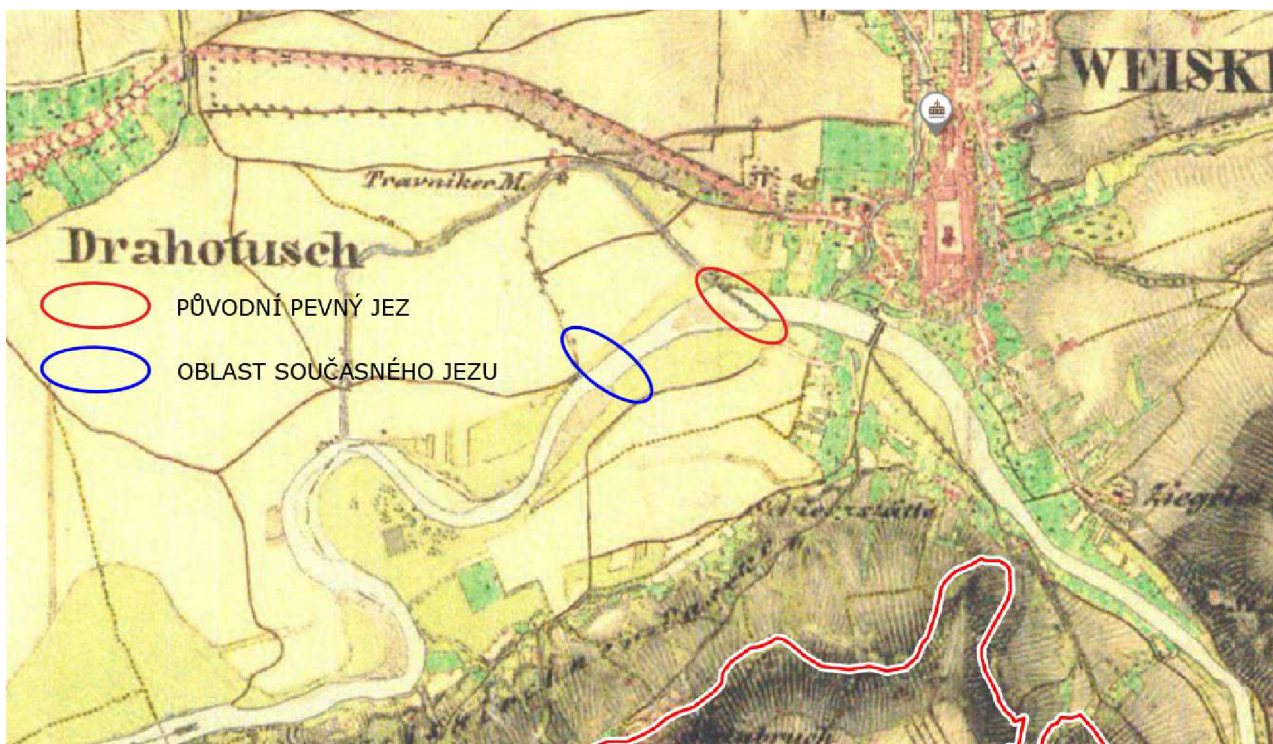
V druhé etapě, probíhající v letech 1902 – 1914, se koryto upravovalo na N -leté průtoky, které by měly poskytnout ochranu $Q_{50} - Q_{100}$. Tato ochrana nebyla dosažena, jelikož koryto bylo schopné převést pouze průtoky $Q_2 - Q_5$ a v místních tratích až Q_{10} . Břehy koryta byly zpevňovány již výše zmíněnými haťošterkovými válci, drnováním a vrbovým pokryvem [30].

Třetí a čtvrtá etapa

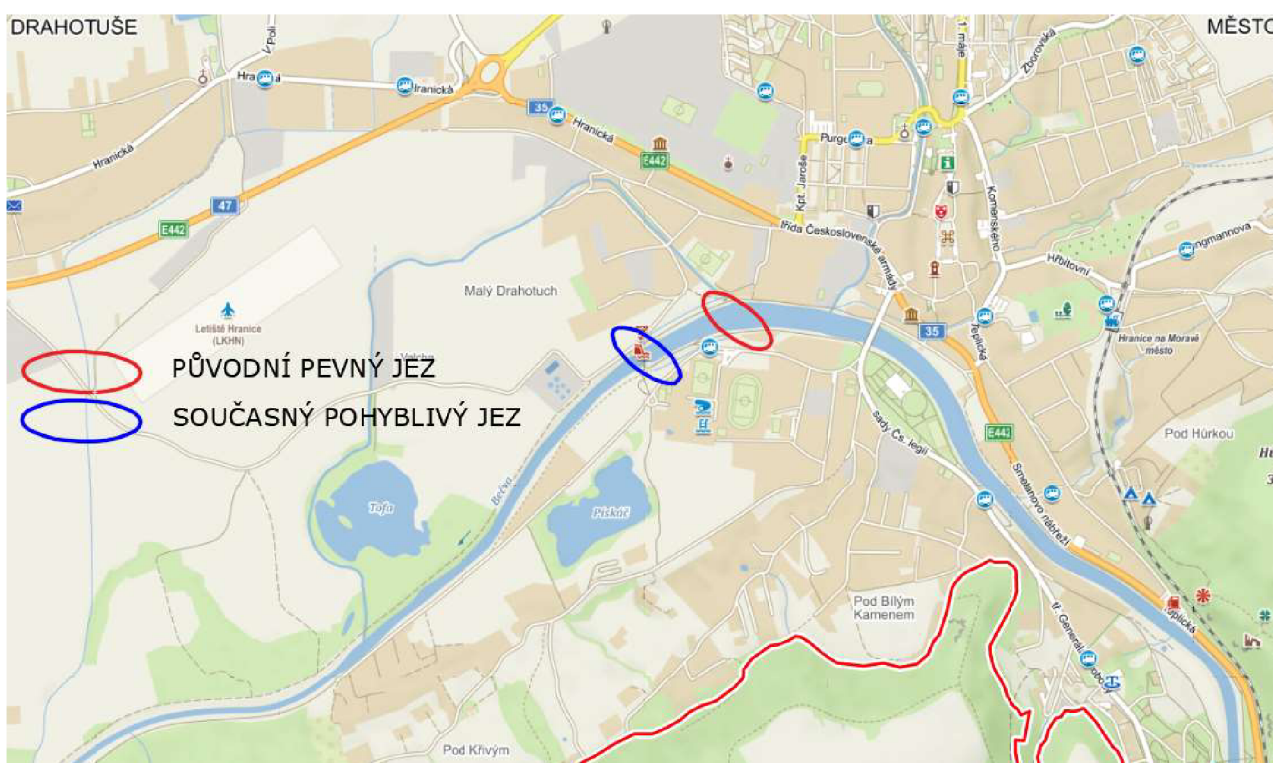
Ve třetí etapě 1915 – 1919, která byla ovlivněna první světovou válkou, byly práce pozastaveny a pouze se udržovaly. Ve výstavbě se začalo pokračovat v letech 1920 a práce na úpravě toku byly dokončeny v roce 1931. V této poslední etapě proběhlo rozšíření a prohloubení koryta v Teplicích nad Bečvou. Tato úprava měla zajistit kapacitu na průtok $610 \text{ m}^3/\text{s}$ [30].

Do řeky se vlévají současně dva potoky, a to Ludina a Velička, kde docházelo ke zpětnému vzdouvání hladiny od jezové zdrže. Aby se zvýšila průtočná kapacita, bylo koryto v tomto úseku zvětšeno o 4 m, návrhové průtoky ale neodpovídaly realitě.

Jako další krok ochrany a stabilizace toku se ve 30. letech 20. století vybuďovalo ohrázování o výšce 0,7 m podél parku Československých legií, které bylo následně v 70. letech navýšeno na 1 metr [30].



Obr. 38 Hranice – průběh toku v 19. století [18]



Obr. 37 Hranice – současný průběh toku [18]

4.2 HISTORICKÉ POVODNĚ

V zájmovém území docházelo historicky k opakovaným povodňovým událostem. Zaznamenány jsou některé události za posledních cca 500 letech:

- 1575, 24. dubna se datuje nejstarší písemná zmínka o povodni v Přerově.
- 1593 po mohutných deštích voda zaplavila město a strhla most.
- 1625, 1641, 1652, 1666 a 1668 jsou zaznamenány povodně v Přerově (zvláště ničující v roce 1652).
- 1831, záznam o požáru v Přerově následovaném vytrvalými dešti, které rozmočily ohněm poškozené budovy a způsobily jejich zhroucení. Následovala povodeň, která byla důsledkem předešlých vydatných dešťů.
- 1838, na jaře byla dokumentována povodeň, kdy v důsledku ledových nápěchů u železničního mostu došlo ke vzduť hladiny vody v Bečvě a následnému zaplavení města Přerova.
- 1868, dle kronik došlo k průtrži mračen takové intenzity, že vylitá voda se hrnula okny do světnic a lidé se zachraňovali na stromech.
- 1880, jedna z nejvýznamnějších povodní v historii, kdy průtoky přesahovaly stoleté kulminace.
- 1919, další významná povodeň s naměřeným kulminačním průtokem 765 m³/s.
- 1925, průtok 643 m³/s.

V červenci roku 1997 došlo v zájmové oblasti v důsledku extrémních srážek (dlouhotrvající regionální deště s vysokou intenzitou) k povodňovým průtokům cca 950 m³/s. Koryto nebylo schopné převést tyto kritické průtoky a došlo k zaplavení komunikací a zástavby přilehlé jak k Bečvě, tak i Veličce a Ludíně (obr. 39). Komunikace na Valašské Meziříčí, Nový Jičín a na Teplice nad Bečvou byly neprůjezdné. Zaplavené byly i zdroje pitné vody. V městě Hranice bylo poničeno 29 000 domů a škody dosahovaly téměř 63 miliard korun [17]. V lázních Teplice nad Bečvou ležící na levém břehu řeky Bečvy přibližně v rozsahu vzduť byla zaplavena lázeňská kolonáda a silnice do Hranic byla neprůjezdná.

V období od srpna do prosince roku 1997 probíhaly rozsáhlé opravy a zpevnění břehů řeky Bečvy kameno-betonovým materiálem. Další opevnění koryt a zvyšování hrází docházelo po povodních v letech 2006, 2009 a 2010 [17] [30].



Obr. 39 město Hranice při povodních roku 1997 [17]

4.3 STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE JEZU

Stávající jezová konstrukce v Hranicích byla vystavěna na řece Bečvě v kilometru 38,300 roku 1987. Účelem díla je [32]:

- Vzdouvání vody pro zajištění povolených odběrů,
- výroba elektrické energie v malé vodní elektrárně Hranice,
- stabilizace dna řeky Bečvy,
- zajištění minimálního průtoku v Drahotušském náhonu, kde se také nachází malá vodní elektrárna Wellart

Jezová konstrukce je tvořena masivní spodní stavbou, kterou rozděluje dělicí pilíř na dvě jezová pole. Každé z polí je hrazeno pohyblivým hradícím prvkem. Součástí jezové konstrukce je malá vodní elektrárna, která je umístěna do pravobřežního pilíře. Kolem stavby je osazené zábradlí na pilířích a nábrežních zdech.

Pevná část jezové konstrukce je tvořena železobetonovým lichoběžníkovým prahem s přepadovou hranou ležící na kótě 240 m n. m. s navazující přelivnou plochou délky 8,23 m o sklonu 1:2,25. Za přelivnou plochou se nachází železobetonový vývar hloubky 1,4 m a délky 16,8 m se závěrečným prahem délky 5,2 m a sklonu 1:4. Před přepadovým tělesem je zřízen předprsní práh, ve kterém se nachází kanalizace DN 400 uložená do PVC chráničky. Jezová pole jsou rozdělena pomocí zaobleného pilíře šířky 2,5 m [32][33].

Jako hradící zařízení jsou zde použity segmentové uzávěry světlé šířky 16 m a výšky 2,4 m, na kterých jsou osazeny duté klapky o rozměrech 0,8 x 14 m, přičemž klapka je u každého jezového pole rozdělena na dvě části po 7 m. Spára mezi klapkami je těsněna gumovým pásem a plechem a ovládání obou klapek je synchronizováno pomocí páky, otáčející se na vodorovných čepech uložených v ložiscích segmentu. Celková maximální výška hradící konstrukce je 3,2 m. Hradící zařízení je ovládáno elektromechanicky pomocí Gallových řetězů oboustrannými zvedacími mechanismy, které jsou umístěny ve strojovnách se vzájemnou

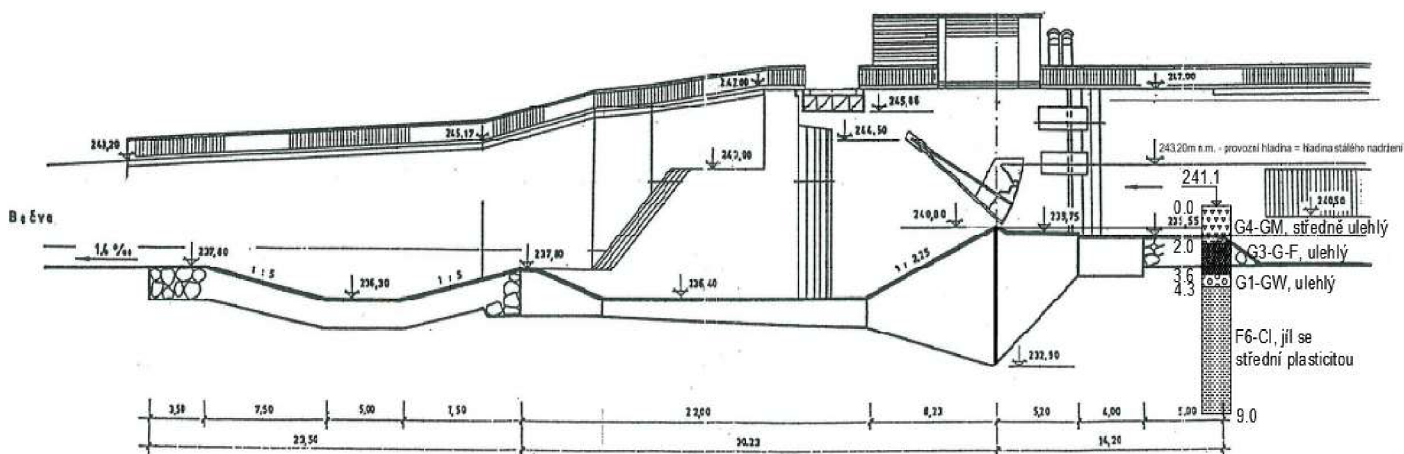
synchronizací pohybu. Každý zdvihací mechanismus je poháněn servomotorem MODACT Mo 63/110-40 o výkonu 2,2 kW. Pro zajištění ovládání v zimním provozu jsou boční vedení segmentu vyhřívány [32][33].



Obr. 40 Segmentový uzávěr s dutou klapkou, Hranice [33]

Tabulka 5: Parametry jezu

Celková šířka pevné části jezu	32	[m]
Šířka jezových polí	16	[m]
Kóta přepadové hrany	240,00	[m n. m.]
Kóta dna v nadjezí kamenný stupeň	239,55	[m n. m.]
Kóta dna v nadjezí před stupněm	238,45	[m n. m.]
Kóta dna vývaru	236,40	[m n. m.]
Kóta prahu vývaru	237,80	[m n. m.]
Kóta jezových pilířů	247,00	[m n. m.]
Kóta dna podjezí	237,80	[m n. m.]
Kóta osy hlavního ložiska	244,50	[m n. m.]
Kóta horní hrany vztyčené klapky	243,20	[m n. m.]
Kóta pravého a levého břehu	247,00	[m n. m.]



Obr. 41 Řez stávajícím jezovým polem [33]

4.4 STÁVAJÍCÍ STAV KORYTA V NADJEZÍ

Koryto řeky Bečvy je v nadjezí lichoběžníkového charakteru. Podél koryta je na obou stranách vytvořený násep, který vede až po silniční most (39,2 říční kilometr). Za silničním mostem je na pravém břehu vytvořena betonová zeď a kamenné zpevnění břehů, které je i na levém břehu podél parku Československých legií.

Koryto řeky Bečvy je v nadjezí upravené a břehy jsou soustavně udržované. Svahy jsou zpevněné kamenným záhozem, který je doplněn travnatou pokrývkou (viz obr. 34). V kilometrovém úseku 38,300 až 39,600 je kapacita koryta 720-780 m³/s [33]. Kapacita by v tomto úseku měla vyhovět pro převedení dvacetileté vody, ale ze získaných informací z povodňového informačního systému Webmap se již při dvacetileté vodě koryto vylévá viz Obr. 24.

V nadjezí se cca 200 m od jezu nachází pevný panelový sjezd do Bečvy, který umožňuje bezpečný vjezd vozidla s přívěsem a spustit záchranný člun.

Zavázání jezové konstrukce do břehu v nadjezí je provedeno pomocí železobetonových zavazovacích křídel (úhlových zdí), které jsou rozdělené na dilatační celky.

4.5 STÁVAJÍCÍ STAV KORYTA V PODJEZÍ

Koryto se v podjezí napojuje na jez železobetonovou tížnou břehovou zdí. Za železobetonovým prahem vývaru se nachází v patách koryta larsenové stěny, které slouží jako stabilizační prvek pro břehy opevněné těžkými kameny až po potrubní lávku, nacházející se v 38,1 říčním kilometru. Koryto dále pokračuje v lichoběžníkovém charakteru podél čistírny odpadních vod, kdy se podél koryta začínají objevovat dřeviny a keře, dále se zde nachází rybník Tofa, který vznikl na bývalé trase řeky Bečvy. Naopak podél levého břehu se vyskytuje chatová oblast.

4.6 PŘILEHLÉ OBJEKTY

Drahotušský náhon

Odběrný objekt byl vybudován v roce 1988. Odebíraný průtok sloužil jako pohon Trávníckého mlýna. V současné době je voda v náhonu využívána jen pro výrobu elektrické energie v malé vodní elektrárně Wellart. Náhon se nachází na pravém břehu Bečvy v říčním kilometru 38,615. Má dva samostatně hrazené vtokové otvory o rozměrech 200 x 150 cm. Za dřevěnými tabulovými uzávěry o rozměrech 200 x 200, kterými lze plynule regulovat průtok, pokračuje uzavřeným dvojitém profilem 2x 200/150 cm v délce 20 m [33].

Tabulka 6: Parametry náhonu Drahotuše

Kóta dna vtoku	242,00	[m n. m.]
Kóta dna výtoku	241,95	[m n. m.]
Maximální průtok při hladině 243,20m n. m.	8,2	[m ³ /s]
Celková délka náhonu	2,518	[km]

Malá vodní elektrárna Wellart na Drahotušském náhonu

Nachází se na Drahotušském náhonu v km 0,600. Je zde navrhnutá jedna Francisova turbína se svislou osou oběžného kola s průměrem 90 cm. Turbína byla instalována do jedné ze dvou kašen v roce 1984. Po levé straně se nachází jalový odpad o šířce 2,0 m, který je hrazený dřevěnými stavidly o šířce 1,5 m [33].

Městský úřad Hranice

V říčním kilometru 38,720 se nachází na levém břehu betonové potrubí, které zajišťuje odběr 25 l/s přímo ze zdrže jezu Hranice [33].

Tondach. Tenisový klub Hranice, s.r.o.

V říčním kilometru 39,470 se nachází odběrný objekt, který zajišťuje odběr v množství maximálně 1500 m³ ročně [33].

Vodovody a kanalizace, a.s. Přerov

Na pravém břehu řeky v říčním kilometru 39,360 se nachází odběr infiltrací v maximálním množství 50 l/s [33].

Malá vodní elektrárna Hranice (Unipol posl s.r.o.)

Vtok do MVE Hranice je zajištěn pomocí vtokového objektu 4,1 x 6,0 m, za kterým se nacházejí jemné česle ve sklonu 70°. Dále následují hradidla 3,0 x 3,0 m, dále pak samotná Kaplanova kolenová turbína s pevným rozvaděčem a natáčivými oběžnými lopatkami. Turbína je navržena jako čtyř lopatková horizontální s výkonem cca 630kW [33].

Tabulka 7: Parametry malé vodní elektrárny Hranice

Kóta prahu česlí	236,90	[m n. m.]
Kóta prahu hradidla	237,80	[m n. m.]
Kóta koruny vtoku	247,00	[m ³ /s]
Maximální spád	5,00	[m]

V okolí jezu se dále vyskytuje silniční most v říčním kilometru 39,200 a v podjezí potrubní lávka v říčním kilometru 38,100 [33].

4.7 AKTUÁLNÍ REKONSTRUKCE

V současné době probíhá rozšíření jezu o jedno jezové pole navržené podle stávajících dvou polí. Jez se rozšiřuje na levém břehu koryta. Před výstavbou nového pole se musela zajistit stabilita levobřežního pilíře, který je nově středovým, vybudování nové přelivné plochy proudnicového tvaru a nového levobřežního pilíře. Původní levobřežní pilíř, na které bude napojeno nové jezové pole, se musel zvětšit o 0,7 m a pro zajištění stability se pilíř ukotvil mikropiloty. Nová hradící konstrukce bude mít stejné základní parametry jako u předchozích dvou polí. Světlá šířka 16 m s přepadovou hranou na kótě 420,00 m n. m viz kapitola 4.1 stávající stav konstrukce. Zmiňované mikropiloty budou taktéž využity při zakládání spodní stavby nového pole z důvodu omezení sedání vlivem výstavby nového pole. Mikropiloty se nacházejí i pod novým levobřežním pilířem. Také se počítá s dilatační spárou mezi novým přelivným tělesem a stávající konstrukcí, aby se při výstavbě nepřenášelo zatížení do stávající konstrukce [31][32].

Při přístavbě nového třetího pole dojde k demolici stávajících levobřežních zdí a výstavbě nové nábrežní zdi, která je součástí protipovodňového opatření, proto je založená po celé své délce na nepropustném podloží [31][32].

Na levé straně bude taktéž vystavěn rybí přechod o délce 147,9 m bazénového typu, který bude umožňovat protiproudovou či poproudovou migraci živočichů [31][32].

Díky zkapacitnění jezu se zvýší protipovodňová ochrana na území města Hranice na celém úseku Bečvy, nejvýrazněji se výstavba projeví na úseku dlouhém 700 m mezi jezem a silničním mostem. Při průtoku Q_{100} by měla být hladina o 59 cm nižší oproti stávajícímu stavu. Dále se zlepší situace v úseku mezi jezem a zaústěním pravostranných přítoků Veličky a Ludiny, ve kterém v současnosti při větších průtocích dochází k rozliti [31][32].

5 NÁVRH REKONSTRUKCE

Hlavním důvodem rekonstrukce stávajícího jezu je zvýšení protipovodňové ochrany města Hranice. V prostoru nadjezí dochází v současné době k vybřežení z koryta řeky Bečvy při průtoku Q_{20} . Jez se nyní skládá ze dvou jezových polí o šířce 16 m. Bližší popis konstrukce je uveden v kapitole 4.1 Stávající konstrukce jezu. Rozšířením jezu bude zvýšena jeho kapacita, což povede ke zvýšení protipovodňové ochrany, kdy při průtocích do Q_{50} nedojde v nadjezí k rozlívání. Při překročení Q_{50} vznikne problém v místě zaústění pravostranných přítoků Veličky a Ludiny, kde zcela jistě dojde k rozlívání vlivem zpětného vzduť vody z jezové zdrže. Oblast zaústění by se dala před rozlíváním ochránit vybudováním protipovodňové prvků, jako jsou zdi nebo hráze. Dalším ohroženým místem z hlediska rozlívání je Drahotušský náhon a jeho nátokový objekt. Nátok je regulovaný tabulovými uzávěry, které mohou při větších průtocích odstavit náhon a zabránit tak rozlívání v oblastech podél náhonu.

Jelikož je na jezu momentálně znemožněna migrace živočichů, bude se navrhovaná rekonstrukce týkat i výstavby nového rybího přechodu, který umožní protiproudni případně poproudni migraci vodních živočichů.

5.1 NÁVRHY SITUACÍ JEZU

Při vyhodnocení požadavků na rekonstrukci byla zohledněna stávající situace jezu a jeho okolí. Rozšířením na pravém břehu by vznikly komplikace se stávající malou vodní elektrárnou, které by vedly k vyšším finančním nákladům spojeným s demolicí a následnému posunutí MVE. Rozšíření jezu na pravý břeh koryta byl proto vyloučen. Dále se tu naskytovala možnost vést rybí přechod jako obtokové koryto kolem MVE. Zde byla identifikovaná výstavba nových retenčních nádrží na pravém břehu a tím došlo k výraznému prostorovému omezení. Proto byla vyloučena i tato varianta.

Naopak levá strana koryta nabízí dostatečný prostor, cca 70 m, pro rozšíření jezu o jedno pole a pro případnou výstavbu rybího přechodu. Z těchto důvodů bylo vyhodnoceno rozšíření jezu na levý břeh jako nejvhodnější.

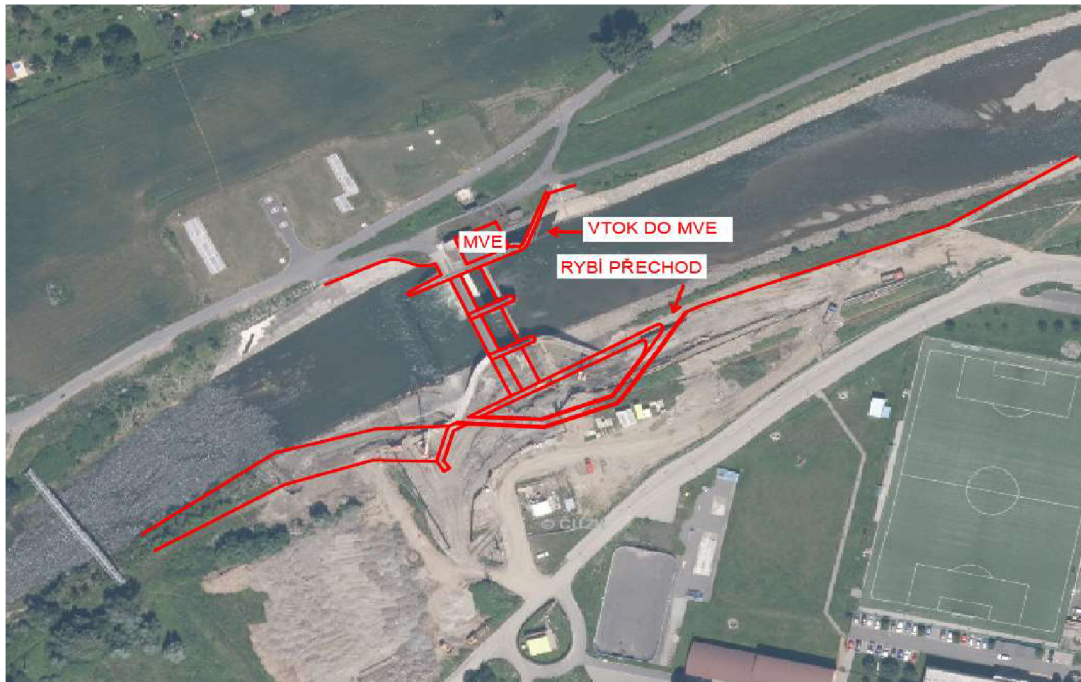
Navržená varianta je vybrána na základě srovnání čtyř koncepčních schémat řešení.

Volba vychází z následujících čtyř variant:

- Varianta I. – tři jezová pole, rybí přechod řešený bypassem na levé straně koryta
- Varianta II. – dvě jezová pole, rybí přechod se nachází podél MVE
- Varianta III. – dvě jezová pole, rybí přechod se nachází ve středu koryta
- Varianta IV. – tři jezová pole, rybí přechod se nachází podél levé břehové zdi

Varianta I.

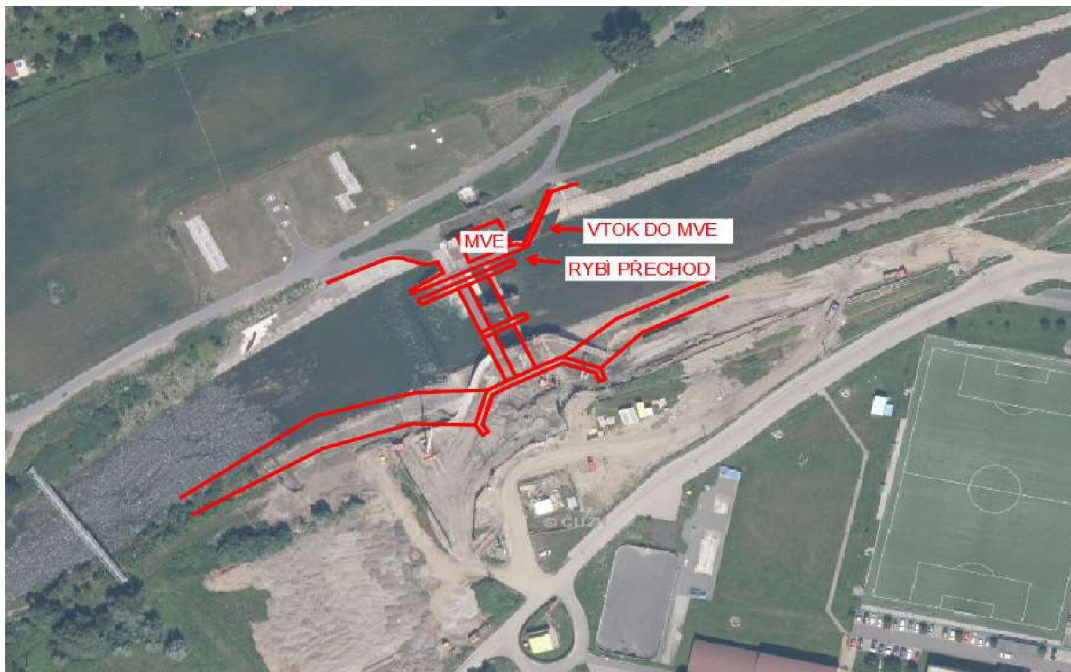
V první variantě bylo uvažováno s doplněním konstrukce o třetí jezové pole o šířce 16 m, které by zvýšilo kapacitu jezu o 50 %. Jednalo by se celkově o rozšíření koryta v nadjezí v délce cca 150 m a cca 100 m v podjezí. Na levém břehu bylo taktéž navrženo přírodní obtokové koryto (bypass) (viz obr. 42).



Obr. 42 Varianta I. – schéma situace jezu [34]

Varianta II.

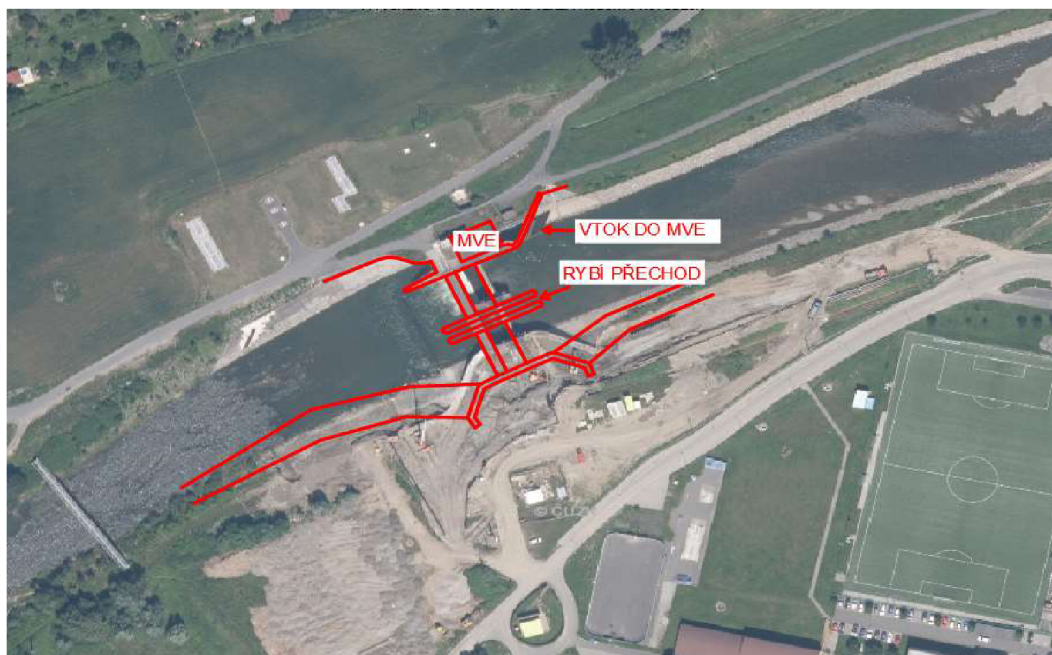
Ve druhé variantě se uvažovalo s rozšířením obou jezových polí o 4 metry. Ze stávajících 16 m na 20 m a vybudováním štěrbinového rybího přechodu v prostoru mezi malou vodní elektrárnou a pravým jezovým polem. Tato varianta by kompletně změnila původní stav jezu a byla by provázena rozsáhlými rekonstrukcemi (viz obr.43).



Obr. 43 Varianta II. – schéma situace jezu [34]

Varianta III.

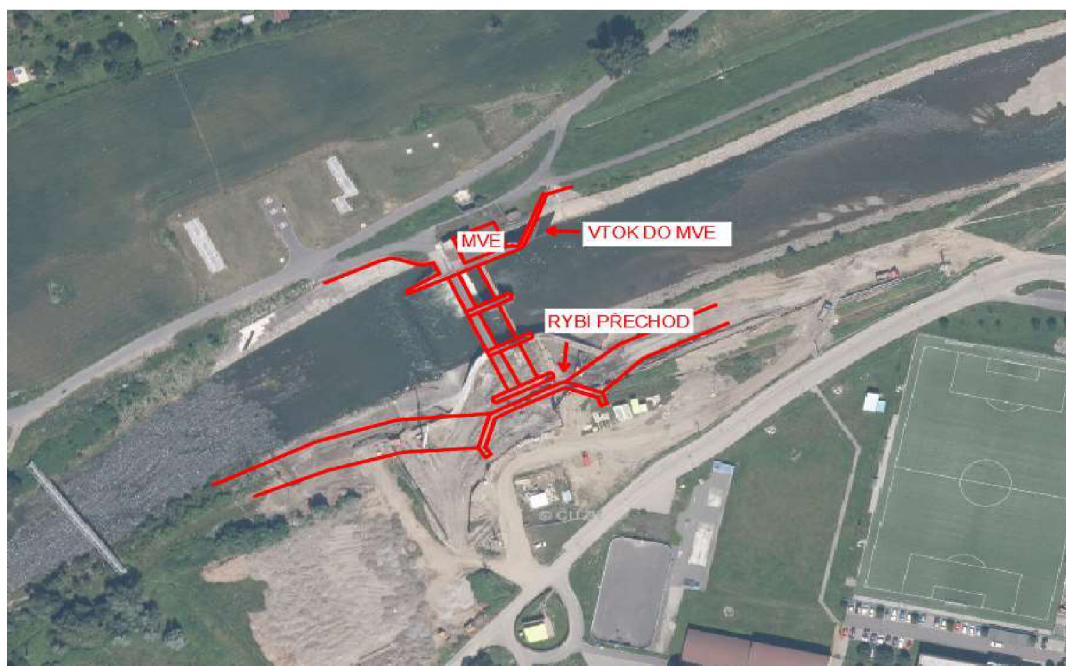
Ve třetí variantě se využívá stejného řešení jak ve druhé variantě, a to ponechání dvou polí a jejich rozšíření z 16 m na 20 m. Rozdíl je pouze v umístění štěrbinového rybího přechodu, který by se nacházel ve středové části koryta (viz obr.44).



Obr. 44 Varianta III. – schéma situace jezu [34]

Varianta IV.

Čtvrtá varianta využívá konceptu první varianty. Uvažujeme zde o přidání třetího jezového pole o šířce 16 m. Změna je pouze v umístění rybího přechodu, který je zde navržen jako štěrbinový a nacházel by se podél nově vybudovaného levobřežního pilíře (viz obr.45).



Obr. 45 Varianta IV. – schéma situace jezu [34]

Srovnání jednotlivých variant

Srovnání bude provedeno na základě následujících kritérií:

- rozsah demolice,
- rozsah zemních prací,
- rozsah stavebních prací,
- provoz a údržba,
- chod splavenin,
- migrační průchodnění

Varianta I.

Jedná se o variantu o třech jezových polích širokých 16 m. Tři jezová pole jsou výhodná z hlediska případných oprav. Jestliže jedno z jezových polí bude mimo provoz, zbylá dvě budou schopná poskytnou dostačující průtočnou kapacitu.

Demoliční práce se zde budou týkat odstraněním nábrežní zdi.

Při rozšíření zde budou probíhat rozsáhlé výkopové práce způsobené jak výstavbou nového pole, tak i výstavbou rybího přechodu a celkově rozšířením koryta v nadjezí a podjezí.

Počítá se s vybudováním obtokového rybího přechodu s kamennými přehrázkami. Obtoková koryta jsou náročná na prostor, ale taktéž je to nejlepší řešení z hlediska umožnění migrace vodních živočichů.

Varianta II. a varianta III.

V těchto variantách by se kompletně změnil původní stav jezu. Rekonstrukci by provázely rozsáhlé demoliční práce. Bylo by nutné zcela odstranit dělicí pilíř, nábrežní pilíř a v místě rybího přechodu do značné míry odstranit spodní stavbu (pevný práh). Bylo by nutné vybudovat zcela nové dělicí pilíře a hradící zařízení.

Vybudování šterbinového rybího přechodu by vedlo k vyšším nárokům na provozní údržbu z hlediska zachytávání plovoucích nečistot a v zimním období by mohl omezit chod ledových ker.

Dále se jako problém jeví fakt, že v obou variantách jsou pouze dvě jezová pole, která se jeví z hlediska regulace průtoků jako nedostačující.

Jedinou výhodou těchto variant jsou menší nároky na výkopové práce.

Varianta IV.

Varianta o třech jezových polích širokých 16 m. Výhodou je dobrá manipulace v případě odstavení jednoho z polí.

Demoliční práce se zde budou týkat odstraněním nábrežní zdi.

Dojde k výstavbě nového jezového pole, dělicího pilíře nacházejícího se mezi levým jezovým polem a rybím přechodem, a výstavbou nového levobřežního pilíře.

Vybudování šterbinového rybího přechodu by mohlo docházet k zachytávání plovoucích nečistot, což by vedlo k vyšším provozním nákladům.

Shrnutí

Na základě výše zmíněných kritérií byla vytvořena souhrnná tabulka pro jednotlivé varianty. Každá varianta je hodnocena podle jednotlivých kritérií v rozsahu 1-5, kdy 1 je nejlepší a 5

nejhorší hodnocení. Celkové hodnocení představuje prostý součet dílčích hodnocení. Následně je jako nejvhodnější považována varianta s nejnižší dosaženou hodnotou celkového hodnocení.

Tabulka 8 Zhodnocení jednotlivých variant

	rozsah demolic	rozsah zemních prací	rozsah stavebních prací	chod plovoucích nečistot	migrační zprůchodnění	manipulace	celkové hodnocení
varianta I.	2	5	1	1	1	1	11
varianta II.	5	1	5	3	2	3	19
varianta III.	5	1	5	3	2	3	19
varianta IV.	2	3	2	3	2	1	13

Na základě celkového hodnocení (nejnižší hodnota 11) byla vybrána varianta I. jako nejvhodnější pro realizaci.

5.2 VOLBA RYBÍHO PŘECHODU

S výstavbou jezové konstrukce se také bude realizovat jako doprovodný objekt rybí přechod. Při volbě vhodného rybího přechodu bylo přihlíženo na prostor a umožnění migrace širokému spektru vodních živočichů. Dalším důležitým faktorem pro návrh je sklon a rozdíl hladin, který budou muset ryby překonávat. Jako nejvhodnější řešení se jeví bypassový rybí přechod, který bude navržený s kamennými přehrázkami. Zvolený rybí přechod se taktéž nejvíce přibližuje přírodním podmínkám a umožňuje protiproudni či poproudni migraci vodních živočichů jak v období sníženého, tak i v období zvýšeného průtoku.

5.3 VOLBA HRADÍCÍ KONSTRUKCE

Jako hradící konstrukce byla zvolena dutá klapka. Při volbě bylo přihlíženo na její vlastnosti:

- poměrně lehká konstrukce,
- klapky umožňují přesnou regulaci k udržení hladiny stálého vzduší,
- je možné propouštět plovoucí předměty unášeny tokem,
- v zimním režimu lze klapku sklopit cévovou tyčí i při mírném přimrznutí k pilířům,

Problémy vznikají při propouštění splavenin, kdy je nutné sklopit klapku do nejnižších poloh. Řeka Bečva je známa svou šterkoností a hrozí tedy zanášení jezu sedimentem. Z těchto důvodů bylo před jezem zahloubeno dno, kde se šterk bude zachytávat a následně jej bude možné odtěžovat. V případě vyšších průtoků na řece Bečvě budou klapky zcela vyhrazeny a šterk bude díky velké unášecí síle proudící vody přenesen do podjezí.

Jelikož se v zájmové oblasti Hranic vyskytují poměrně časté ledové jevy, je klapka vhodný typ hradící konstrukce. Přesnou regulaci lze v zimním období vytvořit přepadový paprsek, který omezí vznik ledové celiny, umožní tím bezpečné převedení plovoucích ledových ker a zamezí tak vzniku ledové zácpy.

6 HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY

6.1 HYDROLOGICKÁ DATA

Na Hranický jez, nacházející se v říčním kilometru 38,300, se vztahují data z limigrafické stanice Teplice nad Bečvou, které byly použity při výpočtu návrhového průtoku.

Tabulka 9 N-leté průtoky stanice Teplice nad Bečvou

Stanice Teplice nad Bečvou N-leté průtoky [m ³ /s]						
Q ₁	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
219	317	452	555	659	799	908

Tabulka 10 m-denní průtoky stanice Teplice nad Bečvou

Stanice Teplice nad Bečvou m-denní průtoky [m ³ /s]						
Q ₃₀	Q ₉₀	Q ₁₈₀	Q ₂₇₀	Q ₃₃₀	Q ₃₅₅	Q ₃₆₄
40,1	16,9	7,8	4,21	2,61	1,75	0,93

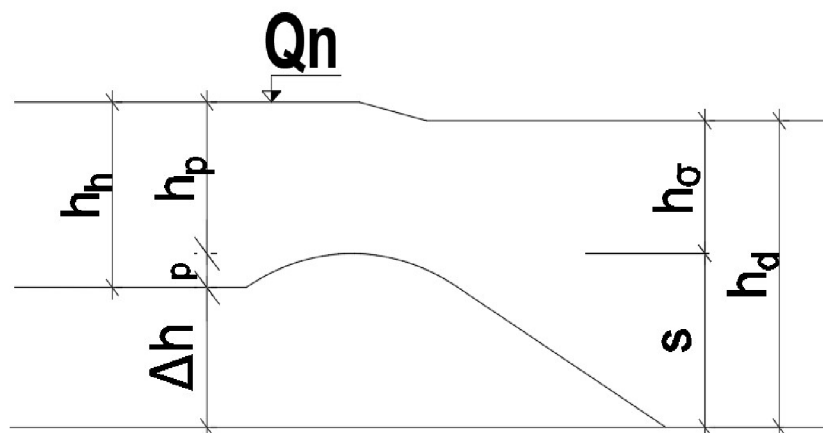
Při výběru návrhového průtoku byla brána v potaz kapacita koryta, která nad jezem v km 38,300 – 39,600 dosahuje hodnot 720 – 780 m³/s a od km 39,600 cca 440 m³/s. Kapacita pod jezem dosahuje hodnot cca 300 m³/s. Vzhledem k těmto informacím a faktu, že se jez nachází na okraji intravilánu byl vybrán návrhový průtok $Q_n = Q_{50} = 799 \text{ m}^3/\text{s}$. V budoucnu se navíc plánuje vybudování vodního díla Skalička, které bude zachytávat kritické průtoky a poskytne tak kompletní ochranu Hranic.

6.2 HLADINA STÁLEHO VZDUTÍ

Hladina stálého vzdutí byla navržena na kótě **243,20 m n.m.** Tato výška hladiny byla převzatá z manipulačního řádu jezu a splňuje všechny podmínky pro zajištění povolených odběrů ze zdrže jezu Hranice. Tyto odběry jsou podrobně vypsány v kapitole 4.6 Přílehlé objekty.

Výška nadřezované vody je rovna 3,65 m nade dnem v nadjezí, které leží na kótě 239,55 m n.m.

6.3 NÁVRH SPODNÍ STAVBY



Obr. 46 Schéma Jamborova prahu

Popis schématu:

$h_h = 4,73$ m	výška hladiny v nadjezí při Q_n
$h_p = 4,28$ m	přepadová výška při Q_n
$p = 0,45$ m	výška prahu nad dnem v nadjezí
$\Delta h = 1,75$ m	rozdíl horního a dolního dna
$p = 2,20$ m	výška prahu nad dnem v podjezí
$h_\sigma = 2,53$ m	rozdíl mezi výškou dolní vody a koruny prahu
$h_d = 4,78$ m	výška hladiny vody v podjezí při Q_n

Pro spodní stavbu (pevný práh) byl navrhnutý Jamborův práh, a to z důvodů dobré schopnosti převádět splaveniny. Tato vlastnost je na řece Bečvě velice důležitá, jelikož se jedná o štěrkonosnou řeku. Další výhody tohoto prahu jsou dobré hydraulické vlastnosti a celkově nenáročnost výstavby. V dalším textu je uvedený návrh základních rozměrových charakteristik konstrukce (viz obr. 46).

Návrh výšky pevného prahu „ p “

Výška prahu p by měla být navržena v závislosti na výšce hladiny vody nad jezem při návrhovém průtoku Q_n v rozmezí $(0,1 - 0,3) h_h$.

$$h_h = 4,73 \text{ m}$$

$$p = 0,1 * h_h = 0,1 * 4,73 = 0,473 \text{ m}$$

$$p = 0,3 * h_h = 0,3 * 4,73 = 1,419 \text{ m}$$

Pro výšku pevného prahu byla zvolena hodnota $p = 0,45$ m.

Součinitel přepadu „ m “

Pro určení součinitele přepadu se využívají vzorce, které jsou odvozené autory Skaličkou a Lacem. Při výběru správného vzorce je nutné se řídit poměrem výšky prahu „ p “ a přepadající vody při návrhovém průtoku „ Q_n “. Výpočet součinitele přepadu následujícím způsobem byl použitý pouze pro výpočet šířky přelivu „ b_n “ a kapacity přelivu „ Q_{KAP} “. Pro výpočet měrné křivky přepadu byl zvolen jiný postup výpočtu (viz 6.4 Měrná křivka přepadu).

Výpočet dle Skaličky:

$$m = 0,36273 + 0,05616 \frac{h_p}{p} - 0,009213 \left(\frac{h_p}{p} \right)^2$$

Lze použít v rozmezí: $0,5 < h_p/p < 2,8$

Poměr h_p/p : $4,28/0,45 = 9,51$

Vztah odvozený Skaličkou nelze použít.

Výpočet dle Laca:

Vztahy dle Laca se dělí podle kontrakcí:

- bez kontrakce,
- bez kontrakce u břehu, ale s pilířem v ose přelivu
- s kontrakcí u břehu, břehové pilíře plavně vytvořené

- s kontrakcí u břehu, zhlaví nábřežních pilířů Obdélníkové

Byl využitý vztah s kontrakcí u břehu, břehového pilíře plyně vytvořené

$$m = \frac{2}{3} * \left(\frac{0,6}{\left(\frac{p}{h_p}\right)^{0,05}} \right)$$

Lze použít v rozmezí: $0,08 < p/h_p < 0,6$

Poměr p/h_p : $0,45/4,28 = 0,11$

Vztah lze použít a po dosazení do rovnice získáme hodnotu součinitele přepadu $m = 0,488$.

Výpočet šířky přelivu „ b_n “

Použitý vztah je odvozen z přepadové rovnice.

$$b_n = \frac{Q_n}{m * \sqrt{2 * g} * h_p^{\frac{3}{2}}}$$

Kde: $Q_n = 799 \text{ m}^3/\text{s}$ návrhový průtok
 $m = 0,488$ součinitel přepadu dle Laca
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ tíhové zrychlení
 $h_p = 4,28 \text{ m}$ přepadová výška při návrhovém průtoku Q_n

Po dosazení do rovnice vyšla šířka přelivu $b_n = 45,51 \text{ m}$.

Jelikož se jedná o zkapacitnění jezů, a tedy jeho rozšíření o jedno jezové pole, bude pro přidané pole zachován rozměr stávajících polí 16 m. To zajistí lepší manipulaci a zachová symetrii konstrukce. Celková navrhovaná šířka přelivu bude $3 \times 16 \text{ m}$, $b_n = 48 \text{ m}$.

Kapacita přelivu „ Q_{KAP} “

$$Q_{KAP} = \sigma_z * m * b_0 * \sqrt{2 * g} * (h_p)^{\frac{3}{2}}$$

Kde: $\sigma_z = 0,99$ součinitel zatopení
 $h_\sigma = 2,53 \text{ m}$ rozdíl mezi hladinou v podjezí při Q_n a výškou pevného prahu
 $h_p = 4,28 \text{ m}$ přepadová výška při Q_n
 $\frac{h_\sigma}{h_p} = 0,59$

Dle tabulky 10. se interpolují hodnoty pro součinitel zatopení

Tabulka 11 Součinitel zatopení pro Jamborův práh [2]

h_σ/h_p	0,50	0,60	0,70	0,80	0,85	0,90
σ_z	1,00	0,99	0,98	0,96	0,91	0,79

$m = 0,488$ součinitel přepadu dle Laca

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ tíhové zrychlení

$$b_0 = b_n - (n * \varepsilon_p + 2 * \varepsilon_k) * h_{p0}$$

$b_n = 48 \text{ m}$ navrhovaná šířka přelivu

$n = 4$ počet kontrakcí návodního piliře piliřů

$\varepsilon_p = 0,045$ tvarový součinitel návodního piliře viz kapitola 2.4, obr. 11

$\varepsilon_k = 0,04$ tvarový součinitel návodního piliře viz kapitola 2.4, obr. 12

$h_{p0} = h + k$ přepadová výška při Q_n navýšená o rychlostní výšku „ k “

$h_p = 4,28 \text{ m}$ přepadová výška při Q_n

$k = \frac{\alpha * v_0^2}{2 * g}$ rychlostní výška

$\alpha = 1$ Coriolisovo číslo

$v_0 = \frac{Q_n}{A}$ přítoková rychlost

$Q_n = 799 \text{ m}^3/\text{s}$ návrhový průtok

$A = 227,04 \text{ m}^2$ plocha průtočného průřezu

$v_0 = 3,52 \text{ m/s}$ přítoková rychlost

$k = 0,61 \text{ m}$ rychlostní výška

Po dosazení do rovnice dostáváme kapacitní průtok $Q_{KAP} = 988,88 \text{ m}^3/\text{s}$. Kapacita přelivu by měla být větší než návrhový průtok Q_n zvětšený o násobek 1,05.

$$Q_{KAP} = 988,88 \text{ m}^3/\text{s} > Q_n = 1.05 * 799 = 838,5 \text{ m}^3/\text{s} \text{ vyhovuje}$$

Výpočet kapacity byl taktéž proveden dle Čiháka, kde se budeme řídit přepadem přes vyhrazené klapky. Vztahy se liší součinitelem přepadu, ve kterém je zde započítán součinitel zatopení.

$$Q_{KAP,\check{c}} = m_\sigma * b_0 * \sqrt{2 * g} * (h_{p0})^{\frac{3}{2}}$$

Kde: $b_0 = 46,74 \text{ m}$ účinná šířka přelivu

$m_\sigma = 0,381$ součinitel přepadu dle Čiháka (dle schémata na obr. 49 a tab. 13)

$h_{p0} = 4,837 \text{ m}$ přepadová výška při Q_n navýšená o rychlostní výšku „ k “

Po dosazení do rovnice dostáváme kapacitní průtok $Q_{KAP,\check{c}} = 839,13 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$Q_{KAP,\check{c}} = 839,13 \text{ m}^3/\text{s} > Q_n = 1.05 * 799 = 838,5 \text{ m}^3/\text{s} \text{ vyhovuje}$$

$Q_{KAP,\check{c}}$ vychází na hraně podmínky, z těchto důvodů bude měrná křivka přelivu počítána dle Čiháka, abychom výpočet prováděli na horší z variant a naklonili se tím na bezpečnější stranu výpočtu. Výpočty budou lépe popsány v následujících kapitolách měrné křivky přelivu a manipulace s pohyblivými klapkovými uzávěry.

6.4 MĚRNÁ KŘIVKA PŘELIVU

Jelikož se jedná o zkapacitnění jezu, a tedy jeho rozšíření, bylo nejprve nutné navrhnout rozšířené koryto jak nad jezem, tak i pod ním. Šířka dna koryty je po rozšíření 53 m, kdy sklon pravého svahu koryta je ve sklonu 1:2 a na levém břehu je vybudovaná nábrežní zeď z důvodu vyústění rybiho přechodu ve vzdálenosti cca 41,37 m od přelivné hrany jezu. Koryto pod jezem bylo uvažováno stejně jak nově navržené koryto nad jezem, kdy šířka dna je 53 m a levá nábrežní zeď bude následně napojena na stávající tvar koryta podél toku viz příloha P2.

Stanovení měrné křivky koryta



Obr. 47 Návrhové koryto

Pro návrh a výpočet jezové konstrukce bylo nejprve nutné provést výpočet Q/h křivky koryta. Byl proveden zjednodušený výpočet ustáleného proudění prizmatického koryta kdy je přesnost omezena, nicméně pro ověření a porovnání hodnot poskytnuty Povodím Moravy, jsou vypočítané hodnoty dostačující.

Použití vzorce u výpočtu:

$$R = \frac{S}{O}, \quad C = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}}, \quad v = C\sqrt{R * i}, \quad Q = v * S$$

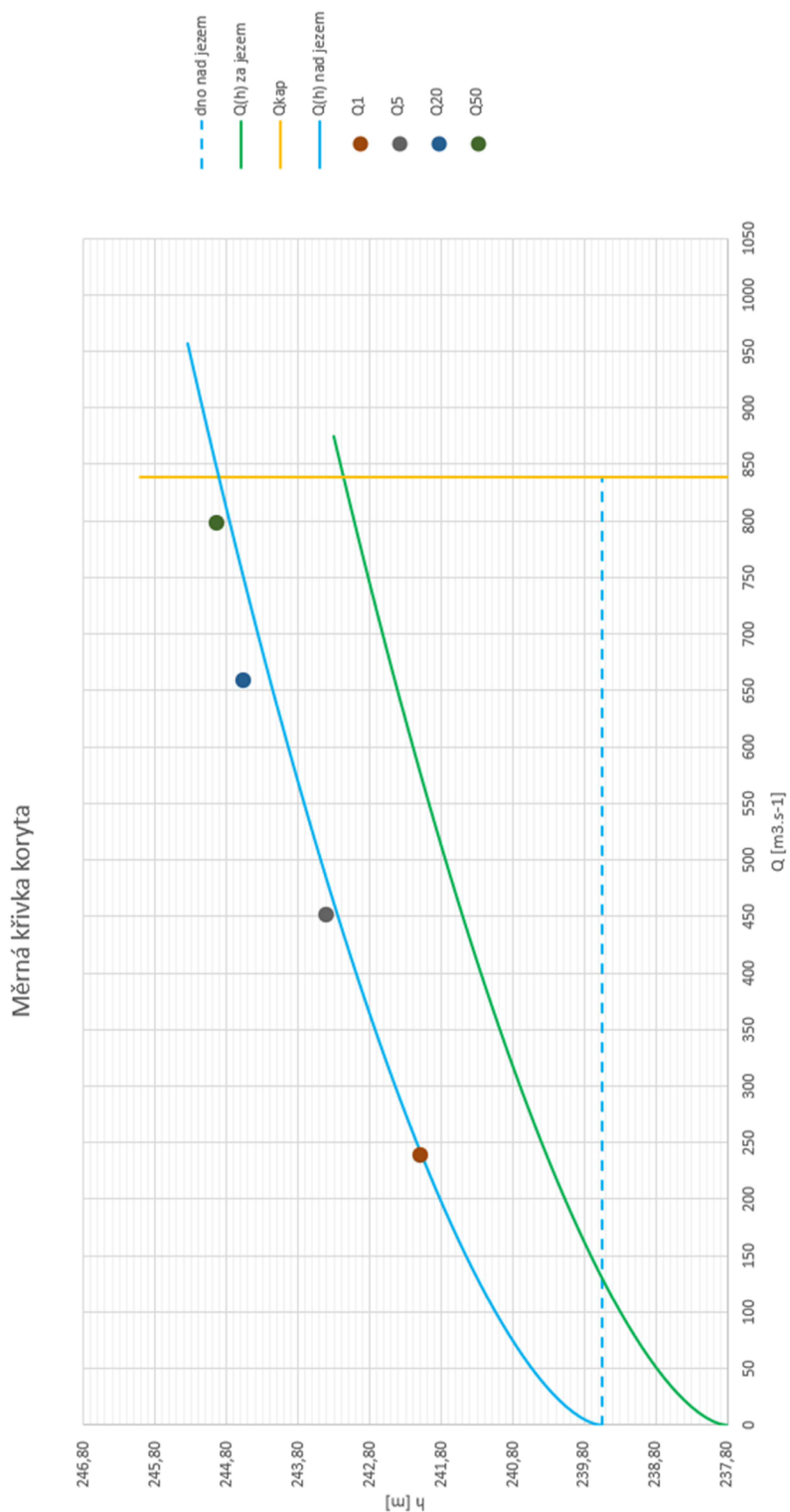
Kde: S	průtočná plocha [m ²]
O	omočený obvod [m]
R	hydraulický poloměr [-]
C	Chézyho rychlostní součinitel [m ^{0,5} /s]
n	drsnostní součinitel [-]
v	rychlost [m/s]
i = 3 ‰	sklon koryta (převzatý z manipulačního řádu jezu)
Q	průtok [m ³ /s]

Dále se v tabulce vyskytují hodnoty:

h_1	výšky hladin v nadjezí [m] (srovnávací rovina dno v podjezí)
h_2	výšky hladin v podjezí [m]
l_L	omočený obvod levého břehu [m]
l_P	omočený obvod pravého břehu [m]

Tabulka 12 Výpočet měrné křivky koryta

h_1	Q	h_2	l_L	l_p	S	O	R	n	C	i	v
[m]	[m ³ .s ⁻¹]	[m]	[m]	[m]	[m ²]	[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[m.s ⁻¹]
1,75	0,000	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
1,85	1,454	0,10	0,224	0,10	5,31	53,324	0,100	0,030	22,625	0,003	0,274
1,95	4,597	0,20	0,447	0,20	10,64	53,647	0,198	0,030	25,303	0,003	0,432
2,05	9,001	0,30	0,671	0,30	15,99	53,971	0,296	0,030	26,974	0,003	0,563
2,15	14,484	0,40	0,894	0,40	21,36	54,294	0,393	0,030	28,197	0,003	0,678
2,25	20,932	0,50	1,118	0,50	26,75	54,618	0,490	0,030	29,162	0,003	0,782
2,35	28,261	0,60	1,342	0,60	32,16	54,942	0,585	0,031	29,958	0,003	0,879
2,45	36,409	0,70	1,565	0,70	37,59	55,265	0,680	0,031	30,632	0,003	0,969
2,55	45,325	0,80	1,789	0,80	43,04	55,589	0,774	0,031	31,215	0,003	1,053
2,65	54,965	0,90	2,012	0,90	48,51	55,912	0,868	0,031	31,727	0,003	1,133
2,75	65,293	1,00	2,236	1,00	54,00	56,236	0,960	0,031	32,183	0,003	1,209
2,85	76,277	1,10	2,460	1,10	59,51	56,560	1,052	0,031	32,591	0,003	1,282
2,95	87,890	1,20	2,683	1,20	65,04	56,883	1,143	0,031	32,961	0,003	1,351
3,05	100,106	1,30	2,907	1,30	70,59	57,207	1,234	0,031	33,298	0,003	1,418
3,15	112,905	1,40	3,130	1,40	76,16	57,530	1,324	0,031	33,606	0,003	1,482
3,25	126,264	1,50	3,354	1,50	81,75	57,854	1,413	0,031	33,889	0,003	1,545
3,35	140,167	1,60	3,578	1,60	87,36	58,178	1,502	0,031	34,150	0,003	1,604
3,45	154,596	1,70	3,801	1,70	92,99	58,501	1,590	0,031	34,393	0,003	1,663
3,55	169,537	1,80	4,025	1,80	98,64	58,825	1,677	0,031	34,618	0,003	1,719
3,65	184,975	1,90	4,249	1,90	104,31	59,149	1,764	0,032	34,829	0,003	1,773
3,75	200,896	2,00	4,472	2,00	110,00	59,472	1,850	0,032	35,025	0,003	1,826
3,85	217,290	2,10	4,696	2,10	115,71	59,796	1,935	0,032	35,209	0,003	1,878
3,95	234,143	2,20	4,919	2,20	121,44	60,119	2,020	0,032	35,382	0,003	1,928
4,05	251,447	2,30	5,143	2,30	127,19	60,443	2,104	0,032	35,545	0,003	1,977
4,15	269,191	2,40	5,367	2,40	132,96	60,767	2,188	0,032	35,699	0,003	2,025
4,25	287,365	2,50	5,590	2,50	138,75	61,090	2,271	0,032	35,844	0,003	2,071
4,35	305,961	2,60	5,814	2,60	144,56	61,414	2,354	0,032	35,981	0,003	2,116
4,45	324,970	2,70	6,037	2,70	150,39	61,737	2,436	0,032	36,110	0,003	2,161
4,55	344,386	2,80	6,261	2,80	156,24	62,061	2,518	0,032	36,233	0,003	2,204
4,65	364,200	2,90	6,485	2,90	162,11	62,385	2,599	0,032	36,350	0,003	2,247
4,75	384,406	3,00	6,708	3,00	168,00	62,708	2,679	0,032	36,461	0,003	2,288
4,85	404,997	3,10	6,932	3,10	173,91	63,032	2,759	0,032	36,567	0,003	2,329
4,95	425,966	3,20	7,155	3,20	179,84	63,355	2,839	0,032	36,667	0,003	2,369
5,05	447,309	3,30	7,379	3,30	185,79	63,679	2,918	0,033	36,763	0,003	2,408
5,15	469,019	3,40	7,603	3,40	191,76	64,003	2,996	0,033	36,855	0,003	2,446
5,25	491,091	3,50	7,826	3,50	197,75	64,326	3,074	0,033	36,942	0,003	2,483
5,35	513,521	3,60	8,050	3,60	203,76	64,650	3,152	0,033	37,026	0,003	2,520
5,45	536,302	3,70	8,273	3,70	209,79	64,973	3,229	0,033	37,106	0,003	2,556
5,55	559,431	3,80	8,497	3,80	215,84	65,297	3,306	0,033	37,182	0,003	2,592
5,65	582,903	3,90	8,721	3,90	221,91	65,621	3,382	0,033	37,256	0,003	2,627
5,75	606,714	4,00	8,944	4,00	228,00	65,944	3,457	0,033	37,326	0,003	2,661
5,85	630,861	4,10	9,168	4,10	234,11	66,268	3,533	0,033	37,394	0,003	2,695
5,95	655,338	4,20	9,391	4,20	240,24	66,591	3,608	0,033	37,458	0,003	2,728
6,05	680,143	4,30	9,615	4,30	246,39	66,915	3,682	0,033	37,521	0,003	2,760
6,15	705,272	4,40	9,839	4,40	252,56	67,239	3,756	0,033	37,580	0,003	2,792
6,25	730,722	4,50	10,062	4,50	258,75	67,562	3,830	0,033	37,638	0,003	2,824
6,35	756,490	4,60	10,286	4,60	264,96	67,886	3,903	0,033	37,693	0,003	2,855
6,45	782,572	4,70	10,510	4,70	271,19	68,210	3,976	0,033	37,747	0,003	2,886
6,55	808,965	4,80	10,733	4,80	277,44	68,533	4,048	0,033	37,798	0,003	2,916
6,65	835,668	4,90	10,957	4,90	283,71	68,857	4,120	0,033	37,847	0,003	2,946
6,75	862,676	5,00	11,180	5,00	290,00	69,180	4,192	0,034	37,895	0,003	2,975
6,85	889,988	5,10	11,404	5,10	296,31	69,504	4,263	0,034	37,941	0,003	3,004
6,95	917,601	5,20	11,628	5,20	302,64	69,828	4,334	0,034	37,986	0,003	3,032
7,05	945,513	5,30	11,851	5,30	308,99	70,151	4,405	0,034	38,029	0,003	3,060



Obr. 48 Graf měrné křivky koryta

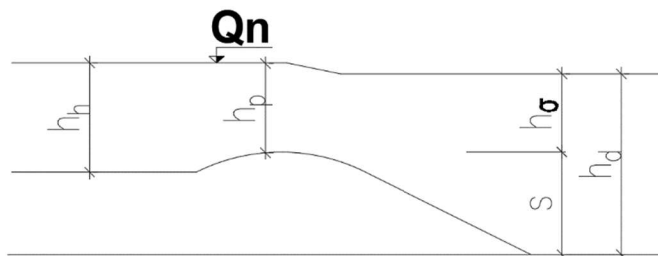
N-leté průtoky pro porovnání s vypočtenou měrnou křivkou byly převzaty z podkladů Povodí Moravy (PMO) [35]. Srovnání vykazuje přijatelnou shodu. Drobné odchylky jsou způsobené tím, že v podkladu PMO byly stanoveny úrovně hladiny pomocí modelu nerovnoměrného ustáleného proudění v celém rozsahu řeky Bečvy.

Měrná křivka přelivu (MKP)

Během výpočtu měrné křivky přelivu budeme určovat součinitele přepadu „ m “ dle Čiháka, jelikož se v závislosti na výšce hladiny přepadající vody mění přepadový paprsek z ostrohranného přepadu až po přepad před širokou korunu, respektive přes Jamborův práh.

Hodnoty součinitele přepadu se stanovují z tabulky 13, která vychází z jednotlivých poměrů výšek ze schématu na obrázku 49.

Při výpočtu měrné křivky přepadu byly uvažovány výšky přepadající vody „ h_p “ po 0,10 m. Poté za pomoci iterace byly vypočítány průtoky pro jednotlivé výšky „ h_p “. Postup je znázorněn v tabulce č. 14 a výpočty jsou následně dosazeny do grafu s měrnou křivkou koryta (viz obr. 50).



Obr. 49 Schéma pro určení součinitele přepadu

Tabulka 13 Orientační hodnoty součinitele přepadu

Hodnoty přepad. součinitele m_σ				
h_p/h_h	Poměr h_σ/h_h			
	0,0	0,1	0,5	0,7
0,10	0,479	0,479	0,487	0,487
0,20	0,456	0,456	0,461	0,465
0,30	0,435	0,435	0,438	0,441
0,40	0,416	0,416	0,418	0,421
0,50	0,399	0,399	0,398	0,396
0,60	0,384	0,384	0,373	0,368
0,70	0,372	0,372	0,355	0,348
0,80	0,368	0,368	0,351	0,343
0,90	0,378	0,378	0,370	0,363
1,00	0,443	0,443	0,413	0,409

Použité vzorce při výpočtu:

$$Q_1 = m * b * \sqrt{2g} * h_p^{\frac{3}{2}}, \quad v_0 = \frac{Q_1}{A}, \quad k = \frac{\alpha v_0^2}{2g}, \quad h_{p0} = h_p + k,$$

$$b_0 = b_n - (n\varepsilon_p + 2\varepsilon_k)h_{p0}, \quad h_\sigma = h_d - s, \quad Q_2 = m_\sigma * b_0 * \sqrt{2g} * h_{p0}^{\frac{3}{2}}$$

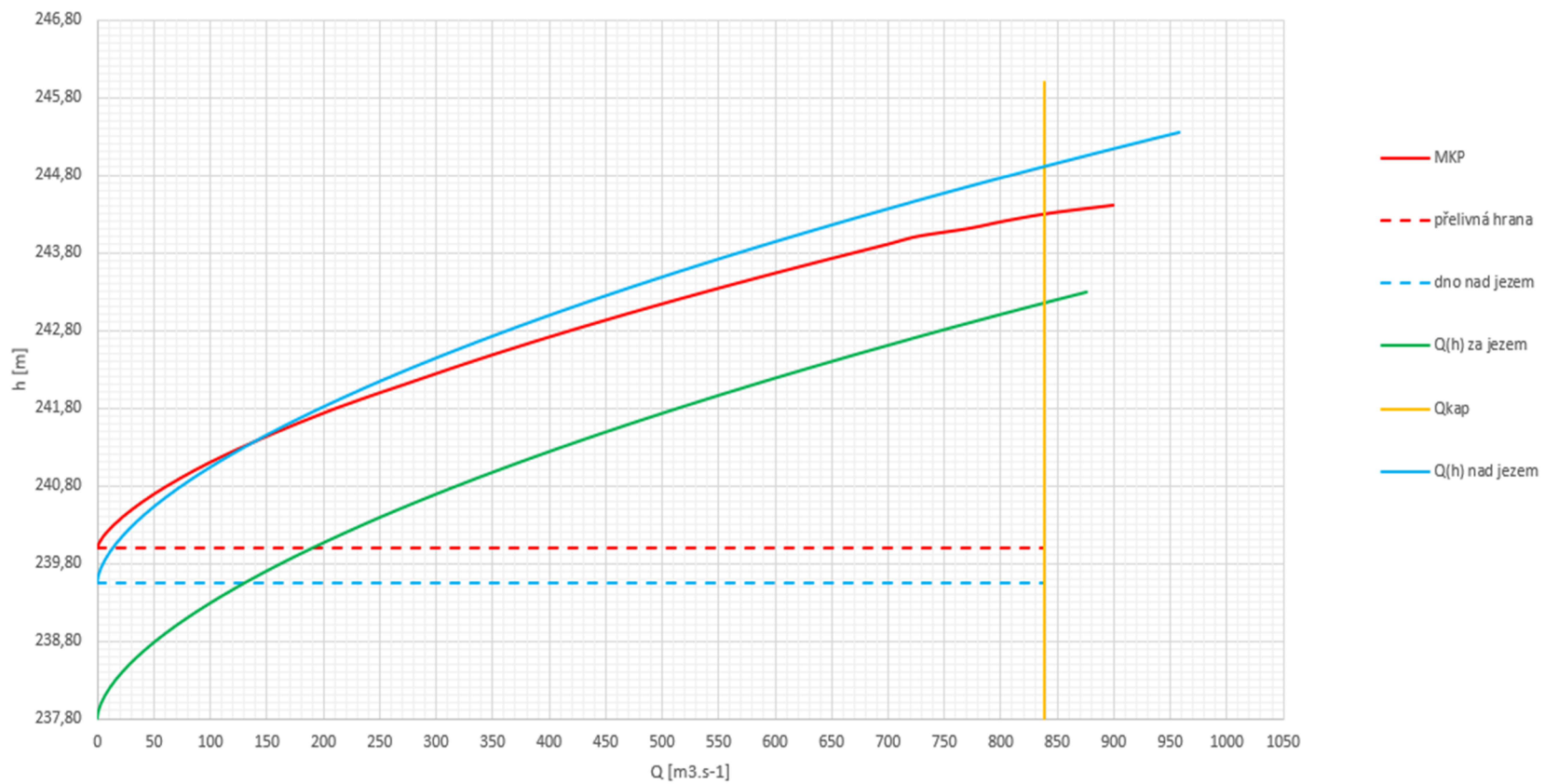
Dále se v tabulce vyskytují hodnoty:

h_p	přepadová výška při Q_n
h_h	výška hladiny v nadjezí při Q_n
m	přepadový součinitel (viz tabulka 13)
A	průtočná plocha při Q_n
s	výška prahu nad dolním dnem
h_d	výška hladiny v podjezí při Q_n

Tabulka 14 Výpočet MKP

hp	hh	hp/hh	m	A	Q ₁	v ₀	k	hp ₀	b ₀	s	h _d	hσ	ho/hh	mσ	Q ₂	/Q ₁ Q ₂
[m]	[m]	[-]	[-]	[m ²]	[m ³ /s]	[m/s]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
0,00	0,45	0,000	0,000	23,85	0,000	0,000	0,000	0,000	48,000	2,20	0,000	-2,200	-4,889	0,000	0,000	0,000
0,10	0,55	0,182	0,460	29,15	3,119	0,107	0,001	0,101	47,974	2,20	0,158	-2,042	-3,713	0,460	3,119	0,000
0,20	0,65	0,308	0,434	34,45	8,416	0,244	0,003	0,203	47,947	2,20	0,288	-1,912	-2,942	0,434	8,424	0,000
0,30	0,75	0,400	0,416	39,75	15,006	0,378	0,007	0,307	47,920	2,20	0,408	-1,792	-2,389	0,416	15,039	0,000
0,40	0,85	0,471	0,404	45,05	22,653	0,503	0,013	0,413	47,893	2,20	0,524	-1,676	-1,972	0,404	22,738	0,000
0,50	0,95	0,526	0,395	50,35	31,368	0,623	0,020	0,520	47,865	2,20	0,639	-1,561	-1,643	0,395	31,387	0,000
0,60	1,05	0,571	0,388	55,65	40,857	0,734	0,027	0,627	47,837	2,20	0,750	-1,450	-1,381	0,388	40,894	0,000
0,70	1,15	0,609	0,383	60,95	51,131	0,839	0,036	0,736	47,809	2,20	0,861	-1,339	-1,164	0,383	51,193	0,000
0,80	1,25	0,640	0,379	66,25	62,241	0,939	0,045	0,845	47,780	2,20	0,971	-1,229	-0,983	0,379	62,336	0,000
0,90	1,35	0,667	0,376	71,55	74,172	1,037	0,055	0,955	47,752	2,20	1,081	-1,119	-0,829	0,376	74,195	0,000
1,00	1,45	0,690	0,373	76,85	86,657	1,128	0,065	1,065	47,723	2,20	1,189	-1,011	-0,697	0,373	86,691	0,000
1,10	1,55	0,710	0,372	82,15	100,013	1,217	0,076	1,176	47,694	2,20	1,299	-0,901	-0,581	0,372	100,061	0,000
1,20	1,65	0,727	0,371	87,45	114,275	1,307	0,087	1,287	47,665	2,20	1,410	-0,790	-0,479	0,371	114,342	0,000
1,30	1,75	0,743	0,370	92,75	129,268	1,394	0,099	1,399	47,636	2,20	1,521	-0,679	-0,388	0,370	129,286	0,000
1,40	1,85	0,757	0,370	98,05	144,812	1,477	0,111	1,511	47,607	2,20	1,632	-0,568	-0,307	0,370	144,837	0,000
1,50	1,95	0,769	0,369	103,35	160,949	1,557	0,124	1,624	47,578	2,20	1,742	-0,458	-0,235	0,369	160,981	0,000
1,60	2,05	0,780	0,369	108,65	177,657	1,635	0,136	1,736	47,549	2,20	1,852	-0,348	-0,170	0,369	177,698	0,000
1,70	2,15	0,791	0,368	113,95	194,915	1,711	0,149	1,849	47,519	2,20	1,962	-0,238	-0,111	0,368	194,965	0,000
1,80	2,25	0,800	0,368	119,25	212,764	1,784	0,162	1,962	47,490	2,20	2,072	-0,128	-0,057	0,368	212,779	0,000
1,90	2,35	0,809	0,369	124,55	232,079	1,863	0,177	2,077	47,460	2,20	2,187	-0,013	-0,006	0,369	232,098	0,000
2,00	2,45	0,816	0,370	129,85	251,985	1,941	0,192	2,192	47,430	2,20	2,303	0,103	0,042	0,370	252,010	0,000
2,10	2,55	0,824	0,370	135,15	272,466	2,016	0,207	2,307	47,400	2,20	2,418	0,218	0,085	0,370	272,496	0,000
2,20	2,65	0,830	0,371	140,45	292,625	2,083	0,221	2,421	47,370	2,20	2,528	0,328	0,124	0,370	292,629	0,000
2,30	2,75	0,836	0,372	145,75	312,787	2,146	0,235	2,535	47,341	2,20	2,636	0,436	0,159	0,370	312,790	0,000
2,40	2,85	0,842	0,372	151,05	333,477	2,208	0,248	2,648	47,311	2,20	2,744	0,544	0,191	0,369	333,480	0,000
2,50	2,95	0,847	0,373	156,35	354,688	2,269	0,262	2,762	47,282	2,20	2,852	0,652	0,221	0,369	354,688	0,000
2,60	3,05	0,852	0,373	161,65	376,422	2,329	0,276	2,876	47,252	2,20	2,960	0,760	0,249	0,369	376,424	0,000
2,70	3,15	0,857	0,374	166,95	398,625	2,388	0,291	2,991	47,222	2,20	3,069	0,869	0,276	0,369	398,628	0,000
2,80	3,25	0,862	0,374	172,25	421,350	2,446	0,305	3,105	47,193	2,20	3,178	0,978	0,301	0,368	421,350	0,000
2,90	3,35	0,866	0,375	177,55	444,516	2,504	0,319	3,219	47,163	2,20	3,287	1,087	0,324	0,368	444,517	0,000
3,00	3,45	0,870	0,375	182,85	468,162	2,560	0,334	3,334	47,133	2,20	3,396	1,196	0,347	0,368	468,163	0,000
3,10	3,55	0,873	0,375	188,15	492,255	2,616	0,349	3,449	47,103	2,20	3,505	1,305	0,368	0,368	492,255	0,000
3,20	3,65	0,877	0,376	193,45	516,813	2,672	0,364	3,564	47,073	2,20	3,614	1,414	0,387	0,368	516,813	0,000
3,30	3,75	0,880	0,376	198,75	541,800	2,726	0,379	3,679	47,044	2,20	3,723	1,523	0,406	0,369	541,800	0,000
3,40	3,85	0,883	0,376	204,05	567,214	2,780	0,394	3,794	47,014	2,20	3,833	1,633	0,424	0,369	567,214	0,000
3,50	3,95	0,886	0,377	209,35	593,055	2,833	0,409	3,909	46,984	2,20	3,942	1,742	0,441	0,369	593,055	0,000
3,60	4,05	0,889	0,377	214,65	619,297	2,885	0,424	4,024	46,954	2,20	4,052	1,852	0,457	0,369	619,297	0,000
3,70	4,15	0,892	0,377	219,95	645,962	2,937	0,440	4,140	46,924	2,20	4,161	1,961	0,473	0,369	645,962	0,000
3,80	4,25	0,894	0,377	225,25	673,026	2,988	0,455	4,255	46,894	2,20	4,271	2,071	0,487	0,369	673,026	0,000
3,90	4,35	0,897	0,378	230,55	700,401	3,038	0,470	4,370	46,864	2,20	4,380	2,180	0,501	0,369	700,401	0,000
4,00	4,45	0,899	0,378	235,85	726,824	3,082	0,484	4,484	46,834	2,20	4,484	2,284	0,513	0,369	726,824	0,000
4,10	4,55	0,901	0,379	241,15	771,298	3,198	0,521	4,621	46,798	2,20	4,656	2,456	0,540	0,376	771,298	0,000
4,20	4,65	0,903	0,380	246,45	799,888	3,246	0,537	4,737	46,768	2,20	4,765	2,565	0,552	0,376	799,888	0,000
4,30	4,75	0,905	0,381	251,75	835,010	3,317	0,561	4,861	46,736	2,20	4,897	2,697	0,568	0,376	835,011	0,000
4,40	4,85	0,907	0,383	257,05	857,742	3,337	0,568	4,968	46,708	2,20	4,981	2,781	0,573	0,377	857,742	0,000

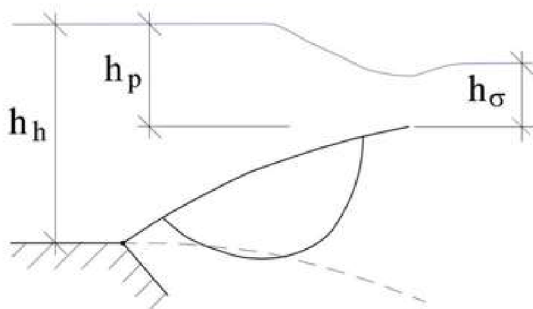
Měrná křivka přepadu a koryta



Obr. 50 Graf měrné křivky přepadu a koryta

Měrné křivky, manipulace s klapkami

Během manipulace s klapkami budeme určovat součinitele přepadu „ m “ dle Čiháka, jelikož se v závislosti na poloze sklopení klapky mění geometrický tvar hradící plochy. Přepadový paprsek se při změně polohy klapky mění z ostrohranného přepadu až po přepad přes širokou korunu, respektive přes Jamborův práh. Hodnoty součinitele přepadu se stanovují z tabulky 15, která vychází z jednotlivých poměrů výšek ze schématu na obrázku 51. Hodnoty jednotlivých výšek sklopení jsou uvedeny v tabulce 16. Celý výpočet manipulace je uvedený v tabulkách 17,18,19.



Obr. 51 Schéma pro určení součinitele přepadu

Tabulka 15 Orientační hodnoty součinitele přepadu

Hodnoty přepad. součinitele m_{σ}				
h_p/h_h	Poměr h_{σ}/h_h			
	0,0	0,1	0,5	0,7
0,10	0,479	0,479	0,487	0,487
0,20	0,456	0,456	0,461	0,465
0,30	0,435	0,435	0,438	0,441
0,40	0,416	0,416	0,418	0,421
0,50	0,399	0,399	0,398	0,396
0,60	0,384	0,384	0,373	0,368
0,70	0,372	0,372	0,355	0,348
0,80	0,368	0,368	0,351	0,343
0,90	0,378	0,378	0,370	0,363
1,00	0,443	0,443	0,413	0,409

Tabulka 16 Součinitelé přepadu „ m “ při jednotlivých polohách sklopení

poloha	h_i	h_{p_0}	h_h	h_p/h_h	m	s
[-]	[-]	[m]	[m]	[-]	[-]	[m]
0	h1	0,00	3,200	0,000	0,000	5,400
	h2	0,05	3,250	0,015	0,479	5,400
	h3	0,10	3,300	0,030	0,479	5,400
2	h4	0,30	3,300	0,091	0,479	5,200
3	h5	0,50	3,300	0,152	0,467	5,000
4	h6	0,70	3,300	0,212	0,453	4,800
5	h7	0,90	3,300	0,273	0,441	4,600
6	h8	1,10	3,300	0,333	0,429	4,400
7	h9	1,30	3,300	0,394	0,417	4,200
8	h10	1,50	3,300	0,455	0,407	4,000
9	h11	1,70	3,300	0,515	0,397	3,800
10	h12	1,90	3,300	0,576	0,388	3,600
11	h13	2,10	3,300	0,636	0,380	3,400
12	h14	2,30	3,300	0,697	0,372	3,200
13	h15	2,50	3,300	0,758	0,370	3,000
14	h16	2,70	3,300	0,818	0,370	2,800
15	h17	2,90	3,300	0,879	0,376	2,600
16	h18	3,20	3,300	0,970	0,423	2,300
17	h19	3,30	3,300	1,000	0,443	2,200

použité vzorce při výpočtu: viz měrná křivka přelivu

Tabulka 17 Manipulace (3 klapky)

hp	hh	hp/hh	m	A	Q ₁	v ₀	k	hp ₀	b ₀	s	h _d	hσ	hσ/hh	mσ	Q ₂	/Q ₁ -Q ₂ /
[m]	[m]	[-]	[-]	[m ²]	[m ³ /s]	[m/s]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
0,00	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	48,000	5,50	0,000	-5,500	0,000	0,000	0,000	0,000
0,05	3,25	0,015	0,479	172,25	1,139	0,007	0,000	0,050	47,987	5,50	0,086	-5,414	-1,666	0,479	1,138	0,000
0,10	3,30	0,030	0,479	174,90	3,221	0,018	0,000	0,100	47,974	5,40	0,161	-5,239	-1,588	0,479	3,220	0,000
0,30	3,30	0,091	0,479	174,90	16,746	0,096	0,000	0,300	47,922	5,20	0,436	-4,764	-1,444	0,479	16,746	0,000
0,50	3,30	0,152	0,467	174,90	35,236	0,201	0,002	0,502	47,869	5,00	0,686	-4,314	-1,307	0,467	35,238	0,000
0,70	3,30	0,212	0,453	174,90	56,890	0,325	0,005	0,705	47,817	4,80	0,919	-3,881	-1,176	0,453	56,899	0,000
0,90	3,30	0,273	0,441	174,90	81,068	0,464	0,011	0,911	47,763	4,60	1,141	-3,459	-1,048	0,441	81,069	0,000
1,10	3,30	0,333	0,429	174,90	107,248	0,613	0,019	1,119	47,709	4,40	1,356	-3,044	-0,922	0,429	107,253	0,000
1,30	3,30	0,394	0,417	174,90	135,121	0,773	0,030	1,330	47,654	4,20	1,564	-2,636	-0,799	0,417	135,122	0,000
1,50	3,30	0,455	0,407	174,90	164,707	0,942	0,045	1,545	47,598	4,00	1,768	-2,232	-0,676	0,407	164,710	0,000
1,70	3,30	0,515	0,397	174,90	195,690	1,119	0,064	1,764	47,541	3,80	1,967	-1,833	-0,555	0,397	195,699	0,000
1,90	3,30	0,576	0,388	174,90	228,330	1,305	0,087	1,987	47,483	3,60	2,165	-1,435	-0,435	0,388	228,333	0,000
2,10	3,30	0,636	0,380	174,90	262,914	1,503	0,115	2,215	47,424	3,40	2,364	-1,036	-0,314	0,380	262,922	0,000
2,30	3,30	0,697	0,372	174,90	299,466	1,712	0,149	2,449	47,363	3,20	2,565	-0,635	-0,192	0,372	299,470	0,000
2,50	3,30	0,758	0,370	174,90	344,015	1,967	0,197	2,697	47,299	3,00	2,798	-0,202	-0,061	0,371	344,033	0,000
2,70	3,30	0,818	0,370	174,90	381,156	2,179	0,242	2,942	47,235	2,80	2,984	0,184	0,056	0,361	381,132	0,000
2,90	3,30	0,879	0,376	174,90	441,567	2,525	0,325	3,225	47,162	2,60	3,273	0,673	0,204	0,365	441,570	0,000
3,20	3,30	0,970	0,423	174,90	511,743	2,926	0,436	3,636	47,055	2,30	3,592	1,292	0,392	0,354	511,740	0,000
3,30	3,30	1,000	0,443	174,90	545,216	3,117	0,495	3,795	47,013	2,20	3,738	1,538	0,466	0,354	545,178	0,000

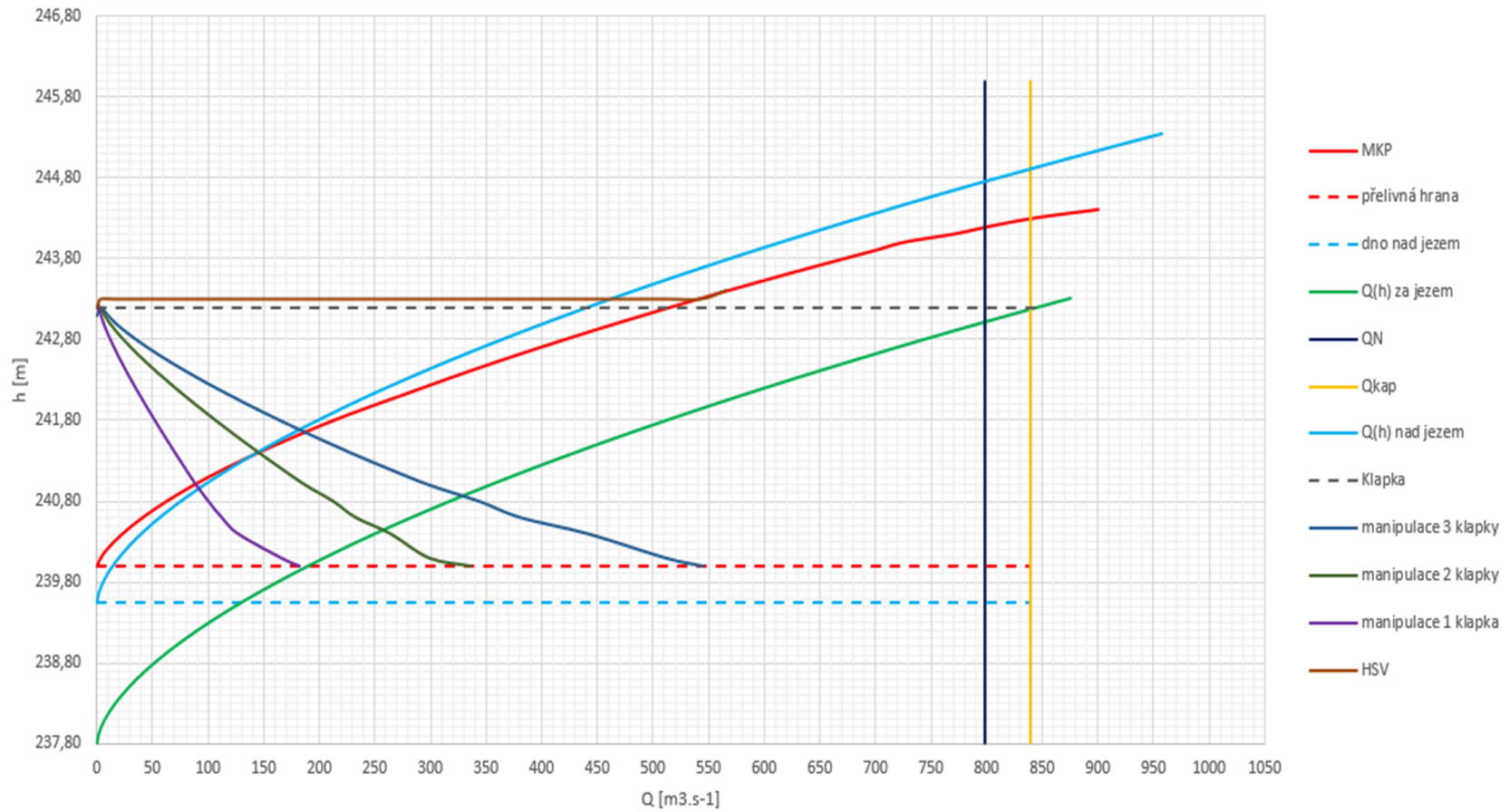
Tabulka 18 Manipulace (2 klapky)

hp	hh	hp/hh	m	A	Q ₁	v ₀	k	hp ₀	b ₀	s	h _d	hσ	hσ/hh	mσ	Q ₂	/Q ₁ -Q ₂ /
[m]	[m]	[-]	[-]	[m ²]	[m ³ /s]	[m/s]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
0,00	3,20	0,000	0,000	74,20	0,000	0,000	0,000	0,000	32,000	5,50	0,000	-5,500	-3,929	0,000	0,000	0,000
0,05	3,25	0,015	0,479	172,25	0,759	0,004	0,000	0,050	31,987	5,50	0,067	-5,433	-1,672	0,479	0,759	0,000
0,10	3,30	0,030	0,479	174,90	2,147	0,012	0,000	0,100	31,974	5,40	0,126	-5,274	-1,598	0,479	2,146	0,000
0,30	3,30	0,091	0,479	174,90	11,141	0,064	0,000	0,300	31,922	5,20	0,341	-4,859	-1,472	0,479	11,141	0,000
0,50	3,30	0,152	0,467	174,90	23,379	0,134	0,001	0,501	31,870	5,00	0,534	-4,466	-1,353	0,467	23,379	0,000
0,70	3,30	0,212	0,453	174,90	37,617	0,215	0,002	0,702	31,817	4,80	0,714	-4,086	-1,238	0,453	37,617	0,000
0,90	3,30	0,273	0,441	174,90	53,365	0,305	0,005	0,905	31,765	4,60	0,883	-3,717	-1,126	0,441	53,365	0,000
1,10	3,30	0,333	0,429	174,90	70,247	0,402	0,008	1,108	31,712	4,40	1,045	-3,355	-1,017	0,429	70,248	0,000
1,30	3,30	0,394	0,417	174,90	88,000	0,503	0,013	1,313	31,659	4,20	1,200	-3,000	-0,909	0,417	88,000	0,000
1,50	3,30	0,455	0,407	174,90	106,590	0,609	0,019	1,519	31,605	4,00	1,351	-2,649	-0,803	0,407	106,590	0,000
1,70	3,30	0,515	0,397	174,90	125,762	0,719	0,026	1,726	31,551	3,80	1,496	-2,304	-0,698	0,397	125,762	0,000
1,90	3,30	0,576	0,388	174,90	145,603	0,832	0,035	1,935	31,497	3,60	1,638	-1,962	-0,595	0,388	145,603	0,000
2,10	3,30	0,636	0,380	174,90	166,220	0,950	0,046	2,146	31,442	3,40	1,778	-1,622	-0,492	0,380	166,220	0,000
2,30	3,30	0,697	0,372	174,90	187,517	1,072	0,059	2,359	31,387	3,20	1,916	-1,284	-0,389	0,372	187,517	0,000
2,50	3,30	0,758	0,370	174,90	212,617	1,216	0,075	2,575	31,330	3,00	2,071	-0,929	-0,282	0,371	212,617	0,000
2,70	3,30	0,818	0,370	174,90	233,123	1,333	0,091	2,791	31,274	2,80	2,194	-0,606	-0,184	0,361	233,108	0,000
2,90	3,30	0,879	0,376	174,90	264,403	1,512	0,116	3,016	31,216	2,60	2,373	-0,227	-0,069	0,365	264,403	0,000
3,20	3,30	0,970	0,423	174,90	299,248	1,711	0,149	3,349	31,129	2,30	2,564	0,264	0,080	0,354	299,248	0,000
3,30	3,30	1,000	0,443	174,90	336,576	1,924	0,189	3,489	31,093	2,20	2,760	0,560	0,170	0,375	336,575	0,000

Tabulka 19 Manipulace (1 klapka)

hp	hh	hp/hh	m	A	Q ₁	v ₀	k	hp ₀	b ₀	s	h _d	hσ	hσ/hh	mσ	Q ₂	/Q ₁ ·Q ₂ /
[m]	[m]	[-]	[-]	[m ²]	[m ³ /s]	[m/s]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
0,00	3,20	0,000	0,000	74,20	0,000	0,000	0,000	0,000	16,000	5,50	0,000	-5,500	-3,929	0,000	0,000	0,000
0,05	3,25	0,015	0,479	172,25	0,380	0,002	0,000	0,050	15,987	5,50	0,044	-5,456	-1,679	0,479	0,379	0,000
0,10	3,30	0,030	0,479	174,90	1,074	0,006	0,000	0,100	15,974	5,40	0,083	-5,317	-1,611	0,479	1,072	0,000
0,30	3,30	0,091	0,479	174,90	5,552	0,032	0,000	0,300	15,922	5,20	0,224	-4,976	-1,508	0,479	5,552	0,000
0,50	3,30	0,152	0,467	174,90	11,618	0,066	0,000	0,500	15,870	5,00	0,350	-4,650	-1,409	0,467	11,618	0,000
0,70	3,30	0,212	0,453	174,90	18,631	0,107	0,001	0,701	15,818	4,80	0,465	-4,335	-1,314	0,453	18,630	0,000
0,90	3,30	0,273	0,441	174,90	26,329	0,151	0,001	0,901	15,766	4,60	0,574	-4,026	-1,220	0,441	26,329	0,000
1,10	3,30	0,333	0,429	174,90	34,515	0,197	0,002	1,102	15,713	4,40	0,677	-3,723	-1,128	0,429	34,515	0,000
1,30	3,30	0,394	0,417	174,90	43,046	0,246	0,003	1,303	15,661	4,20	0,775	-3,425	-1,038	0,417	43,046	0,000
1,50	3,30	0,455	0,407	174,90	51,893	0,297	0,004	1,504	15,609	4,00	0,868	-3,132	-0,949	0,407	51,893	0,000
1,70	3,30	0,515	0,397	174,90	60,924	0,348	0,006	1,706	15,556	3,80	0,958	-2,842	-0,861	0,397	60,924	0,000
1,90	3,30	0,576	0,388	174,90	70,170	0,401	0,008	1,908	15,504	3,60	1,045	-2,555	-0,774	0,388	70,170	0,000
2,10	3,30	0,636	0,380	174,90	79,668	0,456	0,011	2,111	15,451	3,40	1,129	-2,271	-0,688	0,380	79,668	0,000
2,30	3,30	0,697	0,372	174,90	89,361	0,511	0,013	2,313	15,399	3,20	1,212	-1,988	-0,602	0,372	89,361	0,000
2,50	3,30	0,758	0,370	174,90	100,334	0,574	0,017	2,517	15,346	3,00	1,301	-1,699	-0,515	0,370	100,334	0,000
2,70	3,30	0,818	0,370	174,90	112,441	0,643	0,021	2,721	15,293	2,80	1,396	-1,404	-0,425	0,370	112,441	0,000
2,90	3,30	0,879	0,376	174,90	127,047	0,726	0,027	2,927	15,239	2,60	1,505	-1,095	-0,332	0,376	127,047	0,000
3,20	3,30	0,970	0,423	174,90	166,193	0,950	0,046	3,246	15,156	2,30	1,777	-0,523	-0,158	0,423	166,193	0,000
3,30	3,30	1,000	0,443	174,90	182,453	1,043	0,055	3,355	15,128	2,20	1,883	-0,317	-0,096	0,443	182,453	0,000

Měrná křivka koryta, pevného prahu a manipulace s klapkami



Obr. 52 Graf měrných křivek koryta, pevného prahu a manipulace s klapkami

6.5 NÁVRH VÝVARU A PODJEZÍ

Návrh vývaru byl proveden pro vybraný průtokový stav v souladu s hydrologickými údaji uvedenými v kapitole 6.1. Výpočet byl proveden pomocí rovnic, které byly uvedeny v kapitole 2.5.2.

Návrh hloubky vývaru „d“

S navržením dostatečné hloubky vývaru docílíme k požadovanému vodnímu skoku.

Použité vzorce při výpočtu:

$$q = \frac{Q}{b_n}, \quad k = \frac{\alpha v_0^2}{2g}, \quad h_1 = h_c = \frac{q}{\varphi \sqrt{2g(E_0 - h_c)}}, \quad E_0 = d + \Delta h + h_h + k$$

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left(-1 + \sqrt{-1 + \frac{8\beta q^2}{g h_1^3}} \right), \quad h_0 = h_p + k, \quad \sigma = \frac{h_d + d}{h_2}$$

Tabulka 20 Návrh hloubky vývaru pro d = 0,00 m

d =	0,00	[m]													
Qn	Q	q	h _h	v ₀	k	E ₀	h _{c1}	h _{c2}	h _{c3}	h _{c4}	h ₁	h ₂	h _d	σ	
[-]	[m ³ /s]	[m ² /s]	[m]	[m/s]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	
30d	40,1	0,835	0,530	0,259	0,003	3,733	0,108	0,110	0,110	0,110	0,110	1,083	0,741	0,684	
1	219	4,563	1,842	1,288	0,085	4,377	0,547	0,585	0,588	0,588	0,588	2,409	2,110	0,876	
5	452	9,417	2,9445	2,515	0,322	5,017	1,055	1,187	1,207	1,210	1,210	3,307	3,335	1,009	
20	659	13,729	3,824	3,270	0,545	6,119	1,392	1,584	1,617	1,623	1,623	4,121	4,215	1,023	
50 = Qn	799	16,646	4,1969	3,582	0,654	6,601	1,625	1,872	1,920	1,930	1,930	4,531	4,762	1,051	

Tabulka 21 Návrh hloubky vývaru pro d = 1,40 m

d =	1,40	[m]													
Qn	Q	q	h _h	v ₀	k	E ₀	h _{c1}	h _{c2}	h _{c3}	h _{c4}	h ₁	h ₂	h _d	σ	
[-]	[m ³ /s]	[m ² /s]	[m]	[m/s]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	
30d	40,1	0,835	0,530	0,172	0,002	5,133	0,092	0,093	0,093	0,093	0,093	1,189	0,741	1,801	
1	219	4,563	1,842	0,941	0,045	5,777	0,476	0,497	0,498	0,498	0,498	2,680	2,110	1,310	
5	452	9,417	2,9445	1,942	0,192	6,417	0,932	1,009	1,016	1,016	1,016	3,740	3,335	1,266	
20	659	13,729	3,824	2,831	0,408	7,519	1,256	1,376	1,390	1,391	1,391	4,606	4,215	1,219	
50 = Qn	799	16,646	4,1969	3,432	0,600	8,001	1,476	1,635	1,655	1,658	1,658	5,068	4,762	1,216	

Hloubka vývaru 1,40 m odpovídá stávající konstrukci. Vzhledem k tomu, že tato část konstrukce bude zachována bez výrazných změn, byla tato hodnota pouze ověřena výpočtem. Posouzení provedené pro toto zahloubení ukazuje dle dosaženého součinitele zatopení σ , že se bude jednat o vzdutý vodní skok.

Výpočet délky vývaru – dle Nováka „L_v“

Výpočet vychází z dvou vzájemných hloubek vodního skoku „h₁“ a „h₂“ a jeho délky. Poměrem těchto hloubek se získá hodnota součinitele „K“ (viz tab. 22).

Použitý vzorec při výpočtu:

$$L_v = K(h_2 - h_1)$$

Tabulka 22 Hodnoty součinitele „K“

h_2/h_1	K
3 - 4	5,5
4 - 6	5,0
6 - 20	4,5
> 20	4,0

Tabulka 23 Výpočet délky vývaru dle Nováka

Qn	h_1	h_2	h_2/h_1	K	L_v
[-]	[m]	[m]	-	-	[m]
30d	0,08	1,29	16,07	4,50	5,45
1	0,51	2,65	5,20	5,00	10,69
5	1,02	3,74	3,68	5,50	14,98
20	1,40	4,58	3,27	5,50	17,51
50 = Qn	1,66	5,07	3,06	5,50	18,76

Délka vývaru byla na základě výpočtů z tabulky 23. navržena na $L_v = 18,00$ m.

Návrhová tloušťka vývarové desky „ t_d “

Výpočet byl proveden dle empirických vztahů Dombrovského a Tarajmoviče.

Použité vzorce při výpočtu:

Dle Dombrovského: $t_{dD} = 0,15 * v_1 \sqrt{h_1}$

kde: $v_1 = \frac{q}{h_1}$

Dle Tarajmoviče: $t_{dT} = 0,4 * \left(\frac{q}{2}\right)^{0,5} * H^{0,25}$

kde: $H =$ rozdíl hladin při Q_n

Tabulka 24 Tloušťka vývarové desky dle Dombrovského a Tarajmoviče

Qn	h_1	q	v_1	H	t_{dD}	t_{dT}
[-]	[m]	[m ² /s]	[m/s]	[m]	[m]	[m]
30d	0,08	0,835	10,40	1,99	0,44	0,31
1	0,51	4,563	8,97	1,93	0,96	0,71
5	1,02	9,417	9,26	1,81	1,40	1,01
20	1,40	13,729	9,80	1,73	1,74	1,20
50 = Qn	1,66	16,646	10,04	1,19	1,94	1,20

Tloušťka vývaru byla na základě výpočtů z tabulky 24. navržena na $t_d = 1,90$ m.

Návrh délky opevnění za vývarem „ L_0 “

Výpočet byl proveden podle Čertousova vztahu.

Použitý vzorec při výpočtu:

$$L_0 = (10 \div 13)h_d$$

Tabulka 25 Délka opevnění za vývarem

Qn	h_d	10 h_d	13 h_d	L_0
[-]	[m]	[m]	[m]	[m]
30d	0,74	7,41	9,64	8,00
1	2,11	21,10	27,43	25,00
5	3,34	33,35	43,36	38,00
20	4,21	42,15	54,79	48,00
50 = Qn	4,76	47,62	61,91	55,00

Délka opevnění za vývarem byla navržena na základě výpočtů z tabulky 25. Jelikož se jedná o hodnoty vycházející z empirických vztahů, byla navržena délka opevnění $L_0 = 35,00$ m.

Návrh tloušťky opevnění za vývarem „ A “

Výpočet byl proveden podle autorů Jaegera a Nováka.

Dle Jaegera:
$$A_0 = 6H^{0,25} * q^{0,5} * \left(\frac{h_d}{d_{90}}\right)^{\frac{1}{3}} - h_d$$

kde: d_{90} 90% velikost zrna byla zvolena velikost 78 mm

Dle Nováka:
$$A = k * A_0$$

kde: $k = (0,45 \div 0,65)$

Tabulka 26 Tloušťka opevnění za vývarem

Qn	q	h_d	H	A_0	k'	A
[-]	[m ² /s]	[m]	[m]	[m]	[-]	[m]
30d	0,835	0,74	1,99	0,640	0,50	0,32
1	4,563	2,11	1,93	2,430	0,50	1,22
5	9,417	3,34	1,81	4,140	0,50	2,07
20	13,729	4,21	1,73	5,169	0,50	2,58
50 = Qn	16,646	4,76	1,19	5,439	0,50	2,72

Tloušťka opevnění byla navržena na základě výpočtů z tabulky 26. Jelikož se jedná o hodnoty vycházející z empirických vztahů, byla navržena tloušťka opevnění $A = 1,50$ m

6.5.1 Posouzení prolomení vývarové desky

Bylo provedeno posouzení vývarové desky proti prolomení způsobené vztakovou silou z přetlaku dle vztahu:

$$t_d \geq 0,846 * x$$

kde: $x = 1,71$ pořadnice tlaku z přetlaku

Po dosazení: **1,90 ≥ 1,44**

Navržená tloušťka vývarové desky $t_d = 1,90$ m vyhoví na posouzení prolomení.

6.5.2 Délka obtékaného obrysu

Výpočet délky obtékaného obrysu byl stanoven dle Bligha ze vztahu:

$$c_B * H \leq L_s$$

kde: $c_B = 9$ součinitel (Bligh)

$H = 2,05$ m spád hladiny

$L_s = 43,47$ m skutečná délka obtékaného obrysu

Po dosazení: **18,45 ≤ 43,47**

Skutečná délka obtékaného obrysu L_s vyhovuje.

7 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ

7.1 JEZOVÉ TĚLESO

Přístavba třetího jezového pole zajistí zkapacitnění stávajícího jezu. Kromě kapacity jezu dojde také ke zvýšení průtočnosti díky zvětšení délky přelivné hrany ze stávajících 32 m na 48 m. Z důvodů dobrých hydraulických vlastností a celkové nenáročnosti výstavby byl pro pevnou spodní stavbu zvolen Jamborův práh.

Výška přelivné hrany prahu se nachází o 0,45 m výše, než je dno koryta v nadjezí a kóta přelivné hrany je na 240,00 m n. m. Navazující přelivná plocha má délku 6 m a sklon 1:3. Celková šířka přelivné hrany je 48 m rozdělená na tři pole po 16 m. Tato šířka byla výpočtem ověřená a je dostačující pro převedení návrhového průtoku $Q_n = 799 \text{ m}^3/\text{s}$. Šířka přelivné hrany bude rozdělena dvěma dělicími pilíři šířky 2,5 m.

Před Jamborovým prahem bude vybudován předprsní práh, ve kterém se nachází kanalizace DN 400. V tomto betonovém prahu o délce 5 m a tloušťce 2 m bude vedena kanalizace DN 400 v PVC chrániče. V předprsním prahu se také nachází dosedací práh EU 300 pro provizorní hrazení.

Konstrukce je dělena z důvodů tvarových deformací do dilatačních bloků pomocí dilatačních spár těsněných pryžovým těsněním. Dilatační spáry kolmé na osu toku se nachází mezi předprsním prahem jezu a Jamborovým prahem, další se nachází na konci přelivné plochy a začátku vývaru. Po směru toku jsou dilatační spáry vedeny podél dělicího pilíře, který se nachází mezi vtokem do MVE a pravým jezovým polem, a levobřežního pilíře. Dále jsou dilatační spáry vedeny osou dělicích pilířů viz přílohy P4, P5, P6.

7.2 DĚLÍCÍ PILÍŘE

Dělicí pilíře se nachází mezi jednotlivými jezovými poli a mezi MVE a pravým jezovým polem.

Střední dělicí pilíř mezi jezovými poli

Mezi jezovými poli se nachází dva identické dělicí pilíře.

Parametry pilíře:

- délka: 22,30 m
- šířka: 2,50 m
- výška v nadjezí: 7,45 m
- výška v podjezí: 10,60 m
- nadmořská výška koruny: 247,00 m n. m.
- nadmořská výška základové spáry: 234,50 m n. m.

Dělicí pilíře jsou vybaveny svisle vedeným zavzdušňovacím potrubím DN 200 sloužící k přívodu vzduchu při uzavření prostoru pod klapkou. Potrubí je zajištěno mřížkou proti zanesení.

Na pilíři jsou umístěny kapsy hluboké 1,00 m o průměru 0,40 m pro osazení přenosného jeřábu k manipulaci s provizorním hrazením, jak v nadjezí, tak i v podjezí. Umístění je patrné z P4. Na pilíři jsou taktéž osazená na obou stranách ocelová stupadla s výškovým rozdílem jednotlivých stupňů 0,25 m uložené v kapse hluboké 0,15 m a dvě drážky provizorního hrazení z obou stran pilíře. Drážky jsou široké 0,25 m a hluboké 0,20 m.

Pro zapuštění mostovky (nosníků) jsou po stranách pilíře vytvořeny kapsy délky 0,50 m, výšky 0,75 m a šířky 0,75 m, aby horní hrana byla na úrovni dělicích pilířů (247,00 m n. m.). Popis mostovky je více rozepsán v kapitole 8.7 Mostové konstrukce.

Dělicí pilíř mezi jezovým tělesem a MVE

Dělicí pilíř je atypického tvaru. Zhlaví pilíře v podjezí je půlkruhového tvaru o poloměru 0,80 m a v délce 17,30 m se nachází na konstantní výškové kótě 243,00 m n. m. V této délce se taktéž pozvolně rozšiřuje na šířku 3,70 m. Po 17,30 m od zhlaví pilíře v podjezí se následně pilíř zvýší o 4,00 m, kdy horní hrana pilíře je na výškové úrovni 247,00 m n. m. Dále pokračuje 36,50 m k dalšímu zúžení na šířku 2,55 m z důvodu zvětšení náhonu pro MVE z hlediska osazení česlí. V této šířce pokračuje 7,00 m a je zakončena zhlavím proudnicového tvaru.

Parametry pilíře:

- délka: 60,80 m
- šířka: 3,70 m
- výška v nadjezí: 7,45 m
- výška v podjezí: 10,60 m
- nadmořská výška koruny: 247,00 m n. m.
- nadmořská výška základové spáry: 234,50 m n. m.

Dělicí pilíř je vybavený svisle vedeným zavzdušňovacím potrubím DN 200 sloužícím k přivodů vzduchu při uzavření prostoru pod klapkou. Potrubí je zajištěno mřížkou proti zanesení. Na pilíři jsou dále umístěny dvě drážky hluboké 0,20 m a široké 0,25 pro uložení provizorního hrazení v nadjezí i podjezí. Umístění drážek je patrné z přílohy P4, P5.

7.3 BŘEHOVÁ A ZAVAZOVACÍ KŘÍDLA

Byly navrženy dva břehové pilíře se zavazovacími křídly do břehů, které zlepší celkovou stabilitu konstrukce.

Pravý břehový pilíř

Parametry pilíře:

- tvar průřezu: „L“
- délka: 49,60 m
- šířka v koruně: 2,00 m
- šířka v patě: 4,00 m
- výška v nadjezí: 7,45 m
- výška v podjezí: 10,60 m
- nadmořská výška koruny: 247,00 m n. m.
- nadmořská výška základové spáry: 234,50 m n. m.
- délka zavazovacího křídla v nadjezí: 13,60 m
- délka zavazovacího křídla v podjezí: 17,90 m

Zavazovací křídlo o délce 13,60 m je v nadjezí zavázáno do pravého břehu pod úhlem 131°. Zavazovací křídlo v podjezí je do pravého břehu zavázáno pod úhlem 150° o délce 17,90 m.

V břehovém pilíři jsou navrženy drážky provizorního hrazení, aby bylo možné uzavřít vtok do MVE stavidlovým uzávěrem.

Pilířem je taktéž vedena šterková propust šířky 0,80 m a délky 38,20 m. Šterková propust je vybavena ručním stavidlem, které slouží k propláchnutí vtokového objektu do MVE.

Po celé délce konstrukce je z bezpečnostních důvodů navrženo ocelové zábradlí o výšce 1,10 m.

Levý břehový pilíř

Levobřežní pilíř navazuje v podjezí i v nadjezí na zavazovací křídla konstrukčně řešená ve formě úhlové zdi.

V podjezí je úhlová zeď zavázána do levého břehu pod úhlem 149° s výškovou kótou hrany 244,00 m n. m. Dále v podjezí navazuje úhlová zeď na levobřežní pilíř, kdy se mění výšková kóta z 244,00 m n. m. na kótu 247,00 m n. m. Po 22,00 m se levobřežní pilíř v nadjezí napojí na úhlovou zeď, která mění výškovou úroveň z 247,00 m n. m. na 246,00 m n. m. a zavazuje se do levého břehu pod úhlem 165°.

Rozměry pilíře:

- délka: 22,00 m
- šířka v koruně: 2,50 m
- šířka v patě: 4,50 m
- výška v nadjezí: 7,45 m
- výška v podjezí: 10,60 m
- nadmořská výška koruny: 247,00 m n. m.
- nadmořská výška základové spáry: 234,50 m n. m.
- délka břehové zdi v nadjezí: 64,80 m
- délka břehové zdi v podjezí: 35,00 m

V břehovém pilíři je navrženo zavzdušňovací potrubí DN 200 sloužící k přívodu vzduchu při uzavření prostoru pod klapkou. Potrubí je zajištěno mřížkou proti zanesení.

Součástí pilíře jsou kapsy hluboké 1,00 m a průměru 0,40 m pro osazení přenosného jeřábu pro instalaci provizorního hrazení. Umístění je patrné z P4. Na pilíři jsou taktéž osazená na obou stranách ocelová stupadla s výškovým rozdílem jednotlivých stupňů 0,25 m uložené v kapse hluboké 0,15 m a drážky provizorního hrazení z obou stran pilíře. Drážky jsou široké 0,25 m a hluboké 0,20 m.

V nadjezí se nachází 37,60 m od pevné přelivné hrany vtok do rybiho přechodu, který bude více popsán v kapitole 8.5. V podjezí vyústění rybiho přechodu ve vzdálenosti 37,90 m pevné přelivné hrany.

Po celé délce konstrukce je z bezpečnostních důvodů navrženo ocelové zábradlí o výšce 1,10 m.

7.4 VÝVAROVÁ DESKA

Vývarová deska je tvořena železobetonovou deskou z betonu odolného proti obrusu. Vývar má celkovou šířku 53,00 m, tloušťku 2,00 m a délku 18,00 m. Výšková kóta dna vývaru je 236,40 m n. m. a výšková kóta základové spáry je 234,50 m n. m. Vývar je ukončený vývarovým prahem o výšce 3,30 m řešený ve sklonu 1:2. Koruna vývarového prahu leží na výškové kótě 237,80 m n. m. a má šířku 1,50 m.

Vývar je zahlubněný 1,40 m pod úroveň dna v podjezí z důvodu akumulování vody, což přispívá k ochraně dna vývaru před přímým nárazem přepadového paprsku.

Za vývarem bylo navrženo opevnění dna kamenným záhozem, proti vzniku výmolů, o velikosti kamene 0,4 – 0,6 m, celkové tloušťce 1,50 m a délce 35,00 m. Opevnění začíná za vývarovým prahem na kótě 237,80 m n. m. a odskakuje ve sklonu 1:5 na kótu 236,30 m n. m., kdy po 5,00 opět mění výškovou kótu v délce 7,50 a sklonu 1:5 na kótu 237,80 m n. m. Opevnění slouží jako sekundární tlumení kinetické energie vzniklé přepadem vody přes klapky a při běžných průtocích (nižší úroveň hladiny) se zde v důsledku dopadu proudového paprsku vytvářejícího z výše položeného výtoku z rybího přechodu vytváří umělý vábící proud.

Vývar je dilatován od přelivné plochy pevné spodní stavby. Po směru toku jsou dilatační spáry vedeny podél dělicího pilíře, který se nachází mezi vtokem do MVE a pravým jezovým polem, a levobřežního pilíře. Dále jsou dilatační spáry vedeny v ose dělicích pilířů viz přílohy P4, P5, P6.

7.5 RYBÍ PŘECHOD

Z hlediska dostatečného prostoru bylo pro rybí přechod zvoleno přírodní obtokové koryto (bypass) o celkové délce 100 m, které je situováno na levém břehu koryta.

Základem pro návrh byl výškový rozdíl, kdy dno rybího přechodu v nadjezí je na kótě 242,50 m n. m., tato výška byla navrhována v závislosti na navrhované hloubce vody stálého vzdutí, která je 243,20 m n. m. V podjezí se dno rybího přechodu nachází na kótě 238,50 m n. m., která byla navržena v závislosti na běžné úrovni hladiny vody v podjezí, při průtoku 9,00 m³/s, nacházející se na kótě 238,10 m n. m. Rybí přechod překonává výškový rozdíl 4,00 m o sklonu dna 4 % a výška bude překonávána pomocí 23 tůní vytvořených nepravidelnými liniemi velkých balvanů. Výškový rozdíl každé z tůní je cca 0,18 m.

Vstup do rybího přechodu v podjezí se nachází 37,90 m od přelivné hrany jezu. Vtok je doplněn o práh výšky 0,30 m, který zabraňuje vyplavení štěrkového krytu dna rybího přechodu do koryta Bečvy. Vstup je tvořený železobetonovým rámem o šířce 2,50 m a výšce 3,00 m, který prochází levobřežní zdí. Za levobřežní zdí se nachází drážky provizorního hrazení. Dno rámu bude vyplněno štěrkovým substrátem o tloušťce 0,2 m a kameny o velikosti zrna 0,15 m.

Železobetonový rám je dlouhý cca 6,00 m a poté se mění z technické části na část přírodního lichoběžníkového koryta se sklonem svahů kynety 1:2. Dno kynety šířky 2,5 m je tvořeno štěrkovým substrátem o tloušťce 0,2 m a kameny o velikosti zrna 0,15 m a celkové tloušťce 0,3 m. Šikmé břehy jsou opevněny kamennou dlažbo na sucho.

Přírodní koryto je dlouhé cca 86,00 m, které se následně mění na druhou technickou část rybího přechodu, která je tvořena železobetonovým rámem o šířce 2,50 m a výšce 2,50 m. Dno rámu bude tvořeno štěrkovým substrátem o tloušťce 0,2 m a kameny o velikosti zrna 0,15 m. Délka rámu je 8,16 m s vyústěním v nadjezí cca 41,40 m od přelivné hrany jezu viz příloha P4. Za levobřežní zdí se v nadjezí nachází tabulový uzávěr, který dosedací na ocelový práh.

Dno rybího přechodu je tloušťky 0,50 m po celé jeho délce.

Budou navrženy betonové prahy výšky 0,80 m a šířky 3,50 m po cca 3,75 m, do kterých budou uloženy kameny sloužící jako přehrázka.

Gabionové zdi jsou navrženy jako podpora stability v obloucích rybího přechodu a také jako opěrná zeď pro komunikaci při vstupu na most.

Pro výstavbu budou použité gabionové koše ze svařované sítě o průměru drátů 5,00 mm. Tyto gabionové koše budou vyplněny kameny s malou nasákavostí a odolné proti povětrnostním vlivům a namrzání.

Zed' pod komunikací je vystavěná schodovitě z bloků o rozměru 3,00 x 1,50 m (šířka x výška), 2,00 x 1,50 m, 0,90 x 1,00 m a 0,80 x 1,00 m. Přehledné složení je patrné z přílohy P6.

Délky zdí podél rybího přechodu jsou 23,00 m, 11,00 m, 10,50 m, 21,00 m a 34,00 m. Přesnější umístění je patrné z přílohy P4.

7.6 MOSTOVÉ KONSTRUKCE A PŘÍSTUPOVÉ KOMUNIKACE

Přemostění přes jezovou stavbu je zajištěno pomocí mostní konstrukce, která je v každém jezovém poli tvořena samostatnou konstrukcí. Mostovka je tvořena z pěti předpjatých nosníků o délce 17,00 m a výšce 0,65 m. Na nosnících je navržena železobetonová deska o tloušťce 0,10 m, která je vyspádována v 1% spádu k odvodňovací vpusť. Každé pole má odvodňovací vpusť DN 100 v geometrickém středu mostního pole, aby nedocházelo k zadržování vody na mostovce. Na obou stranách mostu se nachází betonové římsy, na kterých je upevněno ocelové mostní zábradlí výšky 1,10 m.

Pro překonání rybího přechodu je navržena monolitická železobetonová deska o tloušťce 0,80 m, která je ukotvena na železobetonovém rámu rybího přechodu. Povrch desky se nachází na kótě 244,80 m n. m. Deska je opatřena ze strany rybího přechodu bezpečnostním zábradlím o výšce 1,10 m.

Pro obsluhu tabulového uzávěru, nacházejícího se u vstupu do rybího přechodu, je navržena obslužná lávka z ocelového roštu o délce 4,00 m a šířce 0,90 m. Ocelové rošty jsou usazeny na dvou U-profilů ukotvené na železobetonovém rámu rybího přechodu. Lávka je osazena bezpečnostním zábradlím.

Další obslužná lávka o délce 5,50 m a šířce 0,90 m se nachází u vtoku do MVE za provizorním hrazením. Lávka se skládá z ocelových roštů usazené na dvou U-profilech ukotvené na pravobřežním a dělicím pilíři. Lávka je osazena bezpečnostním zábradlím.

7.7 MANIPULACE S UZÁVĚRY

Při manipulaci s klapkami budou uvažovány tři manipulační stavy. V prvním stavu jde o synchronní pohyb všech klapek, u druhého manipulačního stavu se jedná o pohyb dvou klapek a při třetím o pohyb pouze jedné klapky.

Synchronní pohyb třech klapek

Při vzdouvání hladiny vody na úrovni hladiny stálého vzduť jsou klapky vztyčené na maximální výšku, a to na kótu přelivné hrany 243,20 m n. m. Počítá se s nárůstem hladiny vody o 0,10 m nad hranu vztyčených klapek, a to na kótu 243,30 m n. m. Při této situaci bude možno pomocí manipulací klapek udržet hladinu na této úrovni do průtoku cca 545 m³/s ($Q_{20} = 555$ m³/s), kdy dojde k plnému vyhrazení. Ve chvíli, kdy se průtoky začnou zmenšovat dojde k synchronnímu vztyčení klapek za dodržení předepsané úrovně hladiny stálého vzduť (243,20 m n. m.). U průtoků nad $Q_{50} = 799$ m³/s hrozí rozliv z koryta. Hlavní nebezpečí hrozí v podjezí, kde má koryto menší kapacitu. Při Q_{100} dojde k rozlivu koryta jak v nadjezí, tak i v podjezí.

Manipulace dvou klapek, jedna z klapek je odstavena

Manipulace dvou klapek byla vypočítána z důvodů neočekávaných oprav, kdy by jedno ze tří jezových polí bylo mimo provoz nebo pro další situace, které by vyžadovaly manipulaci pouze se dvěma klapkami. Manipulací dvou klapek jsme schopni udržet hladinu vzduť (243,30 m n. m.) až do průtoku cca 336 m³/s ($Q_2 = 317$ m³/s). Jak bylo zmíněno výše, při průtoků do $Q_{50} = 799$ m³/s hrozí rozliv v podjezí a při Q_{100} dochází k rozlivu v nadjezí i v podjezí.

Mimořádná manipulace jednou klapkou z provozních důvodů

Manipulace jednou klapkou je důležitá zejména pro údržbu a čištění odběrných zařízení ve zdrži.

Pokud by se v jezové zdrži začaly hromadit plovoucí předměty, které by mohly poškodit konstrukci, je nutné tyto předměty odstranit. V takových případech je dovoleno manipulovat jednou klapkou za účelem odstranění nečistot. Při manipulaci se počítá s krátkodobým snížením hladiny stálého vzduť (243,20 m n. m.). Manipulací jednou klapkou lze regulovat průtok vody až do cca 182 m³/s.

Při čištění šterkových sedimentů usazených před prahem MVE se využívá zejména období zvětšených průtoků. Klapku je nutné vyhrázovat po 0,20 m a následně počkat na ustálení hladiny, aby při náhlém vyhrázení nedošlo k vytvoření průtokové vlny pod jezem, která by mohla poškodit koryto.

Manipulace v zimním období

Při manipulaci v době ledochodů se podle množství a tloušťky ledových ker provede manipulace klapky, aby byl umožněn bezpečný odchod ledů. Při manipulaci se počítá s opakovaným poklesem hladiny pod úroveň stálého vzduť 243,20 m n.m., kdy v kritických případech může nastat dočasné omezení provozu MVE.

Omezení provozu MVE může také nastat při nižších průtocích za účelem vytvoření trvalého přepadajícího paprsku, aby nedocházelo k přimrzání ledu ke konstrukci jezu.

Taktéž je nutné mírně manipulovat s klapkami, aby nepřimrzaly ke konstrukci.

Manipulace v období sucha

V období sucha jsou klapky zcela vztyčeny a neprobíhá žádná manipulace. V případě potřeby se omezí provoz MVE a veškerý průtok se primárně nechává pro zajištění chodu rybího přechodu, který by měl být schopný udržet minimální průtok v podjezí a to $Q_{364} = 0,93 \text{ m}^3/\text{s}$.

7.8 ZAČLENĚNÍ DO KRAJINY

Výstavbou třetího jezového pole a přírodě blízkého obtokového koryta rybího přechodu dojde k výrazným změnám na levém břehu řeky Bečvy. Koryto bude v nadjezí i podjezí rozšířeno a bude zde vybudována nová masivní úhlová zeď, která zajistí zavázání nového levobřežního pilíře do levého břehu.

Nově navržená konstrukce jezu a rybího přechodu předpokládá navazující terénní úpravy, které příznivě ovlivní estetický vzhled nejbližšího okolí.

8 ZÁVĚR

Bakalářská práce je rozdělena do dvou základních částí, části rešeršní a části praktické. V první části byla vypracovaná rešerše zabývající se tematikou a problematikou jezových konstrukcí. Ve druhé části byly nejprve uvedeny obecné údaje o zájmovém území včetně širších souvislostí prostoru povodí Moravy a Bečvy. Dále se práce zaměřila na historický vývoj řeky Bečvy a bývalého pevného jezu, který se nacházel poblíž stávajícího pohyblivého jezu. Popis zájmového území koryta a jezů byl doplněn o fotografie, které blíže zachycují zájmovou oblast. Praktická část bakalářské práce se dále zabývala variantním návrhem rekonstrukce jezu. Bylo zpracováno více variant umístění a konstrukčního řešení jezu a vedení rybího přechodu. Výběr nejvhodnější varianty proběhl na základě formalizovaného hodnocení jednotlivých variant podle vybraných kritérií, snahou také bylo respektovat stávající rozměry jezových polí, aby nedošlo k náročným demoličním pracím. Jako nejvhodnější byla vybrána varianta s obtokovým rybím přechodem, který se nejvíce přibližuje přírodním podmínkám a umožňuje migraci širokému spektru vodních živočichů. Dále byla, ze získaných informací, vybrána pohyblivá konstrukce dutého klapkového uzávěru. Jelikož je zájmové území náchylné na ledové jevy, bude zde využita možnost přesné regulace k zajištění přepadového paprsku a bezpečného převedení plovoucích ledových ker. Klapky jsou hojně využívané a jejich funkčnost je tedy dobře prověřena což taktéž napomohlo k její volbě jako hradící pohyblivý uzávěr.

V úvodu hydrotechnických výpočtů byla v první řadě stanovena hladina stálého vzduť na kótě 243,20 m n. m., která byla převzatá z manipulačního řádu stávajícího jezu a splňuje všechny požadavky pro zajištění povolených odběrů z jezové zdrže (viz kapitola 4.6). Při volbě návrhového průtoku $Q_n = Q_{50} = 799 \text{ m}^3/\text{s}$ se přihlíželo na kapacitu koryta v nadjezí a v podjezí, dále se přihlíželo na plány budoucí výstavby vodního díla Skalička, které poskytne kompletní ochranu Hranic.

Výsledný návrh tvoří jezová konstrukce o třech jezových polích se světlou šířkou jednoho pole 16,00 m. Spodní stavba jezové konstrukce je řešena Jamborovým prahem, který nejlépe umožní převedení splavenin, a navíc má dobré hydraulické vlastnosti. Pohyblivá hradící konstrukce, klapka, je osazena do spodní stavby. Při úplném vyhrazení je respektován tvar Jamborova prahu. Na pevnou betonovou spodní stavbu navazuje zahlobený vývar. Při převádění splavenin však může být konstrukce klapky více namáhána a případně i poškozena. Při zanášení vývaru by mohl rovněž nastat problém, kdy v důsledku nánosů nebude možno dosáhnout úplného vyhrazení (sklopení) klapky. Z tohoto důvodu se jeví jako výhodnější varianta použitá v rámci aktuální rekonstrukce, hradící konstrukce je tvořena kombinací zvedané hradící konstrukce, tj. segmentu, a nasazené klapky.

Na levém břehu koryta byl navržen rybí přechod obtokovým lichoběžníkovým korytem dlouhým 100 m. Výška vtokového prahu do rybího přechodu v nadjezí byla stanovena v návaznosti na hladinu stálého vzduť, a to na kótu 242,50 m n. m. Šířka dna rybího přechodu je 2,50 m se sklonem svahů kynety 1:2. Rybí přechod je zakončen v zavazovacím křídle v podjezí na výškové kótě 238,50 m n. m.

V rámci rekonstrukce jezu se uvažovalo i s úpravami na levém břehu koryta jak v nadjezí, tak v podjezí. Byly zde navrženy úhlové zdi, které zlepšují ochranu okolí a také zlepšují statické podmínky celé jezové konstrukce.

V závěru lze konstatovat, že rekonstrukce jezu poskytne větší protipovodňovou ochranu, a to až do průtoků Q_{50} , které bude možno pomocí manipulace s hradícími uzávěry převést korytem. Dále bude v zimním období příznivě ovlivněn chod plovoucích ledových ker a celkově se tak zlepší podmínky při výskytu ledových jevů.

9 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] GABRIEL, Pavel. *Jezy*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989.
- [2] MEDŘICKÝ, Vladimír a Petr VALENTA. *Hydrotechnické stavby: Navrhování jezů*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2009.
- [3] VÝBORA, Pavel. *Jezy*. Praha: STNL, 1985.
- [4] FIALA, Jaroslav, Jiří KAURA a Josef SÁDLO. *Stavby vodní a meliorační*. Praha: SNTL, 1980.
- [5] Hradící vakové jezy. *Rubena* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.rubena.eu/cz/produkty/flexibilni-nafukovaci-pryzove-vyroby/hradici-vakove-jezy/>
- [6] VESELÝ, Jaroslav. *Vodohospodářské stavby: Vodní stavby*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004.
- [7] Charakteristika malých vodních elektráren. *Svět energie* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/vodni-elektrarny/mala-vodni-elektrarna/charakteristika-malych-vodnich-elektraren/vyklad>
- [8] VOJÁČEK, Antonín. Vodní elektrárny. *Hw* [online]. 2006 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2006121301>
- [9] KRÁLOVÁ, Magda. Plavební komora. *Techmania* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: http://edu.techmania.cz/cs/veda-v-pozadi/826?view_gf_cilove_skupiny=154%C2%A8
- [10] Lexikon. *Ivyc* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/lexikon.php>
- [11] SLAVÍK, Ondřej a Zdeněk VANČURA. *Migrace ryb, rybí přechody a způsob jejich testování*. Praha: Dragon press, 2012.
- [12] *Katalog opatření 22: Rybí přechod na příčné překážce*. Praha: Vodohospodářský rozvoj a výstavba, 2005.
- [13] HÁNOVÁ, Kateřina, Milan HLADÍK, Robin HÁLA a Martin TOMEK. *Studie proveditelnosti zprůchodnění migračních překážek na vodních tocích v povodí Vltavy*. Praha, 2011
- [14] Rybí přechod Loučná, mlýn Sárovec. *Envicons* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.envicons.cz/index.php?part=reference&id=41>
- [15] TVN 75 2321. *Zprůchodňování migračních bariér rybími přechody*. 2011.
- [16] JANDORA, Jan a Jan ŠULC. *Hydraulika: modul 01*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-7204-512-9.
- [17] Základní informace o území. *Město Hranice* [online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://www.mesto-hranice.cz/zakladni-informace-o-uzemi>
- [18] Seznam. Mapová data. *Mapy.cz* [online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://mapy.cz/letecka?x=17.7329296&y=49.5549048&z=14&source=base&id=1899897>
- [19] Řeka Bečva - kilometráž. *Raft* [online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: https://www.raft.cz/morava/becva.aspx?ID_reky=31&kilo=kilom

- [20] Bečva. *Moravské Karpaty* [online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <http://moravske-karpaty.cz/prirodni-pomery/hydrografie/becva-spojena/#Hydrologicke-charakteristiky>
- [21] Bečva. *Wikipedie* [online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Be%C4%8Dva>
- [22] Hydrologická situace. *Pmo* [online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/portal/sap/cz/index.htm>
- [23] Plán dílčího povodí Moravy a přítoků Váhu. *Pmo* [online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: http://pop.pmo.cz/download/web_PDP_Morava_kraje/kapitola-i/kapitola-i.html#a_i_1_2
- [24] CSEMEZOVÁ, Jana a Radek NAVRÁTIL. *Bečva, jez Hranice: zkapacitnění jezu a rybí přechod*. 2017
- [25] ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Geovědní mapy 1 : 25 000* [online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr25/>
- [26] Povodňový informační systém. *Webmap* [online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: https://webmap.dppcr.cz/dpp_cr/povis.dll?MAP=rizika&lon=17.7195122&lat=49.5407718&scale=15120
- [27] MATOUŠEK, Václav. *Ledový režim vodních toků*. 2004. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský, 2004. ISBN 80-85900-54-8.
- [28] *Vyhlašování stupňů povodňové aktivity* [online]. 2007 [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: https://hydro.chmi.cz/hpps/doc/pdf/vyhlasovani_spa_podle_ledovych_jevu.pdf
- [29] *Google: Obrázky* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://images.google.cz/>
- [30] SVOZILOVÁ, Martina. *Antropogenní ovlivnění odtokových poměrů na území města Hranice*. Olomouc, 2011. Diplomová práce. Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Irena Smolová.
- [31] MIK, Lubomír. Bečva, jez Hranice: zkapacitnění jezu a rybí přechod. *Konstrukce* [online]. 2020 [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://konstrukce.cz/zajimavosti-z-oboru/becva-jez-hranice-zkapacitneni-jezu-a-rybi-prechod-629>
- [32] FIGALA, Bronislav, úsekový technik. Hranice, 16.5.2021
- [33] KŘÍŽ, Tomáš. Manipulační řád pro jez Hranice na řece Bečvě v km 38,300, Hranice
- [34] ČÚZK: *Geoportál ČÚZK* [online]. [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/>
- [35] Povodí Moravy. 2003. Záplavové území, podélný profil, příčné řezy. Digitální podklad.

10 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Součinitelé zatopení pro Jamborův práh [2]	24
Tabulka 2: Součinitel K [2].....	25
Tabulka 3: N-leté průtoky na řece Bečvě, stanice Teplice nad Bečvou [22]	29
Tabulka 4: N-leté průtoky na řece Bečvě, stanice Dluhonice [22]	29
Tabulka 5: Parametry jezu.....	44
Tabulka 6: Parametry náhonu Drahotuše	46
Tabulka 7: Parametry malé vodní elektrárny Hranice	46
Tabulka 8 Zhodnocení jednotlivých variant.....	52
Tabulka 9 N-leté průtoky stanice Teplice nad Bečvou	53
Tabulka 10 m-denní průtoky stanice Teplice nad Bečvou	53
Tabulka 11 Součinitelé zatopení pro Jamborův práh [2]	55
Tabulka 12 Výpočet měrné křivky koryta.....	58
Tabulka 13 Orientační hodnoty součinitele přepadu.....	60
Tabulka 14 Výpočet MKP.....	61
Tabulka 15 Orientační hodnoty součinitele přepadu.....	63
Tabulka 16 Součinitelé přepadu „m“ při jednotlivých polohách sklopení.....	63
Tabulka 17 Manipulace (3 klapky)	64
Tabulka 18 Manipulace (2 klapky)	64
Tabulka 19 Manipulace (1 klapka).....	65
Tabulka 20 Návrh hloubky vývaru pro $d = 0,00$ m	67
Tabulka 21 Návrh hloubky vývaru pro $d = 1,40$ m	67
Tabulka 22 Hodnoty součinitele „K“	68
Tabulka 23 Výpočet délky vývaru dle Nováka.....	68
Tabulka 24 Tloušťka vývarové desky dle Dombrovského a Tarajmoviče	68
Tabulka 25 Délka opevnění za vývarem	69
Tabulka 26 Tloušťka opevnění za vývarem	69

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Rozdělení jezů podle půdorysného tvaru [4]	13
Obr. 2 Části pevného jezu [2].....	14
Obr. 3 Základní schéma pohyblivého jezu [1]	14
Obr. 4 Základní typy klapek: desková – troubová – dutá [1].....	15
Obr. 5 Segmentový uzávěr [4]	16
Obr. 6 Vakový uzávěr [3].....	16
Obr. 7 Odběr z jezové zdrže [6]	17
Obr. 8 Umístění a řez vodní elektrárny [4]	18
Obr. 9 Rybí přechod (bypass) Loučná, mlýn Sárovec [14].....	19
Obr. 10 Štěrbinový rybí přechod [15]	20
Obr. 11 Součinitelé a tvary přední i zadní zhlaví návodních pilířů [2].....	22
Obr. 12 Součinitele a tvary křídel břehových pilířů [2]	22
Obr. 13 Obdélníkový průřez [2].....	23
Obr. 14 Lichoběžníkový tvar vysokého jezu [2].....	23
Obr. 15 Střední jezy, zleva se skloněnou návodní stěnou a se skloněnou vzdušnou stěnou [2].	23
Obr. 16 Jamborův práh [2]	24
Obr. 17 Rozměry vývaru.....	25
Obr. 18 Rozměry opevnění a výmolů	26
Obr. 19 Upřesnění lokality Hranického jezu [18]	27
Obr. 20 Zájmové území [18]	28
Obr. 21 Detail - Hranický jez [18]	28
Obr. 22 Povodí Moravy - průměrná roční teplota vzduchu [°C] [23].....	30
Obr. 23 Povodí Moravy – roční úhrn srážek [mm] [23]	30
Obr. 24 Geomorfologické poměry povodí Moravy [23].....	31
Obr. 25 Geologické poměry Hranice [25].....	32
Obr. 26 Záplavové území Hranice při Q ₅ [26].....	33
Obr. 27 Záplavové území Hranice při Q ₂₀ [26].....	34
Obr. 28 Záplavové území Hranice při Q ₁₀₀ [26]	34
Obr. 29 Ledová zácpa na řece Bečvě – Hranice [29].....	35
Obr. 30 Umístění původního pevného jezu v Hranicích [34]	36
Obr. 31 Původní pevný jez v Hranicích - podélné řezy [32].....	37
Obr. 32 Pohled na původní pevný jez z podjezí směrem k centru města 1982 [32]	37

Obr. 33 Detail konstrukce původního pevného jezu 1975 [32]	38
Obr. 34 Výstavba stávajícího pohyblivého jezu 1986 [32].....	38
Obr. 35 Pohled na jezy v Hranicích 1986 [32].....	39
Obr. 36 Pohledy na jezy v Hranicích 2011 [32].....	39
Obr. 37 Hranice – současný průběh toku [18]	41
Obr. 38 Hranice – průběh toku v 19. století [18]	41
Obr. 39 město Hranice při povodních roku 1997 [17]	43
Obr. 40 Segmentový uzávěr s dutou klapkou, Hranice [33]	44
Obr. 41 Řez stávajícím jezovým polem [33].....	45
Obr. 42 Varianta I. – schéma situace jezu [34]	49
Obr. 43 Varianta II. – schéma situace jezu [34].....	49
Obr. 44 Varianta III. – schéma situace jezu [34]	50
Obr. 45 Varianta IV. – schéma situace jezu [34]	50
Obr. 46 Schéma Jamborova prahu	53
Obr. 47 Návrhové koryto	57
Obr. 48 Graf měrné křivky koryta.....	59
Obr. 49 Schéma pro určení součinitele přepadu	60
Obr. 50 Graf měrné křivky přepadu a koryta	62
Obr. 51 Schéma pro určení součinitele přepadu	63
Obr. 52 Graf měrných křivek koryta, pevného prahu a manipulace s klapkami.....	66

12 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Q_1	[m ³ /s]	Jednoletý průtok
Q_2	[m ³ /s]	Dvouletý průtok
Q_5	[m ³ /s]	Pětiletý průtok
Q_{10}	[m ³ /s]	Desetiletý průtok
Q_{20}	[m ³ /s]	Dvacetiletý průtok
Q_{50}	[m ³ /s]	Padesátiletý průtok
Q_{100}	[m ³ /s]	Stoletý průtok
Q_n	[m ³ /s]	Návrhový průtok
Q_{KAP}	[m ³ /s]	Kapacitní průtok
$Q_{KAP,č}$	[m ³ /s]	Kapacitní průtok dle Čiháka
σ_z	[-]	Součinitel zatopení
b_0	[m]	Účinná šířka přelivu
b	[m]	Šířka přelivu
n	[-]	Počet kontrakcí
h	[m]	Přepadová výška
k	[m]	Rychlostní výška
h_{p0}	[m]	Přepadová výška navýšená o rychlostní výšku „ k “
H	[m]	Rozdíl hladin horní a dolní vody
h_σ	[m]	Rozdíl mezi hladinou v podjezí a výškou pevného prahu při Q_n
h_p	[m]	Přepadová výška
h_1	[m]	Výšky hladin v nadjezí (srovnávací rovina dno v podjezí)
h_2	[m]	Výšky hladin v podjezí
h_h	[m]	Výška hladiny v nadjezí (srovnávací rovina dno v nadjezí)
h_d	[m]	Výška hladiny v podjezí při Q_n
m	[-]	Součinitel přepadu
m_σ	[-]	Součinitel přepadu dle Čiháka
b_n	[m]	Návrhová šířka přelivu
g	[m/s]	Gravitační zrychlení
ε_p	[-]	Tvarový součinitel návodních pilířů
ε_k	[-]	Tvarový součinitel bočních křídel břehových pilířů
t	[m]	Šířka přepadové hrany
p	[m]	Výška prahu
L_o	[m]	Délka opevnění

L_v	[m]	Délka vývaru
K	[m]	Součinitel vzájemných hloubek
A_0	[m]	Hloubka výmolu od původního dna
q	[m ³ /s]	Specifický průtok
d_{90}	[mm]	90% zrno z křivky zrnitosti
G	[kN]	Stálá zatížení
Q	[kN]	Nahodilá zatížení
α	[-]	Coriolisovo číslo
v_0	[m/s]	Přítoková rychlost
A	[m ²]	Plocha průtočného průřezu
l_L	[m]	Omočený obvod levého břehu
l_P	[m]	Omočený obvod pravého břehu
S	[m ²]	Průtočná plocha
O	[m]	Omočený obvod
R	[-]	Hydraulický poloměr
C	[m ^{0.5} /s]	Chézyho rychlostní součinitel
i	[-]	Sklon koryta
s	[m]	výška prahu nad dnem v podjezí
tab.		Tabulka
tzv.		Takzvaně
obr.		Obrázek

13 SEZNAM PŘÍLOH

P1	Situace širších vztahů
P2	Celková situace jezu
P3	Přehledný podélný profil
P4	Půdorys jezu
P5	Podélný řez A - A'
P6	Zalomený řez B - B'