

**České vysoké učení technické v Praze**

**Fakulta stavební**

**Katedra hydrotechniky**



## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Variantní řešení hradicí konstrukce na jezu Sezemice**

**Variant solution of the Sezemice weir structure**

**Vedoucí bakalářské práce:**

**Ing. Martin Králík, Ph.D.**

**Květen 2023**

**Michal Adamovský**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Adamovský</u>	Jméno: <u>Michal</u>	Osobní číslo: <u>494031</u>
Zadávající katedra: <u>K142 - Katedra hydrotechniky</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor/specializace: <u>Vodní hospodářství a vodní stavby</u>		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Variantní řešení hradičí konstrukce na jezu Sezemice</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Variant solution of the Sezemice weir structure</u>	
Pokyny pro vypracování: Na základě poskytnuté dokumentace ověřte přesnost hydraulických výpočtů pro stávající stav. Dále proveďte variantní návrh změny hradičí konstrukce jezu Sezemice. Jednotlivé varianty mezi sebou porovnejte z hlediska jejich výhod, nevýhod, kapacity, ceny atp. Pro vybraný návrh zpracujte hydrotechnické výpočty spolu s výkresovou dokumentací.	
Seznam doporučené literatury: Medřický V., Valenta P.: Hydrotechnické stavby 1, Navrhování jezů, ČVUT, Praha, 2009 Gabriel P. a kol.: Jezy, SNTL, Praha, 1989 Kolář V., Bém J., Patočka C.: Hydraulika, SNTL, Praha, 1983 Havlík V., Marešová I.: Hydraulika 10, 20 - Příklady, ČVUT, Praha, 2001	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Ing. Martin Králík, Ph. D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>30.1.2023</u>	Termín odevzdání BP v IŠ KQS: <u>22.5.2023</u>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

15.2.2023  
Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## **Čestné prohlášení**

Tímto prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval samostatně pouze s použitím literatury a podkladů uvedených na konci této práce, a to v souladu s metodickým pokynem ČVUT č. 1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

V Praze dne: .....

.....

Michal Adamovský

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Martinu Králíkovi, Ph.D. za ochotu a čas věnovaný konzultacím při vedení této bakalářské práce a také za cenné rady a informace. Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům z firmy VODNÍ DÍLA – TBD a.s. za pomoc se získáním podkladů a Povodí Labe, státní podnik za veškeré poskytnuté materiály. Poděkování patří i mé rodině za podporu po celou dobu studia.



## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce je zaměřena na návrh vhodného řešení uvažované změny hradicí konstrukce na jezu v Sezemicích. Pro tento jez je nejprve ověřena přesnost hydraulických výpočtů a dále je v práci uveden popis současného stavu vodního díla. Uvažované varianty nové hradicí konstrukce jsou mezi sebou porovnány a následně je proveden výběr té varianty, která nejvhodněji splňuje zvolená kritéria. Součástí práce jsou také hydrotechnické výpočty jednotlivých variant včetně návrhu rybího přechodu. Pro vybranou variantu je zpracována výkresová dokumentace i vizualizace.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

jez Sezemice, hradicí konstrukce, párové porovnání, vakový uzávěr, pevný jez, rybí přechod, vývar, stabilita jezu

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis is focused on the design of a suitable solution for the considered change of the Sezemice weir structure. For this weir, the accuracy of the hydraulic calculations is first verified and then a description of the current technical design of the entire weir is given. The considered variations of a weir structure are compared with each other and then the one that best complains the featured criteria is selected. The bachelor's thesis also includes hydrotechnical calculations of individual variants including the design of the fish pass. Drawing documentation and visualization are prepared for the selected variant.

## **KEY WORDS**

Sezemice weir, weir structure, variant comparison, inflatable weir, fixed weir, fish pass, stilling basin, stability of the weir



## OBSAH

1. ÚVOD.....	4
2. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O ÚZEMÍ.....	5
2.1 Popis zájmové lokality .....	5
2.2 Geologické a hydrogeologické poměry .....	6
2.3 Klimatické poměry.....	7
2.4 Hydrologická data .....	7
2.5 Záplavová území .....	8
3. SOUČASNÝ STAV VODNÍHO DÍLA .....	9
3.1 Hlavní vstupní podklady .....	9
3.2 Popis vodního díla.....	10
3.2.1 Stavidlový jez .....	10
3.2.2 Přilehlé objekty .....	11
3.3 Manipulace na stavidlovém jezu.....	12
3.3.1 Manipulace za nízkých průtoků.....	12
3.3.2 Manipulace za zvýšených a povodňových průtoků .....	13
3.3.3 Manipulace v zimním období .....	13
3.4 Ověření hydraulických výpočtů pro stavidlový jez .....	13
3.4.1 Konzumpční křivka dolního koryta a tvar horního koryta.....	13
3.4.2 Přepad přes stavidla .....	15
3.4.3 Výtok pod středovými stavidly.....	18
3.4.4 Kapacita stavidlového jezu při úplném vyhrazení.....	23
4. VÝBĚR VHODNÉ VARIANTY NOVÉ HRADICÍ KONSTRUKCE .....	27
4.1 Kritéria hodnocení.....	27



4.2	Stanovení vah jednotlivých kritérií .....	29
4.3	Přehled uvažovaných variant .....	30
4.3.1	Pevný jez.....	31
4.3.2	Klapkový uzávěr .....	33
4.3.3	Desková klapka podpíraná tlakovým rukávцем.....	35
4.3.4	Vakový uzávěr .....	37
4.4	Obodování jednotlivých variant.....	39
4.4.1	Komentář s odůvodněním bodového hodnocení .....	40
4.5	Závěr výběru vhodné varianty nové hradicí konstrukce .....	47
5.	POPIS STAVEBNÍCH ČÁSTÍ NOVÉ HRADICÍ KONSTRUKCE.....	48
5.1	Jezové těleso.....	48
5.1.1	Pole s vakovým uzávěrem .....	48
5.1.2	Pole s pevným jezem .....	49
5.2	Pilíře .....	49
5.2.1	Návodní pilíře .....	49
5.2.2	Pravobřežní pilíř .....	50
5.3	Vývarová deska.....	50
5.4	Rybí přechod .....	50
5.5	Zásady manipulace na nové hradicí konstrukci .....	51
6.	HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY .....	53
6.1	Návrh hlavních parametrů vakového uzávěru.....	53
6.2	Výpočet kapacity jednotlivých variant nové hradicí konstrukce .....	56
6.2.1	Kapacita při manipulaci s uzávěry.....	56
6.2.2	Kapacita při úplném vyhrazení jezu .....	65
6.3	Návrh parametrů vývaru .....	70



---

6.4	Návrh rybího přechodu .....	76
6.5	Posouzení stability spodní stavby jezu.....	80
6.5.1	Posunutí v základové spáře, překlopení a zdvih konstrukce vztlakem vody 80	
6.5.2	Provalení podloží .....	99
6.6	Únosnost základové půdy .....	101
6.6.1	Únosnost základové půdy pod jezovým tělesem .....	105
6.6.2	Únosnost základové půdy pod vývarovou deskou.....	110
6.6.3	Únosnost základové půdy pod návodním pilířem.....	112
7.	ZÁVĚR .....	115
8.	SEZNAM LITERATURY A PODKLADŮ .....	116
9.	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	120
10.	SEZNAM TABULEK .....	123
11.	SEZNAM PŘÍLOH.....	125



## 1. ÚVOD

Předmětem bakalářské práce je stavidlový jez v Sezemicích. Hlavním účelem jezu je využití vzniklého hydroenergetického potenciálu k výrobě elektrické energie na nedaleké malé vodní elektrárně. Kromě tohoto účelu jez také stabilizuje spádové poměry toku.

Stávající hradicí konstrukce včetně spodní stavby jezu je značně zastaralá. V současnosti dochází velmi často k ucpávání jezového profilu splávim, které ulpívá na slupicích a na vodících ocelových profilech sloužících pro pohyb stavidel. V zimním období dochází také velmi často k namrznání ocelových částí hradicí konstrukce, čímž může docházet ke zhoršené či úplně nemožné manipulaci se stavidly. Navíc manipulace na jezu jsou velmi náročné a vyžadují i práci obsluhy s jeřábem na úzké obslužné lávce.

Kvůli výše uvedeným problémům a rizikům spojených s bezpečností obsluhy jezu uvažuje Povodí Labe, státní podnik s výhledovou změnou stávající hradicí konstrukce na takovou, která by eliminovala současné nedostatky a zároveň snížila nároky na obsluhu jezu.

Cílem práce je tedy navrhnout na základě poskytnuté dokumentace vhodné řešení změny stávající hradicí konstrukce. Na začátku práce budou uvedeny základní informace o zájmovém území. Poté bude uveden popis současného stavu stavidlového jezu a přilehlých objektů. Pro stavidlový jez bude také ověřena přesnost hydraulických výpočtů.

Uvažované varianty nové hradicí konstrukce budou mezi sebou porovnány metodou vícekritériálního váhového hodnocení. Varianta, která nejvhodněji splní zvolená kritéria, bude vybrána jako preferovaná. Pro všechny varianty budou provedeny hydrotechnické výpočty zahrnující stanovení kapacity jezu a návrh parametrů vývaru. Také bude proveden návrh rybího přechodu. Pro vybranou variantu budou navrženy parametry uzávěru, posouzena stabilita spodní stavby jezu včetně únosnosti základové půdy a zpracována výkresová dokumentace i vizualizace.

## 2. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O ÚZEMÍ

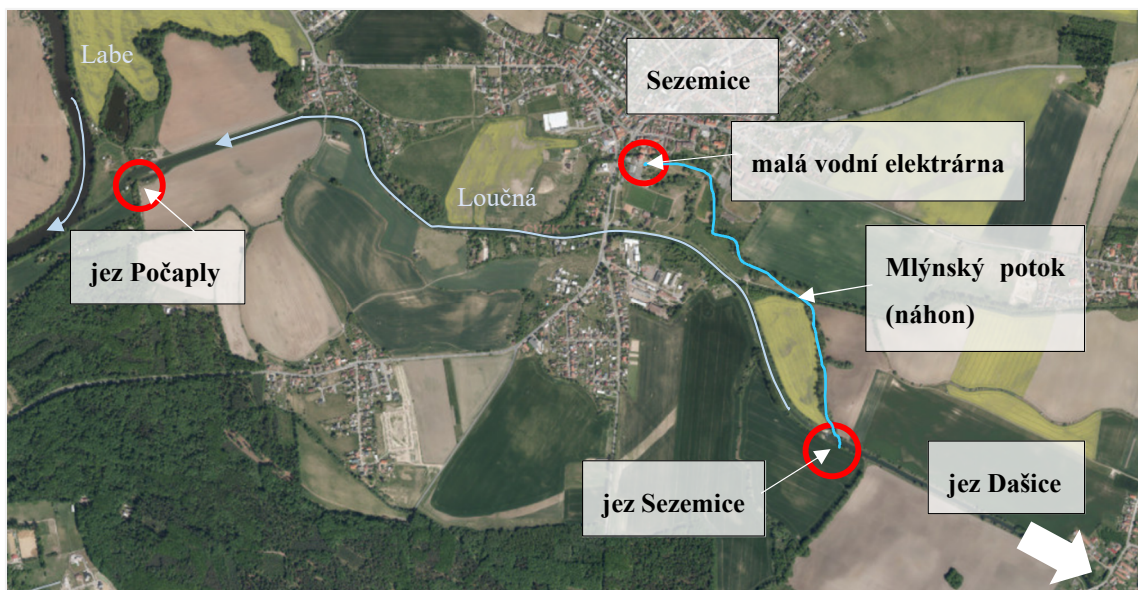
### 2.1 Popis zájmové lokality

Zájmová lokalita se nachází v Pardubickém kraji severovýchodně od města Pardubice. Řešený jez je situován poblíž města Sezemice na 3,284 říčního kilometru řeky Loučné. V Sezemících se nachází malá vodní elektrárna, ke které je voda z jezové zdrže přiváděna Mlýnským potokem. Jezovou zdrž i dolní koryto pod jezem obklopují převážně zemědělsky využívané plochy v rovinatém terénu. Délka vzduť jezu Sezemice je přibližně 2,2 km [1]. Nad tímto vzduťem se výše po toku nachází jez Dašice (říční kilometr 8,727) a jez Platěnice (říční kilometr 12,513), níže po toku leží jez Počaply (říční kilometr 0,310). Pod jezem Počaply se řeka Loučná vlévá do Labe jako její levostranný přítok.

Současný stav uvedených jezů je dost podobný, výjimkou je pouze jez Počaply, kde v minulých letech proběhla celková rekonstrukce zahrnující i výměnu původní hradicí konstrukce za vakový uzávěr.

Zájmová oblast nespadá do zvláště chráněných území, ale většina okolních pozemků je evidována v zemědělském půdním fondu [2].

Na následujícím obrázku (obr. 2.1) je znázorněno situační umístění jednotlivých výše zmíněných objektů.



Obr. 2.1: Situace zájmové lokality [3]

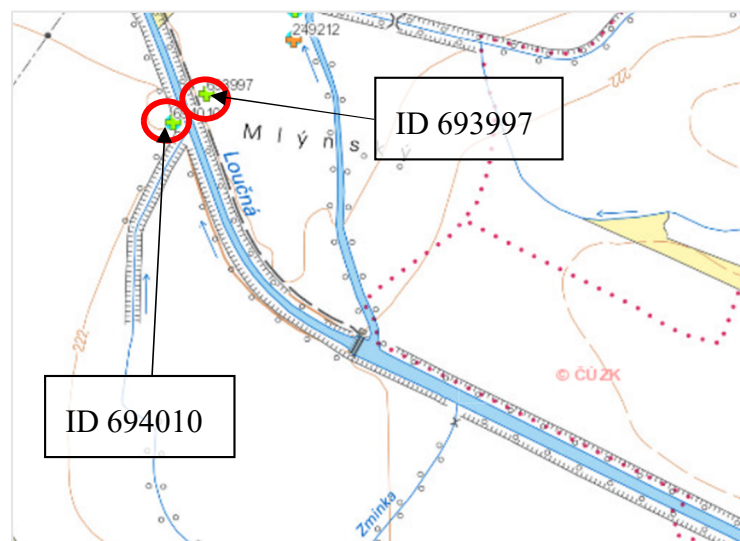
## 2.2 Geologické a hydrogeologické poměry

Geologická prozkoumanost v okolí profilu jezu je velmi nízká (obr. 2.2). Pro přesné určení skladby geologického profilu a hladiny podzemní vody v místě jezu by bylo zapotřebí provést dodatečné inženýrskogeologické a hydrogeologické vrty.

Pro bakalářskou práci byly zakoupeny výsledky archivních průzkumů pro vrty, které se nacházejí nejbližší jezovému profilu [4][7]. Konkrétně se jedná o inženýrskogeologický vrt (ID 693997) a hydrogeologický vrt (ID 694010).

Ustálená hladina podzemní vody se v podjezí nachází na úrovni 219,16 m n.m. Poloha hladiny podzemní vody v nadjezí není známa, ale byla zjednodušeně uvažována jako hladina podzemní vody v podjezí se zohledněním spádu hladin a sklonu toku. Výsledná úroveň hladiny podzemní vody v nadjezí byla tímto způsobem stanovena na úroveň 221,49 m n.m.

Pokryvný útvar v zájmové lokalitě tvoří nivní sedimenty [5]. Pro potřeby výpočtu únosnosti základové půdy pod základovou spárou jezu byly na základě geologického profilu (obr. 2.3) zjednodušeně určeny třídy jednotlivých zemin. Třídy zemin vycházejí z ČSN 73 1001 [6] a jsou uvedeny v závorkách. Skalní podloží se nachází na úrovni 212,38 m n.m. a je tvořeno zvětralými jílovcí (R5). Nad skalním podložím je horizont štěrku s příměsí jemnozrnné zeminy (G3), nad ním se nachází horizont hrubozrnného hlinitého písku (S4) a písku s příměsí jemnozrnné zeminy (S3).



Obr. 2.2: Geologická prozkoumanost okolí jezu [4]

Hloubka[m]	Stratigrafie	Popis
0.00 - 0.30	Kvartér	hlína humózní jílovitá, hnědá příměs: organický detrit [zbytky] cihly v ostrohranných úlomcích ojediněle, příměs: organický detrit [zbytky]
0.30 - 2.00	Kvartér	hlína plastický pevný lokálně tuhý smouhovitý, béžová, hnědá
2.00 - 4.30	Kvartér	písek střednozrný, béžová, okrová zemina jemnozrný
4.30 - 8.00	Kvartér	písek střednozrný hrubozrný hlinitý, šedá štěrk opukový max.velikost částic 1 cm
8.00 - 9.20	Kvartér	štěrk max.velikost částic 4 cm částečně opracovaný, šedá zemina jemnozrný
9.20 - 12.00	Coniak	jílovec vápnitý silně zvětralý laminovaný drobný, šedá
12.00 - 15.00	Coniak	jílovec vápnitý silně slabě zvětralý tenké deskovitě odlučný, šedá

Obr. 2.3: Geologický profil vrtu (ID 693997) [7]

## 2.3 Klimatické poměry

Dlouhodobý normál teploty vzduchu se v zájmové oblasti zejména v zimním období pohybuje v rozmezí od  $-2,1$  do  $-1,0$  °C. Vzhledem k těmto teplotám lze v jezové zdrži očekávat tvorbu ledových celin. Dlouhodobý roční normál teploty vzduchu se zde pohybuje okolo  $7,9$  °C a dlouhodobý srážkový úhrn je zde  $681$  mm za rok. Hodnoty teplotních normálů jsou uvedeny pro pozorované období 1991–2020. [8]

## 2.4 Hydrologická data

Hydrologická data byla převzata z manipulačního řádu jezu Sezemice [1]. Jedná se o hodnoty průtoků zpracované Českým hydrometeorologickým ústavem pro profil jezu za pozorované období 1981-2010. V následujících tabulkách jsou uvedeny N-leté průtoky (tab. 2.1) s třídou přesnosti II a M-denní průtoky (tab. 2.2) s třídou přesnosti III. Průměrný dlouhodobý roční průtok v profilu jezu je přibližně  $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Tab. 2.1: N-leté průtoky v profilu jezu (II. Třída) [1]

Roky	1	2	5	10	20	50	100
Průtok ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	16.5	25.2	39.3	51.9	66.1	87.4	105.5

Tab. 2.2: M-denní průtoky v profilu jezu (III. Třída) [1]

Dny	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Průtok ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	7.44	5.51	4.59	3.98	3.51	3.14	2.81	2.60	2.33	2.01	1.70	1.46	0.96



## 2.5 Záplavová území

Jak již bylo zmíněno v podkapitole 2.1, tak oblast kolem jezu má rovinatý charakter. Koryto nad i pod jezem je schopno úplně převést povodňové průtoky s dobou opakování odpovídající 20leté vodě a menším. Při průtoku  $Q_{100}$  už dochází k rozsáhlým rozlivům (obr. 2.4).

Kromě toho mohou povodňové průtoky ( $Q_{10}$  a vyšší) v řece Labi ovlivňovat hladinu vody v korytě pod jezem Sezemice.



Obr. 2.4: Záplavová území v okolí jezu pro  $Q_{20}$  (oranžově) a pro  $Q_{100}$  (modře) [9]



### 3. SOUČASNÝ STAV VODNÍHO DÍLA

V této kapitole jsou nejprve představeny hlavní podklady, ze kterých bylo v rámci práce čerpáno. Dále jsou uvedeny bližší informace týkající se současného stavu stavidlového jezu a přilehlých objektů. Pro stavidlový jez jsou také uvedeny základní manipulace s vodou a ověřeny hydraulické výpočty.

Kvůli lepší představě o současném stavu jezu byl proveden i vlastní průzkum zájmové lokality. Fotografie, které byly pořízeny v rámci průzkumu, je možné shlédnout v přiložené fotodokumentaci (příloha D).

#### 3.1 Hlavní vstupní podklady

Na základě domluvy s Povodím Labe, státní podnik byly pro účel práce poskytnuty podklady k vodnímu dílu Sezemice [1][10] a k vakovému jezu Počaply [11][12] (podklad pro varianty s vakovým uzávěrem). Veškeré podklady byly poskytnuty ve formátu \*.pdf a jejich výčet je uveden níže.

U vodního díla Sezemice se jedná o:

- Manipulační řád pro vodní dílo Sezemice na Loučné
- Provozní řád pro vodní dílo Sezemice na Loučné
- G.1. Hydrotechnické výpočty obsahující tyto přílohy:
  - G.1.1. Přepad přes stavidla
  - G.1.2. Výtok pod horními díly středových stavidel
  - G.1.3. Výtok pod dolními díly středových stavidel
- G.2. Výkresová dokumentace obsahující tyto přílohy:

G.2.1. Situace širších vztahů	1:50 000
G.2.2. Katastrální mapa	1:5 000
G.2.3. Půdorys jezu	1:200
G.2.4. Svislý řez jezem	1:50
G.2.5. Schéma stavidel	
- G.3. Právní a jiná dokumentace
- G.4. Fotodokumentace



U vakového jezu Počaply se jedná o:

- Manipulační řád pro vakový jez a MVE na Loučné v Počaplech
- Nakládání s vodami
- Měrné křivky
- Část výkresové dokumentace obsahující tyto přílohy:

Umístění vodního díla	1:10 000
Půdorys jezu	1: 100
Příčný řez vakovým jezem	1:50
Příčný řez vodní elektrárnou	1:50
Podélný řez vtokovým objektem a turbínou vodní elektrárny	1:50
Pohled na jez a vodní elektrárnu po vodě	1:50

## 3.2 Popis vodního díla

Základní informace o jednotlivých objektech, které jsou uvedeny níže, byly převzaty z manipulačního [1] a provozního řádu vodního díla [10].

Vlastníkem náhonu včetně vtokového objektu je město Sezemice a malá vodní elektrárna je v soukromém vlastnictví [2]. Stavidlový jez je majetkem České republiky a právo hospodařit s tímto majetkem má Povodí Labe, státní podnik [2]. Vodní dílo je zařazeno do IV. kategorie technickobezpečnostního dohledu [1].

### 3.2.1 Stavidlový jez

Konstrukce jezu je tvořena stupňovitým betonovým prahem, břehovými pilíři a třemi nosnými slupicemi umístěnými ve střední části jezového pole. Celková délka přelivné hrany je 25,95 m. Horní hrana betonového dosedacího prahu je u levého i pravého břehu na úrovni 220,98 m n.m. a ve střední části, která slouží jako propust' a má světlou šířku 10,205 m, je práh snížen na úroveň 219,23 m n.m.

Hradičí prvky tvoří celkem 14 ks dřevěných stavidel, které se pohybují v drážkách ocelových profilů tvaru I. Ve střední části jezu se nachází šest dvojdílných stavidel. Dolní díly mají výšky 0,9 m a horní díly mají výšku 1,2 m, kromě dvou prostředních stavidel, kde je přelivná hrana snížena o 0,3 m. V krajních částech jezového pole jsou na každé straně umístěny čtyři stavidla s výškou 0,35 m. V levé krajní části je



světlná šířka stavidel 7,84 m a v pravé krajní části je světlná šířka stavidel 7,905 m. Přelivná hrana všech stavidel je na úrovni 221,33 m n.m. vyjma dvou středových stavidel, kde je přelivná hrana snížena na kótu 221,03 m n.m.

Provozní budova o půdorysných rozměrech 9,62 m x 4,41 m, která se nachází na pravém břehu, slouží k uskladnění pojízdného jeřábu, nářadí a stavidlových tabulí.

Manipulace se stavidlovými tabulemi se provádějí ručně s využitím jeřábu, který se pohybuje po kolejnicových drážkách umístěných na obslužné lávce. Obslužná lávka je široká 1 m a má zábradlí pouze na vzdušní straně. Pochozí strana lávky je na kótě 222,95 m n.m.

Břehové pilíře jsou obloženy kvádrovým zdivem v tloušťce 0,5 m. Horní hrana pilířů je na návodní straně na úrovni 222,78 m n.m. a na vzdušní straně je horní hrana pilířů výškově snížena na úroveň 222,37 m n.m.

## **3.2.2 Přilehlé objekty**

### **3.2.2.1 Mlýnský potok a vtokový objekt náhonu**

Vtokový objekt náhonu se půdorysně nachází nad pravým břehovým pilířem a je hrazen čtyřmi dřevěnými stavidly o výšce 1,5 m, které dosedají na betonový práh na úrovni 220,04 m n.m. Jednotlivá stavidla se pohybují v drážkách ocelových profilů tvaru U a I. Celková světlná šířka stavidel je 7,32 m. Stavidla jsou ovládána pomocí ocelových cévových tyčí a pastorku. Přístup ke stavidlům zajišťuje betonová lávka s podlahou na úrovni 222,54 m n.m.

Celková délka Mlýnského potoka je 1941 m. Část potoka o délce 1441 m slouží jako koryto (náhon) přivádějící vodu do malé vodní elektrárny. Zbylá část o délce 500 m je využívána jako odpadní kanál od vodní elektrárny. Odpadní kanál je zaústěn zpět do řeky Loučné na říčním kilometru 1,893. Koryto náhonu není opevněno a má miskovitý průtočný profil se šířkou v koruně v rozmezí 7,0 až 8,0 m a hloubku 2,5 až 3 metry. Kapacita náhonu se pohybuje v rozmezí 0,5 až 3,5 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.



### 3.2.2.2 Malá vodní elektrárna

V budově elektrárny (původně Mlýn) je instalována turbína typu Francis s hlností  $3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a výkonem cca 50 kW [13]. Turbína využívá spád 2,6 m vytvořený přívodním kanálem (náhonem) a lze ji provozovat s minimálním průtokem vody  $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

## 3.3 Manipulace na stavidlovém jezu

Hlavní zásady manipulace na jezu jsou takové, aby při provozu malé vodní elektrárny byla hladina vody ve zdrži udržována v rozmezí kót 221,33 m n.m. (minimální provozní hladina) až 221,53 m n.m. (maximální provozní hladina). Takto zvolená tolerance kolísání hladin je určena k tlumení náhlých průtokových výkyvů.

Minimální zůstatkový průtok je pod jezem stanoven na hodnotu  $0,96 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  odpovídající  $Q_{364d}$ . Při běžném provozu je minimální zůstatkový průtok zajišťován přepadem přes dvě snížená středová stavidla. Pokud dojde k poklesu hladiny v jezové zdrži pod úroveň 221,33 m n.m., nebude zajištěn převod minimálního zůstatkového průtoku do podjezí.

Manipulace se stavidly je zahájena teprve za situace, kdy úroveň hladiny ve zdrži přesáhne maximální provozní hladinu a hrozilo by další zvyšování přítoků do zdrže.

### 3.3.1 Manipulace za nízkých průtoků

Při nízkých průtocích jsou všechna stavidla na jezu zahrazena. Při přirozeném přítoku do jezové zdrže větším než  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  je dodržován minimální zůstatkový průtok a zbylý průtok je přiváděn náhonem k malé vodní elektrárně pro energetické využití. Při poklesu přítoku do zdrže pod  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  musí být malá vodní elektrárna odstavena z provozu. Pokud se přirozený přítok do jezové zdrže pohybuje v rozmezí 0,96 až  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a malá vodní elektrárna je tedy mimo provoz, bude stále zajišťován převod minimálního zůstatkového průtoku do podjezí a zbylý průtok bude převáděn do náhonu kvůli zajištění ekologické funkce Mlýnského potoka.

Při velmi nízkých přítocích do jezové zdrže (menších než minimální zůstatkový průtok) jsou stavidla do náhonu zahrazena a veškerý průtok je převáděn pouze přes jezové pole.

### 3.3.2 Manipulace za zvýšených a povodňových průtoků

Způsob manipulace za tohoto stavu je závislý na očekávaných průtocích. Při předpokladu výrazných či povodňových průtoků je manipulováno stavidly od středové části jezu směrem k obou břehům. Pro převedení zvýšených průtoků lze manipulovat pouze s krajními stavidly. V obou případech se manipulacemi udržuje hladina na minimální provozní hladině.

Pokud dojde k vyhrazení všech stavidel, nastane na jezu neovladatelný stav. Při tomto stavu může dojít k překročení hranice povolené tolerance či k vyběžení vody z koryta.

### 3.3.3 Manipulace v zimním období

Pokud dojde v jezové zdrži k vytvoření ledových celin, je nutné udržovat mezi ledem a hradičí konstrukcí jezu volný pruh, aby tlakem ledu nedošlo k jejímu poškození. Manipulace se stavidly může být zahájena teprve až po uvolnění stavidel od ledu.

## 3.4 Ověření hydraulických výpočtů pro stavidlový jez

V této podkapitole je pro stavidlový jez uveden způsob výpočtu přepadu přes stavidla a výtoku pod středovými stavidly. Vypočtené hodnoty jsou porovnány s hodnotami uvedenými v hydrotechnických výpočtech, které jsou součástí manipulačního řádu jezu Sezemice.

Dále je stanovena celková kapacita stavidlového jezu při úplném vyhrazení. Výsledný kapacitní průtok poslouží jako návrhový průtok pro uvažované varianty nové hradičí konstrukce.

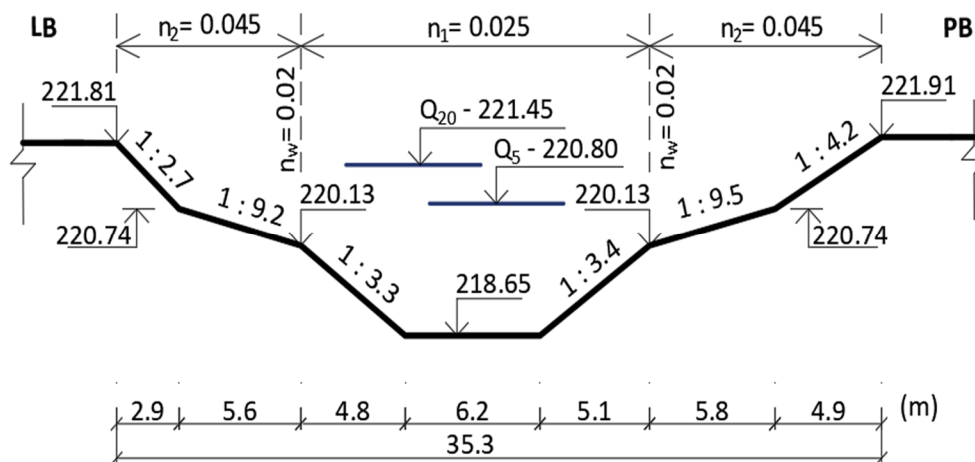
### 3.4.1 Konzumpční křivka dolního koryta a tvar horního koryta

Nejprve byla sestavena konzumpční křivka dolního koryta (obr. 3.3). Ta poslouží jako dolní okrajová podmínka pro následující výpočty.

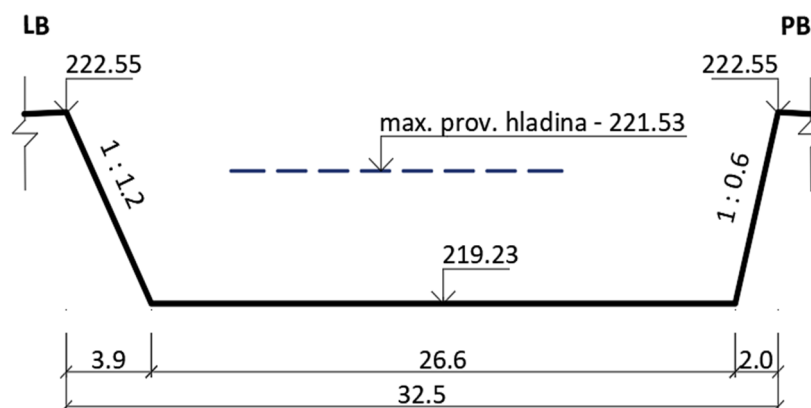
Pro potřeby výpočtu byl vytvořen zjednodušený tvar dolního koryta (obr. 3.1), který vychází především z analýzy výškopisu [3] s přihlédnutím ke geometrii koryta zobrazené v poskytnuté výkresové dokumentaci.

Geometrické a hydraulické parametry dolního koryta byly upraveny tak, aby průtoky  $Q_5$  a  $Q_{20}$  (tab. 2.1 v podkapitole 2.4) v tomto korytě odpovídaly hladinám zjištěným z rozlivných ploch záplavového území při těchto průtocích [9].

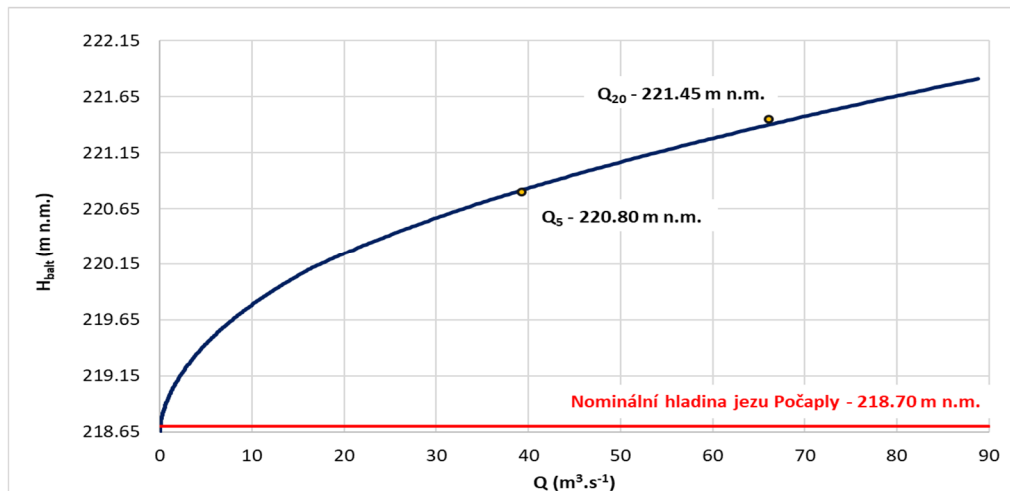
V navazujících výpočtech je zahrnut i vliv přítokové rychlosti. Pro určení průtočné plochy před jezem, neovlivněné křivkou snížení přepadového paprsku, byl sestaven i zjednodušený tvar horního koryta (obr. 3.2). Výsledný tvar horního koryta vychází ze stejných podkladů jako tvar dolního koryta.



Obr. 3.1: Zjednodušený tvar dolního koryta (2,5 x převýšeno) [3]



Obr. 3.2: Zjednodušený tvar horního koryta (2,5 x převýšeno) [3]



Obr. 3.3: Konsumpční křivka dolního koryta s vyznačením nominální hladiny jezu Počaply

Jez Sezemice se nachází na úplném konci vzduť jezu Počaply, proto byl vliv vzduť ve výpočtech zanedbán.

### 3.4.2 Přepad přes stavidla

Konsumpční křivka přepadu (obr. 3.4) byla spočtena dle rovnice přepadu v Bazinově tvaru (rovnice 3.1). V rovnici se vyskytuje Bazinův součinitel přepadu pro ostrohranný přeliv. Ten byl spočítán dle vztahu 3.3 vždy pro danou přepadovou výšku.

Výpočet byl proveden pouze do maximální provozní hladiny (221,53 m n.m.). Při tomto stavu se jedná pouze o dokonalý přepad. Vliv přítokové rychlosti je zohledněn pomocí rovnice 3.4. Celkový průtok přes zahrazená stavidla (rovnice 3.5) byl spočítán jako součet průtoku přepadajícího přes dvě snížená středová stavidla a průtoku přepadajícího přes zbytek polí.

Rovnice přepadu:

$$Q = m b_o \sqrt{2g} (h + h_{d0})^{\frac{3}{2}} \quad (3.1)$$

Účinná šířka přelivu:

$$b_o = b - (n\varepsilon_p + n\varepsilon_k)(h + h_{d0}) \quad (3.2)$$

Bazinův součinitel přepadu pro ostrohranný přeliv:

$$m = \left(0,405 + \frac{0,003}{h}\right) \left[1 + 0,55 \left(\frac{h}{h+s}\right)^2\right] \quad (3.3)$$





Rychlostní výška:

$$h_{d0} = \frac{v_0^2}{2g} \quad (3.4)$$

Celkový průtok:

$$Q_{celk} = Q_1 + Q_{2,3} \quad (3.5)$$

Kde:

Q – průtok ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )

m – Bazinův součinitel přepadu pro ostrohranný přeliv (-)

b – celková šířka přelivné hrany = 25,95 (m)

$b_0$  – účinná šířka přelivné hrany (m)

g – tíhové zrychlení ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ )

h – přepadová výška (m)

$h_{d0}$  – rychlostní výška (m)

$v_0$  – přítoková rychlost ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

n – počet míst kontrakce přepadového paprsku (-)

$\epsilon_p$  – tvarový součinitel návodního pilíře (-), uvažováno 0,1 [14]

$\epsilon_k$  – tvarový součinitel břehového pilíře (-), uvažováno 0,2 [14]

s – výška přelivné hrany nad dnem horního koryta (m)

pro středovou část = 1,8 m

pro zbytek polí = 2,1 m

$y_d$  – hloubka dolní vody (m)

Výpočet byl proveden dle následujícího schéma (obr. 3.5 a obr. 3.6).





Z grafu (obr. 3.4) je patrné, že po překročení úrovně 221,33 m n.m. se průtoky zjištěné vlastním výpočtem liší od průtoků z manipulačního řádu. To může být způsobeno hlavně volbou součinitelů zohledňujících boční kontrakci přepadového paprsku (součinitele  $\epsilon_p$  a  $\epsilon_k$ ) a nebo případně volbou součinitele přepadu, který byl ve vlastním výpočtu uvažován dle rovnice 3.3, zatímco v manipulačním řádu byl zvolen konstantní hodnotou 0,42.

Vliv přítokové rychlosti, uvažovaný pouze ve vlastním výpočtu, byl v tomto případě nakonec zanedbatelný.

### 3.4.3 Výtok pod středovými stavidly

Výpočet je proveden pro proměnlivou úroveň hladiny vody ve zdrži a je rozdělen na dvě části. Nejprve je spočítán výtok pod horními díly šesti středových stavidel (obr. 3.7) a poté je stejným způsobem spočítán i výtok pod dolními díly šesti středových stavidel (obr. 3.8). Ve výpočtu je zohledněn i vliv přítokové rychlosti.

Pro výpočet výtoku pod stavidly byly použity dva vzorce zohledňující typ otvoru. Pokud byla splněna podmínka (vztah 3.6), jednalo se o výtok malým otvorem (vztah 3.7). Při nesplnění podmínky šlo o výtok velkým otvorem (vztah 3.8).

Dále byla ověřena podmínka dokonalého výtoku (obr. 3.9), která byla pro obě části výpočtu splněna. Výtokový součinitel byl uvažován pro malý otvor hodnotou 0,63 a pro velký otvor hodnotou 0,68 [15]. Maximální zdvih stavidel byl dle manipulačního řádu uvažován 0,7 m.

Podmínka pro určení typu otvoru:

$$Z_t \geq 2a, \text{ splněno} = \text{malý otvor}; \text{ nesplněno} = \text{velký otvor} \quad (3.6)$$

Volný výtok malým otvorem:

$$Q = \mu_v ab \sqrt{2g(Z_t + h_{d0})} \quad (3.7)$$

Volným výtok velkým otvorem:

$$Q = \frac{2}{3} \mu_v b \sqrt{2g} \left[ (Z_2 + h_{d0})^{\frac{3}{2}} - (Z_1 + h_{d0})^{\frac{3}{2}} \right] \quad (3.8)$$

Kde:

$Q$  – průtok ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )

$\mu_v$  – výtokový součinitel (-)

$a$  – zdvih stavidla (m)

$b$  – šířka středového pole = 10,205 (m)

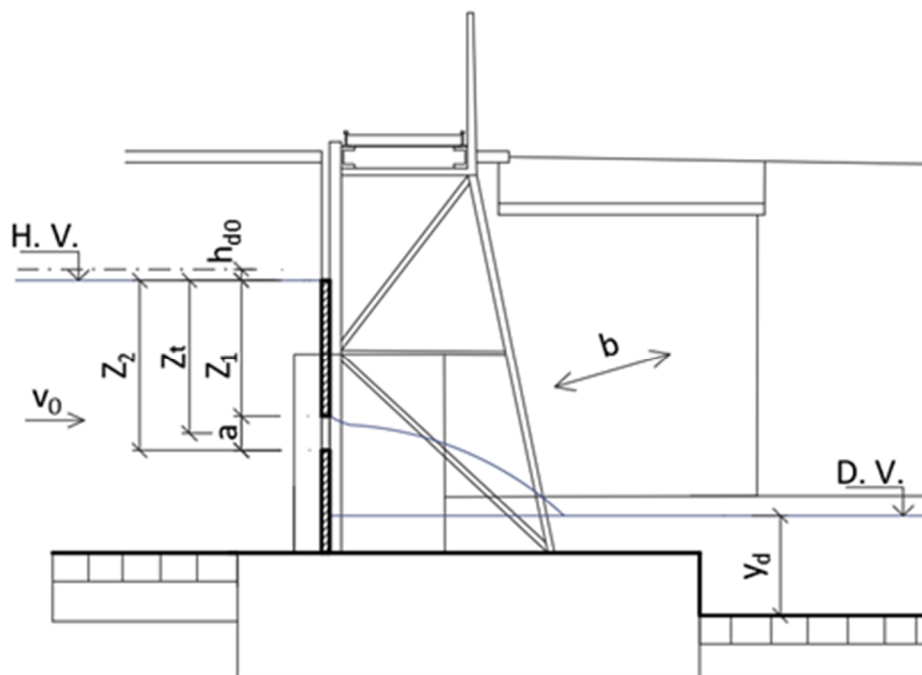
$g$  – tíhové zrychlení ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ )

$h_{d0}$  – rychlostní výška (m)

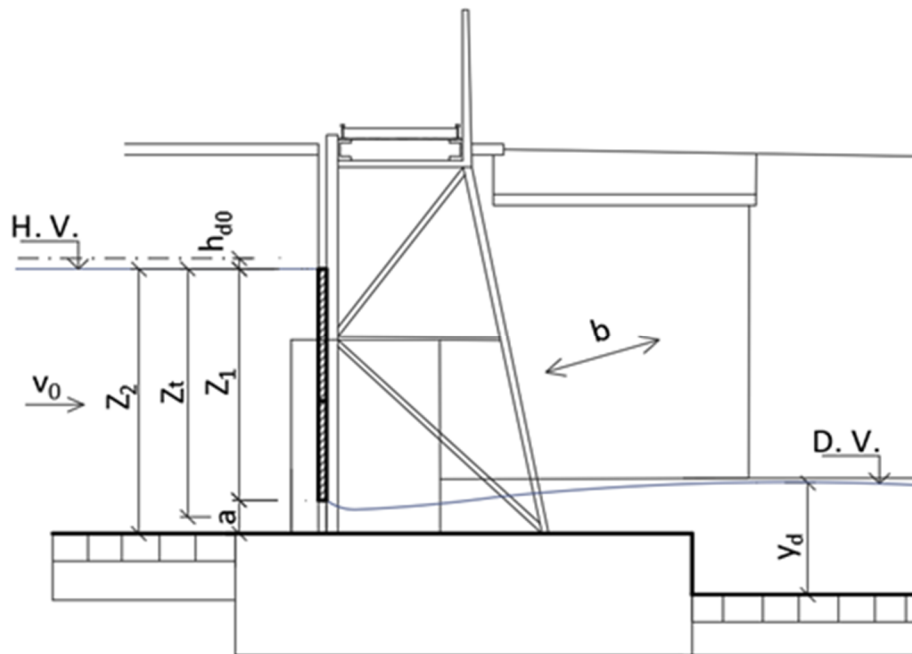
$Z_t$  – vzdálenost od úrovně hladiny vody k těžišti otvoru (m)

$Z_1$  – vzdálenost od úrovně hladiny vody k horní hraně otvoru (m)

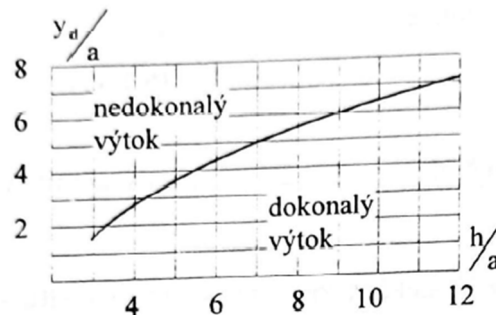
$Z_2$  – vzdálenost od úrovně hladiny vody k dolní hraně otvoru (m)



Obr. 3.7: Schéma pro výpočet výtoku pod horními díly šesti středových stavidel



Obr. 3.8: Schéma pro výpočet výtoku pod dolními díly šesti středových stavidel



Obr. 3.9: Hranice mezi dokonalým a nedokonalým výtokem [16]

Výsledky vlastního výpočtu výtoku pod stavidly byly tabelovány (tab. 3.1 a tab. 3.2). V tabulkách jsou pro porovnání uvedeny i hodnoty z manipulačního řádu.

Dále byly sestaveny konsumpční křivky výtoku pod stavidly pro stav, kdy je ve zdrži udržována minimální či maximální provozní hladina (obr. 3.10 a obr. 3.11). Rozdíly mezi konsumpčními křivkami vlastního výpočtu a manipulačního řádu jsou způsobeny především volbou výtokového součinitele. V manipulačním řádu byl součinitel uvažován konstantní hodnotou 0,7 jak pro malý otvor, tak i pro velký otvor.





### 3.4.4 Kapacita stavidlového jezu při úplném vyhrazení

Pro výpočet kapacity byl jez rozdělen na dvě části. Průtok přes středovou část (obr. 3.12), ve které bylo zjednodušeně uvažováno proudění mostním objektem, byl spočítán dle vztahu 3.10 (přepad přes širokou korunu v Bazinově tvaru). Průtok přes levou i pravou krajní část (obr. 3.13), kde se jednalo spíše o přepad přes širokou korunu, byl spočítán dle stejného vztahu. Jde o fakt, že proudění mostním objektem lze při bočním zúžení proudu chápat také jako přepad přes širokou korunu [18].

Celkový průtok (rovnice 3.11) je pak spočítán jako součet těchto dílčích průtoků. Úroveň dolní vody byla odečtena z konsumpční křivky dolního koryta (obr. 3.3). Součinitel zohledňující vliv zatopení byl odečten z tabulky (tab. 3.3). Ovlivnění či neovlivnění středové části dolní vodou bylo určeno dle rovnice 3.9. Součinitel přepadu přes širokou korunu byl uvažován konstantní hodnotou 0,32 [17]. Součinitel přepadu pro středovou část byl dle tabulky (tab. 3.4) stanoven na hodnotu 0,33 [18].

Podmínka pro určení ovlivnění/neovlivnění dolní vodou:

$$y_{\sigma} > \kappa E, \text{ splněno} = \text{ovlivnění}; \text{ nesplněno} = \text{neovlivnění} \quad (3.9)$$

Přepad přes širokou korunu v Bazinově tvaru:

$$Q = \sigma_z m b_0 \sqrt{2g} E^{\frac{3}{2}} \quad (3.10)$$

Celkový průtok přes jez při úplném vyhrazení:

$$Q = Q_1 + Q_{2,3} \quad (3.11)$$

Kde:

$Q$  – průtok ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )

$m$  – součinitel přepadu (-)

$\sigma_z$  – součinitel zatopení (-)

$b_0$  – účinná šířka přelivné hrany (m)

$g$  – tíhové zrychlení ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ )

$E$  – energetická výška přepadu (m)

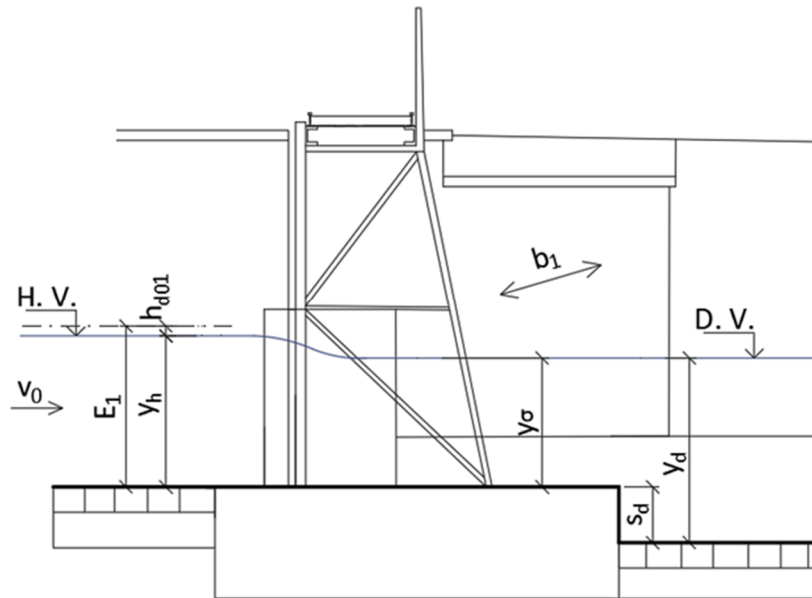
$y_{\sigma}$  – úroveň hladiny dolní vody nad dnem horního koryta



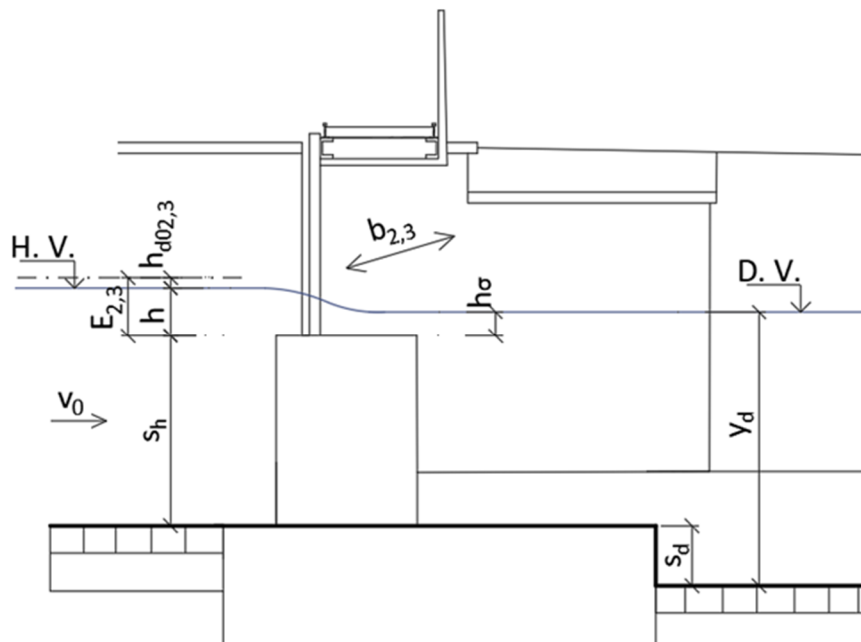
$\kappa$  – součinitel vlivu dolní vody (-), uvažováno 0,75

$s_h$  – výška přelivné hrany nad dnem horního koryta = 1,75 (m)

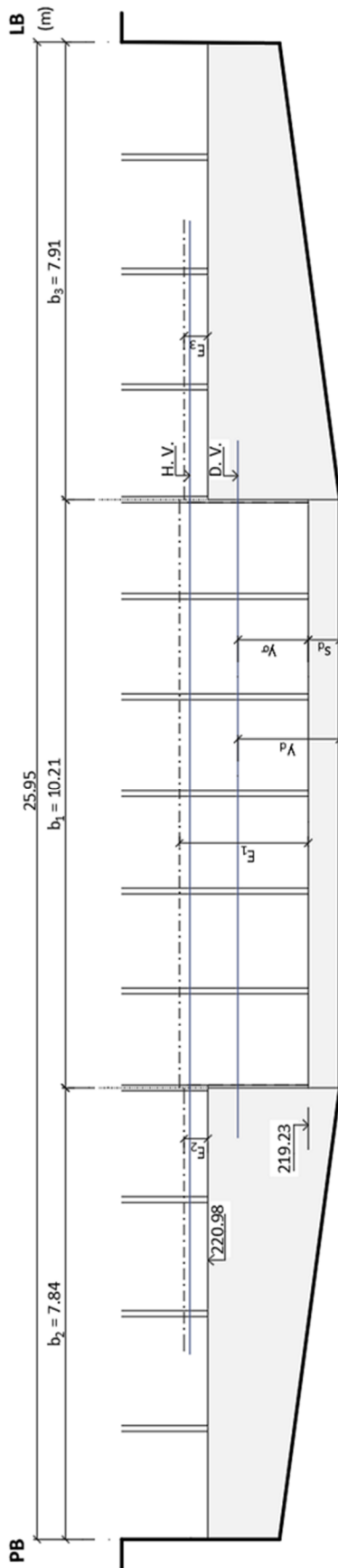
$s_d$  – výška prahu nad dnem dolního koryta = 0,55 (m)



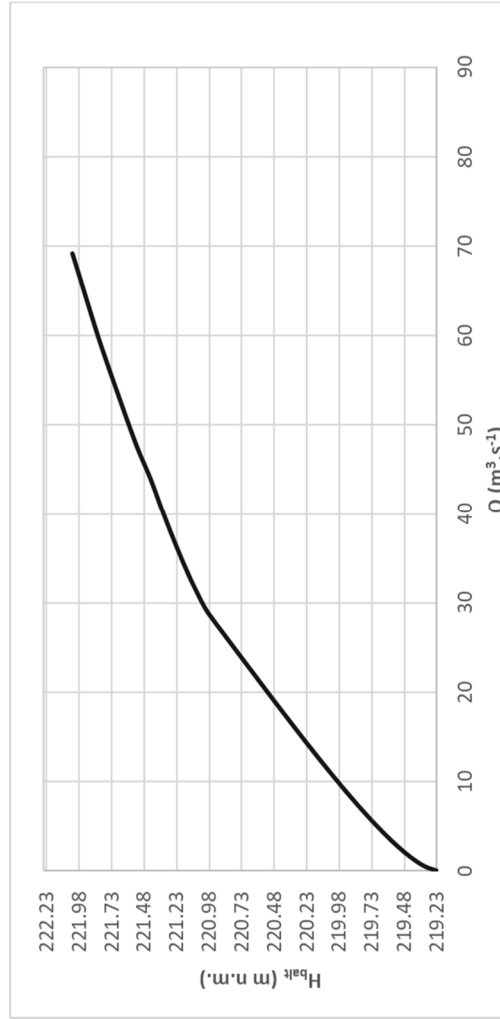
Obr. 3.12: Schéma pro výpočet kapacity jezu při úplném vyhrazení (středová část)



Obr. 3.13: Schéma pro výpočet kapacity jezu při úplném vyhrazení (krajní část)



Obr. 3.14: Schéma pro výpočet kapacity jezu při úplném vyhrazení



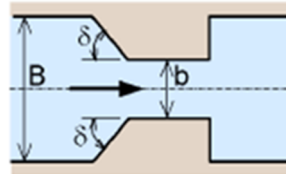
Obr. 3.15: Konzumpční křivka stavidlového jezu při úplném vyhrazení

Tab. 3.3: Součinitel zatopení  $\sigma_z$  pro přepad přes širokou korunu [17]

$h_o(y_o)/h_o(E)$	$\sigma_z$	$h_o(y_o)/h_o(E)$	$\sigma_z$	$h_o(y_o)/h_o(E)$	$\sigma_z$	$h_o(y_o)/h_o(E)$	$\sigma_z$	$h_o(y_o)/h_o(E)$	$\sigma_z$	$h_o(y_o)/h_o(E)$	$\sigma_z$
0.70	1.000	0.75	0.970	0.81	0.940	0.86	0.846	0.91	0.71	0.96	0.440
0.71	0.994	0.76	0.964	0.82	0.926	0.87	0.822	0.92	0.67	0.97	0.330
0.72	0.988	0.77	0.958	0.83	0.912	0.88	0.798	0.93	0.63	0.98	0.220
0.73	0.982	0.78	0.952	0.84	0.898	0.89	0.774	0.94	0.59	0.99	0.110
0.74	0.976	0.80	0.946	0.85	0.870	0.90	0.750	0.95	0.55	1.00	0.000

Tab. 3.4: Součinitel přepadu  $m$  při bočním zúžení [18]

b/B	m pro úhel $\delta$	
	$90^\circ$	$45^\circ$
0	0.320	0.350
0.3	0.327	0.354
0.6	0.340	0.361
0.9	0.367	0.376



Mezní hladina pro posouzení kapacity stavidlového jezu byla zvolena na úrovni 222,03 m n.m. Horní hrana piliřů u vtokového objektu náhonu i obslužná lávka je nad touto hladinou převyšena cca o 0,5 m. Z konsumpční křivky (obr. 3.15) je patrné, že současný stavidlový jez je schopný při této hladině převést průtok (není započten průtok převáděný do náhonu), který zhruba odpovídá průtoku  $Q_{20}$  (tab. 2.1 v podkapitole 2.4).

Jako návrhový průtok, který byl uvažován pro kapacitní výpočty jednotlivých variant nové hradičí konstrukce, byl zvolen průtok  $Q_{20}$ .



## 4. VÝBĚR VHODNÉ VARIANTY NOVÉ HRADICÍ KONSTRUKCE

Pro vzájemné porovnání variant nové hradicí konstrukce bylo zvoleno vícekritériální hodnocení kombinující metodu párového porovnání a bodovací metodu s váhami.

V této kapitole jsou nejprve uvedena jednotlivá kritéria hodnocení. Poté jsou představeny uvažované varianty nové hradicí konstrukce.

V závěru kapitoly je proveden výběr varianty, která nejvhodněji splňuje zvolená kritéria.

### 4.1 Kritéria hodnocení

Pro hodnocení uvažovaných variant bylo zvoleno celkem 11 kritérií. Tyto kritéria jsou nejprve krátce charakterizována.

#### 1. Regulace a udržitelnost hladiny

Hlavním účelem jezu je využití vzniklého hydroenergetického potenciálu k výrobě elektrické energie, proto by nemělo docházet vlivem kolísání hladiny ve zdrži k podkročení minimální provozní hladiny (221,33 m n.m.). Dále toto kritérium zahrnuje i míru schopnosti regulace hladiny.

#### 2. Manipulace a obsluha jezu

Nová hradicí konstrukce by měla minimalizovat nároky na manipulace a obsluhu jezu. U variant s pohyblivými uzávěry se tedy jedná zejména o možnost provozovat jez plně automaticky či alespoň poloautomaticky.

#### 3. Údržba a provoz

Některé jezové uzávěry vyžadují zvýšenou potřebu údržby. S rostoucími požadavky na údržbu se zvyšují provozní náklady a zároveň se mohou zvyšovat i rizika spojená s bezpečností obsluhy jezu či pracovníků, kteří danou údržbu provádí.

#### 4. Průchod ledů a splávi

Dle klimatických poměrů (podkapitola 2.3) lze v jezové zdrži očekávat tvorbu ledových celin. Ledové celiny mohou způsobit zvýšená namáhání pevných či pohyblivých částí jezu. Nová hradicí konstrukce by měla umožnit chod ledů i splávi a zamezit tak jejich hromadění v jezové zdrži či zachycení na uzávěru.



## **5. Průchod splavenin**

Splaveniny unášené tokem se mohou hromadit v jezové zdrži. Při jejich nadměrné akumulaci může dojít ke snížení průtočné kapacity jezového profilu.

## **6. Přívod elektrické energie**

V současnosti není k jezu přivedena elektrická energie. U variant s pohyblivým uzávěrem by bylo nutné dořešit přívod elektrické energie k jezu.

## **7. Vliv na životní prostředí**

V současné době je kladen čím dál tím větší důraz na začlenění vodohospodářských staveb do okolní krajiny s co nejmenším vlivem na životní prostředí. Při nesplnění těchto požadavků může být realizace stavby i zamítnuta.

Vzhledem k situaci, že stávající jez tvoří migrační překážku na toku, je v rámci změny hradičí konstrukce zohledněn i návrh rybího přechodu.

## **8. Soustředění vyšších průtoků do střední části podjezí**

U stávajícího jezu jsou větší průtoky převáděny do podjezí převážně střední částí jezového pole. U nové hradičí konstrukce je snaha tento stav zachovat s cílem zmírnit účinky podemílání břehových partií pod jezem.

## **9. Délka a hloubka vývaru**

Parametry vývaru mají částečný vliv na celkovou cenu stavby. S rostoucí hloubkou se zvyšují hlavně náklady na zemní práce, zatímco s rostoucí délkou se zvyšuje převážně spotřeba betonu.

## **10. Cena**

Jedná se o jedno z hlavních kritérií, které může rozhodnout o tom, zda bude stavba realizována či nikoliv. Do celkové ceny stavby se projevuje zejména cena za spotřebovaný materiál. Ta se poslední dobou vlivem inflace velmi mění.

## **11. Kapacita**

Stávající jez je schopný při hladině na úrovni 222,03 m n.m. převést průtok  $Q_{20}$ . Nová hradičí konstrukce by neměla zmenšovat průtočnou kapacitu jezového profilu.

## 4.2 Stanovení vah jednotlivých kritérií

Váhy jednotlivých kritérií byly stanoveny dle metody párového porovnání (metoda Fullerova trojúhelníku) [19][20].

Princip metody spočívá v porovnání vždy kritéria uvedeného na řádku s kritériem uvedeným ve sloupci (ve sloupcích jsou uvedena pouze čísla kritérií). Kritérium, které je uvažováno jako preferovanější, získá bod (zapsáno číslem 1). V opačném případě se do pole zapíše číslo 0. Tímto způsobem jsou mezi sebou porovnána všechna kritéria.

Jelikož je výběr preferovaného kritéria velmi subjektivní, tak byli o pomoc požádáni spolužáci. Každý ze spolužáků vyplnil formulář, který svojí strukturou odpovídal níže uvedené tabulce (tab. 4.1). Cílem bylo více zobjektivnit volbu preferovaného kritéria.

Celkem bylo vyplněno 9 formulářů, proto se v polích neobjevuje číslo 1 či 0, ale číslo, které svojí hodnotou odpovídá počtu přidělených preferenčních bodů.

Poté byl stanoven celkový počet preferencí pro každé kritérium. Ten je stanoven jako součet preferenčních bodů kritéria na řádku, ke kterému je dále přičten chybějící počet bodů do maximálního počtu bodů v každém poli ve sloupci (pro stejné kritérium). Maximální počet bodů odpovídá počtu vyplněných formulářů (tedy 9).

Dále bylo určeno i pořadí jednotlivých kritérií na základě stanovených vah. Při shodě vah dvou kritérií byla lepší pozice přiřazena preferovanějšímu z obou kritérií.

Váha jednotlivých kritérií je vypočtena dle vztahu 4.1.

Výpočet váhy kritéria:

$$v_i = \frac{p_i}{n(n-1)/2} \cdot \frac{1}{f} \quad (4.1)$$

Kde:

$v_i$  – váha  $i$ -tého kritéria

$p_i$  – počet preferencí  $i$ -tého kritéria

$n$  – celkový počet kritérií

$f$  – počet formulářů



Tab. 4.1: Sestavený Fullerův trojúhelník pro určení vah jednotlivých kritérií [19][20]

Č.	Kritérium	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Počet preferencí (p <sub>i</sub> )	Váha (v <sub>i</sub> )	Pořadí
1	Regulace a udržitelnost hladiny	X	8	5	5	7	7	7	9	9	7	5	69	0.14	1
2	Manipulace a obsluha jezu		X	6	6	5	7	4	8	6	5	4	52	0.11	3
3	Údržba a provoz			X	4	5	8	5	7	6	6	4	52	0.11	4
4	Průchod ledů a spláví				X	4	7	4	7	6	4	3	47	0.09	6
5	Průchod splavenin					X	7	3	6	5	3	2	41	0.08	8
6	Přívod elektrické energie						X	2	5	4	3	4	27	0.05	10
7	Vliv na životní prostředí							X	5	5	6	5	50	0.10	5
8	Soustředění vyšších průtoků do střední části podjezí								X	4	4	1	25	0.05	11
9	Délka a hloubka vývaru									X	3	2	32	0.06	9
10	Cena										X	3	43	0.09	7
11	Kapacita											X	57	0.12	2
Celkem														1.00	

Jako nejpreferovanější kritéria byla vyhodnocena „Regulace a udržitelnost hladiny“ a „Kapacita“. Na nejnižší pozici se umístilo kritérium „Soustředění vyšších průtoků do střední části podjezí“.

### 4.3 Přehled uvažovaných variant

Celkem bylo pro novou hradicí konstrukci uvažováno 8 variant. Jedná se o varianty pevného jezu či pohyblivého jezu s klapkovým nebo vakovým uzávěrem, popřípadě kombinaci těchto variant.

Primární snahou bylo vybrat takové varianty, které by co nejlépe splňovali uvedená kritéria a zároveň by bylo možné uvažovat i o jejich realizaci.

Klapkový uzávěr byl uvažován z důvodu, že se jedná o typizovaný uzávěr používaný v České republice.

Vakový uzávěr byl uvažován s hlavním cílem, a to zachovat jednotnost uzávěrů použitých na řece Loučné (jez Počaply má také vakový uzávěr).

Stavidlový a segmentový uzávěr nebyl uvažován z důvodu vysokých a mohutných pilířů, které se velmi špatně začleňují do okolního prostředí. Navíc u tohoto typu uzávěrů je z pilířů do podloží přenášeno převážně koncentrované bodové zatížení, které vyžaduje vyšší únosnost základové půdy.

Hydrostatické uzávěry (sektor, segment atd.) nebyly uvažovány z důvodu zvýšených nároků na údržbu a spodní stavbu jezu.

Válcový uzávěr se v dnešní době již nenavrhuje, proto nebyl uvažován.

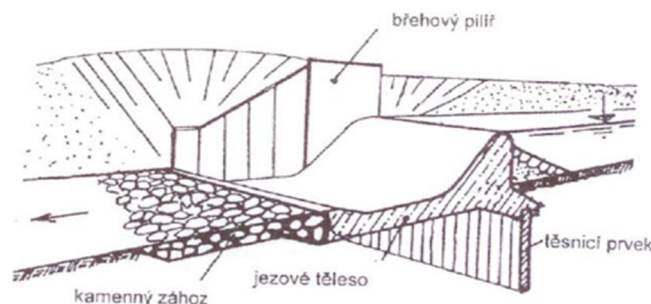
Další výhody či nevýhody použitých uzávěrů vyplývají ze samotného bodování jednotlivých variant (podkapitola 4.4) a komentáře k tomuto bodování (podkapitola 4.4.1).

### 4.3.1 Pevný jez

Pevný jez (obr. 4.1) je charakteristický tím, že nedisponuje žádným pohyblivým uzávěrem. Vzdouvá tedy hladinu pouze svým vlastním tělesem, které může mít různé tvary i provedení. Na těleso jezu s vhodně tvarovanou přelivnou plochou navazuje vývarová deska zakončená prahem. U břehů jsou realizovány pilíře a pro plynulé napojení na svahy koryta jsou budována i břehová křídla. [14][21]

V současné době se pevné jezy nejčastěji budují jako betonové, ale v minulosti byly velmi rozšířené i kamenné, dřevěné či zděné jezy.

Kvůli omezení výrazného kolísání hladiny je nutné u pevného jezu vybudovat přelivnou hranu značné délky. Přelivná hrana může být půdorysně, ale i výškově různě zakřivena či zalomena. [14][21]



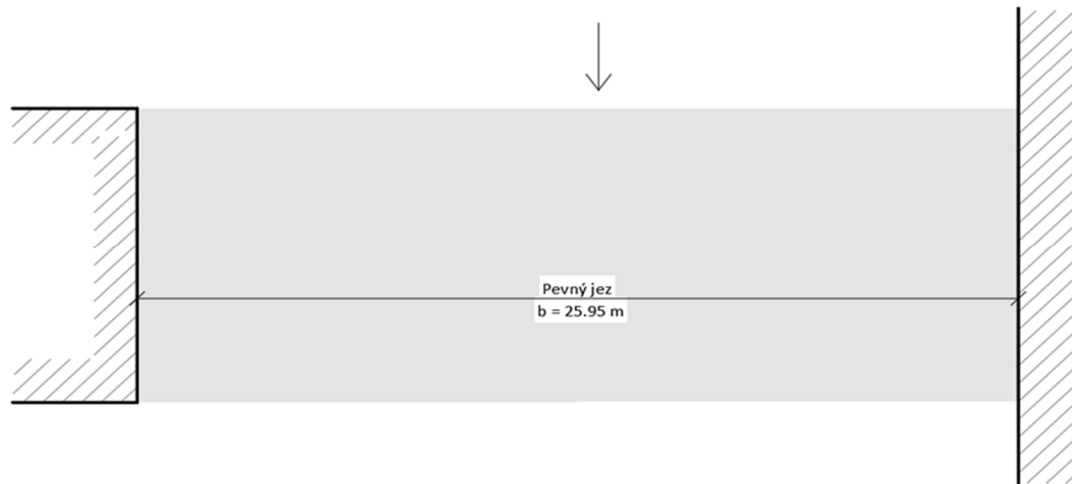
Obr. 4.1: Pevný jez [14]



Pro pevný jez byly uvažovány tyto varianty:

### A) Pouze pevný jez

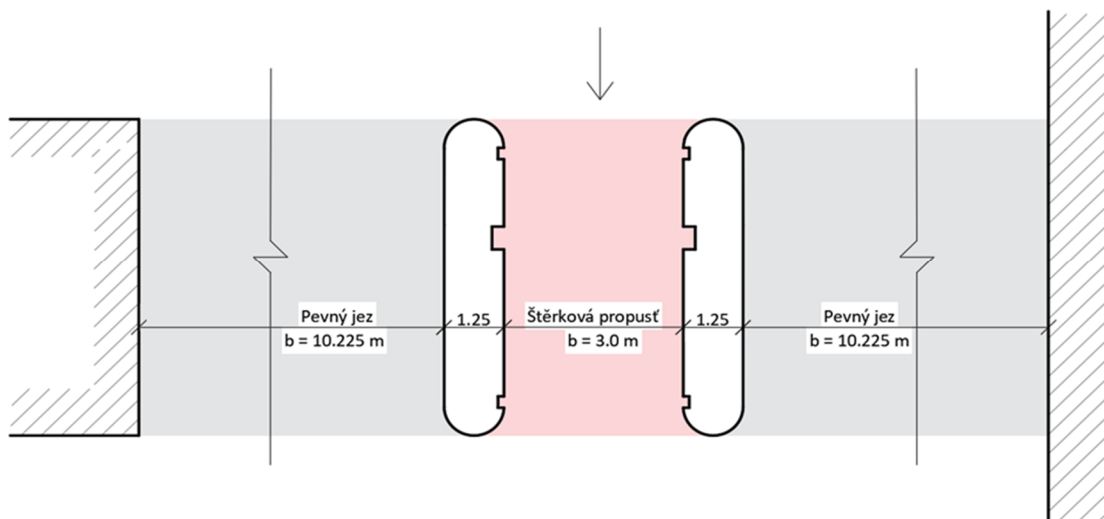
Jedná se o variantu pevného betonového jezu s délkou přelivné hrany 25,95 m. Přelivná hrana je na úrovni 220,93 m n.m.



Obr. 4.2: Schéma půdorysného uspořádání varianty A

### B) Pevný jez se štěrkovou propustí

Samotný pevný jez je zde doplněn o středovou štěrkovou propust' hrazenou deskovým stavidlem. Světlá šířka propusti je 3 m a celková délka přelivné hrany pevného jezu je v tomto případě 20,45 m. Přelivná hrana u pevného jezu je na úrovni 220,93 m n.m.



Obr. 4.3: Schéma půdorysného uspořádání varianty B

### 4.3.2 Klapkový uzávěr

Jedná se o typ pokloповého uzávěru, který má osu otáčení umístěnou na spodní stavbě. Klapkové uzávěry je možné dělit na tři základní typy, a to na troubovou, deskovou a dutou klapku [14].

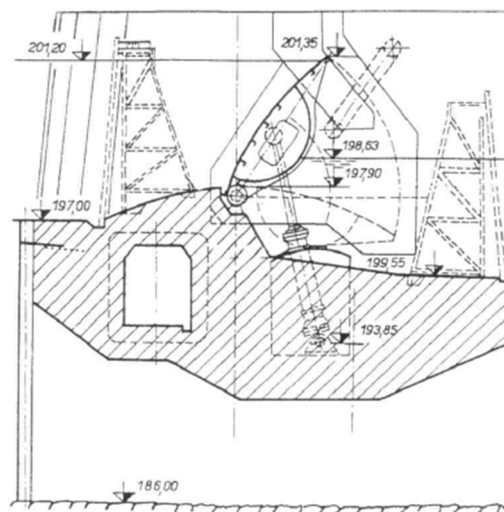
Hlavní nosný systém deskové klapky tvoří žebra ve tvaru lichoběžníku, která jsou v podélném směru propojena jedním nosníkem s profilem ve tvaru I. Na žebrech se nachází hradicí plech. Každé žebro má čepové ložisko. [14][21]

Troubová klapka je tvořena žebry vetknutými do nosné duté trouby. Žebra podpírají hradicí plech. [14]

Dnes nejpoužívanějším typem je dutá klapka (obr. 4.4). Hlavní nosný systém tvoří duté uzavřené těleso čochkovitého tvaru, které je vnitřně vyztuženo žebry (diafragmami). Pomocí těchto žebek je klapka napojena na čepová ložiska, která jsou připevněna ke spodní stavbě. V plechu na vzdušné straně jsou zhotoveny otvory sloužící pro bezproblémové úplné sklopení klapky pod hladinu dolní vody. [14][21]

V současnosti je pohyb duté klapky běžně zajišťován hydromotory. Ty mohou klapku podpírat nebo na nich může být klapka zavěšena. Díky zvýšené tuhosti hradicí konstrukce je možné dutou klapku ovládat pouze jednostranně. [14][21]

Dutou klapku lze použít na pole s rozpětím 15 až 20 m s hrazenou výškou v rozmezí 2 až 5 m.

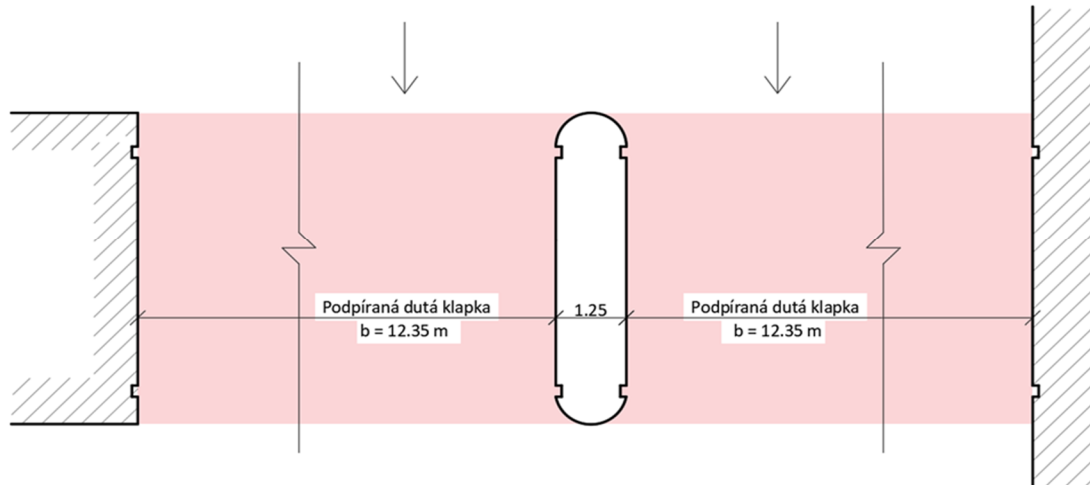


Obr. 4.4: Dutá klapka podpíraná hydromotorem [14]

Pro klapkový uzávěr byly uvažovány tyto varianty:

### C) Podpíraná dutá klapka na dvou polích

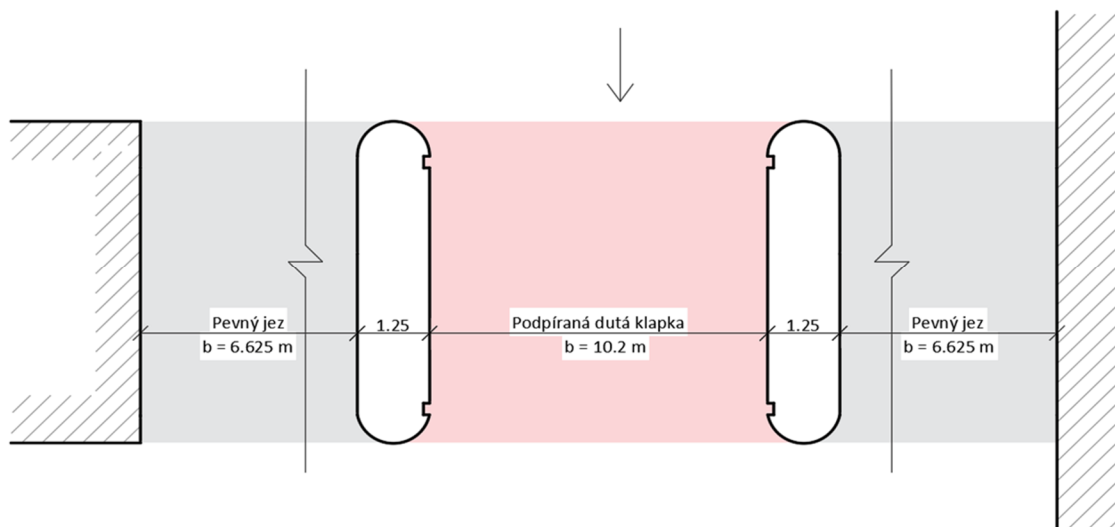
Dutá klapka, která je podpírána hydromotory, má hradičí výšku 1,55 m a je umístěna na dvou polích se světlou šířkou 12,35 m.



Obr. 4.5: Schéma půdorysného uspořádání varianty C

### D) Podpíraná dutá klapka a pevný jez

V této variantě je podpíraná dutá klapka umístěna pouze ve středovém poli o světlosti 10,2 m. Zbylá část jezového pole je tvořena pevným jezem s celkovou délkou přelivné hrany 13,25 m. Přelivná hrana u pevného jezu je na úrovni 221,28 m n.m.



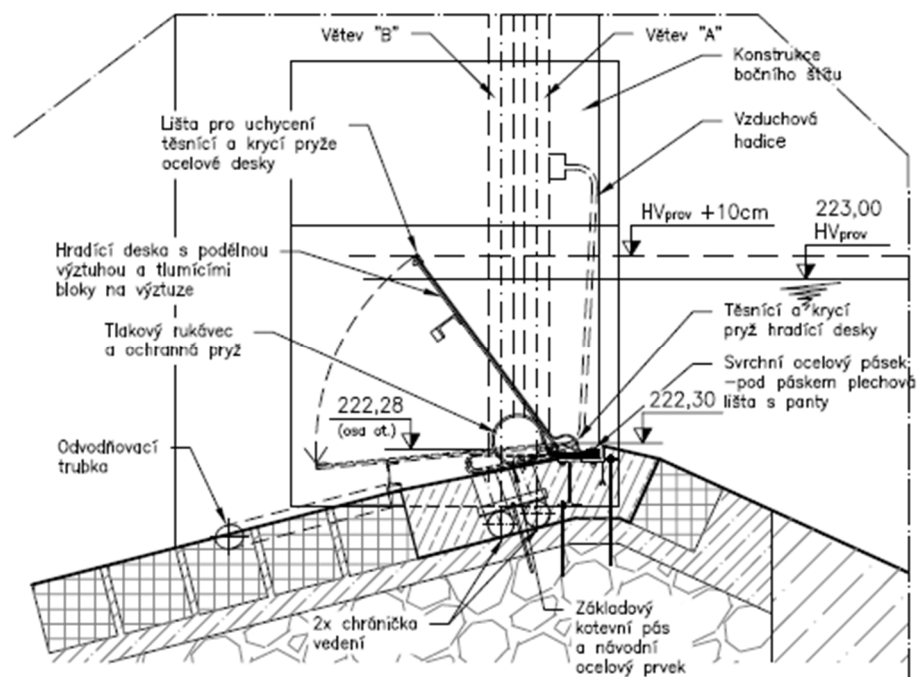
Obr. 4.6: Schéma půdorysného uspořádání varianty D

### 4.3.3 Desková klapka podpíraná tlakovým rukávцем

Jedná se pokloповý uzávěr, který byl použit na jezu Nižbor. Jak již z názvu vyplývá, tak vlastní hradičí konstrukce je tvořena ocelovou deskovou klapkou, která je podpírána tlakovým rukávцем (vakem). Hlavním nosným prvkem je v tomto případě pouze jeden podélný nosník s profilem tvaru I. Celá hradičí plocha klapky je navíc potažena krycí pryží, která zde plní těsnící funkci. Klapka je ke spodní stavbě přichycena pomocí kotevního pásu s ocelovými panty.

Pohyb klapky je zajištěn automaticky, a to sklápěním či zdviháním rukávce naplněného vzduchem. Přívod vzduchu do rukávce zajišťuje kompresor.

Výše uvedené informace včetně konstrukce uzávěru (obr. 4.7) byly převzaty z poskytnuté části výkresové dokumentace [22].

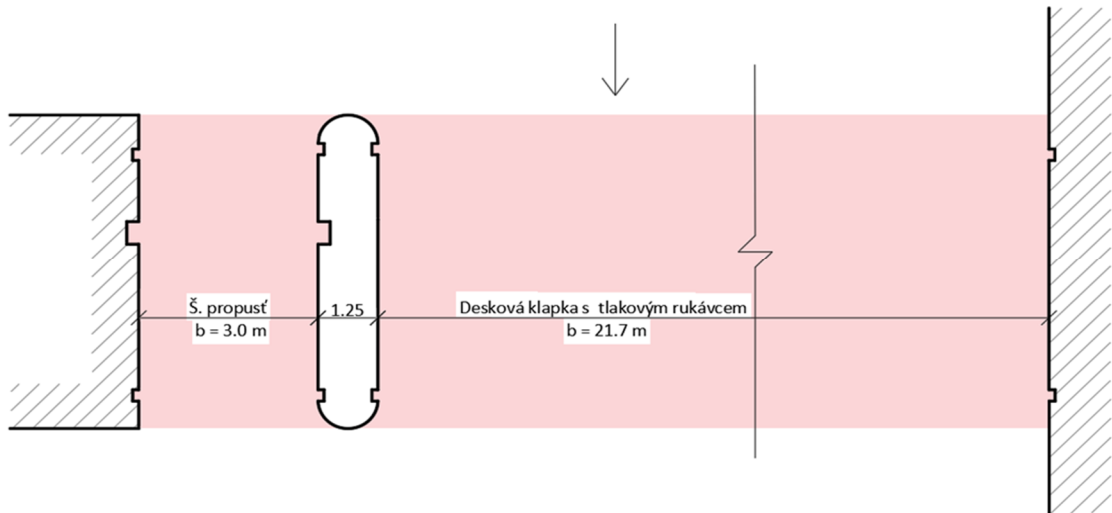


Obr. 4.7: Příčný řez pokloповým uzávěrem (Jez Nižbor) [22]

Pro tento typ uzávěru byly uvažovány následující varianty:

### E) Desková klapka podpíraná tlakovým rukávцем a štěrková propust'

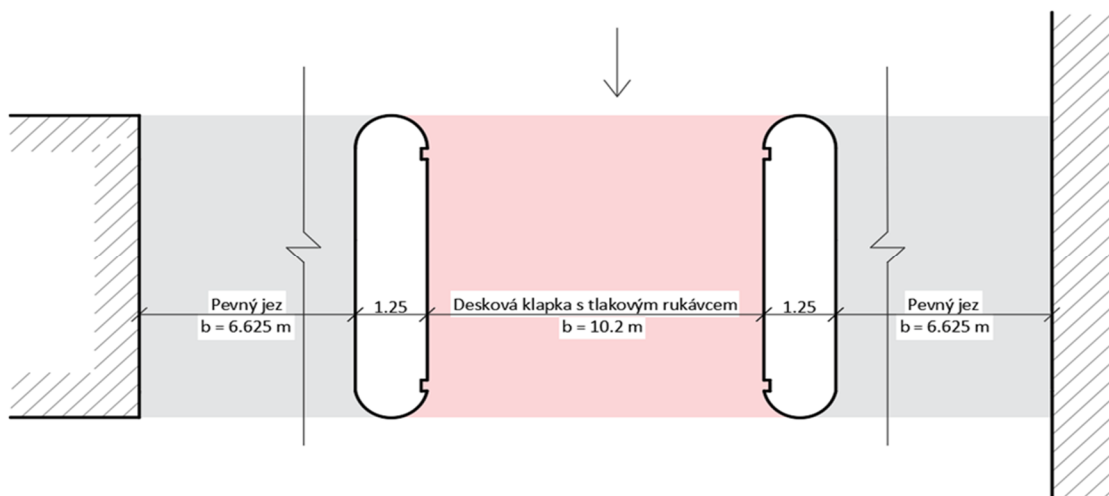
Jezové pole je rozděleno na dvě části. Pole o světlosti šířce 21,7 m je hrazeno deskovou klapkou s hradičí výškou 1,55 m. Zbylá část jezového pole, která má světlost šířku 3 m, slouží jako štěrková propust' a je hrazena deskovým stavidlem.



Obr. 4.8: Schéma půdorysného uspořádání varianty E

### F) Desková klapka podpíraná tlakovým rukávцем a pevný jez

V tomto případě je desková klapka umístěna pouze ve středovém poli o světlosti 10,2 m. Zbylá část jezového pole je tvořena pevným jezem s celkovou délkou přelivné hrany 13,25 m. Přelivná hrana u pevného jezu je na úrovni 221,28 m n.m.



Obr. 4.9: Schéma půdorysného uspořádání varianty F

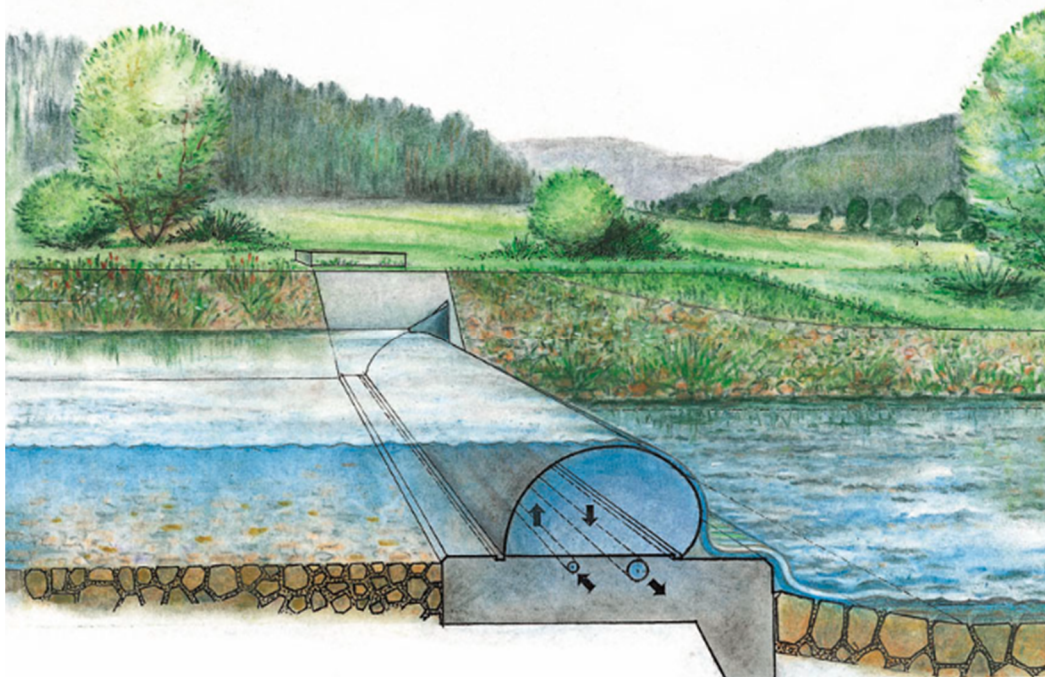
#### 4.3.4 Vakový uzávěr

Jedná se o moderní pohyblivou hradicí konstrukci, která je ve většině případů plně automatická [23]. Vlastní těleso uzávěru je tvořeno vakem z pryžotextilní membrány, která je ukotvena ke spodní stavbě pomocí ocelových válcovaných profilů (nejčastěji dvojitý U profil) a kotvících šroubů. Vak je naplněn vodou a jeho sklápění či zdvihání je realizováno změnou tlaku vodu. Pro úplné vztyčení vaku je nutné, aby byl ve vaku mírný přetlak.

Vak je propojen systémem potrubí s manipulačními šachtami umístěnými v břehovém (eventuálně v návodním) pilíři. Tímto způsobem je zajištěna doprava vody ze šachet do vaku.

V manipulačních šachtách je umístěno i elektronické zařízení, kterým se ovládá pohyb vaku.

Vakový uzávěr je možné použít jako hradicí uzávěr pro malé vodní elektrárny, zavlažovací systémy či pro rekonstrukce starších pevných nebo pohyblivých jezů. Obecně ho lze použít pro jezová pole s velkým rozpětím. [23]

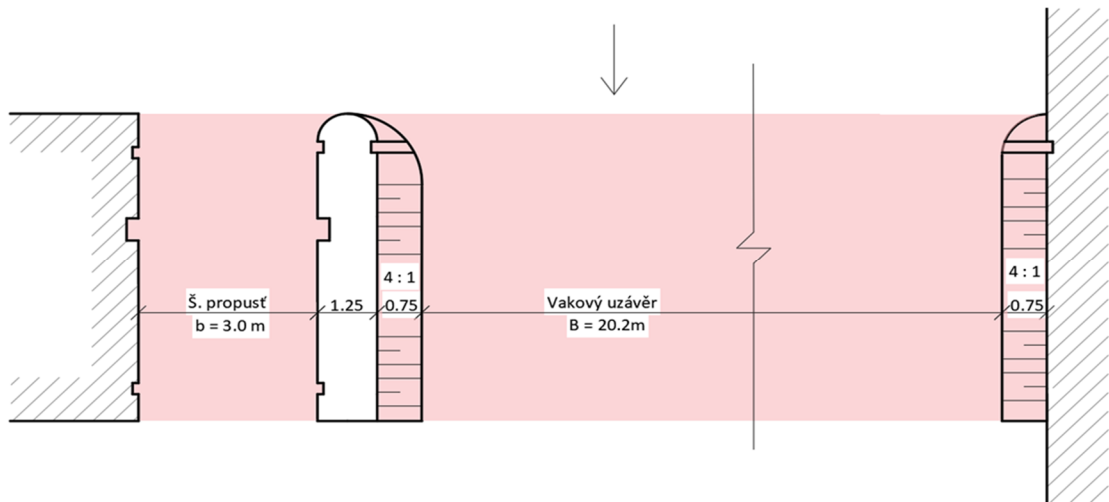


Obr. 4.10: Vakový jez [23]

Pro vakový uzávěr byly uvažovány tyto varianty:

### G) Vakový uzávěr a štěrková propust'

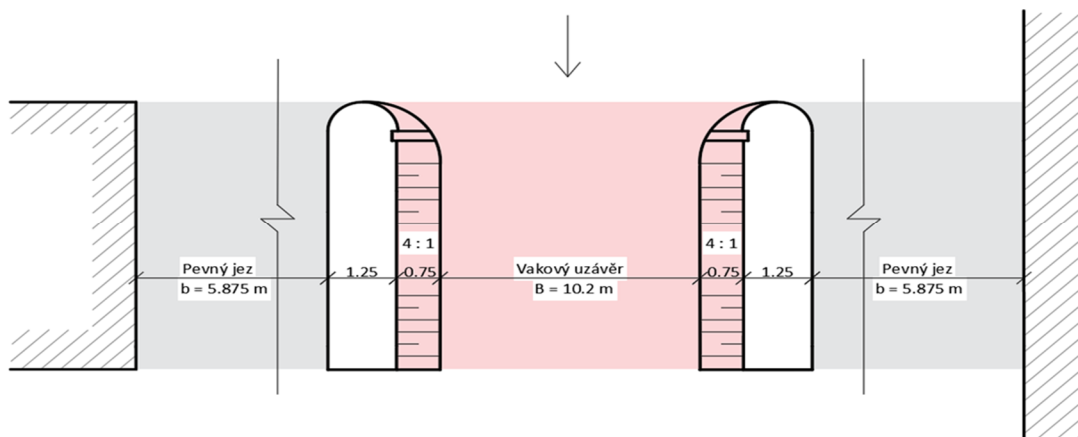
V této variantě je uvažován vakový uzávěr, který je umístěn v poli se šířkou ve dně 20,2 m. Vak má hradičí výšku 1,55 m a je kotven na stěny pilířů ve sklonu 4:1. Druhé pole, které má světlou šířku 3 m a slouží jako štěrková propust', je hrazeno deskovým stavidlem.



Obr. 4.11: Schéma půdorysného uspořádání varianty G

### H) Vakový uzávěr a pevný jez

V tomto případě hradí vakový uzávěr pouze středové pole, které má ve dně světlou šířku 10,2 m. Sklony stěn pilířů jsou shodné s přechozí variantou. Zbýlá část jezového pole je tvořena pevným jezem s celkovou délkou přelivné hrany 11,75 m. Přelivná hrana u pevného jezu je na úrovni 221,28 m n.m.



Obr. 4.12: Schéma půdorysného uspořádání varianty H

## 4.4 Obodování jednotlivých variant

Jednotlivé body byly výše uvedeným variantám uděleny dle bodovací metody [19][20].

Princip metody je velmi jednoduchý a spočívá v tom, že se každá varianta pro zvolené kritérium ohodnotí body 0 až 10. Čím je číslo vyšší, tím daná varianta vhodněji splňuje dané kritérium. Takto se postupně obodují jednotlivé varianty u všech kritérií.

Následně se udělené body ( $b_{ij}$ ) u jednotlivých variant vynásobí váhou kritérií ( $v_i$ ), která vychází z metody Fullerova trojúhelníku. Celková užítlost variant je pak stanovena jako suma dílčích užítlostí (rovnice 4.2).

Výpočet celkové užítlosti:

$$U_j = \sum_{i=1}^n b_{ij} v_i \quad (4.2)$$

Varianta s nejvyšší hodnotou celkové užítlosti je vybrána jako preferovaná.

Bodování variant včetně finálního pořadí je uvedeno v následující tabulce (tab. 4.2).

Tab. 4.2: Bodování jednotlivých variant nové hradičí konstrukce

Varianty	Č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Užítlost ( $U_j$ )	Pořadí
	Kritérium	Regulace a udržitelnost hladiny	Manipulace a obsluha jezu	Údržba a provoz	Průchod ledu a splávi	Průchod splavenin	Přívod elektrické energie	Vliv na životní prostředí	Soustředění vyšších průtoků do střední části podjezí	Délka a hloubka vývaru	Cena	Kapacita		
	Váha ( $v_i$ )	0.14	0.11	0.11	0.09	0.08	0.05	0.10	0.05	0.06	0.09	0.12		
<b>A</b> _Pevný jez	body	0	10	10	3	0	10	8	0	10	10	5	5.87	6
	$b_{ij} \times v_i$	0.00	1.10	1.10	0.27	0.00	0.50	0.80	0.00	0.60	0.90	0.60		
<b>B</b> _Pevný jez + Štěrková propust	body	2	9	9	3	9	5	7	5	9	8	6	6.43	3
	$b_{ij} \times v_i$	0.28	0.99	0.99	0.27	0.72	0.25	0.70	0.25	0.54	0.72	0.72		
<b>C</b> _Podpíraná dutá klapka (2 pole)	body	10	6	5	8	4	0	5	0	4	0	4	4.87	8
	$b_{ij} \times v_i$	1.40	0.66	0.55	0.72	0.32	0.00	0.50	0.00	0.24	0.00	0.48		
<b>D</b> _Podpíraná dutá klapka + Pevný jez	body	10	6	5	7	4	0	6	10	2	2	8	5.92	5
	$b_{ij} \times v_i$	1.40	0.66	0.55	0.63	0.32	0.00	0.60	0.50	0.12	0.18	0.96		
<b>E</b> _Desková klapka s tlakovým rukávцем + Štěrková propust	body	10	7	6	8	9	0	6	0	7	2	3	5.83	7
	$b_{ij} \times v_i$	1.40	0.77	0.66	0.72	0.72	0.00	0.60	0.00	0.42	0.18	0.36		
<b>F</b> _Desková klapka s tlakovým rukávцем + Pevný jez	body	10	7	6	7	3	0	7	10	3	5	7	6.37	4
	$b_{ij} \times v_i$	1.40	0.77	0.66	0.63	0.24	0.00	0.70	0.50	0.18	0.45	0.84		
<b>G</b> _Vak + Štěrková propust	body	10	8	7	9	9	0	9	0	7	3	4	6.65	2
	$b_{ij} \times v_i$	1.40	0.88	0.77	0.81	0.72	0.00	0.90	0.00	0.42	0.27	0.48		
<b>H</b> _Vak + Pevný jez	body	10	8	8	9	2	0	10	10	5	6	9	7.55	1
	$b_{ij} \times v_i$	1.40	0.88	0.88	0.81	0.16	0.00	1.00	0.50	0.30	0.54	1.08		





## 4.4.1 Komentář s odůvodněním bodového hodnocení

### 1. Regulace a udržitelnost hladiny

U pevného jezu (Var. A) není možné regulovat hladinu vody ve zdrži. Poloha hladiny je závislá pouze na průtoku a může tedy docházet k jejímu častému kolísání, což je provoz malé vodní elektrárny krajně nevhodné. Tento problém by mohl být eliminován například zvětšením délky přelivné hrany, avšak aby bylo možné udržovat hladinu vody ve zdrži na minimální provozní hladině (221,33 m n.m.; pro návrh uvažováno jako běžný stav) s minimálním kolísáním, musela by se délka přelivné hrany pohybovat kolem 200 m.

Z tohoto důvodu byla varianta A hodnocena velmi negativně. U varianty B je možné hladinu alespoň částečně regulovat pomocí stavidla ve šterkové propusti. Proto byla varianta B hodnocena lépe než varianta A.

U variant, kde byla uvažována kombinace pevného jezu a přelévání uzávěru, bylo kapacitně možné snížit korunu přelivné hrany u pevného jezu pouze o 5 cm (důvod zavodnění hrany v zimních a letních měsících), proto zde bude možné v běžném stavu udržovat minimální provozní hladinu bez výrazného kolísání.

U variant, kde jsou použity pouze přelévání uzávěry nebo je uvažována kombinace přelévání uzávěrů se šterkovou propustí, lze velmi přesně regulovat polohu hladiny vody ve zdrži.

Z tohoto hlediska byly varianty (vyjma Var. A a Var. B) hodnoceny maximálním počtem bodů.

### 2. Manipulace a obsluha jezu

Pevný jez nevyžaduje trvalou obsluhu, proto byla Var. A i Var. B hodnocena velmi pozitivně.

U variant s pohyblivými uzávěry je možné jez plně automatizovat. Avšak i přes plně automatický provoz, je vyžadována alespoň občasná obsluha.

Nároky na obsluhu jezu úzce souvisí s údržbou uzávěrů. Obecně lze říct, že u vakových uzávěrů jsou požadavky na obsluhu nižší než u klapkových uzávěrů, proto byly varianty G a H hodnoceny vyšším počtem bodů.



### 3. Údržba a provoz

Pevný jez je velmi málo náročný na údržbu, proto byla Var. A i Var. B hodnocena velmi pozitivně.

Vakové uzávěry jsou náchylné k mechanickému poškození, avšak kompletní výměna vaku či oprava drobných poškození je víceméně jednoduchá. Životnost vaku se v dnešní době pohybuje kolem 20 let. [23]

Obecně platí, že ocelové konstrukce musí být pravidelně natírány ochrannými antikorozními nátěry. Životnost ocelových konstrukcí se pohybuje kolem 40 až 50 let.

U klapkových uzávěrů (Var. C a Var. D) je nutné pravidelně provádět kontrolu hydromotorů kvůli jejich zanášení či případným únikům oleje. Z hlediska provozu se mohou klapkové uzávěry snadněji opotřebovat a také mají vyšší požadavky na kvalitu provedeného těsnění.

U variant E a F by mohla být například problematická výměna hradičího uzávěru. Dalším problémem by mohlo být nadměrné chvění uzávěru při přepadu vody.

### 4. Průchod ledů a splávi

Pevné jezy umožňují průchod splávi. Převod ledů je u pevných jezů velmi závislý na kolísání hladiny vody a při velmi nízkých průtocích může dojít i k zamrznutí části zdrže. V tomto případě by bylo nutné ledy například odsekávat či řezat.

U varianty B by bylo možné převádět ledy i plně vyhrazenou šterkovou propustí, ale za cenu velkých ztrát objemu vody.

Z těchto hledisek byla varianta A i B ohodnocena nižším počtem bodů a u variant D, F a H, kde by mohlo být problematické převádění ledů přes části s pevným jezem, byl počet bodů také snížen.

Ocelové uzávěry mohou v porovnání s vakovými snadněji namrznat. U podpírané duté klapky je tento problém možné řešit vyhříváním uzávěru. Vakové uzávěry je zase možné v zimním období plnit teplejší říční vodou [11].



## 5. Průchod splavenin

Pevné jezy neumožňují průchod splavenin, proto hrozí zvýšené zanášení zdrže.

Varianty se šterkovou propustí umožňují převádět splaveniny lépe než varianty C, D, F a H, u kterých by bylo zapotřebí pro průchod splavenin vyhradit celý uzávěr, a to za cenu velkých ztrát na objemu vody ve zdrži.

## 6. Přívod elektrické energie

Pevné nevyžadují přívod elektrické energie.

U ostatních variant by bylo nutné zajistit přívod elektrické energie k jezu.

## 7. Vliv na životní prostředí

Pevné či vakové jezy nevytváří žádné negativní vlivy na životní prostředí a lze je velmi snadno začlenit do okolní krajiny.

U varianty A i B byl v hodnocení snížen počet bodů kvůli faktoru, že by vlivem kolísání hladiny vody ve zdrži mohlo dojít k nedodržení minimálního průtoku v rybím přechodu či k nedodržení minimálního zůstatkového průtoku v podjezí.

Varianty s podpíranou dutou klapkou byly hodnoceny negativně z důvodu možného úniku maziv z hydromotorů. Dále byl zohledněn fakt, že přelévané klapky mohou být v provozu i velmi hlučné.

Do hodnocení byl zahrnut i předpoklad havarijního stavu, při kterém by došlo k výpadku elektrické energie za povodňových průtoků. Klapkový uzávěr by bylo nutné při tomto stavu sklopit manuálně, což by nemuselo být v danou situaci ihned úplně možné a mohlo by tak dojít ke zvýšeným rozlivům. Vakový uzávěr je schopen při stejných podmínkách povodňovou vlnu alespoň částečně transformovat samovolným (hydrostatickým) sklopením a tím zmírnit účinky povodně na okolní prostředí.

## 8. Soustředění vyšších průtoků do střední části podjezí

Varianty, u kterých je pohyblivý uzávěr umístěn ve středovém poli, umožňují soustředění průtoků do střední části podjezí. U ostatních variant jsou vyšší průtoky převáděny přes celé jezové pole.

## 9. Délka a hloubka vývaru

Aby bylo možné vyhodnotit toto kritérium, tak byla pro každou variantu hradicí konstrukce navržena hloubka a délka vývaru. Při stanovování parametrů vývaru byly pro jednotlivé varianty zohledněny všechny možné manipulace s uzávěry. Postup výpočtu je uveden v hydrotechnických výpočtech (kapitola 6).

Z výpočtu vyplynulo, že by u všech variant postačilo bezvývarové řešení. To je způsobeno tím, že dolní voda při všech průtocích dostatečně zavzdouvá vodní skok (míra vzduť  $\sigma > 1,1$ ). Kvůli stabilizaci vodního skoku a ochranně dna v podjezí před vymíláním byl u jednotlivých variant navržen alespoň konstrukční vývar o hloubce 0,3 m.

Navržené parametry vývaru jednotlivých variant hradicí konstrukce jsou uvedeny v následující tabulce (tab. 4.3).

Tab. 4.3: Parametry vývaru jednotlivých variant

Varianta	d	l
	(m)	(m)
A	0.3	7.7
B	0.3	7.8
C	0.3	10.7
D	0.3	12.0
E	0.3	9.3
F	0.3	11.8
G	0.3	9.3
H	0.3	10.2

Varianty byly hodnoceny pouze z hlediska délky vývaru. Nejvyšší počet bodů získala varianta A. Nejnižším počtem bodů byla ohodnocena varianta D.

## 10. Cena

Pro lepší představu bylo provedeno i cenové ohodnocení jednotlivých variant. Celkové ceny, které jsou uvedeny v tabulce 4.5, vycházejí ze spotřeby použitých materiálů a nákladů na vakové uzávěry.

Do celkové ceny nebyly zahrnuty náklady na rybí přechod, úpravu břehových piliřů a obslužnou lávku.

Primární snahou v rámci hodnocení bylo vycházet z aktuálních cen, proto byly jednotkové ceny materiálů poptány u výrobců jezových uzávěrů a u projekčních kanceláří, které s danými typy uzávěrů pracují.

Jednotkové ceny pro klapkový uzávěr a deskové stavidlo byly poskytnuty firmou Ševčík HYDRO s.r.o. Nacenení vakových uzávěrů provedla firma AQUATIS a.s. Ceny vakových uzávěrů zahrnují i náklady na strojní a elektrotechnologické vybavení manipulačních šachet.

Jednotková cena betonu (tab. 4.5) vychází z platného ceníku [25] betonárny provozované společností CEMEX. Tato betonárna byla vybrána z důvodu, že se nachází nedaleko města Sezemice, tedy místa případné realizace nové hradicí konstrukce. Jednotková cena byla uvažována pro specifikaci betonu C30/37 – XM3, XF3, XC4 [24].

V tabulce 4.5 je vyčíslena i spotřeba betonu pro jednotlivé stavební části jezu. Spotřeba oceli jednotlivých uzávěrů se velmi liší a je závislá na velikosti a vybavenosti konstrukce uzávěru. Pro porovnání byla použita teoretická spotřeba oceli, která je uvedena v následující tabulce (tab. 4.4).

Tab. 4.4: Teoretická spotřeba oceli pro jednotlivé varianty hradicí konstrukce [14][21]

Varianta	Typ uzávěru	Teoretická spotřeba oceli	Hrazená plocha
		(kg.m <sup>-2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
B, E, G	Deskové stavidlo	160	4.65
C	Klapka (1 pole)	300	21.00
D	Klapka		17.34
E	Desková klapka	200	42.32
F	Desková klapka		19.89

Tabulka 4.5 je uvedena na další straně.



Tab. 4.5: Celková cena jednotlivých variant

Varianta	Beton						Ocel						Vak / Tlak. rukávec		Celková cena (Kč)
	Přílře (m <sup>3</sup> )	Vývarová deska (m <sup>3</sup> )	Spodní stavba (m <sup>3</sup> )	Celkem (m <sup>3</sup> )	Jednotková cena (Kč.m <sup>-3</sup> )	Cena (Kč)	Spotřeba Klapka (kg)	Spotřeba Stavidlo (kg)	Jednotková cena Klapka (Kč.kg <sup>-1</sup> )	Jednotková cena Stavidlo (Kč.kg <sup>-1</sup> )	Cena (Kč)	Cena (Kč)	Cena (Kč)	Cena (Kč)	
A	0.00	176.24	148.05	324.30	4 68 82	1 577 379	0	0	0	0	0	0	0	0	1 577 379
B	68.08	178.32	134.52	380.93		1 852 827	0	750	0	1557	1 167 750	0	0	0	3 020 577
C	34.00	238.49	323.66	596.15		2 899 669	12 600	0	1125	0	14 175 000	0	0	0	17 074 669
D	68.41	265.48	232.87	566.77		2 756 764	5 210	0	1125	0	5 861 250	0	0	0	8 618 014
E	33.69	209.43	144.09	387.21		1 883 397	8 500	750	540	1557	5 757 750	200 000	100 000	0	7 841 147
F	68.41	261.33	158.56	488.31		2 375 116	4 000	0	540	0	2 160 000	100 000	100 000	0	4 635 116
G	66.88	209.46	172.89	449.23		2 185 065	0	750	0	1557	1 167 750	3 000 000	3 000 000	0	6 352 815
H	98.63	228.14	176.61	503.39		2 448 497	0	0	0	0	0	0	2 000 000	2 000 000	4 448 497

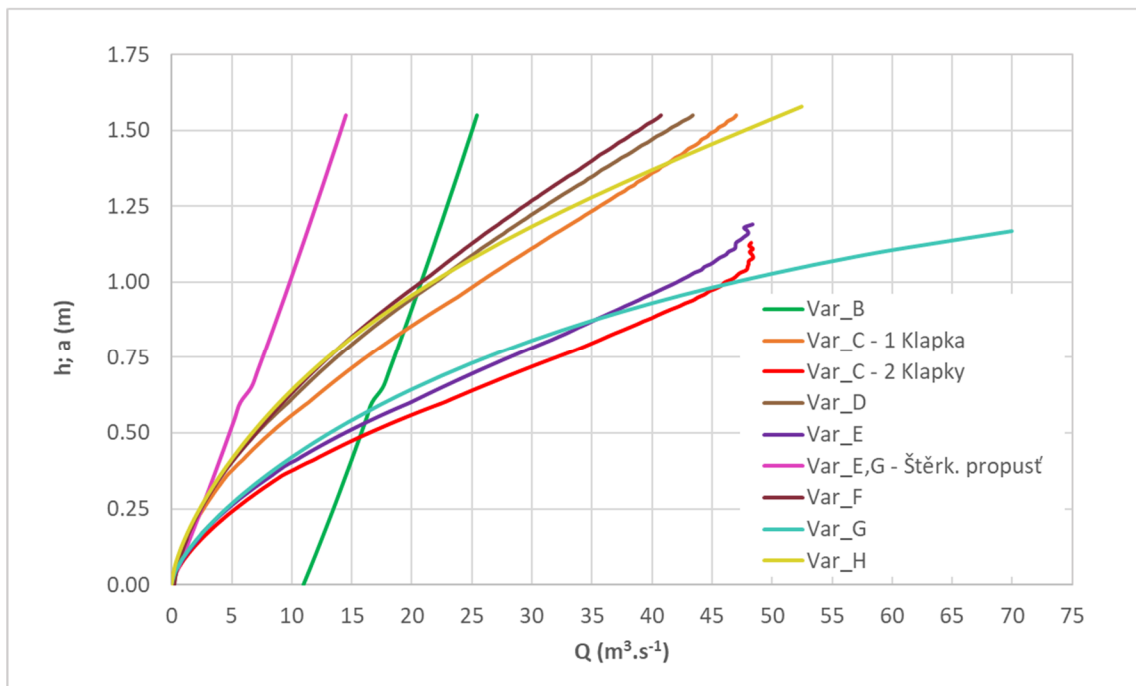
## 11. Kapacita

Z hlediska porovnání kapacity jednotlivých variant nové hradičí konstrukce byly uvažovány dva stavy, a to:

**1. Manipulace s pohyblivými uzávěry při udržování minimální provozní hladiny ve zdrži (221,33 m n.m.).** Tato hladina je pro novou hradičí konstrukci uvažována jako nominální.

**2. Úplné vyhrazení jezu.** Tento stav může nastat zejména při povodních. Mezní hladina je uvažována na úrovni 222,03 m n.m. (viz podkapitola 3.4.4)

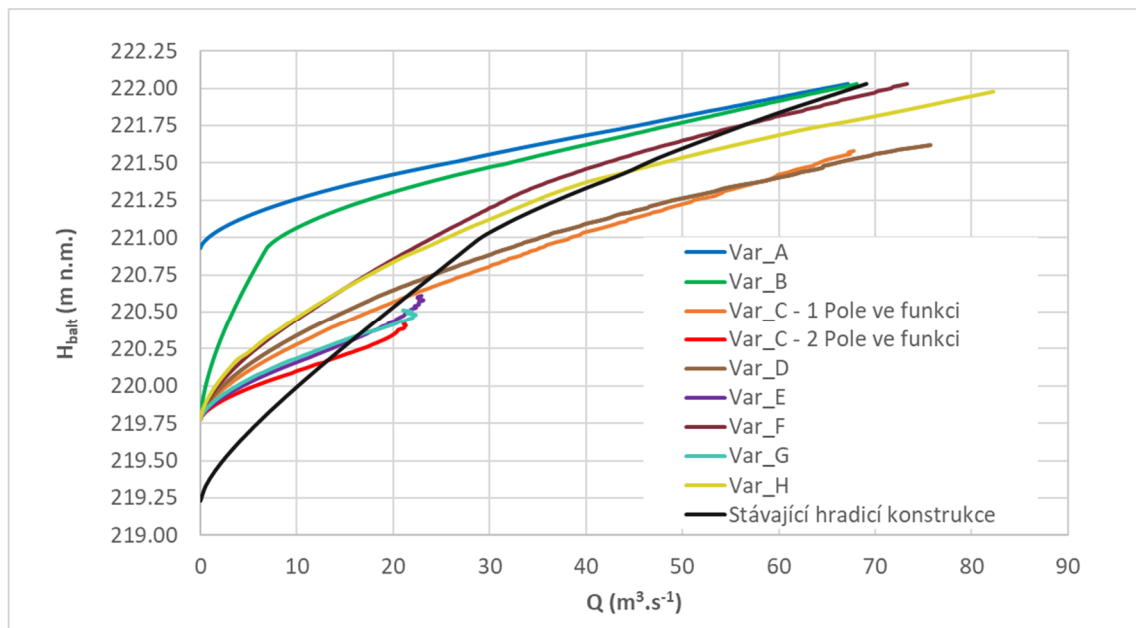
Pro tyto stavy byly vypočítány konsumpční křivky. Způsob výpočtu je uveden v hydrotechnických výpočtech (kapitola 6).



Obr. 4.13: Konsumpční křivky jednotlivých variant nové hradičí konstrukce (1. stav)

Z grafu (obr. 4.13) je patrné, že největší kapacity při 1. stavu dosahuje varianta G (vak + štěrková propust').

U variant E a C (2 Klapky) jsou klapky při nižších polohách výrazně ovlivňovány dolní vodou, tedy dochází zde k nedokonalému přepadu a tím i ke snížení kapacity.



Obr. 4.14: Konsumpční křivky jednotlivých variant nové hradičí konstrukce (2. stav)

Z grafu (obr. 4.14) je patrné, že největší kapacity při 2.stavu dosahuje varianta H (vak + pevný jez).

Varianta G, která dosahuje největší kapacity v 1.stavu, nedokáže v tomto případě podobně jako varianty E a C (2 Klapky) převést návrhový průtok  $Q_{20}$ . Důvodem je již zmíněné výrazné ovlivnění přepadu dolní vodou.

Do hodnocení bylo zahrnuto i hledisko, zdali nová hradičí konstrukce dokáže převést návrhový průtok  $Q_{20}$  při nižší úrovni hladiny vody ve zdrži než stávající hradičí konstrukce či nikoliv.

## 4.5 Závěr výběru vhodné varianty nové hradičí konstrukce

Nejvhodněji splnila zvolená kritéria varianta H, tedy kombinace vakového uzávěru s pevným jezem. Varianta G, která je téměř typově shodná s jezem Počaply, se umístila na druhé pozici. Na poslední pozici se nakonec umístila varianta C (Podpíraná dutá klapka na dvou polích).

Následující kapitola (kapitola 5) se zabývá již pouze variantou H.





## 5. POPIS STAVEBNÍCH ČÁSTÍ NOVÉ HRADICÍ KONSTRUKCE

Nová hradicí konstrukce je členěna na několik dilatačních celků, a to na: jezové těleso, vývarovou desku, pilíře a rybí přechod. Tyto dilatační celky jsou zhotoveny ze slabě vyztuženého betonu či železobetonu C30/37. Délka i šířka jednotlivých dilatačních celků nepřesahuje 15 m. Dilatační spáry jsou vyplněny pryžovými těsnícími pásy a pracovní spáry jsou vyplněny těsnícími pásy Tricosal.

Prodloužení průsakové dráhy pod jezem, ale i kolem jezu je zajištěno ocelovými štětovnicemi typu Larsen. Tyto štětovnice budou použity i během výstavby ke zhotovení stavební jímky a zároveň budou chránit stavební jímku před vnikáním vody.

Návrh parametrů vakového uzávěru, vývaru a rybího přechodu je uveden v hydrotechnických výpočtech (kapitola 6).

### 5.1 Jezové těleso

#### 5.1.1 Pole s vakovým uzávěrem

Vakový uzávěr hradí středové pole jezu. Těleso vaku je tvořeno pryžotextilní membránou, která je ukotvena ke spodní stavbě i k pilířům pomocí ocelových válcovaných profilů (dvojitý U profil) a kotvicích šroubů. Hrazená výška vaku je 1,55 m, šířka vaku ve dně je 10,2 m a v koruně cca 11 m. Obvod vaku je 8,3 m. Při plném vztyčení je koruna vaku na úrovni 221,33 m n.m.

Manipulační šachty vakového uzávěru se nachází v pravém břehovém pilíři.

Spodní stavba je tvořena pevným prahem a je částečně napojena na stávající základ. Spolupůsobení mezi oběma částmi je zajištěno pomocí ocelových kotev. Koruna prahu je na úrovni 219,78 m n. m a délka prahu je 5,55 m. Jak návodní, tak i vzdušní strana pevného prahu je mírně seříznuta ve sklonu 1:1. Pro případ revize uzávěru, kdy je pole hrazeno provizorním hrazením, je v pevném prahu zhotoven i odvodňovací žlab. Tento žlab spolu s potrubím PVC DN 150 slouží k odvedení přebytečné vody (voda mezi provizorním hrazením a vakem) do podjezí.



Před pevným prahem je zhotovena betonová deska o tloušťce 0,55 m. Mezi deskou a prahem je uvažována pracovní spára. Spolupůsobení mezi betonovou deskou a pevným prahem je zajištěno konstrukční výztuží. Dno koryta před betonovou deskou je opevněno těžkým kamenným záhozem.

Návodní štětová stěna, která je kotvena do zesílené části betonové desky, zasahuje až na úroveň skalního podloží (212,38 m n.m.).

### **5.1.2 Pole s pevný jezem**

Krajní části jezového pole jsou hrazeny pevný jezem. Celková délka přelivné hrany je zde 11,75 m. Koruna přelivné hrany, která je kruhově zaoblena, se nachází na úrovni 221,28 m n.m. Poloměr zaoblání koruny je 0,4 m. Sklon přelivné plochy pevného jezu je 3:2. Plynulé napojení přelivné plochy na vývarovou desku je provedeno válcovou plochou s poloměrem 3 m.

Spodní stavba pevného jezu je částečně napojena na stávající základ. Spolupůsobení mezi oběma částmi je zajištěno pomocí ocelových kotev.

Před tělesem pevného jezu je zhotovena betonová deska. Parametry desky jsou stejné jako u pole s vakovým uzávěrem.

## **5.2 Pilíře**

### **5.2.1 Návodní pilíře**

Délka návodních pilířů je 5,55 m. Šířka pilířů je v horní části 1,25 m a u základové spáry 2 m. Stěna pilířů u pevného jezu je svislá, zatímco u pole s vakovým uzávěrem je stěna pilířů ve sklonu 4:1. Výška pilíře nad základovou spárou je 5,2 m.

Přední zhlaví pilířů je kruhově zaobleno a zadní zhlaví je rovné. V pilířích jsou zhotoveny drážky provizorního hrazení.

Horní hrana pilířů na vzdušné straně je na úrovni 222,78 m n.m. a na návodní straně je horní hrana pilířů výškově snížena na úroveň 222,53 m n.m. Na snížených částech pilířů je osazena ocelová lávka.



### 5.2.2 Pravobřežní pilíř

Délka pilíře je 5,55 m a jeho šířka je 3,7m. Výška pilíře nad základovou spárou je 5,2 m. V tomto pilíři jsou umístěny manipulační šachty vakového uzávěru. Ty jsou rozděleny na 4 sekce, a to na sekci: napouštěcí, plnicí, přetlakovou a prázdníci. Délka šachet je 1,2 m a šířka se pohybuje v rozmezí od 0,8 m do 1 m. Jednotlivé šachty jsou ze shora kryté ocelovým poklopem. Šachty jsou od sebe odděleny železobetonovou stěnou o tloušťce 0,25 m. U krajů pilíře je tloušťka této stěny zvětšena na 0,5 m. Na pilíři je osazena ocelová lávka.

Sekce napouštěcí je propojena s horní vodou ocelovým potrubím DN 200. Sekce plnicí, která zajišťuje přívod vody do vaku dvojicí potrubí PVC DN 200, je plněna čerpadlem z napouštěcí sekce. Přetlaková sekce je s vakem propojena prázdnícím potrubím PVC DN 300. Sekce prázdníci je se sekcí přetlakovou propojena dvojicí ocelových potrubí DN 200 a DN 300. Mezi sekcí přetlakovou a prázdníci je umístěn i přeliv s dřevěnými hradítky, který slouží pro nastavení potřebné přetlakové výšky. Při prázdnění vaku bude voda z prázdníci sekce odváděna do podjezí ocelovým potrubím DN 300. [11]

### 5.3 Vývarová deska

Délka vývarové desky je 10,7 m a její tloušťka je 0,8 m. Vývarová deska je zakončena prahem ve sklonu 1:3. Ve vývarové desce jsou zhotoveny i drenážní otvory, které slouží ke snížení vztlaku působícího na spodní stavbu jezu. Drenážní otvory mají průměr 0,3 m a jsou od sebe šachovnicově rozmístěny v osových vzdálenostech 2,25 až 2,5 m. Výplň drenážních otvorů tvoří kamenivo frakce 5-20 mm. Pod drény jsou umístěny obrácené filtry. Ty jsou tvořeny kamenivem frakce 1-5 mm a 0,25 -1 mm.

Na konci vývarové desky je ukotvena druhá štětová stěna. Ta je ukončena 0,5 m nad skalním podložím.

Za vývarovou deskou je dno koryta řeky opevněno těžkým kamenným záhozem v délce cca 9,5 m.

### 5.4 Rybí přechod

Rybí přechod je navržen jako technický šterbinový pro kaprové vody [28][29][30]. Sklon žlabu rybiho přechodu je 1:35 a jeho délka je přibližně 73,6 m. Dno rybiho přechodu je



tvořeno betonovou deskou o tloušťce 0,6 m, na které je umístěna vrstva hrubého stěrku o mocnosti 0,2 m s řídkce zapuštěnými většími kameny. Šířka rybího přechodu je 3 m. Jednotlivé tůňky o délce 3 m jsou od sebe odděleny prefabrikovanými betonovými přepážkami, které jsou kotveny do betonové desky. Tloušťka přepážek je 0,2 m a jejich výška nad dnem žlabu je 1 m. Šířka štěrbin mezi přepážkami je proměnlivá a pohybuje se v rozmezí od 0,2 do 0,3 m. Na výstupu i vstupu rybího přechodu jsou zhotoveny drážky provizorního hrazení. Vstup i výstup rybího přechodu je orientován kolmo na osu toku.

Napojení výstupu z rybího přechodu na dno v horním korytě je provedeno pomocí rampy ve sklonu 1: 2,5. Vstup do rybího přechodu plynule navazuje na opevněné dno v podjezí.

U výstupu z rybího přechodu bude navíc realizována plovoucí norná stěna (ohoblovaný kmen kotvený k tělesu rybího přechodu), jejíž cílem je zabránit ucpávání štěrbin rybího přechodu splávim.

Stěna rybího přechodu, která se nachází blíže k jezu, má tloušťku 0,5 m. V nadjezí je horní hrana stěny na úrovni 221,83 m n.m. Za jezovým tělesem se výšková úroveň této stěny pozvolna snižuje až na kótu 220,88 m n.m.

Stěna rybího přechodu, která navazuje na okolní terén, má horní hranu po celé své délce na úrovni 222,78 m n.m. Tloušťka této stěny je také 0,5 m.

Břehové svahy jsou před i za rybím přechodem opevněny těžkým kamenným záhozem.

## 5.5 Zásady manipulace na nové hradicí konstrukci

Minimální zůstatkový průtok  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  bude při udržování hladiny vody ve zdrži na úrovni 221,33 m n.m. (běžný stav) zajištěn průtokem přes rybí přechod ( $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) a dále přepadem přes pevný jez (zavodnění přelivné hrany při průtoku  $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) a přepadem přes vakový uzávěr (průtok  $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Ostatní manipulace jsou uvažovány obdobně jako u současného jezu.

Při přirozeném přítoku do jezové zdrže větším než  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  bude dodržován minimální zůstatkový průtok výše popsaným způsobem a zbylý průtok bude přiváděn náhonem k malé vodní elektrárně pro energetické využití. Při poklesu přítoku do zdrže pod  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  je uvažováno s odstavením vodní elektrárny z provozu. Pokud se přirozený přítok do jezové zdrže bude pohybovat v rozmezí 1 až  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a malá vodní elektrárna bude odstavena z provozu, bude stále zajišťován převod minimálního zůstatkového průtoku do



podjezí a zbylý průtok bude převáděn do náhonu kvůli zajištění ekologické funkce Mlýnského potoka.

Při velmi nízkých přítocích do zdrže (menších než minimální zůstatkový průtok) je uvažováno s tím, že stavidla do náhonu budou zahrazena, dále bude zajištěn průtok rybím přechodem ( $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) a zbylý průtok bude převáděn přes jezová pole.

Při poklesu přítoku do zdrže pod  $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  bude veškerý průtok převáděn pouze rybím přechodem.



## 6. HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY

V této kapitole jsou navrženy hlavní parametry vakového uzávěru. Také je tu uveden způsob výpočtu kapacity jednotlivých variant nové hradičí konstrukce. Dále je proveden návrh parametrů vývarů a návrh rybího přechodu. V poslední části je pro vybranou variantu posouzena stabilita spodní stavby jezu včetně únosnosti základové půdy.

Konsumpční křivka dolního koryta (obr. 3.3), která slouží ve většině výpočtů jako dolní okrajová podmínka byla představena již v podkapitole 3.4.1.

### 6.1 Návrh hlavních parametrů vakového uzávěru

Nejprve byl navržen výchozí tlakový poměr pro vak. Ten byl dle vztahu 6.1 stanoven na hodnotu 1,4.

Výchozí tlakový poměr:

$$\frac{H_{op}}{H_{1st}} = \text{optimálně } 1,3 \text{ až } 1,5 \quad (6.1)$$

Kde:

$H_{op}$  – potřebná přetlaková výška = 2,15 (m)

$H_{1st}$  – hradičí výška = 1,55 (m)

Dále bylo ověřeno napětí ve stěně vaku (rovnice 6.2 a rovnice 6.3) [14][31]. Výrobce vaků Rubena Náchod udává pevnost materiálu vaku v rozmezí 20 až 30 kN.m<sup>-1</sup> [14].

Napětí ve stěně vaku:

$$T = \frac{1}{2} \gamma \left( H_{op} H_{1st} - \frac{1}{2} H_{1st}^2 \right) \quad (6.2)$$

Kde:

$\gamma = \rho \times g = 9810 \text{ (kg.m}^{-2}.\text{s}^{-2}\text{)}$

$\rho$  – hustota vody = 1000 (kg.m<sup>-3</sup>)

$g$  – tíhové zrychlení = 9,81 (m.s<sup>-2</sup>)



Výpočet:

$$T = \frac{1}{2} \cdot 9810 \left( 2,15 \cdot 1,55 - \frac{1}{2} \cdot 1,55^2 \right) = 10\,453,78 \text{ N.m}^{-1} = 10,45 \text{ kN.m}^{-1}$$

$$T \leq T_{mez} \text{ (uvažováno } 20 \text{ kN.m}^{-1}\text{)} \quad (6.3)$$

$$10,45 \text{ kN.m}^{-1} < 20 \text{ kN.m}^{-1} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

Tvar vaku (obr. 6.1), který není ovlivněn bočním upevněním, je určen dle graficko–početní metody. [14][31]

Dílčí poloměry kružnic  $R_x$  (tab. 6.1), které jsou závislé na zvolených výškách  $H_x$ , jsou spočteny dle vztahu 6.4. Návodní strana vaku je tvořena kružnicí o poloměru  $R_1$ . Na vzdušné straně je vak tvořen na sebe navazujícími kružnicemi o poloměrech  $R_2$  až  $R_{17}$ . Tyto kružnice začínají a končí vždy v polovině úseku (rovnice 6.5) mezi dvěma na sebe navazujícími výškami. Čím je počet kružnic větší, tím je tvar vaku přesnější.

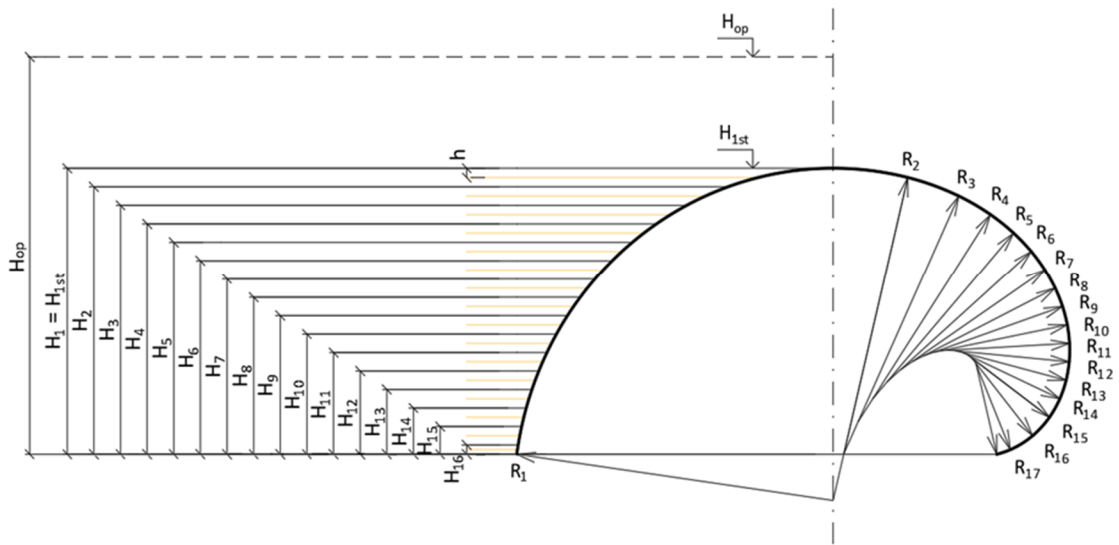
Určení dílčích poloměrů kružnic:

$$R_x = -T/\gamma(H_{op} - H_x) \quad (6.4)$$

$$h_x = \frac{1}{2}(H_x - H_{x+1}) \quad (6.5)$$

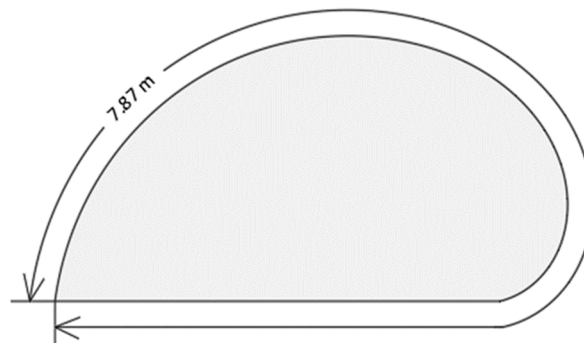
Tab. 6.1: Poloměry dílčích kružnic [31]

x	$H_x$	$R_x$	$h_x$
(-)	(m)	(m)	(m)
1	1.55	-1.78	0.05
2	1.45	-1.52	0.05
3	1.35	-1.33	0.05
4	1.25	-1.18	0.05
5	1.15	-1.07	0.05
6	1.05	-0.97	0.05
7	0.95	-0.89	0.05
8	0.85	-0.82	0.05
9	0.75	-0.76	0.05
10	0.65	-0.71	0.05
11	0.55	-0.67	0.05
12	0.45	-0.63	0.05
13	0.35	-0.59	0.05
14	0.25	-0.56	0.05
15	0.15	-0.53	0.05
16	0.05	-0.51	0.025
17	0.00	-0.50	0



Obr. 6.1: Tvar vaku vycházející z graficko-početní metody [14][31]

Délka obvodu vaku, která je stanovena dle graficko-početní metody (obr. 6.2), je zvětšená o délku potřebnou k uchycení vaku na spodní stavbu [14]. Celková délka obvodu vaku je určena dle vztahu 6.6.



Obr. 6.2: Obvod vaku vycházející z graficko-početní metody

Celková délka obvodu vaku:

$$L = O + u \quad (6.6)$$

$$L = 7,87 + 2 \cdot 0,2 \doteq 8,3 \text{ m}$$

Kde:

O – obvod vaku (m)

u – délka potřebná k uchycení vaku (m); vak je kotven na 2 místech viz výkres B.4





Navržená hradičí výška vaku je 1,55 m. Pro plné vztyčení vaku je nutné zajistit přetlakovou výšku 2,15 m. Přetlaková výška je zajištěna, pokud je hladina vody v přetlakové sekci na úrovni hrany přelivu (mezi přetlakovou a prázdní sekci). Potřebná délka obvodu vaku je 8,3 m. Napětí ve stěně vaku je při plném vztyčení menší než mezní napětí materiálu vaku. Celkový objem naplněného vaku je přibližně 40 m<sup>3</sup>.

## 6.2 Výpočet kapacity jednotlivých variant nové hradičí konstrukce

Pro všechny varianty byl výpočet kapacity rozdělen na dva stavy, a to:

1. **Manipulace s pohyblivými uzávěry při udržování minimální provozní hladiny ve zdrži (221,33 m n.m.).** Tato hladina je pro novou hradičí konstrukci uvažována jako nominální.

2. **Úplné vyhrazení jezu.** Tento stav může nastat zejména při povodních. Mezní hladina je uvažována na úrovni 222,03 m n.m. (viz podkapitola 3.4.4)

Výsledky výpočtů byly použity u hodnocení kritéria „11. Kapacita“ ve výběru vhodné varianty nové hradičí konstrukce (kapitola 4).

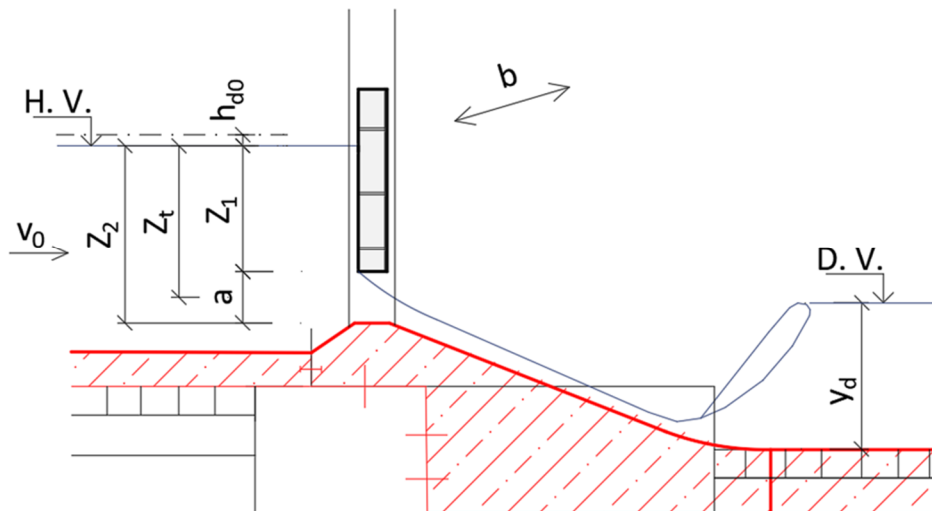
U všech variant byl tvarový součinitel návodního pilíře uvažován hodnotou 0,045 a tvarový součinitel břehového pilíře byl uvažován hodnotou 0,2. Ve výpočtech je zahrnut i vliv přítokové rychlosti.

### 6.2.1 Kapacita při manipulaci s uzávěry

#### 6.2.1.1 Stavidlový uzávěr ve štěrkové propusti (Varianta B, E, G)

Způsob výpočtu výtoku pod stavidlem byl uveden již v podkapitole 3.4.3. Použité rovnice i hodnoty výtokového součinitele jsou stejné. Šířka štěrkové propusti je 3 m. Maximální zdvih stavidla je v tomto případě 1,55 m.

Pro variantu B je ve výpočtu výtoku pod stavidlem zahrnut i vliv průtoku, který přepadá přes část s pevným jezem při udržování hladiny vody ve zdrži na úrovni 221,33 m n.m. Přelivná hrana pevného jezu je na kótě 220,93 m n. m.



Obr. 6.3: Schéma pro výpočet výtoku pod stavidlem

### 6.2.1.2 Klapkový uzávěr (Varianta C, D)

Konsumpční křivka přepadu je spočtena dle vztahu 6.7 a 6.8. Rovnice 6.7 je použita v případě, kdy je sklon klapky větší než  $45^\circ$  (včetně). Pro případ, kdy je sklon klapky menší než  $45^\circ$ , je použita rovnice 6.8 a součinitel přepadu je spočítán dle vztahu 6.9.

Bazinův součinitel přepadu pro ostrohranný přeliv, který figuruje v rovnici 6.7, je spočítán dle vztahu 6.10. Bazinův součinitel je navíc v rovnici přepadu opraven součinitelem  $\sigma_{sk}$  (tab. 6.2), který zohledňuje sklon přelivné hrany o úhel  $\delta$ .

Úroveň dolní vody je odečtena z konsumpční křivky dolního koryta (obr. 3.3). Součinitel zohledňující vliv zatopení je odečten z tabulky (tab. 6.3).

Pro variantu D je ve výpočtu přepadu zahrnut i vliv průtoku, který přepadá přes část s pevným jezem při udržování hladiny vody ve zdrži na úrovni 221,33 m n.m. Přelivná hrana pevného jezu je na kótě 221,28 m n. m.

Výpočet je proveden dle níže uvedeného schéma (obr. 6.4).

Rovnice přepadu (sklon klapky  $\geq 45^\circ$ ):

$$Q = \sigma_{sk} m \sigma_z b_o \sqrt{2g} (h + h_{d0})^{\frac{3}{2}} \quad (6.7)$$



Rovnice přepadu (sklon klapky  $< 45^\circ$ ):

$$Q = \frac{2}{3} \mu_p \sigma_z b_o \sqrt{2g} (h + h_{d0})^{\frac{3}{2}} \quad (6.8)$$

Součinitel přepadu pro polokruhový přeliv (sklon klapky  $< 45^\circ$ ):

$$\mu_p = 0,55 + 0,22 \frac{h}{s} \quad (6.9)$$

Bazinův součinitel přepadu pro ostrohranný přeliv (sklon klapky  $\geq 45^\circ$ ):

$$m = \left(0,405 + \frac{0,003}{h}\right) \left[1 + 0,55 \left(\frac{h}{h+s}\right)^2\right] \quad (6.10)$$

Účinná šířka přelivu:

$$b_0 = b - (n\varepsilon_p + n\varepsilon_k)(h + h_{d0}) \quad (6.11)$$

Rychlostní výška:

$$h_{d0} = \frac{v_0^2}{2g} \quad (6.12)$$

Kde:

$Q$  – průtok ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )

$m$  – Bazinův součinitel přepadu pro ostrohranný přeliv (-)

$\mu_p$  – součinitel přepadu pro polokruhový přeliv (-)

$\sigma_z$  – součinitel zatopení (-)

$\sigma_{sk}$  – opravný součinitel skloněné přelivné hrany (-)

$b$  – celková šířka přelivné hrany (m)

$b_0$  – účinná šířka přelivné hrany (m)

$g$  – tíhové zrychlení ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ )

$h$  – přepadová výška (m)

$h_{d0}$  – rychlostní výška (m)

$v_0$  – přítoková rychlost ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

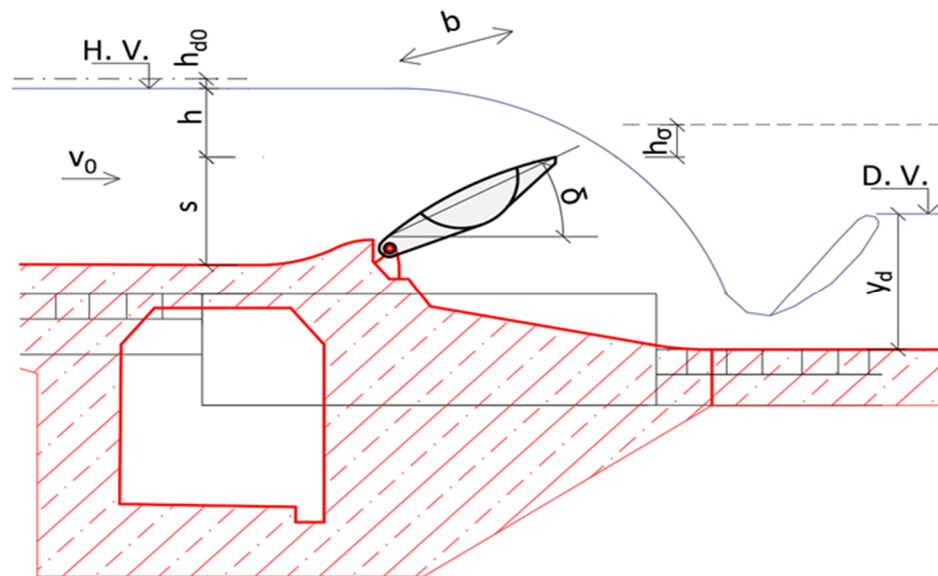
$n$  – počet míst kontrakce přepadového paprsku (-)

$\epsilon_p$  – tvarový součinitel návodního pilíře (-), uvažováno 0,045 [14]

$\epsilon_k$  – tvarový součinitel břehového pilíře (-), uvažováno 0,2 [14]

$s$  – výška přelivné hrany nad dnem horního koryta (m)

$y_d$  – hloubka dolní vody (m)



Obr. 6.4: Schéma pro výpočet přepadu přes klapkový uzávěr

Tab. 6.2: Opravný součinitel  $\sigma_{sk}$  zohledňující sklon přelivné hrany o úhel  $\delta$  [17]

$\delta$	45°	57°	71°30'	90°	108°30'	123°	135°
$\sigma_{sk}$	1.115	1.086	1.045	1.000	0.958	0.935	0.925

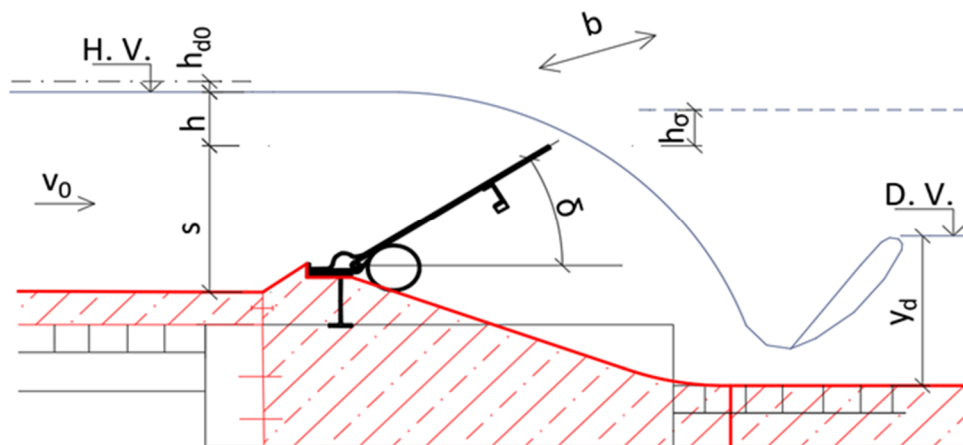
Tab. 6.3: Součinitel zatopení  $\sigma_z$  [17]

$h_\sigma/h_0$	$\sigma_z$	$h_\sigma/h_0$	$\sigma_z$	$h_\sigma/h_0$	$\sigma_z$	$h_\sigma/h_0$	$\sigma_z$
0.00	1.000	0.25	0.976	0.50	0.937	0.75	0.821
0.05	0.996	0.30	0.970	0.55	0.923	0.80	0.778
0.10	0.991	0.35	0.963	0.60	0.907	0.85	0.709
0.15	0.986	0.40	0.956	0.65	0.886	0.90	0.621
0.20	0.981	0.45	0.948	0.70	0.856	0.95	0.438

### 6.2.1.3 Desková klapka s tlakovým rukávцем (Varianta E, F)

Výpočet přepadu přes deskovou klapku (obr. 6.5) je proveden stejným způsobem jako u klapkového uzávěru.

Pro variantu F je ve výpočtu přepadu zahrnut i vliv průtoku, který přepadá přes část s pevným jezem při udržování hladiny vody ve zdrži na úrovni 221,33 m n.m. Přelivná hrana pevného jezu je na kótě 221,28 m n. m.



Obr. 6.5: Schéma pro výpočet přepadu přes deskovou klapku

### 6.2.1.4 Vakový uzávěr (Varianta G, H)

Konsumpční křivka přepadu přes vak je stanovena dle následujícího schéma (obr. 6.6) pro předem zvolenou řadu průtoků. Postup výpočtu je identický pro každý průtok ze zvolené řady.

Úroveň dolní vody je odečtena z konsumpční křivky dolního koryta (obr. 3.3).

Postup výpočtu přepadu přes vak [31][32][33]:

- 1) Pro daný průtok se odhadne energetická výška v nadjezí  $H_{02}$ .
- 2) Z obr. 6.7 se ze závislosti 6.13 stanoví výška vaku  $H_1$  (neovlivněná dolní vodou).

$$\frac{H_1}{H_{1st}} = f\left(\frac{H_{02}}{H_{1st}}\right) \quad (6.13)$$

- 3) Z obr. 6.8 se ze závislosti 6.14 stanoví výška vaku  $H_1'$  (ovlivněná dolní vodou).



$$\frac{H_1'}{H_1} = f\left(\frac{H_3}{H_{1st}}\right) \quad (6.14)$$

4) Následně se dle vztahu 6.15 vypočte výška zatopení  $h$ . Pokud je  $h < 0$ , pak je  $h = 0$ .

$$h = H_3 - H_1' \quad (6.15)$$

5) Dále se dle vztahu 6.16 vypočte přepadová výška  $H_0$ .

$$H_0 = H_{02} - H_1' \quad (6.16)$$

6) Stanoví se poměr  $\frac{h}{H_0}$ .

7) Vypočte se poměr  $\left(\frac{h}{H_0}\right)'$ , který je spočítán dle vztahu 6.17. Pokud je  $h \leq \frac{H_0}{2}$ , pak je

$$\left(\frac{h}{H_0}\right)' = 0.$$

$$\left(\frac{h}{H_0}\right)' = \frac{h - \frac{H_0}{2}}{\frac{H_0}{2}} \quad (6.17)$$

8) Vypočte se poměr  $\left(\frac{h}{H_0}\right)^x$ , který je spočítán dle vztahu 6.18.

$$\left(\frac{h}{H_0}\right)^x = \frac{2h + 3(H_1 - H_{1st})}{H_0 + H_1' - H_{1st}} \quad (6.18)$$

Pokud je  $2h \leq 3(H_1' - H_{1st})$ , pak je  $\left(\frac{h}{H_0}\right)^x = 0$ .

9) Z tabulky 6.4 se pro  $\frac{c}{H_0} > 2,5$  a zároveň  $\frac{h}{H_0}$  určí součinitel zatopení obdélníkové části přelivu  $\sigma$ .

10) Z tabulky 6.4 se pro  $\frac{c}{H_0} > 2,5$  a zároveň  $\left(\frac{h}{H_0}\right)'$  určí součinitel zatopení svahové části přelivu (nad vakem)  $\sigma'$ .

11) Z tabulky 6.4 se pro  $\frac{c}{H_0}$  a zároveň  $\left(\frac{h}{H_0}\right)^x$  určí součinitel zatopení svahové části pevného přelivu  $\sigma^x$ .

12) Z obr. 6.9 se pro závislost  $M = f\left(\frac{H_0}{H_{1st}}\right)$  stanoví hodnoty rozšířených součinitelů přepadu přes vak  $M$  a  $M'$ , u kterých platí, že  $M = M'$ .

13) Z tabulky 6.5 se pro  $\frac{c}{H_0}$  a  $\frac{p}{H_0}$  stanoví hodnota součinitele přepadu přes pevnou část přelivu  $M^x$ .

14) Poté se dle vztahu 6.19 vypočte součinitel tvaru lichoběžníkového přelivu  $m'$ .

$$m' = \frac{mH_{1st}}{H_{1st} - H_1} \quad (6.19)$$

15) Celkový průtok, který přepadá přes vak, se vypočte dle vztahu 6.20.

$$Q = \sigma M A B_0 H_0^{\frac{3}{2}} + 0,8 \left[ \sigma' M' m' H_0^{\frac{5}{2}} + \sigma^x (M^x m - M' m') (H_0 - H_{1st} + H_1)^{\frac{5}{2}} \right] \quad (6.20)$$

16) Následně se porovná vypočtený průtok (rovnice 6.20) s příslušným průtokem ze zvolené řady. Pokud se průtoky nerovnají, je nutné opravit energetickou výšku  $H_{02}$  a celý výpočet opakovat.

V rovnicích nepojmenované veličiny:

A – součinitel půdorysného uspořádání koruny přelivu (-), uvažováno 1,0

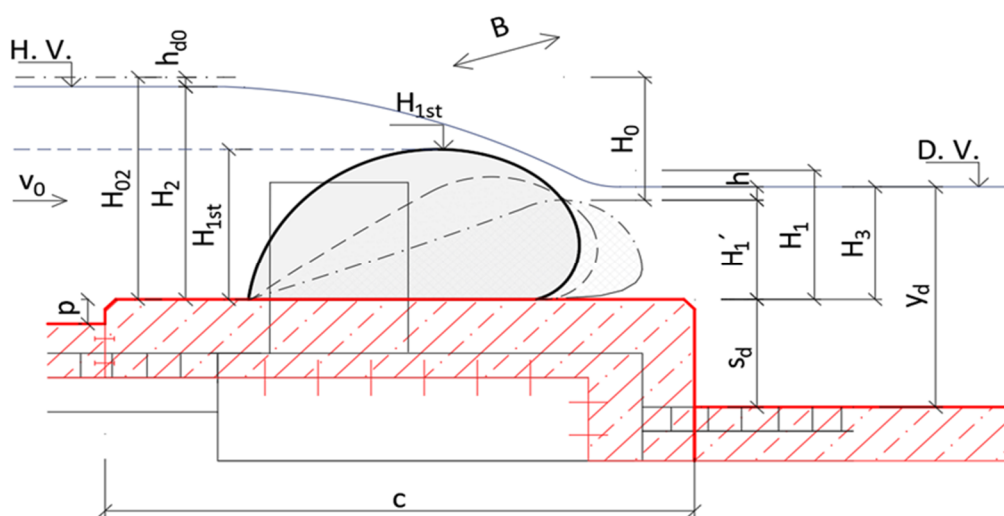
$B_0$  – účinná šířka přelivné hrany (m)

$H_{1st}$  – hradicí výška vaku = 1,55 (m)

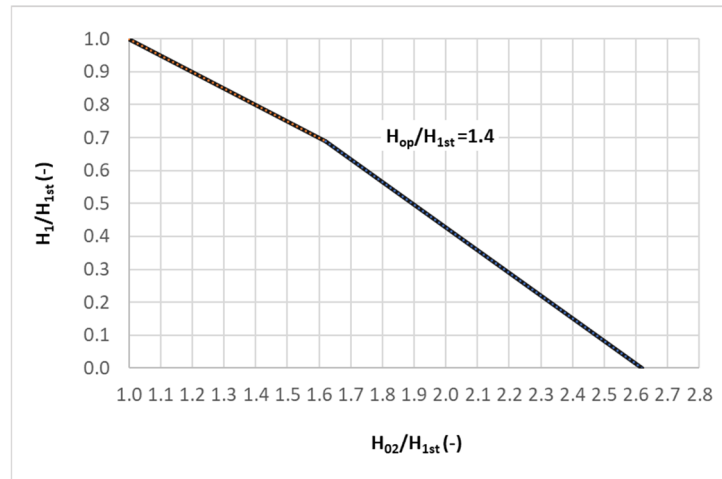
m – sklon svahu pevného přelivu = 0,25 (-)

c – šířka pevného prahu = 5,55 (m)

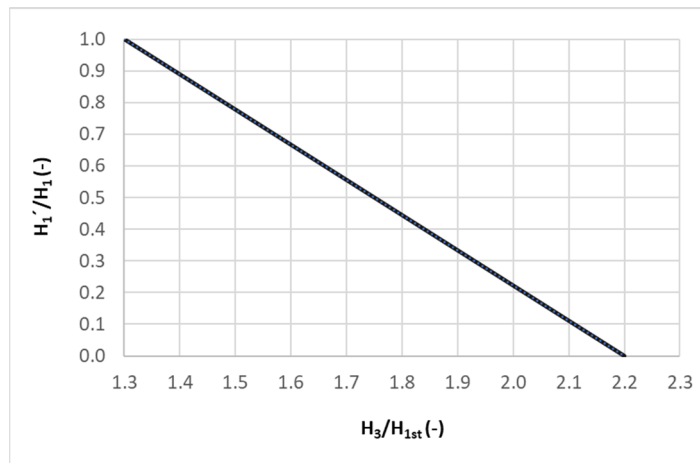
p – výška pevného prahu = 0,25 (m)



Obr. 6.6: Schéma pro výpočet přepadu přes vak



Obr. 6.7: Výška vaku neovlivněná dolní vodou  $H_1$  [33]

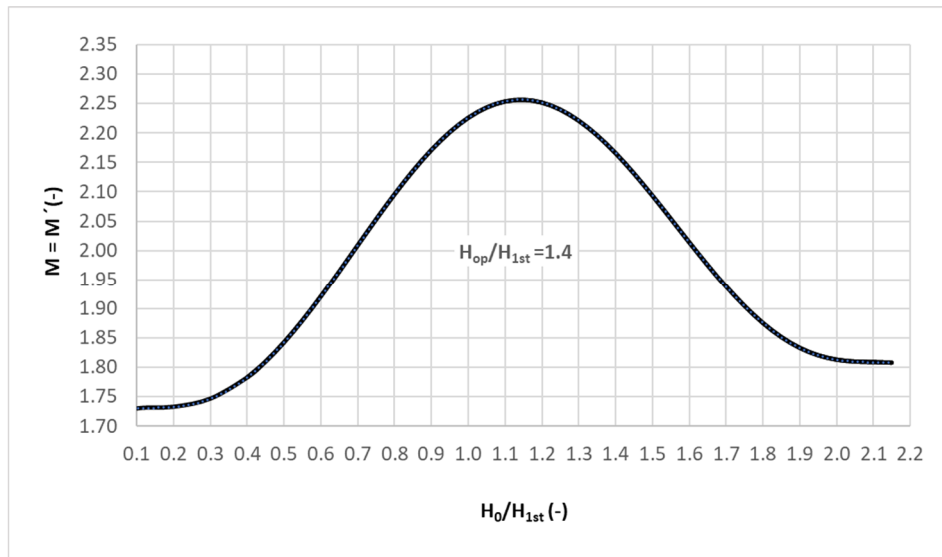


Obr. 6.8: Výška vaku ovlivněná dolní vodou  $H_1'$  [33]

Tab. 6.4: Součinitel zatopení přepadu  $\sigma$ ,  $\sigma'$  a  $\sigma^x$  [33]

$h/H_0, (h/H_0)', (h/H_0)^x$	$c/H_0$					
	>2.5	2.0	1.5	1.2	1.0	0.75
0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.55	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
0.65	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99
0.70	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98
0.75	1.00	0.99	0.99	0.99	0.96	0.97
0.78	1.00	0.99	0.98	0.96	0.95	0.92
0.80	0.99	0.98	0.96	0.94	0.90	0.87
0.85	0.96	0.95	0.93	0.91	0.87	0.86
0.87	0.90	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81
0.90	0.84	0.82	0.81	0.79	0.77	0.74
0.92	0.78	0.77	0.75	0.73	0.71	0.69
0.94	0.70	0.69	0.67	0.65	0.64	0.61
0.96	0.59	0.58	0.56	0.55	0.53	0.51
0.98	0.40	0.39	0.38	0.37	0.34	0.34
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00





Obr. 6.9: Rozšířený součinitel přepadu přes vak  $M, M'$  [33]

Tab. 6.5: Součinitel přepadu přes pevný přeliv  $M^x$  [33]

$p/H_0$	$c/H_0$					
	>2.5	2.0	1.5	1.2	1.0	0.75
0.0	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71
0.1	1.66	1.67	1.70	1.71	1.72	1.74
0.2	1.62	1.64	1.68	1.73	1.76	1.80
0.4	1.57	1.59	1.66	1.74	1.81	1.92
0.6	1.54	1.56	1.63	1.72	1.80	1.94
0.8	1.51	1.53	1.60	1.68	1.75	1.88
1.0	1.49	1.51	1.58	1.65	1.71	1.84
1.2	1.48	1.50	1.56	1.63	1.69	1.81
1.4	1.47	1.48	1.55	1.61	1.67	1.79
1.6	1.46	1.47	1.54	1.60	1.65	1.77
1.8	1.45	1.46	1.53	1.59	1.64	1.75
2.0	1.44	1.45	1.52	1.58	1.63	1.74
2.2	1.44	1.45	1.51	1.57	1.62	1.73
2.4	1.43	1.44	1.51	1.56	1.61	1.72
2.6	1.43	1.44	1.50	1.56	1.61	1.72
2.8	1.42	1.44	1.50	1.55	1.60	1.71

## 6.2.2 Kapacita při úplném vyhrazení jezu

U variant, kde je uvažována kombinace pevného jezu a pohyblivého uzávěru, je celkový průtok přes vyhrazený jez spočítán dle vztahu 6.21.

Celkový průtok přes jez:

$$Q_{celk} = Q_{pevný} + Q_{pu} \quad (6.21)$$

Kde:

$Q_{pevný}$  – průtok přes pole s pevným jezem ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )

$Q_{pu}$  – průtok přes pole s vyhrazeným uzávěrem ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )

U variant, kde je uvažována kombinace šterkové propusti a dalšího pohyblivého uzávěru, je celkový průtok přes vyhrazený jez spočítán dle vztahu 6.22.

Celkový průtok přes jez:

$$Q_{celk} = Q_{pš} + Q_{pu} \quad (6.22)$$

Kde:

$Q_{pš}$  – průtok přes pole se šterkovou propustí ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )

$Q_{pu}$  – průtok přes pole s vyhrazeným uzávěrem ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )

Úroveň dolní vody je odečtena z konsumpční křivky dolního koryta (Obr. 3.3).

### 6.2.2.1 Pole s pevným jezem (Varianta A, B, D, F, H)

Výpočet přepadu přes pevný jez je spočítán dle rovnice 6.23. V rovnici je použit součinitel přepadu pro zaoblenou korunu (rovnice 6.24). Poloměr zaoblení koruny přelivné hrany je 0,4 m. Součinitel zatopení je odečten z tabulky 6.3.

Rovnice přepadu:

$$Q_{pevný} = \frac{2}{3} \mu_p \sigma_z b_o \sqrt{2g} (h + h_{d0})^{\frac{3}{2}} \quad (6.23)$$

Součinitel přepadu pro zaoblenou korunu:

$$\mu_p = 0,312 + \sqrt{0,3 - 0,01 \left(5 - \frac{h}{r}\right)^2} + 0,09 \frac{h}{s} \quad (6.24)$$

Kde:

$Q$  – průtok ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )

$\mu_p$  – součinitel přepadu pro zaoblenou korunu (-)

$\sigma_z$  – součinitel zatopení (-)

$b_0$  – účinná šířka přelivné hrany (m)

$g$  – tíhové zrychlení ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ )

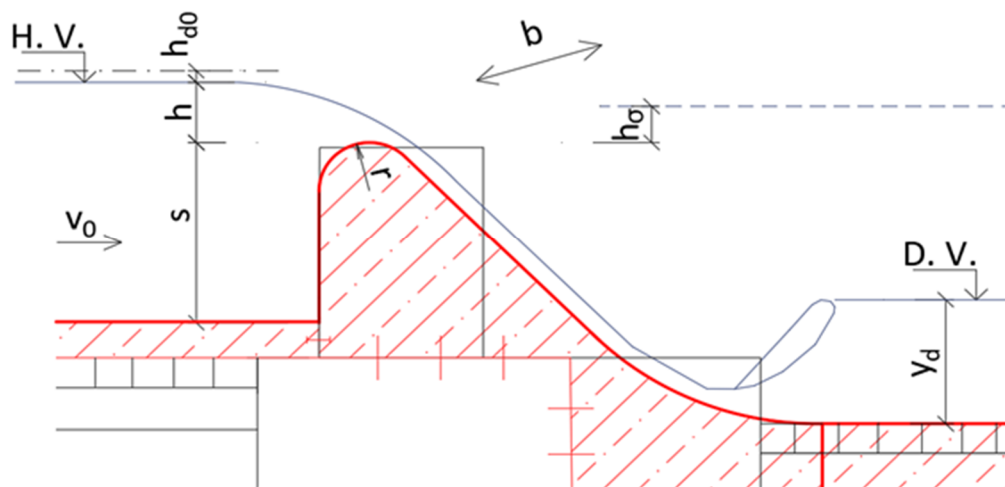
$h$  – přepadová výška (m)

$h_{d0}$  – rychlostní výška (m)

$s$  – výška přelivné hrany nad dnem horního koryta (m)

$y_d$  – hloubka dolní vody (m)

$r$  – poloměr zaoblení koruny přelivné hrany (m)



Obr. 6.10: Schéma pro výpočet přepadu přes pevný jez

### 6.2.2.2 Pole s vyhrazeným stavidlovým uzávěrem ve šterkové propusti (Varianta B, E, G)

Průtok přes pole s vyhrazenou šterkovou propustí je spočítán dle rovnice 6.25. Součinitel přepadu byl uvažován konstantní hodnotou 0,37 [17]. Součinitel zatopení je odečten z tabulky 6.3.

Rovnice přepadu:

$$Q_{p\check{s}} = m\sigma_z b_0 \sqrt{2g}(h + h_{d0})^{\frac{3}{2}} \quad (6.25)$$

Kde:

$Q$  – průtok ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )

$m$  – součinitel přepadu (-)

$\sigma_z$  – součinitel zatopení (-)

$b_0$  – účinná šířka přelivné hrany (m)

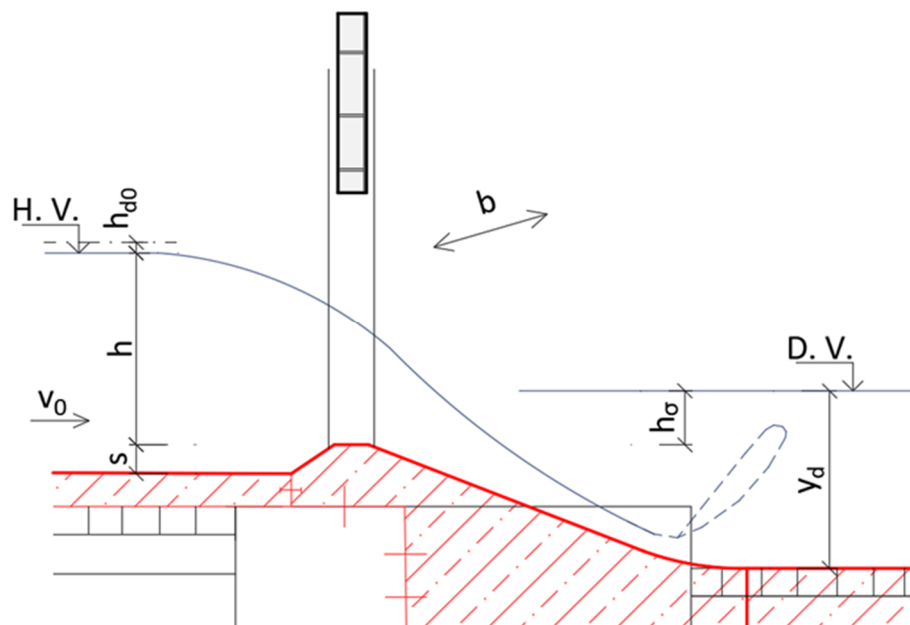
$g$  – tíhové zrychlení ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ )

$h$  – přepadová výška (m)

$h_{d0}$  – rychlostní výška (m)

$y_d$  – hloubka dolní vody (m)

$s$  – výška přelivné hrany nad dnem horního koryta = 0,25 (m)



Obr. 6.11: Schéma pro výpočet průtoku přes vyhrazenou šterkovou propust'

### 6.2.2.3 Pole s vyhrazeným klapkovým uzávěrem (Varianta C, D)

Přepad přes Jamborův práh (obr. 6.12) je spočítán dle rovnice 6.26. Součinitel přepadu pro Jamborův práh je uvažován dle grafu (obr. 6.13) v rozmezí hodnot 0,42 až 0,53. Součinitel zatopení je odečten z tabulky 6.3.

Rovnice přepadu:

$$Q_{jambor} = m\sigma_z b_o \sqrt{2g}(h + h_{d0})^{\frac{3}{2}} \quad (6.26)$$

Kde:

$Q$  – průtok ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )

$m$  – součinitel přepadu (-)

$\sigma_z$  – součinitel zatopení (-)

$b_o$  – účinná šířka přelivné hrany (m)

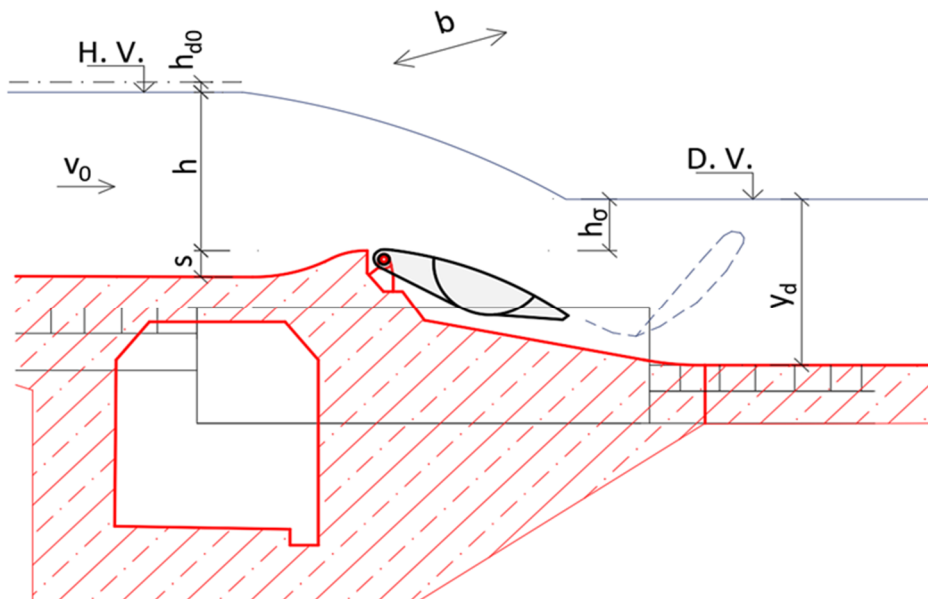
$g$  – tíhové zrychlení ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ )

$h$  – přepadová výška (m)

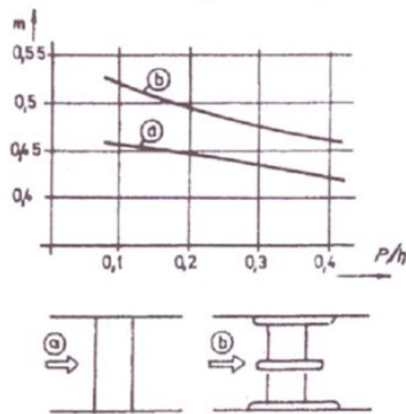
$h_{d0}$  – rychlostní výška (m)

$y_d$  – hloubka dolní vody (m)

$s$  – výška Jamborova prahu = 0,25 (m)

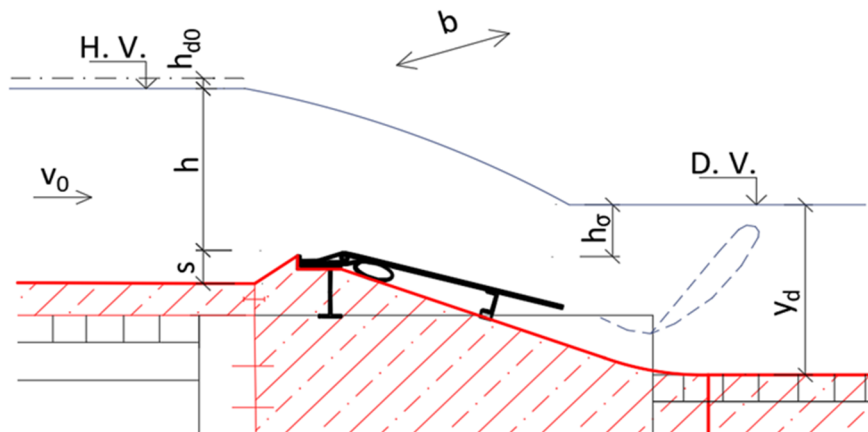


Obr. 6.12: Schéma pro výpočet přepadu přes Jamborův práh

Obr. 6.13: Součinitel přepadu  $m$  přes Jamborův práh [14]

#### 6.2.2.4 Pole s vyhrazenou deskovou klapkou (Varianta E, F)

Při sklopení deskové klapky (obr. 6.14) je tvar prahu podobný prahu ve šterkové propusti, proto je pro výpočet přepadu uvažována stejná rovnice (rovnice 6.25) i stejný součinitel přepadu (0,37) jako u pole s vyhrazenou šterkovou propustí.



Obr. 6.14: Schéma pro výpočet přepadu přes sklopenou deskovou klapku

#### 6.2.2.5 Pole s vyhrazeným vakovým uzávěrem (Varianta G, H)

Při sklopeném vaku (obr. 6.15) se jedná o přepad před širokou korunu, proto je ve výpočtu použita rovnice 6.27. Rozšířený součinitel přepadu je odečten z tabulky (tab. 6.5). Součinitele zatopení jsou odečteny z tabulky 6.4.

Rovnice přepadu (široká koruna):

$$Q_{pv} = \sigma M A B_0 H_0^{\frac{3}{2}} + 0,8 \sigma' M^x m^x H_0^{\frac{5}{2}} \quad (6.27)$$

Kde:

$A$  – součinitel půdorysného uspořádání koruny přelivu (-), uvažováno 1,0

$M = M^x$  – rozšířený součinitel přepadu (-)

$B_0$  – účinná šířka přelivné hrany (m)

$H_0$  – přepadová výška se zahrnutím rychlostní výšky (m)

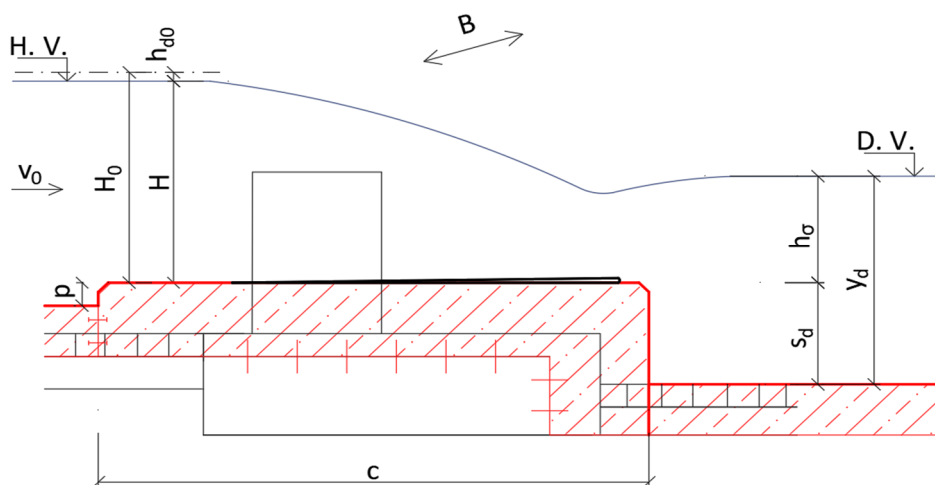
$m^x$  – sklon svahu pevného přelivu = 0,25 (-)

$\sigma$  – součinitel zatopení obdélníkové části přelivu (-)

$\sigma'$  – součinitel zatopení svahové části (-)

$c$  – šířka pevného prahu = 5,55 (m)

$p$  – výška pevného prahu = 0,25 (m)



Obr. 6.15: Schéma pro výpočet přepadu přes sklopený vak (široká koruna)

### 6.3 Návrh parametrů vývaru

Při přepadu vody přes jez vzniká bystrinné proudění, které pod jezem přechází do říčního proudění. Přechod mezi režimy proudění je uskutečněn vodním skokem. Kvůli možnosti utlumení kinetické energie vody, které se realizuje právě zmíněným vodním skokem, je pod jezem navržen vývar.



Hloubka vývaru je navržena tak, aby při nejnepříznivějším průtoku z předem zvolené řady průtoků dosahovala míra vzduť přilehlého vodního skoku hodnot v rozmezí 1,05 až 1,10.

Míra vzduť je spočtena dle rovnice 6.28. V této rovnici figuruje kromě hloubky vývaru i druhá vzájemná hloubka vodního skoku (rovnice 6.30) a hloubka dolní vody. Pro stanovení druhé vzájemné hloubky vodního skoku je nutné nejprve iteračně určit první vzájemnou hloubku vodního skoku (rovnice 6.29).

Hloubka dolní vody je odečtena z konsumpční křivky dolního koryta (obr. 3.3).

Celková délka vývaru, která se skládá z délky dopadu vodního paprsku (rovnice 6.31 a 6.32) a z aktivní délky vývaru (6.33), je stanovena dle vztahu 6.34. Součinitel aktivní délky vývaru je odečten z tabulky (tab. 6.6) v závislosti na poměru první a druhé vzájemné hloubky vodního skoku.

Míra vzduť přilehlého vodního skoku:

$$\sigma = \frac{y_d + d}{y_2} \quad (6.28)$$

První vzájemná hloubka vodního skoku:

$$y_1 = \frac{q}{\varphi \sqrt{2g(E - y_1)}} \quad (6.29)$$

Druhá vzájemná hloubka vodního skoku:

$$y_2 = \frac{y_1}{2} \left( \sqrt{1 + \frac{8q^2}{gy_1^3}} - 1 \right) \quad (6.30)$$

Délka dopadu vodního paprsku pro ostrohranný přeliv:

$$l_1 = 0,3h_0 + 1,63\sqrt{h_0(s + 0,335h_0)} \quad (6.31)$$

Délka dopadu vodního paprsku pro širokou korunu:

$$l_1 = 1,64\sqrt{h_0(s + 0,24h_0)} \quad (6.32)$$

Aktivní délka vývaru:

$$l_2 = K(y_2 - y_1) \quad (6.33)$$





Celková délka vývaru:

$$l = l_1 + l_2 \quad (6.34)$$

Kde:

$\sigma$  – míra vzduť přilehlého vodního skoku (-)

$d$  – hloubka vývaru (m)

$y_d$  – hloubka dolní vody (m)

$y_1$  – první vzájemná hloubka vodního skoku (m)

$y_2$  – druhá vzájemná hloubka vodního skoku (m)

$q$  – specifický průtok ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ )

$\varphi$  – rychlostní součinitel (-) [14]

pro vakový uzávěr (široká koruna) uvažováno 0,90

pro pevný jez uvažováno 0,95

pro práh ve šterkové propusti (výtok pod stavidlem) uvažováno 0,97

pro klapkový uzávěr (ostrohranný přeliv) uvažováno 1,00

$E$  – energetická výška (m)

$g$  – tíhové zrychlení ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ )

$l_1$  – délka dopadu vodního paprsku (m)

$l_2$  – aktivní délka vývaru (m)

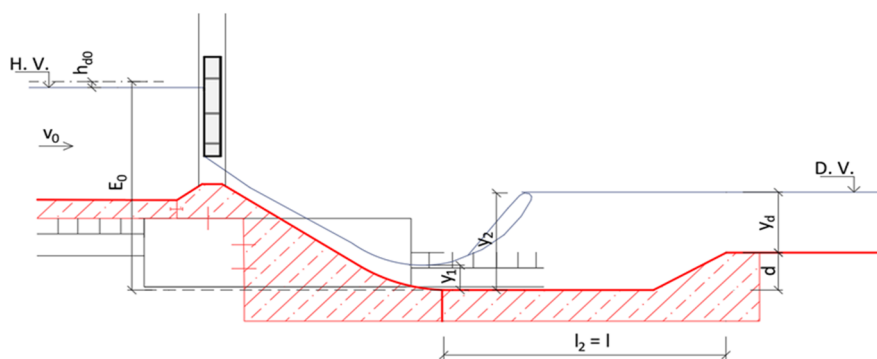
$h_0$  – energetická výška přepadu (m)

$s$  – výška přelivné hrany nad dnem horního koryta (m)

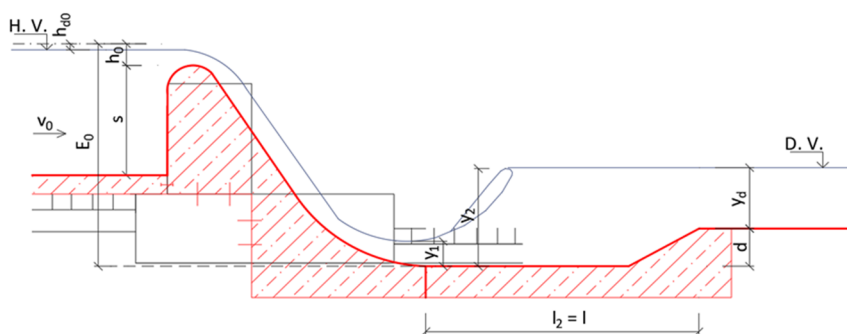
$K$  – součinitel aktivní délky vývaru (-)

Vývar byl navržen pro každou variantu nové hradicí konstrukce. Schémata výpočtu jsou uvedeny níže (obr. 6.16, obr. 6.17, obr. 6.18 a obr. 6.19). Při stanovování parametrů vývaru byly pro jednotlivé varianty zohledněny všechny možné manipulace s uzávěry.

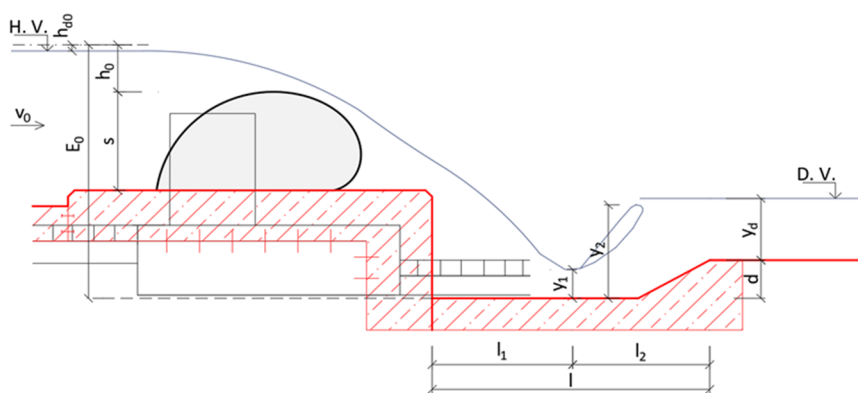
Výsledky výpočtů byly použity u hodnocení kritéria „9. Délka a hloubka vývaru“ ve výběru vhodné varianty nové hradicí konstrukce (kapitola 4).



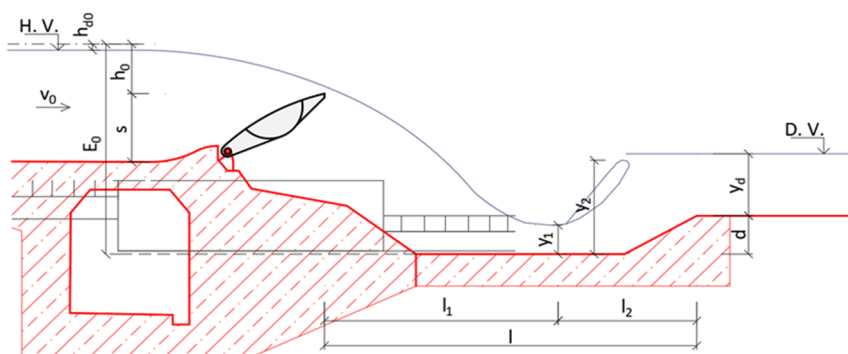
Obr. 6.17: Schéma pro návrh vývaru – šterková propust'



Obr. 6.16: Schéma pro návrh vývaru – pevný jez



Obr. 6.18: Schéma pro návrh vývaru – vakový uzávěr



Obr. 6.19: Schéma pro návrh vývaru – klapkový uzávěr



Tab. 6.6: Součinitel aktivní délky vývaru K [14]

$\gamma_2/\gamma_1$	3 až 4	4 až 6	6 až 20	>20
K	5.5	5	4.5	4

Pro ukázkou je uveden pouze návrh parametrů vývaru varianty H. U této varianty byly prověřeny následující stavy:

- 1) Manipulace s vakovým uzávěrem při udržování hladiny vody ve zdrži na úrovni 221.33 m n.m.** (tab. 6.7).
- 2) Úplné vyhrazení jezu** (mezní hladina na úrovni 222,03 m n.m.). (tab. 6.8)
- 3) Revize vakového uzávěru.** Průtok převáděn přes pole s pevným jezem. (tab. 6.9)

Pro lepší přehlednost jsou tabulky uvedeny na další straně.

Z výpočtu vyplynulo, že by u varianty H postačilo bezvývarové řešení. To je způsobeno tím, že dolní voda při všech průtocích dostatečně zavzdouvá vodní skok (míra vzduší  $\sigma > 1,1$ ). Kvůli stabilizaci vodního skoku a ochranně dna v podjezí před vymíláním byl u této varianty navržen alespoň konstrukční vývar o hloubce 0,3 m. Výsledná délka vývaru, která byla stanovena pro nejnepříznivější stav, je 10,2 m.

Tab. 6.7: Návrh a posouzení parametrů vývaru pro variantu H (1. stav)

Q	q	$Y_d$	d	s	$h_0$	$E_0$	$Y_1$	$Y_1'$	$Y_2$	$\sigma$	$l_1$	$Y_2/Y_1$	K	$l_2$	l
$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1})$	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(-)	(m)	(-)	(-)	(m)	(m)
15.0	1.367	1.4	0.3	0.74	0.823	2.988	0.198	0.205	1.263	1.35	1.44	6.16	4.5	4.79	6.20
25.0	2.278	1.77	0.3	0.47	1.099	3.003	0.330	0.349	1.574	1.32	1.48	4.50	5.0	6.22	7.70
35.0	3.189	2.06	0.3	0.27	1.324	3.025	0.460	0.499	1.803	1.31	1.45	3.61	5.5	7.39	8.80
45.0	4.100	2.31	0.3	0.10	1.528	3.055	0.588	0.655	1.983	1.32	1.38	3.03	5.5	7.67	9.10
50.0	4.556	2.42	0.3	0.01	1.628	3.072	0.652	0.735	2.061	1.32	1.33	2.81	5.5	7.75	9.10
52.5	4.784	2.48	0.3	0.00	1.679	3.109	0.681	0.770	2.106	1.32	1.35	2.74	5.5	7.84	9.20

Tab. 6.8: Návrh parametrů vývaru pro variantu H (2. stav)

Q	q	$Y_d$	d	s	$h_0$	$E_0$	$Y_1$	$Y_1'$	$Y_2$	$\sigma$	$l_1$	$Y_2/Y_1$	K	$l_2$	l
$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1})$	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(-)	(m)	(-)	(-)	(m)	(m)
15.0	0.640	1.4	0.3	0.00	0.970	2.400	0.104	0.106	0.836	2.03	0.78	7.90	4.5	3.30	4.10
30.0	1.279	1.92	0.3	0.00	1.491	2.921	0.188	0.194	1.218	1.82	1.20	6.27	4.5	4.63	5.80
45.0	1.919	2.31	0.3	0.00	1.910	3.340	0.263	0.274	1.522	1.71	1.53	5.55	5.0	6.29	7.80
60.0	2.559	2.63	0.3	0.00	2.149	3.579	0.339	0.357	1.765	1.66	1.73	4.95	5.0	7.13	8.90
75.0	3.198	2.92	0.3	0.00	2.397	3.827	0.410	0.434	1.986	1.62	1.93	4.57	5.0	7.88	9.80
82.3	3.510	3.05	0.3	0.00	2.518	3.948	0.443	0.470	2.088	1.60	2.02	4.44	5.0	8.22	10.20

Tab. 6.9: Návrh parametrů vývaru pro variantu H (3. stav)

Q	q	$Y_d$	d	s	$h_0$	$E_0$	$Y_1$	$Y_1'$	$Y_2$	$\sigma$	$l_1$	$Y_2/Y_1$	K	$l_2$	l
$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1})$	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(-)	(m)	(-)	(-)	(m)	(m)
5	0.426	0.79	0.3	1.75	0.351	3.281	0.056	0.056	0.782	1.39	1.43	13.89	4.5	3.27	4.70
10	0.851	1.14	0.3	1.75	0.556	3.486	0.108	0.110	1.105	1.30	1.86	10.04	4.5	4.48	6.30
15	1.277	1.4	0.3	1.75	0.712	3.642	0.159	0.163	1.351	1.26	2.15	8.31	4.5	5.36	7.50
17	1.447	1.49	0.3	1.75	0.764	3.694	0.179	0.183	1.437	1.25	2.25	7.83	4.5	5.66	7.90

## 6.4 Návrh rybího přechodu

Zájmová oblast spadá dle Českého rybářského svazu do mimopstruhového revíru (kaprové vody) [26][27], avšak pro přesné určení rybí obsádky v zájmové oblasti by bylo zapotřebí provést i ichtyologický průzkum.

Návrhový průtok rybím přechodem byl zvolen  $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Jedná se o průtok, který dle TNV 75 2321 [28] splňuje požadavky na zajištění migrační prostupnosti v rybím přechodu. Provoz rybího přechodu je v závislosti na hloubce vody v tůnce (0,5 až 0,75 m) uvažován v rozsahu  $Q_{90d}$  až  $Q_{300d}$ . Mimo tento interval zůstane rybí přechod v provozu, ale nebudou zajištěny návrhové parametry [28]. Při povodňových průtocích bude rybí přechod zahrazen provizorním hrazením.

Návrh technického šterbinového rybího přechodu byl proveden dle manuálu uvedeného ve standardech Agentury ochrany přírody a krajiny České republiky [30]. Jednotlivé kroky výpočtu, které jsou uvedeny níže, jsou i tabelovány (tab. 6.10).

Postup výpočtu:

1) Nejprve se dle vztahu 6.35 určí dovolený spád na šterbině  $\Delta h_{dovoleny}$ , který vychází z maximální rychlosti ve šterbině  $v_{dovolena}$ . Tato rychlost je určena podle cílového druhu ryby.

$$\Delta h_{dovoleny} = \frac{v_{dovolena}^2}{2g\varphi^2} \quad (6.35)$$

2) Na základě celkového spádu se dle vztahu 6.36 určí minimální počet přepážek  $n_{min}$ . Celkový spád je uvažován jako rozdíl úrovně hladiny vody ve zdrži (uvažováno 221,33 m n.m.) a úrovně hladiny vody v podjezí (uvažována hladina pro  $Q_{300d}$  – 219,18 m n.m.).

$$n_{min} = \frac{dH}{\Delta h_{dovoleny}} \quad (6.36)$$

Dále se určí počet přepážek  $n$ . Přičemž musí platit, že počet přepážek  $n$  je větší než  $n_{min}$ .

3) Dle vztahu 6.37 se vypočte návrhový spád na šterbině  $\Delta h$ .

$$\Delta h = \frac{dH}{n} \quad (6.37)$$

4) Proveďte se ověření maximální výtokové rychlosti ve šterbině  $v_{max}$  (rovnice 6.38).



$$v_{max} = \varphi \sqrt{2g\Delta h} < v_{dovolený} \quad (6.38)$$

5) Podle doporučení se určí minimální a maximální hloubka vody v tůňce  $h_{min}$  a  $h_{max}$ . Pro kaprové vody bylo uvažováno 0,5 a 0,75 m.

6) Podle vztahu 6.39 se vypočte šířka šterbiny  $B_{šterbiny\_výpoč}$  a dále se navrhne šířka šterbiny  $B_{šterbiny}$ . Přičemž musí platit, že  $B_{šterbiny}$  je větší než  $B_{šterbiny\_výpoč}$ .

$$B_{šterbiny\_výpoč} = \frac{Q_{návrhový}}{\varphi h_{min} \sqrt{2g\Delta h}} \quad (6.39)$$

7) Vypočte se průtok rybím přechodem. Dna sousedních tůňek na sebe navazují, proto se pro stanovení průtoku použije vztah 6.40.

$$Q = \varphi h_{min} B_{šterbiny} \sqrt{2g\Delta h} \quad (6.40)$$

8) Proveďte se kontrola vtoku do rybiho přechodu. Nejprve se dle vztahu 6.41 stanoví přítoková rychlost na vtoku rybiho přechodu  $v_0$  a následně se dle vztahu 6.42 vypočte redukovaná energetická výška  $h_e$ . Poté se vypočte kapacita vtoku  $Q_{kap}$  (vztah 6.43), která musí splňovat kontrolní podmínku (vztah 6.44).

$$v_0 = \frac{Q}{B_{rp} h_{max}} \quad (6.41)$$

$$h_e = 0,85 \left( h_{max} + \frac{v_0^2}{2g} \right) \quad (6.42)$$

$$Q_{kap} = 0,54 B_{šterbiny} \sqrt{2gh_e^3} \quad (6.43)$$

$$Q_{kap} > Q \quad (6.44)$$

9) Zkontroluje se režim proudění ve šterbině (vztah 6.45). Musí být dodrženo říční proudění, aby nedošlo ke vzniku vodního skoku ve šterbině.

$$Fr_{šterbiny} = \frac{v_{max}}{\sqrt{gh_{min}}} \quad (6.45)$$

10) Vypočte se doporučená délka tůňky  $L_{doporučený}$  (vztah 6.46). Ta vychází z doporučeného sklonu  $i_{doporučený}$ , který je zvolen dle limitů pro kaprové vody. Následně se navrhne délka tůňky  $L_{tůňky}$ . Přičemž musí platit, že  $L_{tůňky}$  je větší než  $L_{doporučený}$ .

$$L_{doporučený} = \frac{100\Delta h - i_{doporučený} \cdot tl}{i_{doporučený}} \quad (6.46)$$



Celková délka žlabu rybího přechodu  $L_{rp}$  se stanoví dle vztahu 6.47.

$$L_{rp} = (n - 1)(L_{tůňky} + tl) \quad (6.47)$$

11) Ověří se podmínka, zda došlo k dostatečné disipaci energie v tůňce (vztah 6.48). Objem tůňky je spočítán dle vztahu 6.49 a disipovaný výkon v tůňce  $P_{měr}$  je spočítán dle vztahu 6.50. Specifická maximální disipovaná energie  $P_{spec\_max}$  byla zvolena na hodnotu  $125 \text{ W.m}^{-3}$  s ohledem na limity pro kaprové vody.

$$P_{měr} < P_{spec\_max} \quad (6.48)$$

$$V_{tůňky} = h_{min} B_{rp} L_{tůňky} \quad (6.49)$$

$$P_{měr} = \frac{Q \Delta h \rho g}{V_{tůňky}} \quad (6.50)$$



Tab. 6.10: Návrh rybiho přechodu [28][29][30]

krok	veličina	označení	hodnota	jednotka	požadavek	posouzení
vstupní data	<b>celkový spád</b>	<b>dH</b>	<b>2.150</b>	m	dáno rozdílem hladin	
	<b>návrhový průtok</b>	<b>Q</b>	<b>0.600</b>	$m^3 \cdot s^{-1}$	TNV_75 2321 AOPK	
	maximální dovolená rychlost	$v_{dovolená}$	1.000	$m \cdot s^{-1}$	podle doporučení	
1	výtokový součinitel	$\varphi$	0.710	-	0.7-0.8	
	výpočtový spád na šterbině	$\Delta h_{dovol}$	0.101	m		
	minimální počet přepážek	$n_{min}$	21.3	ks		
2	<b>počet přepážek</b>	<b>n</b>	<b>24.0</b>	ks		
3	<b>spád na šterbině</b>	<b><math>\Delta h</math></b>	<b>0.090</b>	m		
4	<b>maximální rychlost ve šterbině</b>	<b><math>v_{max}</math></b>	<b>0.941</b>	$m \cdot s^{-1}$	$\leq v_{dovolená}$	vyhovuje
5	<b>minimální hloubka vody v tůnce</b>	<b><math>h_{min}</math></b>	<b>0.500</b>	m	podle doporučení	
	<b>maximální hloubka vody v tůnce</b>	<b><math>h_{max}</math></b>	<b>0.750</b>	m	podle doporučení	
6	výpočtová šířka šterbiny	$B_{šterbiny\_výpoč}$	1.275	m		
	<b>návrhová šířka šterbiny</b>	<b><math>B_{šterbiny}</math></b>	<b>1.300</b>	m	podle doporučení	
7	průtok - výtok spodem	$Q_a$	0.612	$m^3 \cdot s^{-1}$	$\geq Q$	vyhovuje
8	<b>šířka RP</b>	<b><math>B_{rp}</math></b>	<b>3.000</b>	m	podle doporučení	
	rychlost vody na vtoku	$v_o$	0.272	$m \cdot s^{-1}$	$< 0.4$ vyhovuje	
	redukováná energetická výška	$h_e$	0.641	m		
	kapacita vtoku	$Q_{kap}$	1.595	$m^3 \cdot s^{-1}$	$\geq Q$	vyhovuje
9	Froudovo číslo	$Fr_{šterbiny}$	0.425	-	$< 1$	
10	doporučený podélný sklon	$i_{doporučený}$	4.000	%	optimální 1:25 a pozvolnější	
	tloušťka přepážky	$tl$	0.200	m		
	doporučená délka tůňky	$L_{doporučený}$	2.040	m		
	<b>délka tůňky</b>	<b><math>L_{tůňky}</math></b>	<b>3.000</b>	m	$\geq L_{doporučený}$	vyhovuje
	<b>podélný sklon</b>	<b><math>i_{rp}</math></b>	<b>2.799</b>	%	$< i_{doporučený}$	vyhovuje
	délka žlabu RP	$L_{rp}$	73.600	m		
11	disipovaný výkon na přepážce	$P$	537.7	W		
	objem tůňky	$V_{tůňky}$	4.500	$m^3$		
	maximální specifický disipovaný výkon	$P_{spec\_max}$	125.0	$W \cdot m^{-3}$	podle doporučení	
	specifický disipovaný výkon	$P_{měr}$	119.5	$W \cdot m^{-3}$	$< P_{spec\_mac}$	vyhovuje



## 6.5 Posouzení stability spodní stavby jezu

### 6.5.1 Posunutí v základové spáře, překlopení a zdvih konstrukce vztlakem vody

#### 6.5.1.1 Uvažované zatěžovací stavy

V rámci posouzení stability proti posunutí v základové spáře, proti překlopení a zdvihu konstrukce vztlakem vody byly uvažovány následující zatěžovací stavy (obr. 6.20, obr. 6.21, obr. 6.22 a obr. 6.23):

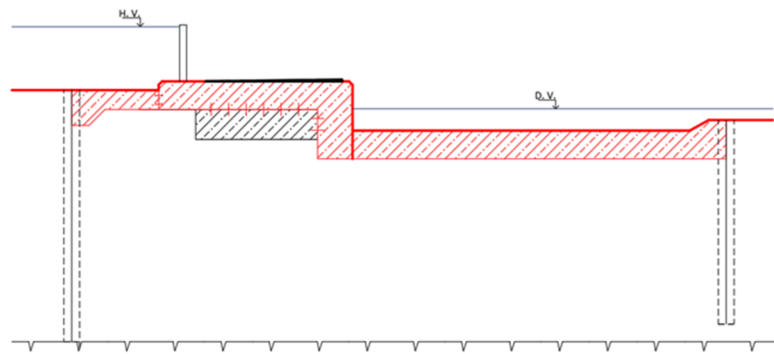
##### **Zatěžovací stav A – revize vakového uzávěru**

Při tomto stavu je pole s vakem zahrazeno provizorním hrazením a minimální zůstatkový průtok je do podjezí převáděn přes rybí přechod a pole s pevným jezem. Hladina vody ve zdrži je na úrovni 221,33 m n.m. a hladina vody ve vývaru je na úrovni 219,00 m n.m. (odpovídá minimálnímu zůstatkovému průtoku). Přebytečná voda, která zůstane mezi provizorním hrazením a sklopeným vakem, bude odvedena odvodňovacím žlabem a potrubím PVC DN 150 do podjezí (kapitola 5, příloha B.4).

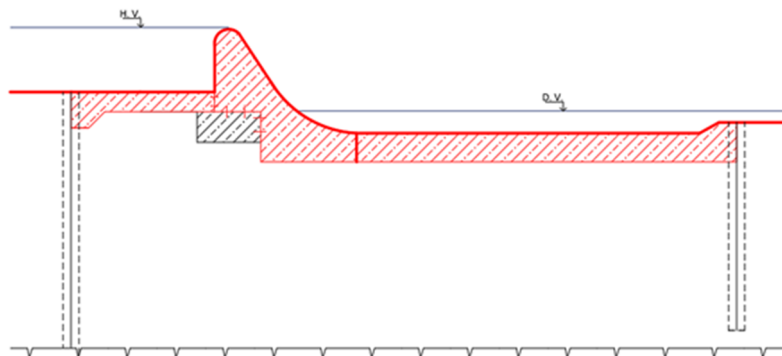
##### **Zatěžovací stav B – revize vývaru**

Při tomto stavu je za vývarem vybudována zemní hrázka a voda z vývaru je odčerpána do dolního koryta. Minimální zůstatkový průtok je do podjezí převáděn pouze rybím přechodem (pro průtok  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  nejsou dodrženy návrhové parametry). Hladina vody ve zdrži je na úrovni 221,33 m n.m. a dolní voda je na úrovni 219,00 m n.m. (odpovídá minimálnímu zůstatkovému průtoku).

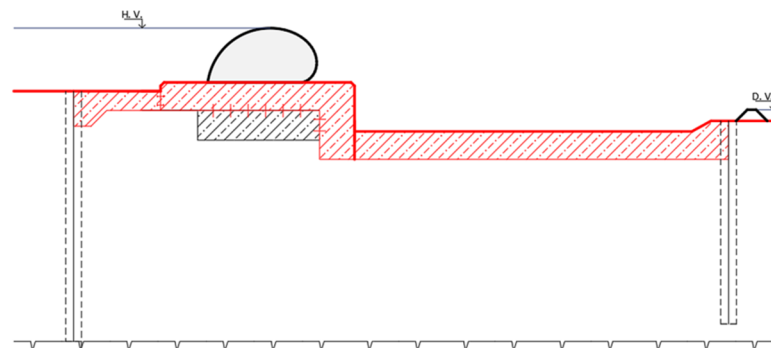
V obou případech se jedná o nepříznivé stavy, které mohou během provozu jezu běžně nastat. Pro rybí přechod nebyla stabilita posouzena.



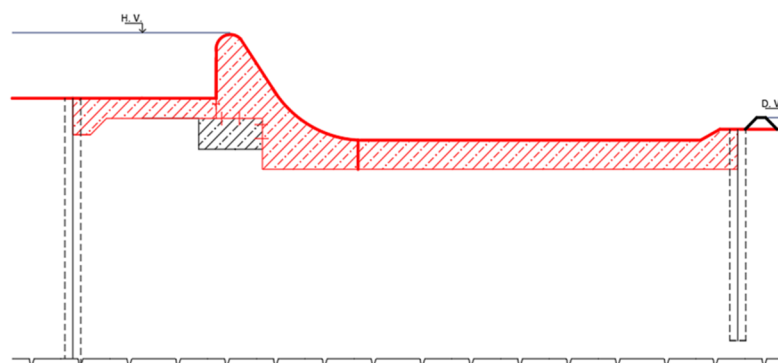
Obr. 6.20: Schéma zatěžovacího stavu A – pole s vakem



Obr. 6.21: Schéma zatěžovacího stavu A – pole s pevným jezem



Obr. 6.22: Schéma zatěžovacího stavu B – pole s vakem



Obr. 6.23: Schéma zatěžovacího stavu B – pole s pevným jezem



### 6.5.1.2 Síly působící na spodní stavbu jezu

Při výše uvedených zatěžovacích stavech působí na spodní stavbu jezu tyto síly:

#### Vlastní tíha spodní stavby

Objemová hmotnost slabě vyztuženého betonu C30/37 byla uvažována  $24 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ .

#### Hydrostatický tlak a vztlak vody

Objemová hmotnost vody byla uvažována  $10 \text{ kN m}^{-3}$ . Pro určení vztlakových sil byla využita Laneho metoda (rovnice 6.51). Tato metoda předpokládá lineární úbytek přetlaku  $H$  po celé rozvinuté délce spodní stavby. Dále zahrnuje i fakt, že ve vodorovném a svislém směru pod základovou spárou mohou být různé součinitele hydraulické vodivosti. V rámci řešení se předpokládá větší součinitel hydraulické vodivosti ve vodorovném směru (zahrnuto třetinovou délkou  $L_h$ ). Části základové spáry, které jsou vytvořeny pod úhlem  $45^\circ$  či menším jsou uvažovány jako vodorovné. Ostatní části základové spáry jsou uvažovány jako svislé. [14]

Pro snížení účinku vztlaku jsou ve vývarové desce zhotoveny drenážní otvory. Díky tomuto opatření bylo možné v rámci Laneho řešení snížit přetlak  $H$  o 40 % (zahrnuto součinitelem  $\alpha = 0,6$ ) [14]. Navíc štětovnicová stěna, která je realizována na návodní straně spodní stavby, prodlužuje průsakovou dráhu vody pod základovou spárou jezu a tím také přispívá ke snížení vztlaku. Druhá štětovnicová stěna nebyla do řešení zahrnuta, což je na straně bezpečnosti.

Průběh vztlaku na rozvinuté spodní stavbě pole s vakovým uzávěrem a pole s pevným jezem je znázorněn na následujících obrázcích (obr. 6.24 a 6.25).

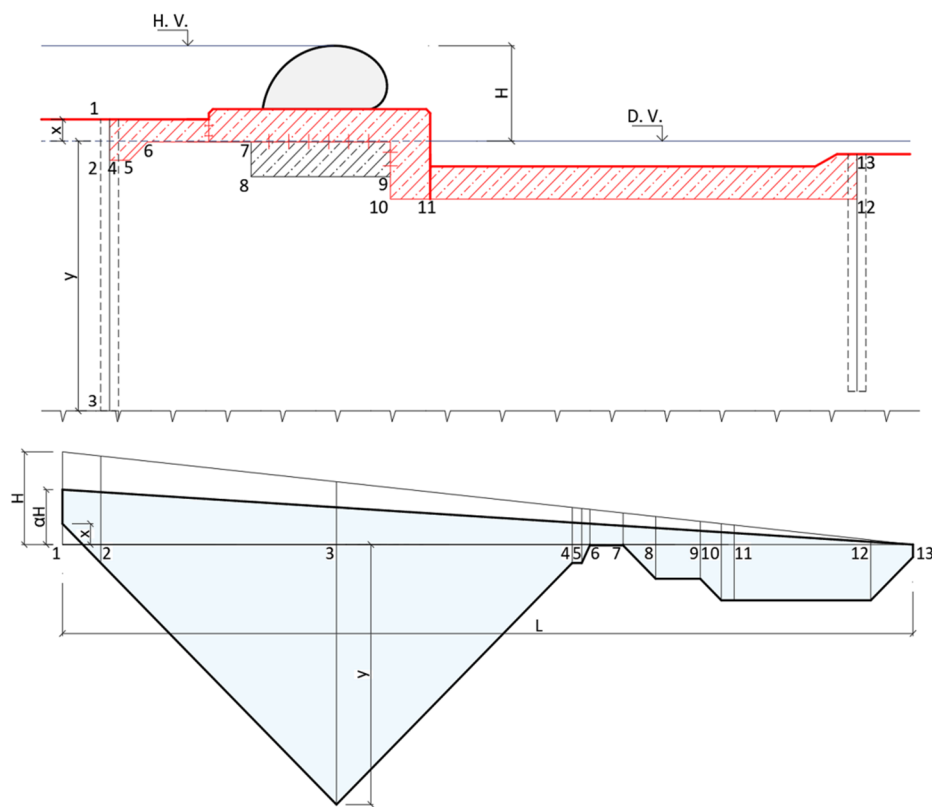
Laneho metoda řešení vztlaku:

$$L = \sum L_v + \frac{1}{3} \sum L_h \quad (6.51)$$

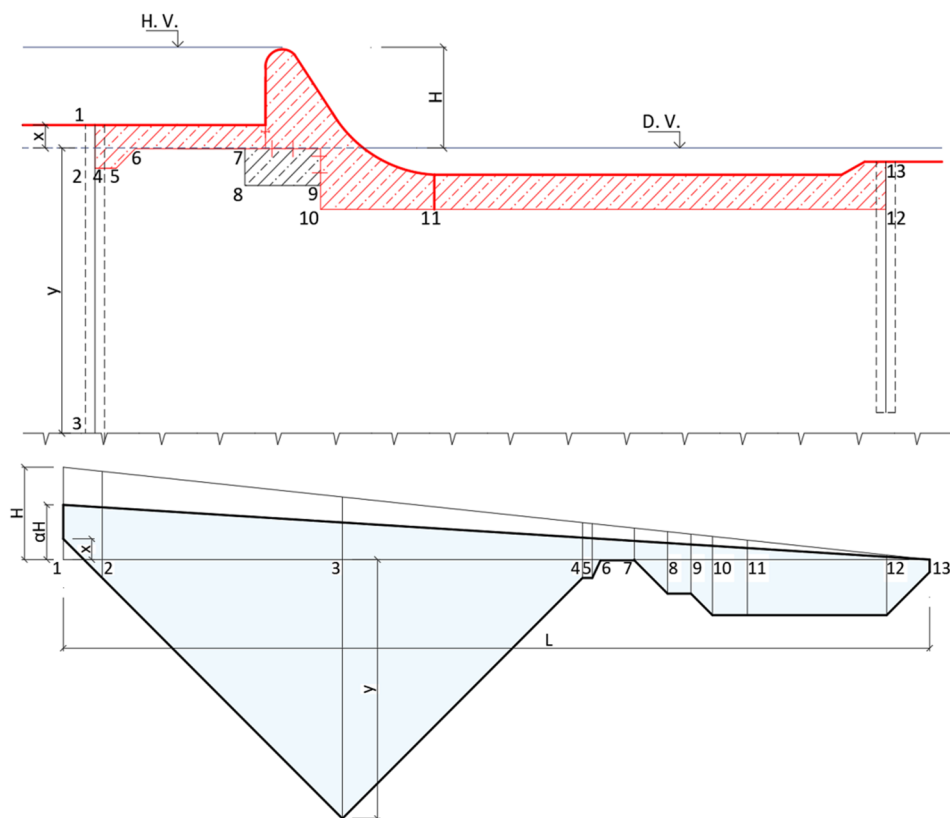
Kde:

$L_v$  – svislé délky obrysu spodní stavby jezu (m)

$L_h$  – vodorovné délky obrysu spodní stavby jezu (m)



Obr. 6.24: Průběh vztlaku (modře) – pole s vakem



Obr. 6.25: Průběh vztlaku (modře) - pole s pevným jezem



## Zemní tlak

Ve výpočtech byl zahrnut pasivní a aktivní zemní tlak. Pasivní zemní tlak byl uvažován tehdy, působila-li výslednice zemního tlaku proti předpokládanému pohybu konstrukce (posunutí, potočení). V opačném případě byl uvažován aktivní zemní tlak.

Výslednice aktivního a pasivního zemního tlaku byly spočítány dle rovnic 6.52 a 6.53. Součinitele zemního tlaku, které figurují v těchto rovnicích, byly spočteny dle vztahů 6.54 a 6.55.

Výslednice aktivního zemního tlaku:

$$S_a = \frac{1}{2} \gamma_{vz} h^2 K_a \quad (6.52)$$

Výslednice pasivního zemního tlaku:

$$S_p = \frac{1}{2} \gamma_{vz} h^2 K_p \quad (6.53)$$

Součinitel aktivního zemního tlaku:

$$K_a = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi'}{2} \right) \quad (6.54)$$

Součinitel pasivního zemního tlaku:

$$K_p = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi'}{2} \right) \quad (6.55)$$

Kde:

$h$  – mocnost zeminy zatěžující konstrukci (m)

$\gamma_{vz}$  – objemová hmotnost zvodnělé zeminy = 11 (kN.m<sup>-3</sup>), viz únosnost základové půdy

$\varphi'$  – výpočtová hodnota úhlu vnitřního tření zeminy = 24,79 (°), viz únosnost základové půdy

Součinitel aktivního zemního tlaku byl výpočtem stanoven na hodnotu 0,409 a součinitel pasivního zemního tlaku na hodnotu 2,444.



### 6.5.1.3 Podmínky stability

Stabilita spodní stavby proti posunutí v základové spáře byla posouzena dle vztahu 6.56, stabilita konstrukce proti překlopení byla posouzena dle vztahu 6.58 a stabilita spodní stavby proti zdvihu vztlakem vody byla posouzena dle vztahu 6.59.

Stabilita proti posunutí v základové spáře:

$$\gamma_n F_{ud} \leq \gamma_{stp} U_u \quad (6.56)$$

Kde:

$\gamma_n$  – součinitel účelu = 1,1 (-), pro třídu objektu Ib [14]

$F_{ud}$  – výslednice sil působících rovnoběžně se základovou spárou ve směru uvažovaného posunutí (kN)

$\gamma_{stp}$  – součinitel stability polohy = 0,9 (-)

$U_u$  – výpočtový odpor proti posunutí (kN) stanovený dle rovnice 6.57

$$U_u = \mu N_d + c' A_c \quad (6.57)$$

Kde:

$\mu = \operatorname{tg} \varphi'$  – výpočtová hodnota součinitele smykového tření = 0,462 (-), viz únosnost základové půdy

$N_d$  – svislá složka výslednice sil působících kolmo na základovou spáru (kN)

$c'$  – výpočtová hodnota soudržnosti zeminy = 0 (kPa), viz únosnost základové půdy

$A_c$  – plocha základové spáry, na níž působí síly od soudržnosti (m<sup>2</sup>)

Stabilita proti překlopení:

$$\gamma_n M_{act} \leq \gamma_{stp} M_{pas} \quad (6.58)$$

Kde:

$\gamma_n$  – součinitel účelu = 1,1 (-), pro třídu objektu Ib [14]

$M_{act}$  – aktivní moment sil způsobující překlopení konstrukce (kNm)

$\gamma_{stp}$  – součinitel stability polohy = 1,0 (-)



$M_{pas}$  – pasivní moment sil zabraňující překlopení (kNm)

Stabilita proti zdvihu vztlakem vody:

$$\gamma_n F_{vd} \leq \gamma_{stp} U_v \quad (6.59)$$

Kde:

$\gamma_n$  – součinitel účelu = 1,1 (-), pro třídu objektu Ib [14]

$F_{vd}$  – výslednice sil od zatížení vztlakem (kN), která je přenásobena součinitel zatížení  $\gamma_{fv} = 1,1$  (-)

$\gamma_{stp}$  – součinitel stability polohy = 1,0 (-)

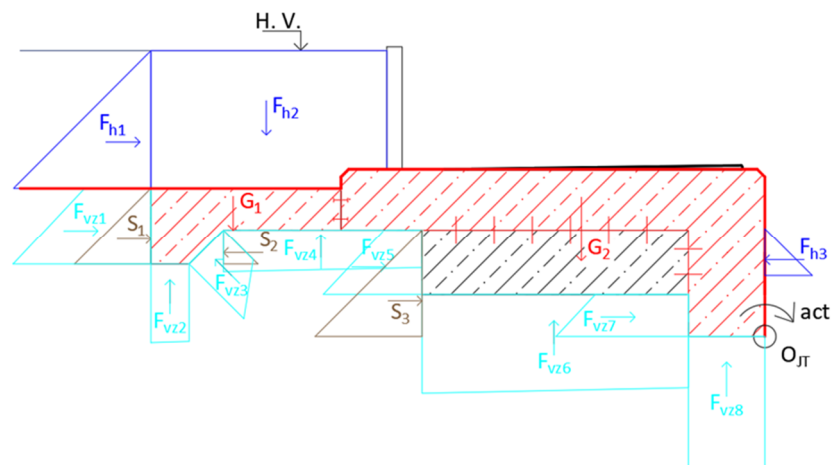
$U_v$  – výpočtový odpor pro nadzvednutí vztlakem (kN)

#### 6.5.1.4 Zatěžovací stav A

V rámci zatěžovacího stavu A byly jednotlivé dilatační celky (jezové těleso, vývarová deska a pilíř) posouzeny na výše uvedené podmínky stability (podkapitola 6.5.1.3). Ke každému posouzení je vždy uvedeno schéma s vyznačenými zatěžovacími obrazci a působícími silami. Plochy zatěžovacích obrazců a velikosti působících sil včetně jejich ramen k bodům otáčení jsou tabelovány.

#### Jezové těleso – pole s vakem

Překlopení konstrukce bylo posouzeno k bodu otáčení  $O_{JT}$ . Posunutí bylo posouzeno v teoretické základové spáře, která prochází tímto bodem otáčení.



Obr. 6.26: Schéma sil působících na jezové těleso (pole s vakem) při zat. stavu A

Posunutí v teoretické základové spáře:

$$F_{ud} = F_{h1} - F_{h3} + S_{1a} - S_{2p} + S_{3a} + F_{vz1} - F_{vz3y} + F_{vz5} + F_{vz7} = 43,79 \text{ kN}$$

$$N_d = F_{h2} + G_1 + G_2 - F_{vz2} - F_{vz3z} - F_{vz4} - F_{vz6} - F_{vz8} = 222,65 \text{ kN}$$

$$U_u = \mu N_d + c' A_c = 0,462 \cdot 222,65 + 0 = 102,86 \text{ kN}$$

$$\gamma_n F_{ud} \leq \gamma_{stp} U_u$$

$$1,1 \cdot 43,79 \leq 0,9 \cdot 102,86$$

$$48,17 \text{ kN} < 92,57 \text{ kN} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

Překlopení k bodu  $O_{JT}$ :

$$\begin{aligned} M_{act} &= F_{h1} \cdot r_{Fh1} + F_{vz1} \cdot r_{Fvz1} + S_{1a} \cdot r_{S1a} + F_{vz2} \cdot r_{Fvz2} + F_{vz3z} \cdot r_{Fvz3z} + F_{vz4} \cdot r_{Fvz4} \\ &\quad + S_{3a} \cdot r_{S3a} + F_{vz5} \cdot r_{Fvz5} + F_{vz6} \cdot r_{Fvz6} + F_{vz7} \cdot r_{Fvz7} + F_{vz8} \cdot r_{Fvz8} \\ &= 347,66 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pas} &= F_{h2} \cdot r_{Fh2} + S_{2p} \cdot r_{S2p} + F_{vz3y} \cdot r_{Fvz3y} + F_{h3} \cdot r_{Fh3} + G_1 \cdot r_{G1} + G_2 \cdot r_{G2} \\ &= 1152,16 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\gamma_n M_{act} \leq \gamma_{stp} M_{pas}$$

$$1,1 \cdot 347,66 \leq 1,0 \cdot 1152,16$$





$382,42 \text{ kNm} < 1152,16 \text{ kNm} \Rightarrow$  **Vyhoví**

Zdvih vztlakem vody:

$$F_{vy} = F_{vz1} - F_{vz3y} + F_{vz5} + F_{vz7} = 25,57 \text{ kN}$$

$$F_{vz} = F_{vz2} + F_{vz3z} + F_{vz4} + F_{vz6} + F_{vz8} = 83,34 \text{ kN}$$

$$F_v = \sqrt{F_{vy}^2 + F_{vz}^2} = \sqrt{25,57^2 + 83,34^2} = 87,17 \text{ kN}$$

$$F_{vd} = F_v \cdot 1,1 = 87,17 \cdot 1,1 = 95,89 \text{ kN}$$

$$U_v = F_{h2} + G_1 + G_2 = 305,98 \text{ kN}$$

$$\gamma_n F_{vd} \leq \gamma_{stp} U_v$$

$$1,1 \cdot 95,89 \leq 1 \cdot 305,98$$

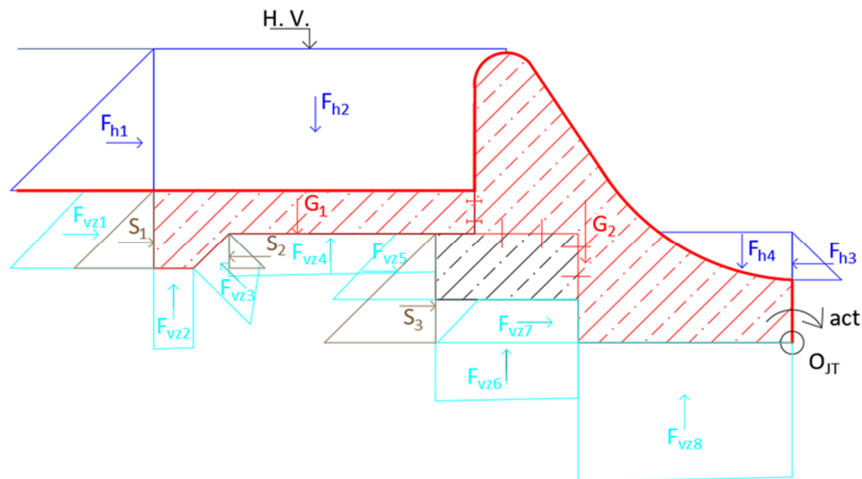
$105,48 \text{ kN} < 305,98 \text{ kN} \Rightarrow$  **Vyhoví**

Tab. 6.11: Síly působící na jezové těleso (pole s vakem) při zat. stavu A

Druh zatížení	Označení	Plocha	$\gamma$	Velikost síly	ramena sil k $O_{JT}$
	(-)	( $\text{m}^2$ )	( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	(kN)	(m)
Hydrostatický tlak	$F_{h1}$	1.62	10	16.20	2.56
	$F_{h2}$	5.42	10	54.17	6.53
	$F_{h3}$	0.19	10	1.92	1.01
Zemní tlak	$S_{1a}$	0.20	11	2.25	1.28
	$S_{1p}$	1.22	11	13.44	1.28
	$S_{2a}$	0.04	11	0.46	1.10
	$S_{2p}$	0.25	11	2.72	1.10
	$S_{3a}$	0.40	11	4.41	0.48
	$S_{3p}$	2.40	11	26.35	0.48
Vztlak	$F_{vz1}$	1.34	10	13.37	1.39
	$F_{vz2}$	0.51	10	5.11	7.79
	$F_{vz3y}$	0.35	10	3.52	1.01
	$F_{vz3z}$	0.35	10	3.52	7.19
	$F_{vz4}$	1.36	10	13.61	5.79
	$F_{vz5}$	0.76	10	7.60	0.92
	$F_{vz6}$	4.39	10	43.85	2.76
	$F_{vz7}$	0.81	10	8.13	0.25
Vlastní tíha	$G_1$	1.70	24	40.70	6.96
	$G_2$	8.80	24	211.12	2.40

### Jezové těleso – pole s pevným jezem

Překlopení konstrukce bylo posouzeno k bodu otáčení  $O_{JT}$ . Posunutí bylo posouzeno v teoretické základové spáře, která prochází tímto bodem otáčení.



Obr. 6.27: Schéma sil působících na jezové těleso (pole s pevným jezem) při zat. stavu A

Posunutí v teoretické základové spáře:

$$F_{ud} = F_{h1} - F_{h3} + S_{1a} - S_{2p} + S_{3a} + F_{vz1} - F_{vz3y} + F_{vz5} + F_{vz7} = 43,99 \text{ kN}$$

$$N_d = F_{h2} + F_{h4} + G_1 + G_2 - F_{vz2} - F_{vz3z} - F_{vz4} - F_{vz6} - F_{vz8} = 236,55 \text{ kN}$$

$$U_u = \mu N_d + c' A_c = 0,462 \cdot 236,55 + 0 = 109,29 \text{ kN}$$

$$\gamma_n F_{ud} \leq \gamma_{stp} U_u$$

$$1,1 \cdot 43,99 \leq 0,9 \cdot 109,29$$

$$48,38 \text{ kN} < 98,33 \text{ kN} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

Překlopení k bodu  $O_{JT}$ :

$$\begin{aligned} M_{act} &= F_{h1} \cdot r_{Fh1} + F_{vz1} \cdot r_{Fvz1} + S_{1a} \cdot r_{S1a} + F_{vz2} \cdot r_{Fvz2} + F_{vz3z} \cdot r_{Fvz3z} + F_{vz4} \cdot r_{Fvz4} \\ &\quad + S_{3a} \cdot r_{S3a} + F_{vz5} \cdot r_{Fvz5} + F_{vz6} \cdot r_{Fvz6} + F_{vz7} \cdot r_{Fvz7} + F_{vz8} \cdot r_{Fvz8} \\ &= 364,39 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pas} &= F_{h2} \cdot r_{Fh2} + F_{h4} \cdot r_{Fh4} + S_{2p} \cdot r_{S2p} + F_{vz3y} \cdot r_{Fvz3y} + F_{h3} \cdot r_{Fh3} + G_1 \cdot r_{G1} \\ &\quad + G_2 \cdot r_{G2} = 1320,56 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\gamma_n M_{act} \leq \gamma_{stp} M_{pas}$$



$$1,1 \cdot 364,39 \leq 1,0 \cdot 1320,56$$

$$400,83 \text{ kNm} < 1320,56 \text{ kNm} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

Zdvih vztlakem vody:

$$F_{vy} = F_{vz1} - F_{vz3y} + F_{vz5} + F_{vz7} = 25,77 \text{ kN}$$

$$F_{vz} = F_{vz2} + F_{vz3z} + F_{vz4} + F_{vz6} + F_{vz8} = 92,09 \text{ kN}$$

$$F_v = \sqrt{F_{vy}^2 + F_{vz}^2} = \sqrt{25,77^2 + 92,09^2} = 95,63 \text{ kN}$$

$$F_{vd} = F_v \cdot 1,1 = 95,63 \cdot 1,1 = 105,20 \text{ kN}$$

$$U_v = F_{h2} + F_{h4} + G_1 + G_2 = 328,64 \text{ kN}$$

$$\gamma_n F_{vd} \leq \gamma_{stp} U_v$$

$$1,1 \cdot 105,20 \leq 1 \cdot 328,64$$

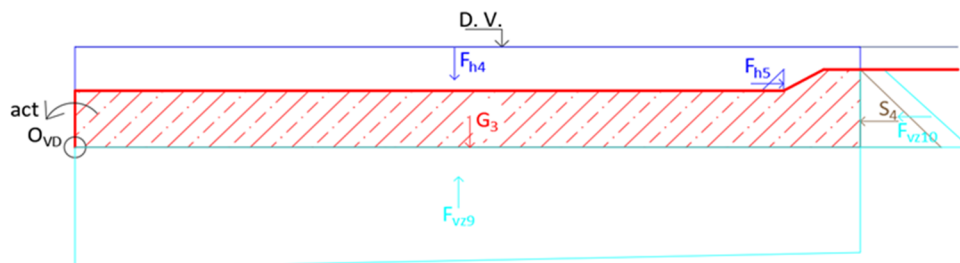
$$115,72 \text{ kN} < 328,64 \text{ kN} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

Tab. 6.12: Síly působící na jezové těleso (pole s pevným jezem) při zat. stavu A

Druh zatížení	Označení	Plocha	$\gamma$	Velikost síly	ramena sil
	(-)	(m <sup>2</sup> )	(kN.m <sup>-3</sup> )	(kN)	k O <sub>JT</sub> (m)
Hydrostatický tlak	$F_{h1}$	1.62	10	16.20	2.56
	$F_{h2}$	7.33	10	73.26	6.00
	$F_{h3}$	0.19	10	1.92	1.01
	$F_{h4}$	0.68	10	6.85	0.63
Zemní tlak	$S_{1a}$	0.20	11	2.25	1.28
	$S_{1p}$	1.22	11	13.44	1.28
	$S_{2a}$	0.04	11	0.46	1.10
	$S_{2p}$	0.25	11	2.72	1.10
	$S_{3a}$	0.40	11	4.41	0.48
	$S_{3p}$	2.40	11	26.35	0.48
Vztlak	$F_{vz1}$	1.34	10	13.37	1.39
	$F_{vz2}$	0.51	10	5.11	7.79
	$F_{vz3y}$	0.35	10	3.52	1.01
	$F_{vz3z}$	0.35	10	3.52	7.19
	$F_{vz4}$	1.36	10	13.61	5.79
	$F_{vz5}$	0.76	10	7.60	0.92
	$F_{vz6}$	2.29	10	22.88	3.60
	$F_{vz7}$	0.83	10	8.32	0.26
Vlastní tíha	$G_1$	2.55	24	61.16	6.23
	$G_2$	7.81	24	187.38	2.60

## Vývarová deska

Překlopení konstrukce bylo posouzeno k bodu otáčení  $O_{VD}$ . Posunutí bylo posouzeno v základové spáře, která prochází tímto bodem otáčení.



Obr. 6.28: Schéma sil působících na vývarovou desku při zat. stavu A

Posunutí v základové spáře:

$$F_{ud} = S_{4a} + F_{vz10} - F_{h5} = 12,23 \text{ kN}$$

$$N_d = F_{h4} + G_3 - F_{vz9} = 103,61 \text{ kN}$$

$$U_u = \mu N_d + c' A_c = 0,462 \cdot 103,61 + 0 = 47,87 \text{ kN}$$

$$\gamma_n F_{ud} \leq \gamma_{stp} U_u$$

$$1,1 \cdot 12,23 \leq 0,9 \cdot 47,87$$

$$13,45 \text{ kN} < 43,07 \text{ kN} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

Překlopení k bodu  $O_{VD}$ :

$$M_{act} = F_{vz9} \cdot r_{Fvz9} + F_{vz10} \cdot r_{Fv10} + S_{4a} \cdot r_{S4a} = 901,78 \text{ kNm}$$

$$M_{pas} = F_{h4} \cdot r_{Fh4} + G_3 \cdot r_{G3} + F_{h5} \cdot r_{Fh5} = 1466,59 \text{ kNm}$$

$$\gamma_n M_{act} \leq \gamma_{stp} M_{pas}$$

$$1,1 \cdot 901,78 \leq 1,0 \cdot 1466,59$$

$$991,95 \text{ kNm} < 1466,59 \text{ kNm} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$



Zdvih vztlakem vody:

$$F_{vy} = F_{vz10} = 9,96 \text{ kN}$$

$$F_{vz} = F_{vz9} = 171,41 \text{ kN}$$

$$F_v = \sqrt{F_{vy}^2 + F_{vz}^2} = \sqrt{9,96^2 + 171,41^2} = 171,70 \text{ kN}$$

$$F_{vd} = F_v \cdot 1,1 = 171,70 \cdot 1,1 = 188,87 \text{ kN}$$

$$U_v = F_{h4} + G_3 = 275,02 \text{ kN}$$

$$\gamma_n F_{vd} \leq \gamma_{stp} U_v$$

$$1,1 \cdot 188,87 \leq 1 \cdot 275,02$$

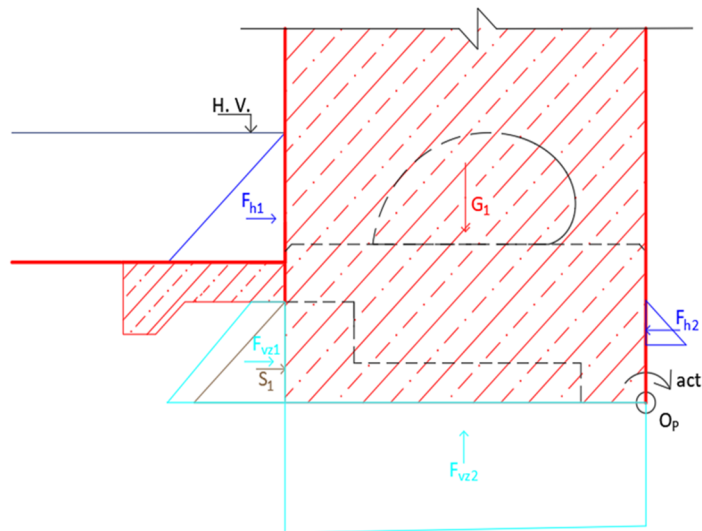
$$207,76 \text{ kN} < 275,02 \text{ kN} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

Tab. 6.13: Síly působící na vývarovou desku při zat. stavu A

Druh zatížení	Označení	Plocha	$\gamma$	Velikost síly	ramena sil k $O_{VD}$
	(-)	( $m^2$ )	( $kN \cdot m^{-3}$ )	(kN)	(m)
Hydrostatický tlak	$F_{h4}$	6.40	10	64.02	5.17
	$F_{h5}$	0.05	10	0.45	0.90
Zemní tlak	$S_{4a}$	0.25	11	2.72	0.37
	$S_{4p}$	1.48	11	16.27	0.37
Vztlak	$F_{vz9}$	17.14	10	171.41	5.23
	$F_{vz10}$	1.00	10	9.96	0.43
Vlastní tíha	$G_3$	8.79	24	211.00	5.38

### Návodní pilíř

Překlopení konstrukce bylo posouzeno k bodu otáčení  $O_p$ . Posunutí bylo posouzeno v základové spáře, která prochází tímto bodem otáčení. Vlastní tíha lávky, která pilíř přitěžuje, byla ve stabilních podmínkách zanedbána, což je na straně bezpečnosti.



Obr. 6.29: Schéma sil působících na návodní pilíř při zat. stavu A

Posunutí v základové spáře:

$$F_{ud} = F_{h1} - F_{h2} + S_{1a} + F_{vz1} = 69,98 \text{ kN}$$

$$N_d = G_1 - F_{vz2} = 1039,84 \text{ kN}$$

$$U_u = \mu N_d + c' A_c = 0,462 \cdot 1039,84 + 0 = 480,41 \text{ kN}$$

$$\gamma_n F_{ud} \leq \gamma_{stp} U_u$$

$$1,1 \cdot 69,98 \leq 0,9 \cdot 480,41$$

$$76,98 \text{ kN} < 432,25 \text{ kN} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

Překlopení k bodu  $O_P$ :

$$M_{act} = F_{h1} \cdot r_{Fh1} + F_{vz1} \cdot r_{Fvz1} + S_{1a} \cdot r_{S1a} + F_{vz2} \cdot r_{Fvz2} = 653,39 \text{ kNm}$$

$$M_{pas} = F_{h2} \cdot r_{Fh2} + G_1 \cdot r_{G1} = 3425,58 \text{ kNm}$$

$$\gamma_n M_{act} \leq \gamma_{stp} M_{pas}$$

$$1,1 \cdot 653,39 \leq 1,0 \cdot 3425,58$$

$$718,73 \text{ kNm} < 3425,58 \text{ kNm} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

Zdvih vztlakem vody:

$$F_{vy} = F_{vz1} = 32,61 \text{ kN}$$

$$F_{vz} = F_{vz2} = 195,58 \text{ kN}$$

$$F_v = \sqrt{F_{vy}^2 + F_{vz}^2} = \sqrt{32,61^2 + 195,58^2} = 198,28 \text{ kN}$$

$$F_{vd} = F_v \cdot 1,1 = 198,28 \cdot 1,1 = 218,11 \text{ kN}$$

$$U_v = G_1 = 1235,42 \text{ kN}$$

$$\gamma_n F_{vd} \leq \gamma_{stp} U_v$$

$$1,1 \cdot 218,11 \leq 1 \cdot 1235,42$$

$$239,92 \text{ kN} < 1235,42 \text{ kN} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

Tab. 6.14: Síly působící na návodní pilř při zat. stavu A

Druh zatížení	Označení	Plocha	$\gamma$	Velikost síly	ramena sil k $O_p$
	(-)	( $m^2$ )	( $kN \cdot m^{-3}$ )	(kN)	(m)
Hydrostatický tlak	$F_{h1}$	1.62	10	32.40	2.56
	$F_{h2}$	0.19	10	3.84	0.90
Zemní tlak	$S_{1a}$	0.40	11	8.82	0.48
	$S_{1p}$	2.40	11	52.70	0.48
Vztlak	$F_{vz1}$	1.63	10	32.61	0.57
	$F_{vz2}$	9.78	10	195.58	2.80
Vlastní tíha	$G_1$	51.48	24	1235.42	2.77

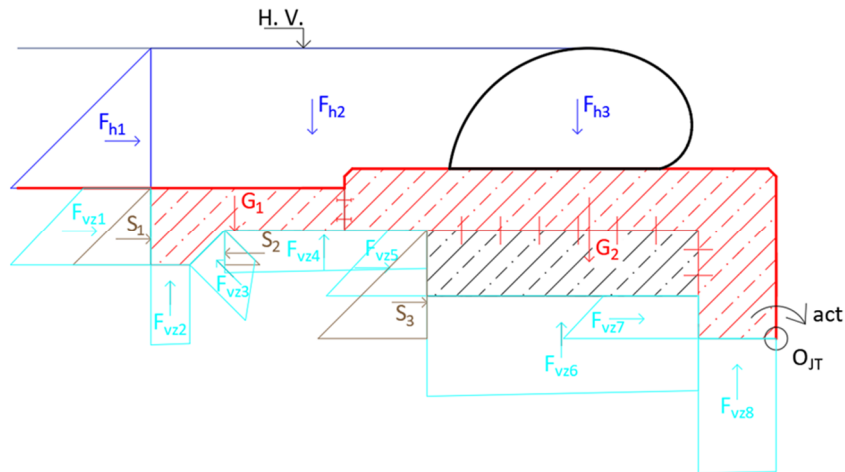
Posuzované dilatační celky vyhoví při zatěžovacím stavu A všem podmínkám stability.

### 6.5.1.5 Zatěžovací stav B

V rámci zatěžovacího stavu B byly jednotlivé dilatační celky (jezové těleso, vývarová deska a pilř) posouzeny na výše uvedené podmínky stability (podkapitola 6.5.1.3). Ke každému posouzení je vždy uvedeno schéma s vyznačenými zatěžovacími obrázky a působícími silami. Plochy zatěžovacích obrázků a velikosti působících sil včetně jejich ramen k bodům otáčení jsou tabelovány.

### Jezové těleso – pole s vakem

Překlopení konstrukce bylo posouzeno k bodu otáčení  $O_{JT}$ . Posunutí bylo posouzeno v teoretické základové spáře, která prochází tímto bodem otáčení. Při tomto stavu je spodní stavba přitěžována tíhou vody ve vztyčeném vaku.



Obr. 6.30: Schéma sil působících na jezové těleso (pole s vakem) při zat. stavu B

Posunutí v teoretické základové spáře:

$$F_{ud} = F_{h1} + S_{1a} - S_{2p} + S_{3a} + F_{vz1} - F_{vz3y} + F_{vz5} + F_{vz7} = 45,71 \text{ kN}$$

$$N_d = F_{h2} + F_{h3} + G_1 + G_2 - F_{vz2} - F_{vz3z} - F_{vz4} - F_{vz6} - F_{vz8} = 279,16 \text{ kN}$$

$$U_u = \mu N_d + c' A_c = 0,462 \cdot 279,16 + 0 = 128,97 \text{ kN}$$

$$\gamma_n F_{ud} \leq \gamma_{stp} U_u$$

$$1,1 \cdot 45,71 \leq 0,9 \cdot 128,97$$

$$50,28 \text{ kN} < 116,07 \text{ kN} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

Překlopení k bodu  $O_{JT}$ :

$$\begin{aligned} M_{act} &= F_{h1} \cdot r_{Fh1} + F_{vz1} \cdot r_{Fvz1} + S_{1a} \cdot r_{S1a} + F_{vz2} \cdot r_{Fvz2} + F_{vz3z} \cdot r_{Fvz3z} + F_{vz4} \cdot r_{Fvz4} \\ &\quad + S_{3a} \cdot r_{S3a} + F_{vz5} \cdot r_{Fvz5} + F_{vz6} \cdot r_{Fvz6} + F_{vz7} \cdot r_{Fvz7} + F_{vz8} \cdot r_{Fvz8} \\ &= 347,66 \text{ kNm} \end{aligned}$$





$$\begin{aligned}M_{pas} &= F_{h2} \cdot r_{Fh2} + S_{2p} \cdot r_{S2p} + F_{vz3y} \cdot r_{Fvz3y} + F_{h3} \cdot r_{Fh3} + G_1 \cdot r_{G1} + G_2 \cdot r_{G2} \\ &= 1326,22 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\gamma_n M_{act} \leq \gamma_{stp} M_{pas}$$

$$1,1 \cdot 347,66 \leq 1,0 \cdot 1326,22$$

$$382,42 \text{ kNm} < 1326,22 \text{ kNm} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

*Zdvih vztlakem vody:*

$$F_{vy} = F_{vz1} - F_{vz3y} + F_{vz5} + F_{vz7} = 25,57 \text{ kN}$$

$$F_{vz} = F_{vz2} + F_{vz3z} + F_{vz4} + F_{vz6} + F_{vz8} = 83,34 \text{ kN}$$

$$F_v = \sqrt{F_{vy}^2 + F_{vz}^2} = \sqrt{25,57^2 + 83,34^2} = 87,17 \text{ kN}$$

$$F_{vd} = F_v \cdot 1,1 = 87,17 \cdot 1,1 = 95,89 \text{ kN}$$

$$U_v = F_{h2} + F_{h3} + G_1 + G_2 = 362,50 \text{ kN}$$

$$\gamma_n F_{vd} \leq \gamma_{stp} U_v$$

$$1,1 \cdot 95,89 \leq 1 \cdot 362,50$$

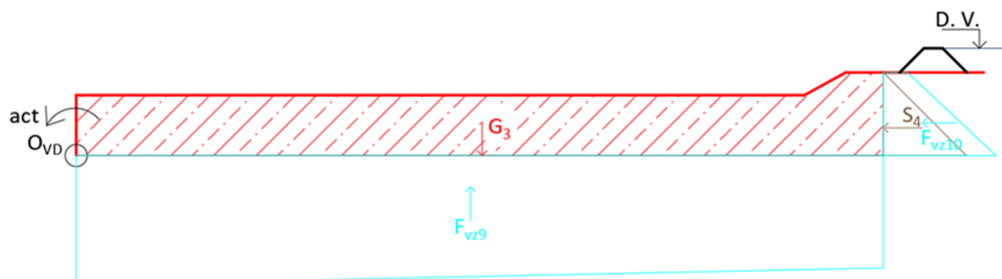
$$105,48 \text{ kN} < 362,50 \text{ kN} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

Tab. 6.15: Síly působící na jezové těleso (pole s vakem) při zat. stavu B

Druh zatížení	Označení	Plocha	$\gamma$	Velikost síly	ramena sil k $O_{JT}$
	(-)	(m <sup>2</sup> )	(kN.m <sup>-3</sup> )	(kN)	(m)
Hydrostatický tlak	$F_{h1}$	1.62	10	16.20	2.56
	$F_{h2}$	7.25	10	72.46	5.96
	$F_{h3}$	3.82	10	38.22	2.56
Zemní tlak	$S_{1a}$	0.20	11	2.25	1.28
	$S_{1p}$	1.22	11	13.44	1.28
	$S_{2a}$	0.04	11	0.46	1.10
	$S_{2p}$	0.25	11	2.72	1.10
	$S_{3a}$	0.40	11	4.41	0.48
	$S_{3p}$	2.40	11	26.35	0.48
Vztlak	$F_{vz1}$	1.34	10	13.37	1.39
	$F_{vz2}$	0.51	10	5.11	7.79
	$F_{vz3y}$	0.35	10	3.52	1.01
	$F_{vz3z}$	0.35	10	3.52	7.19
	$F_{vz4}$	1.36	10	13.61	5.79
	$F_{vz5}$	0.76	10	7.60	0.92
	$F_{vz6}$	4.39	10	43.85	2.76
	$F_{vz7}$	0.81	10	8.13	0.25
$F_{vz8}$	1.72	10	17.25	0.50	
Vlastní tíha	$G_1$	1.70	24	40.70	6.96
	$G_2$	8.80	24	211.12	2.40

### Vývarová deska

Překlopení konstrukce bylo posouzeno k bodu otáčení  $O_{VD}$ . Posunutí bylo posouzeno v základové spáře, která prochází tímto bodem otáčení.



Obr. 6.31: Schéma sil působících na vývarovou desku při zat. stavu B



*Posunutí v základové spáře:*

$$F_{ud} = S_{4a} + F_{vz10} = 12,68 \text{ kN}$$

$$N_d = G_3 - F_{vz9} = 39,59 \text{ kN}$$

$$U_u = \mu N_d + c' A_c = 0,462 \cdot 39,59 + 0 = 18,29 \text{ kN}$$

$$\gamma_n F_{ud} \leq \gamma_{stp} U_u$$

$$1,1 \cdot 12,68 \leq 0,9 \cdot 18,29$$

$$13,95 \text{ kN} < 16,46 \text{ kN} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

*Překlopení k bodu  $O_{VD}$ :*

$$M_{act} = F_{vz9} \cdot r_{Fvz9} + F_{vz10} \cdot r_{Fv10} + S_{4a} \cdot r_{S4a} = 901,78 \text{ kNm}$$

$$M_{pas} = G_3 \cdot r_{G3} = 1135,18 \text{ kNm}$$

$$\gamma_n M_{act} \leq \gamma_{stp} M_{pas}$$

$$1,1 \cdot 901,78 \leq 1,0 \cdot 1135,18$$

$$991,95 \text{ kNm} < 1135,18 \text{ kNm} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

*Zdvih vztlakem vody:*

$$F_{vy} = F_{vz10} = 9,96 \text{ kN}$$

$$F_{vz} = F_{vz9} = 171,41 \text{ kN}$$

$$F_v = \sqrt{F_{vy}^2 + F_{vz}^2} = \sqrt{9,96^2 + 171,41^2} = 171,70 \text{ kN}$$

$$F_{vd} = F_v \cdot 1,1 = 171,70 \cdot 1,1 = 188,87 \text{ kN}$$

$$U_v = G_3 = 211,00 \text{ kN}$$

$$\gamma_n F_{vd} \leq \gamma_{stp} U_v$$

$$1,1 \cdot 188,87 \leq 1 \cdot 211,00$$

$$207,76 \text{ kN} < 211,00 \text{ kN} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

Tab. 6.16: Síly působící na vývarovou desku při zat. stavu B

Druh zatížení	Označení	Plocha	$\gamma$	Velikost síly	ramena sil k $O_{VD}$
	(-)	( $m^2$ )	( $kN \cdot m^{-3}$ )	(kN)	(m)
Zemní tlak	$S_{4a}$	0.25	11	2.72	0.37
	$S_{4p}$	1.48	11	16.27	0.37
Vztlak	$F_{vz9}$	17.14	10	171.41	5.23
	$F_{vz10}$	1.00	10	9.96	0.43
Vlastní tíha	$G_3$	8.79	24	211.00	5.38

Jezové těleso (pole s vakem) vyhoví při zatěžovacím stavu B všem podmínkám stability. Vývarová deska, pro kterou je při zatěžovacím stavu B rozhodující posun v základové spáře a zdvih vztlakem vody, také vyhoví všem podmínkám stability.

Pro jezové těleso (pole s pevným jezem) a pilíř nebyl znázorněn postup výpočtu, protože obě konstrukce bez problémů vyhoví i při zatěžovacím stavu B všem podmínkám stability.

### 6.5.2 Provalení podloží

Stabilita podloží proti provalení, kterým je namáhána zejména oblast za vývarovou deskou, je posouzena dle vztahu 6.60. K provalení podloží dojde tehdy, pokud je hydraulický gradient (rovnice 6.61) v posuzovaném místě větší než kritický hydraulický gradient (rovnice 6.62). Provalení lze zabránit přitížením podloží kamenným záhozem. Potřebná tloušťka přitěžovací vrstvy se určí dle vztahu 6.63. [14]

Pro možnost určení hydraulického gradientu v posuzovaném místě byla graficky sestrojena zjednodušená proudová síť (obr. 6.32). Přesný průběh proudové sítě by bylo nutné zjistit pomocí specializovaného softwaru.

Podmínka stability:

$$i \leq i_{kr} \quad (6.60)$$

Hydraulický gradient:

$$i = \frac{H}{e \cdot a} \quad (6.61)$$



Kritický hydraulický gradient:

$$i_{kr} = \frac{(1-\mu)(\gamma_s - \gamma_v)}{\gamma_v} \alpha \quad (6.62)$$

Potřebná tloušťka přítěžovací vrstvy:

$$t = s(i - i_{kr}) \frac{\gamma_v}{\gamma_{pr}} m \quad (6.63)$$

Kde:

H – spád jezu = 2,33 (m)

e – počet ekvipotenciál = 12

a – vzdálenost ekvipotenciál v posuzovaném místě = 0,5 (m)

$\mu$  – pórovitost = 0,35 (-), viz únosnost základové půdy

$\gamma_s$  – objemová hmotnost pevných částic zeminy = 26,9 (kN.m<sup>-3</sup>)

dopočteno dle vztahu 6.64

$$\gamma_s = \frac{\gamma_z}{(1-\mu)} \quad (6.64)$$

$\gamma_v$  – objemová hmotnost vody = 10 (kN.m<sup>-3</sup>)

$\gamma_z$  – objemová hmotnost suché zeminy = 17,5 (kN.m<sup>-3</sup>), viz únosnost základové půdy

$\gamma_{pr}$  – objemová hmotnost materiálu přítěžovací vrstvy = 28 (kN.m<sup>-3</sup>) pro lomový kámen

$\alpha$  – součinitel kritického hydraulického gradientu, uvažováno 0,9 (-)

m – součinitel bezpečnosti, uvažováno 1,5 (-)

s – hloubka založení posuzovaného místa (m)

*Provalení podloží:*

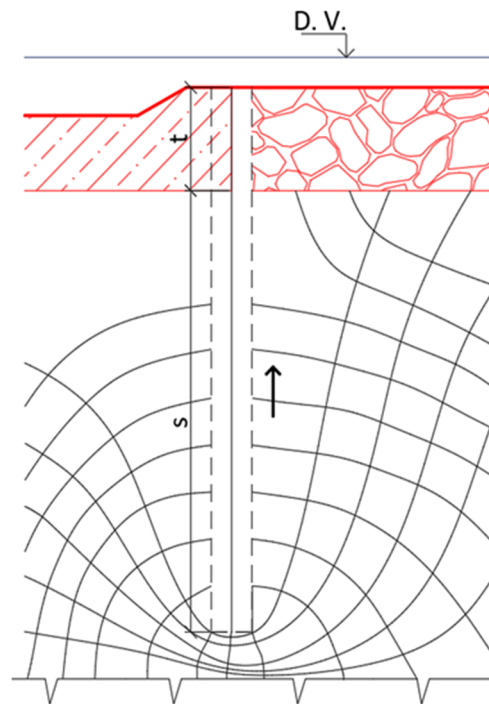
$$i = \frac{H}{e \cdot a} = \frac{2,33}{12 \cdot 0,5} = 0,39 (-)$$

$$i_{kr} = \frac{(1-\mu)(\gamma_s - \gamma_v)}{\gamma_v} \alpha = \frac{(1-0,35)(26,9 - 10)}{10} \cdot 0,9 = 0,99 (-)$$

$$i \leq i_{kr}$$

$$0,39 < 0,99 \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

V posuzovaném místě nedojde k provalení podloží, proto není nutné stanovovat tloušťku přítěžovací vrstvy. Avšak kvůli zamezení vzniku výmolů od kinetické energie vody od přelivu je dno za vývarovou deskou opevněno kamenným záhozem o mocnosti 1,1 m. Toto opatření také pozitivně přispěje i ke snížení rizika provalení podloží.



Obr. 6.32: Zjednodušená proudová síť v posuzovaném místě

## 6.6 Únosnost základové půdy

Při zatížení spodní stavby jezu vzniká v základové spáře kontaktní napětí, které nesmí překročit únosnost základové půdy (horniny).

Výpočet únosnosti vychází z ČSN 73 1001 [6]. Z hlediska dlouhodobých neodvodněných podmínek jsou ve výpočtu uvažovány efektivní parametry zemin. Tyto parametry byly dále dle zvoleného návrhového přístupu NP3 přepočteny na výpočtové hodnoty (tab. 6.17) [34].

Při NP3 se neredukuje únosnost základové půdy, ale soudržnost i úhel vnitřního tření zeminy je redukován součinitelem 1,25 (vztah 6.66 a 6.67) a objemová hmotnost zeminy je redukována součinitelem 1,00 (vztah 6.68).

Vzhledem k situaci, že podloží pod základovou spárou je nestejnorodé, bylo nutné výpočtové hodnoty parametrů jednotlivých zemin zprůměrovat (tab. 6.18). Jedná se o vážené průměry (vztah 6.69, 6.70 a 6.71), které zohledňují mocnost dílčích vrstev zemin v podzákladí.

Tab. 6.17: Přepočtení efektivních parametrů zemin na výpočtové hodnoty [34]

Třída zeminy	S3	S4	G3	Jednotky
$\gamma_z$	17.5	18	19	(kN.m <sup>-3</sup> )
$\gamma_v$	10	10	10	(kN.m <sup>-3</sup> )
$\mu$	0.35	0.35	0.40	(-)
$\gamma_{zv}$	11	11.5	13	(kN.m <sup>-3</sup> )
$\gamma_v$	1.0	1.0	1.0	(-)
<b><math>\gamma_{zv}'</math></b>	<b>11</b>	<b>11.5</b>	<b>13</b>	<b>(kN.m<sup>-3</sup>)</b>
$\varphi_{ef}$	30	30	33	(°)
$\text{tg}\varphi_{ef}$	0.577	0.577	0.649	(-)
$\gamma_{\varphi'}$	1.25	1.25	1.25	(-)
$\text{tg}\varphi'$	0.462	0.462	0.520	(-)
<b><math>\varphi'</math></b>	<b>24.79</b>	<b>24.79</b>	<b>27.45</b>	<b>(°)</b>
$c_{ef}$	0	0	0	(kPa)
$\gamma_{c'}$	1.25	1.25	1.25	(-)
<b><math>c'</math></b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>(kPa)</b>

Vstupní efektivní parametry zeminy  $\gamma_z$ ,  $\varphi_{ef}$  a  $c_{ef}$  byly pro jednotlivé třídy zemin odečteny z ČSN 73 1001.

Kde:

$\gamma_z$  – efektivní hodnota objemové hmotnosti suché zeminy (kN.m<sup>-3</sup>)

$\gamma_v$  – objemová hmotnost vody (kN.m<sup>-3</sup>)

$\mu$  – pórovitost zeminy (-)

$\gamma_{zv}$  – objemová hmotnost zvodnělé zeminy (kN.m<sup>-3</sup>), dopočítáno dle vztahu 6.65

$$\gamma_{zv} = \gamma_z - \gamma_v(1 - \mu) \quad (6.65)$$



$\gamma_V$  – redukční součinitel objemové hmotnosti zeminy (-)

$\gamma_{zv}'$  – výpočtová hodnota objemové hmotnosti zvodnělé zeminy ( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ),

$\varphi_{ef}$  – efektivní hodnota úhlu vnitřního tření zeminy ( $^\circ$ )

$\text{tg}\varphi_{ef}$  – efektivní hodnota součinitele smykového tření (-)

$\gamma_\varphi'$  – redukční součinitel úhlu vnitřního tření zeminy (-)

$\text{tg}\varphi'$  – výpočtová hodnota součinitele smykového tření (-)

$\varphi'$  – výpočtová hodnota úhlu vnitřního tření zeminy ( $^\circ$ )

$c_{ef}$  – efektivní hodnota soudržnosti zeminy (kPa)

$\gamma_c'$  – redukční součinitel soudržnosti zeminy (-)

$c'$  – výpočtová hodnota soudržnosti zeminy (kPa)

Přepočítání na výpočtové hodnoty:

$$\text{tg}\varphi' = \frac{\text{tg}\varphi_{ef}}{\gamma_\varphi'} \quad (6.66)$$

$$c' = \frac{c_{ef}}{\gamma_c'} \quad (6.67)$$

$$\gamma_{zv}' = \frac{\gamma_{zv}}{\gamma_V} \quad (6.68)$$

Tab. 6.18: Stanovení průměrných hodnot parametrů zeminy

Označení	Velikost	Jednotky
$d_1$	0.30	(m)
$d_2$	3.70	(m)
$d_3$	1.20	(m)
$z_1$	0.15	(m)
$z_2$	2.15	(m)
$z_3$	4.60	(m)
$z_s$	5.20	(m)
$\varphi_m$	<b>25.41</b>	<b>(<math>^\circ</math>)</b>
$\gamma_m$	<b>11.52</b>	<b>(<math>\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}</math>)</b>
$c_m$	<b>0</b>	<b>(kPa)</b>





Kde:

$d_i$  – mocnost dílčí vrstvy zeminy (m)

$z_i$  – vzdálenost od základové spáry do středu i-té vrstvy (m)

$z_s$  – vzdálenost mezi základovou spárou a skalním podložím (m)

$\varphi_m$  – průměrná výpočtová hodnota úhlu vnitřního tření zeminy ( $^\circ$ )

$\gamma_m$  – průměrná výpočtová hodnota objemové hmotnosti zvodnělé zeminy ( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ )

$c_m$  – průměrná výpočtová hodnota soudržnosti zeminy (kPa)

$$\varphi_m = \frac{\varphi'_{S3}d_1 + \varphi'_{S4}d_2 + \varphi'_{G3}d_3}{z_s} \quad (6.69)$$

$$c_m = \frac{c'_{S3}d_1 + c'_{S4}d_2 + c'_{G3}d_3}{z_s} \quad (6.70)$$

$$\gamma_m = 2 \cdot \frac{\gamma'_{S3} \cdot d_1(z_s - z_1) + \gamma'_{S4} \cdot d_2(z_s - z_2) + \gamma'_{G3} \cdot d_3(z_s - z_3)}{z_s^2} \quad (6.71)$$

Únosnost základové půdy byla posouzena pod jezovým tělesem, vývarovou deskou i návodním pilířem.

Dále bylo posouzeno, zdali nedojde k překročení únosnosti skalního podloží. Únosnost skalního podloží je stanovena dle vztahu 6.72. Parametry horniny jsou odečteny z ČSN 73 1001.

$$R_d = \frac{\sigma_c}{r \cdot p} \quad (6.72)$$

Tab. 6.19: Stanovení únosnosti skalního podloží

Třída horniny	R5	Jednotky
$\sigma_c$	3000	(kPa)
$r$	4	(-)
$p$	1.8	(-)
<b><math>R_d</math></b>	<b>417</b>	<b>(kPa)</b>

Kde:

$\sigma_c$  – výpočtová pevnost horniny v prostém tlaku (kPa)

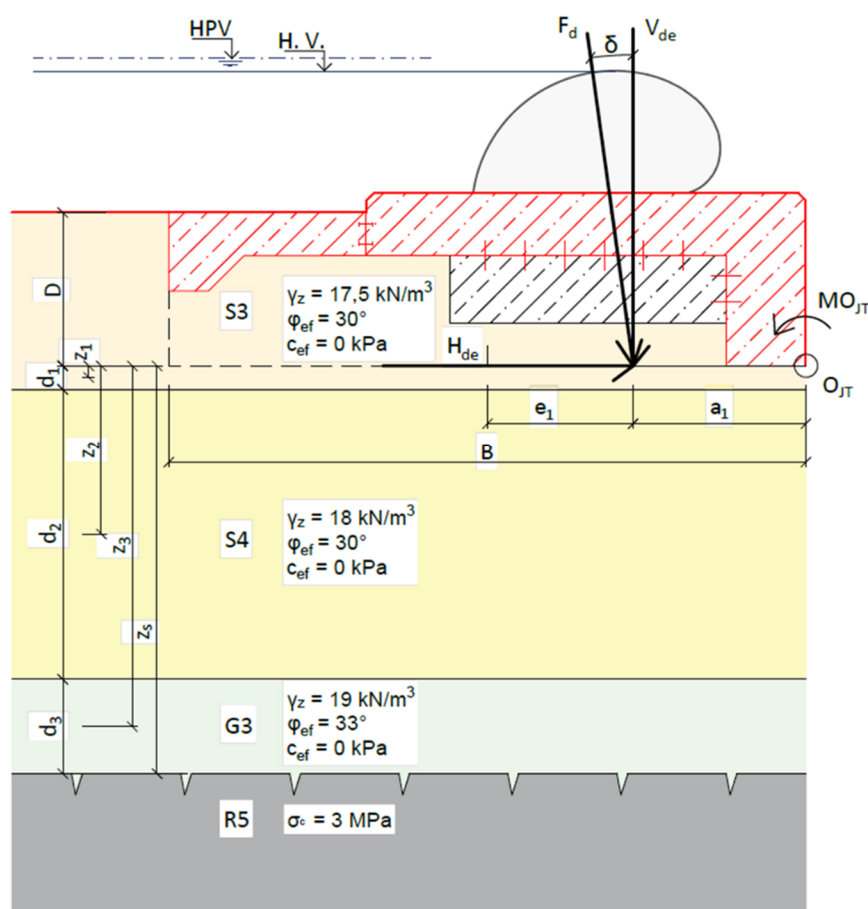
$r$  – součinitel kvality skalní horniny (-)

$p$  – součinitel hustoty diskontinuit (-)

### 6.6.1 Únosnost základové půdy pod jezovým tělesem

Způsob výpočtu únosnosti základové půdy pod jezovým tělesem je uveden pouze pro pole s vakem. U pole s pevným jezem je způsob výpočtu totožný.

Výpočet byl proveden pro běžný stav, kdy je hladina vody ve zdrži na úrovni 221,33 m n.m. (obr. 6.33). Jednotlivé kroky výpočtu byly tabelovány (tab. 6.20 a tab. 6.21).



Obr. 6.33: Schéma pro posouzení únosnosti základové půdy pod jezovým tělesem

Charakteristické hodnoty působících sil byly převzaty z výpočtů posouzení stability spodní stavby jezu (podkapitola 6.5). Tyto hodnoty byly následně převedeny na návrhové. (vynásobeno součinitelem zatížení).



Součinitel zatížení byl pro stálé zatížení uvažován hodnotou 1,35 a pro proměnné zatížení hodnotou 1,5.

Posouzení únosnosti bylo provedeno na běžný metr základové půdy.

Tab. 6.20: Stanovení kontaktního napětí v teoretické základové spáře pod jezovým tělesem

Označení	Velikost	Jednotky
V	279.16	(kN)
$S_z$	6.56	(m <sup>2</sup> )
$V_z$	72.20	(kN)
$V_{de}$	474.33	(kN)
$MO_{JT}$	1321.06	(kNm)
H	45.71	(kN)
$H_{de}$	61.71	(kN)
D	1.95	(m)
B	8.04	(m)
$a_1$	2.79	(m)
$e_1$	1.23	(m)
$B'$	5.57	(m)
L	1.00	(m)
$A'$	5.57	(m <sup>2</sup> )
$\delta$	<b>7.41</b>	(°)
$\sigma_{de}$	<b>85.16</b>	(kPa)

Kde:

V – charakteristická hodnota svislé složky výslednice sil působících na teoretickou základovou spáru (kN)

$S_z$  – plocha zeminy nad teoretickou základovou spárou (m<sup>2</sup>)

$V_z$  – charakteristická hodnota síly od zeminy nad teoretickou základovou spárou (kN)

$V_{de}$  – návrhová hodnota svislé složky výslednice sil působících na teoretickou základovou spáru (kN), stanoveno dle vztahu 6.72

$MO_{JT}$  – celkový moment kolem bodu otáčení  $O_{JT}$  (kNm)

H – charakteristická hodnota vodorovné složky výslednice sil působících na teoretickou základovou spáru (kN)

$H_{de}$  – návrhová hodnota vodorovné složky výslednice sil působících na teoretickou základovou spáru (kN), stanoveno dle vztahu 6.73



$D$  – hloubka založení spodní stavby (m)

$B$  – šířka teoretické základové spáry (m)

$a_1$  – vzdálenost výslednice od bodu otáčení (m), stanoveno dle vztahu 6.74

$e_1$  – excentricita výslednice sil od středu teoretické základové spáry (m), stanoveno dle vztahu 6.75

$B'$  – efektivní šířka teoretické základové spáry (m), stanoveno dle vztahu 6.76

$L$  – délka teoretické základové spáry, uvažováno 1 m'

$A'$  – efektivní plocha teoretické základové spáry (m), stanoveno dle vztahu 6.77

$\delta$  – odklon výslednice sil od svislé roviny ( $^\circ$ ), stanoveno dle vztahu 6.78

$\sigma_{de}$  – výpočtové kontaktní napětí v základové spáře (kPa), stanoveno dle vztahu 6.79

$$V_{de} = (V_z + V) \cdot 1,35 \quad (6.72)$$

$$H_{de} = H \cdot 1,35 \quad (6.73)$$

$$a_1 = \frac{MO_{VD}}{V_{de}} \quad (6.74)$$

$$e_1 = \frac{B}{2} - a_1 \quad (6.75)$$

$$B' = B - 2e_1 \quad (6.76)$$

$$A' = B' \cdot L \quad (6.77)$$

$$\delta = \arctg \frac{H_{de}}{V_{de}} \quad (6.78)$$

$$\sigma_{de} = \frac{V_{de}}{A'} \quad (6.79)$$

Tab. 6.21: Stanovení únosnosti základové půdy ve svislém a vodorovném směru  
(pod jezovým tělesem)

Součinitele únosnosti	$N_c$	$N_d$	$N_b$
	(-)	(-)	(-)
	21.33	11.13	7.22
Součinitele tvaru základu	$s_c$	$s_d$	$s_b$
	(-)	(-)	(-)
	1.00	1.00	1.00
součinitele hloubky založení	$d_c$	$d_d$	$d_b$
	(-)	(-)	(-)
	1.06	1.05	1.00
součinitele šikmosti zatížení	$i_c$	$i_d$	$i_b$
	(-)	(-)	(-)
	0.76	0.76	0.76
$R_{dv}$	<b>365.29</b>	<b>(kPa)</b>	
$R_{dh-A'}$	<b>225.29</b>	<b>(kN)</b>	

Únosnost základové půdy ve svislém směru:

$$R_{dv} = c' N_c s_c d_c i_c + \gamma_1' D N_d s_d d_d i_d + \gamma_2' \frac{B'}{2} N_b s_b d_b i_b \quad (6.80)$$

Kde:

$c'$  – výpočtová hodnota soudržnosti zeminy = 0 (kPa)

$\gamma_1'$  – výpočtová hodnota objemové hmotnosti zeminy nad základovou spárou ( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ )

$$= \gamma_{zv}' \text{ (S3)}$$

$\gamma_2'$  – výpočtová hodnota objemové hmotnosti zeminy pod základovou spárou ( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ )

$$= \gamma_m$$

$D$  – hloubka založení spodní stavby (m)

$B'$  – efektivní šířka teoretické základové spáry (m)

$N_c, N_d, N_b$  – součinitele únosnosti (-), stanovené dle vztahů 6.81, 6.82 a 6.83

$$N_c = (N_d - 1) \cot \varphi_m \quad (6.81)$$

$$N_d = \text{tg}^2 \left( 45 + \frac{\varphi_m}{2} \right) \exp(\pi \cdot \text{tg} \varphi_m) \quad (6.82)$$

$$N_b = 1,5(N_d - 1) \text{tg} \varphi_m \quad (6.83)$$



$s_c, s_d, s_b$  – součinitele tvaru základu (-), zjednodušeně uvažováno 1,0

$d_c, d_d, d_b$  – součinitele hloubky založení (-), stanovené dle vztahů 6.84, 6.85 a 6.86

$$d_c = 1 + 0,1 \sqrt{\frac{D}{B'}} \quad (6.84)$$

$$d_d = 1 + 0,1 \sqrt{\frac{D}{B'} \cdot \sin 2\varphi_m} \quad (6.85)$$

$$d_b = 1 \quad (6.86)$$

$i_c, i_d, i_b$  – součinitele šikmosti zatížení (-), stanovené dle vztahu 6.87

$$i_c = i_d = i_b = (1 - tg\delta)^2 \quad (6.87)$$

Únosnost základové půdy ve vodorovném směru:

$$R_{dh} \cdot A' = V_{de} tg\varphi_m + c' A' \quad (6.88)$$

Kde:

$c'$  – výpočtová hodnota soudržnosti zeminy = 0 (kPa)

$A'$  – efektivní plocha teoretické základové spáry (m)

$\varphi_m$  – průměrná výpočtová hodnota úhlu vnitřního tření zeminy (°)

$V_{de}$  – návrhová hodnota svislé složky výslednice sil působících na základovou spáru (kN)

*Posouzení:*

$$\sigma_{de} \leq R_{dv}$$

$$85,16 \text{ kPa} < 365,29 \text{ kPa} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

$$H_{de} \leq R_{dh} \cdot A'$$

$$61,71 \text{ kN} \leq 225,29 \text{ kN} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

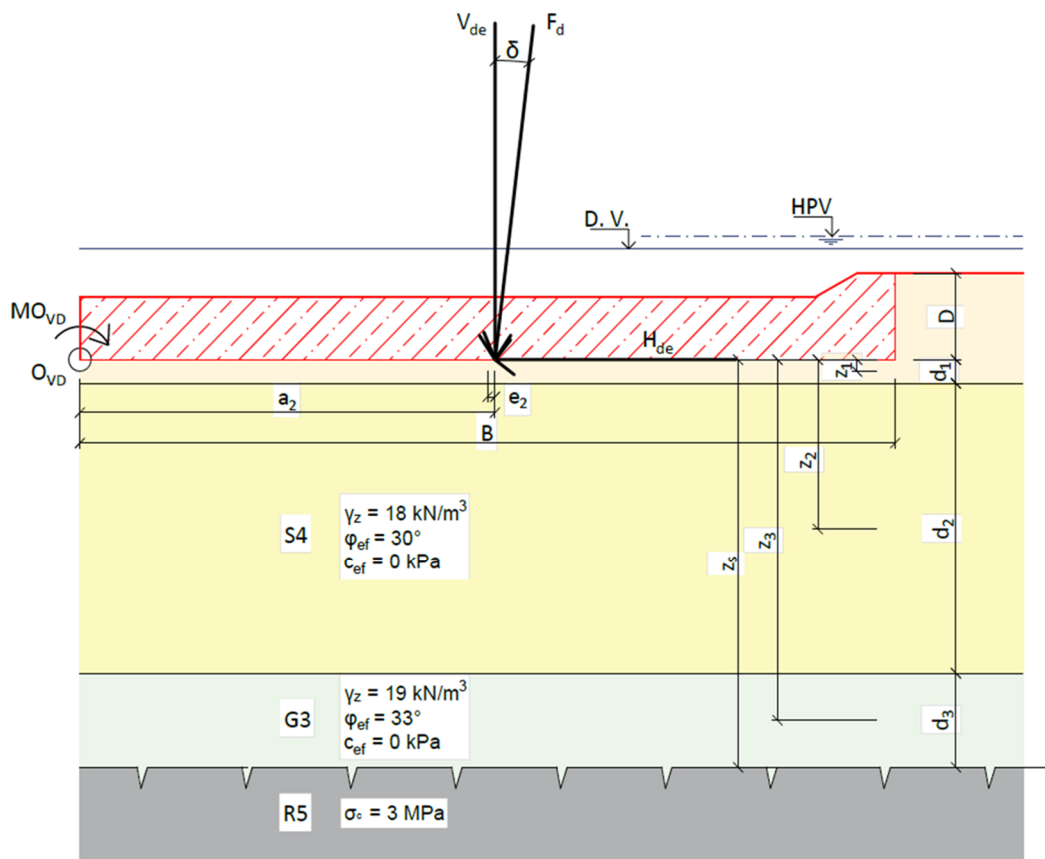
$$\sigma_{de} \leq R_d$$

$$85,16 \text{ kPa} < 417 \text{ kPa} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

Kontaktní napětí v teoretické základové spáře pod jezovým tělesem (pole s vakem) nepřekročí únosnost základové půdy ani únosnost skalního podloží. Identicky je tomu i u pole s pevným jezem.

### 6.6.2 Únosnost základové půdy pod vývarovou deskou

Výpočet byl proveden pro stav, kdy je hladina vody ve vývaru na úrovni 219,00 m n.m. (odpovídá minimálnímu zůstatkovému průtoku). Jednotlivé kroky výpočtu byly tabelovány (tab. 6.22 a tab. 6.23). Způsob výpočtu je stejný jako u jezového tělesa, proto již nebudou uvedeny použité rovnice.



Obr. 6.34: Schéma pro posouzení únosnosti základové půdy pod vývarovou deskou

Posouzení únosnosti bylo provedeno na běžný metr základové půdy.

Tab. 6.22: Stanovení kontaktního napětí v základové spáře pod vývarovou deskou

Označení	Velikost	Jednotky
V	103.61	(kN)
$S_z$	0.00	(m <sup>2</sup> )
$V_z$	0.00	(kN)
$V_{de}$	139.87	(kN)
$MO_{VD}$	762.50	(kNm)
H	12.23	(kN)
$H_{de}$	16.51	(kN)
D	1.10	(m)
B	10.70	(m)
$a_2$	5.45	(m)
$e_2$	-0.10	(m)
$B'$	10.50	(m)
L	1.00	(m)
$A'$	10.50	(m <sup>2</sup> )
$\delta$	6.73	(°)
$\sigma_{de}$	13.32	(kPa)

Tab. 6.23: Stanovení únosnosti základové půdy ve svislém a vodorovném směru

(pod vývarovou deskou)

Součinitele únosnosti	$N_c$	$N_d$	$N_b$
	(-)	(-)	(-)
	21.33	11.13	7.22
Součinitele tvaru základu	$s_c$	$s_d$	$s_b$
	(-)	(-)	(-)
	1.00	1.00	1.00
součinitele hloubky založení	$d_c$	$d_d$	$d_b$
	(-)	(-)	(-)
	1.03	1.03	1.00
součinitele šikmosti zatížení	$i_c$	$i_d$	$i_b$
	(-)	(-)	(-)
	0.78	0.78	0.78
$R_{dv}$	447.24	(kPa)	
$R_{dh} \cdot A'$	66.43	(kN)	

*Posouzení:*

$$\sigma_{de} \leq R_{dv}$$

$$13,32 \text{ kPa} < 447,24 \text{ kPa} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$





$$H_{de} \leq R_{dh} \cdot A'$$

$$16,51 \text{ kN} \leq 66,43 \text{ kN} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

$$\sigma_{de} \leq R_d$$

$$13,32 \text{ kPa} < 417 \text{ kPa} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

Kontaktní napětí v základové spáře pod vývarovou deskou nepřekročí únosnost základové půdy ani únosnost skalního podloží.

### 6.6.3 Únosnost základové půdy pod návodním pilířem

Výpočet byl proveden pro běžný stav, kdy je hladina vody ve zdrži na úrovni 221,33 m n.m. (obr. 6.35). Při tomto stavu působí na pilíř i vlastní tíha lávky včetně užitého zatížení a boční tlak vody z napuštěného vaku. Tyto síly způsobují excentricitu v druhém směru (zahrnuto dle vztahu 6.89). Jednotlivé kroky výpočtu byly tabelovány (tab. 6.24 a tab. 6.25).

Efektivní plocha základové spáry:

$$A' = B' \cdot L'$$

Kde:

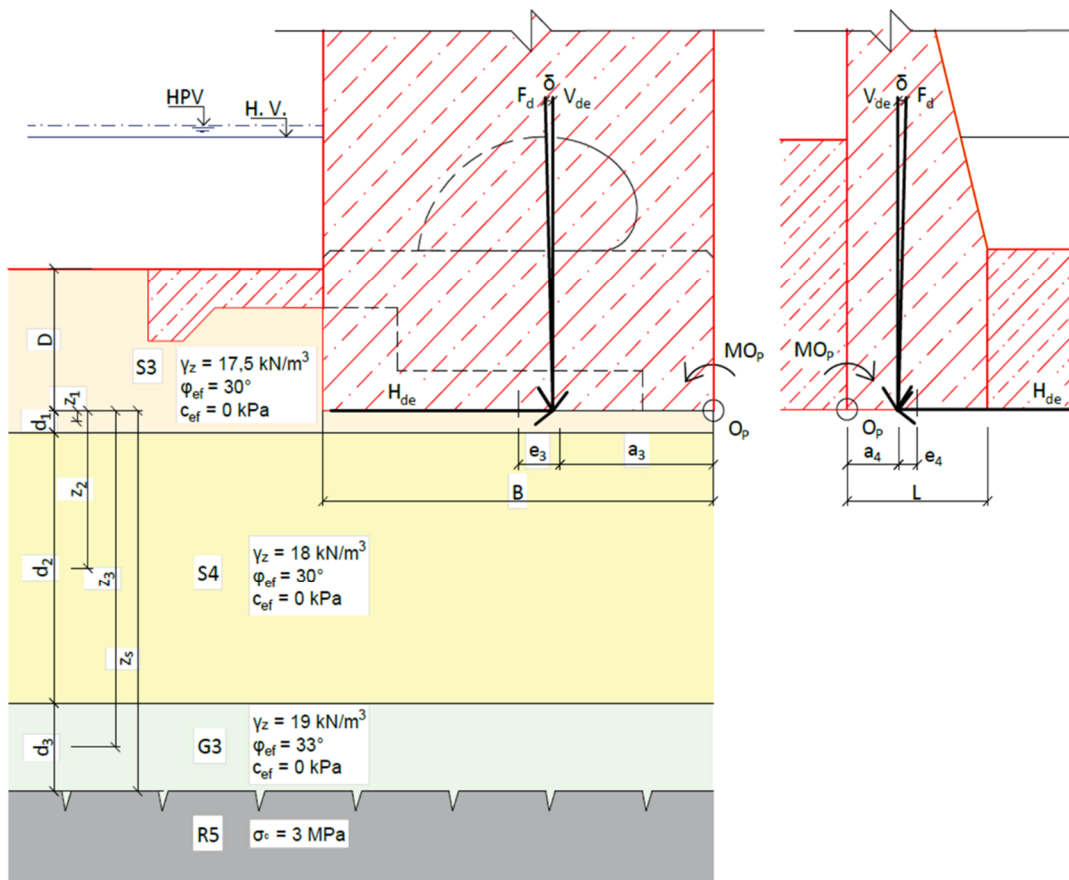
$$L' = L - 2e_4 \tag{6.89}$$

L – délka základové spáry = 2 m

$e_4$  – excentricita výslednice sil od středu základové spáry v druhém směru (m)

$B'$  – efektivní šířka základové spáry (m)

Vlastní tíha lávky včetně užitého zatížení, která byla zjednodušeně uvažována charakteristickou hodnotou  $10 \text{ kN.m}^{-1}$ , byla vynásobena součinitelem proměnného zatížení 1,5 a následně započtena do síly  $V_{de}$ . Zbytek výpočtu je stejný jako u jezového tělesa.



Obr. 6.35: Schéma pro posouzení únosnosti základové půdy pod návrhým pilířem

Tab. 6.24: Stanovení kontaktního napětí v základové spáře pod návrhým pilířem

Označení	Velikost	Jednotky
V	1039.84	(kN)
S <sub>z</sub>	0.00	(m <sup>2</sup> )
V <sub>z</sub>	0.00	(kN)
V <sub>de</sub>	1418.79	(kN)
MO <sub>p</sub>	3742.46	(kNm)
H	69.98	(kN)
H <sub>de</sub>	94.48	(kN)
D	1.95	(m)
B	5.55	(m)
a <sub>3</sub>	2.64	(m)
e <sub>3</sub>	0.14	(m)
B'	5.28	(m)
L	2.00	(m)
a <sub>4</sub>	0.72	(m)
e <sub>4</sub>	0.28	(m)
L'	1.44	(m)
A'	7.58	(m <sup>2</sup> )
δ	<b>3.81</b>	(°)
σ <sub>de</sub>	<b>187.25</b>	(kPa)

Tab. 6.25: Stanovení únosnosti základové půdy ve svislém a vodorovném směru  
(pod návodním pilířem)

Součinitele únosnosti	$N_c$	$N_d$	$N_b$
	(-)	(-)	(-)
	21.33	11.13	7.22
Součinitele tvaru základu	$s_c$	$s_d$	$s_b$
	(-)	(-)	(-)
	1.00	1.00	1.00
součinitele hloubky založení	$d_c$	$d_d$	$d_b$
	(-)	(-)	(-)
	1.06	1.05	1.00
součinitele šikmosti zatížení	$i_c$	$i_d$	$i_b$
	(-)	(-)	(-)
	0.87	0.87	0.87
$R_{dv}$	<b>410.21</b>	<b>(kPa)</b>	
$R_{dh} \cdot A'$	<b>673.86</b>	<b>(kN)</b>	

Posouzení:

$$\sigma_{de} \leq R_{dv}$$

$$187,25 \text{ kPa} < 410,21 \text{ kPa} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

$$H_{de} \leq R_{dh} \cdot A'$$

$$94,48 \text{ kN} \leq 673,86 \text{ kN} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

$$\sigma_{de} \leq R_d$$

$$187,25 \text{ kPa} < 417 \text{ kPa} \Rightarrow \text{Vyhoví}$$

Kontaktní napětí v základové spáře pod návodním pilířem nepřekročí únosnost základové půdy ani únosnost skalního podloží.

## 7. ZÁVĚR

Na začátku bakalářské práce byla představena zájmová lokalita, ve které se nachází řešený jez Sezemice. Dále byl krátce představen současný stav jezu i přilehlých objektů a uvedeny hlavní vstupní podklady. Kvůli lepší představě o současném stavu jezu byl proveden vlastní průzkum zájmové lokality. V rámci průzkumu byly pořízeny fotografie. Pro současný jez byla ověřena i přesnost hydraulických výpočtů včetně stanovení kapacity jezu. Kapacitní průtok posloužil v dalších výpočtech jako návrhový.

Poté byl proveden výběr vhodného řešení změny současné hradicí konstrukce na jezu Sezemice. Pro novou hradicí konstrukci bylo uvažováno celkem 8 variant. Výběr nejvhodnější varianty proběhl na základě vícekriteriálního váhového hodnocení. Do hodnocení byla zahrnuta nejen kritéria související s účelem či provozem jezu, ale také kritéria, která vycházela z požadavků na novou hradicí konstrukci od státního podniku Povodí Labe. Zvolená kritéria nejvhodněji splnila varianta H, tedy kombinace vakového uzávěru a pevného jezu.

Pro vybranou variantu H byly navrženy jednotlivé stavební části hradicí konstrukce a zpracována výkresová dokumentace a vizualizace. Vizualizace byla vytvořena v programu Lumion 12.

V rámci bakalářské práce byly provedeny i hydrotechnické výpočty. Ty zahrnovaly návrh vývaru a stanovení kapacity jezu u všech uvažovaných variant. Výsledky těchto výpočtů byly použity při rozhodování ve výběru vhodné varianty nové hradicí konstrukce.

Také byl proveden návrh technického šterbinového rybího přechodu pro kaprové vody. U varianty H byl proveden návrh parametrů vakového uzávěru a dále byla také posouzena stabilita spodní stavby jezu včetně stanovení únosnosti základové půdy (horniny). Navržená hradicí konstrukce vyhověla všem podmínkám stability a zároveň nedošlo k překročení únosnosti základové půdy ani skalního podloží pod jezem.

## 8. SEZNAM LITERATURY A PODKLADŮ

- [1] *Manipulační řád pro vodní dílo Sezemice na Loučné*. Hradec Králové, 2021. Poskytnuto Povodím Labe, státní podnik.
- [2] Nahlížení do katastru nemovitostí. ČÚZK [online]. [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&&MarQueryId=6D2BCEB5&MarQParam0=747670&MarQParamCount=1&MarWindowName=Marushka>
- [3] Analýzy výškopisu. ČÚZK [online]. [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/av/>
- [4] Vrtná prozkoumanost. Česká geologická služba [online]. [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: [https://mapy.geology.cz/vrtna\\_prozkoumanost/](https://mapy.geology.cz/vrtna_prozkoumanost/)
- [5] Geovědní mapy 1:50 000. Česká geologická služba [online]. [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>
- [6] ČSN 73 1001. *Zakládání staveb: Základová půda pod plošnými základy*. 2. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1988.
- [7] Databáze geologicky dokumentovaných objektů České republiky: výdejní aplikace. *Geology.cz* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/app/gdo/d.php?item=5>
- [8] Historická data: Územní teploty a srážky. *Chmi.cz* [online]. [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi>
- [9] Záplavová území. *HYDROEKOLOGICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM VÚV TGM* [online]. [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: [https://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=isvs\\_zapluz&lon=15.8632637&lat=50.0578036&scale=7560](https://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=isvs_zapluz&lon=15.8632637&lat=50.0578036&scale=7560)
- [10] *Provozní řád pro vodní dílo Sezemice na Loučné*. 3. Pardubice, 2021. Poskytnuto Povodím Labe, státní podnik.
- [11] *Manipulační řád pro vakový jez a MVE na Loučné v Počaplech*. Hradec Králové, 2009. Poskytnuto Povodím Labe, státní podnik.



- [12] *Vakový jez a MVE Počaply na řece Loučné: Část výkresové dokumentace*. Hradec Králové, 1998. Poskytnuto Povodím Labe, státní podnik.
- [13] MVE Sezemice nad Loučnou. *TV – Adams: web o vodních dílech* [online]. [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: [http://www.tv-adams.wz.cz/vodni\\_dila/590.html](http://www.tv-adams.wz.cz/vodni_dila/590.html)
- [14] MEDŘICKÝ, Vladimír a Petr VALENTA. *Hydrotechnické stavby 1: navrhování jezů*. 2. Praha: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04309-7.
- [15] KOLÁŘ, Václav, Cyril PATOČKA a Jiří BÉM. *Hydraulika*. 1. Praha: SNTL, 1983.
- [16] HAVLÍK, Vladimír a Ivana MAREŠOVÁ. *Hydraulika 10: Příklady*. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1994. ISBN 80-01-01162-3.
- [17] HAVLÍK, Vladimír a Ivana MAREŠOVÁ. *Hydraulika 20: Příklady*. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-01162-3.
- [18] HAVLÍK, Aleš. *Přednášky předmětu 141HYA2*. Fakulta stavební ČVUT. Praha, 2021.
- [19] HROMADA, Adam. *Hydrotechnické řešení jezu Radotín* [online]. Praha, 2022 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/102551>.  
Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
- [20] HROMADA, Eduard. *Cvičení předmětu 126EKMN*. Fakulta stavební ČVUT. Praha, 2021.
- [21] GABRIEL, Pavel a kol. *Jezy*. 1. Praha: SNTL, 1989.
- [22] *Pokloповý uzávěr MVE Nižbor: Část výkresové dokumentace*. Praha, 2023. Poskytnuto vedoucím práce.
- [23] Hradičí vakové jezy. *Rubena.eu* [online]. [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://www.rubena.eu/cz/produkty/flexibilni-nafukovaci-pryzove-vyroby/hradici-vakove-jezy/>
- [24] Průvodce betonářskou normou: Stupně vlivu prostředí. *ebeton.cz* [online]. [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://www.ebeton.cz/wp-content/uploads/stupne-vlivu-prostredi-t2.pdf>



- [25] Betonové směsi a speciální produkty: Ceník 2023. *Cemex.cz* [online]. [cit. 2023-03-14]. Dostupné z:  
[https://www.cemex.cz/documents/46856796/52314713/Cenik\\_do\\_30.6.2022\\_betonarna\\_Jevicko\\_Naklo\\_Olomouc\\_Sumperk\\_Litomysl\\_Usti\\_n\\_Orlici.pdf/33feb517-8411-b579-5c6b-0defba28d2b4?t=1641450449994](https://www.cemex.cz/documents/46856796/52314713/Cenik_do_30.6.2022_betonarna_Jevicko_Naklo_Olomouc_Sumperk_Litomysl_Usti_n_Orlici.pdf/33feb517-8411-b579-5c6b-0defba28d2b4?t=1641450449994)
- [26] Rybářské revíry: Loučná 2. *Vranka.cz* [online]. [cit. 2023-02-14]. Dostupné z:  
<https://www.vranka.cz/reviry/detail/8394>
- [27] Mimopstruhové revíry. *Český rybářský svaz* [online]. [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <https://www.rybsvaz.cz/beta/index.php/reviry/previry>
- [28] TNV 75 2321. *ZPRŮCHODŇOVÁNÍ MIGRAČNÍCH BARIÉR RYBÍMI PŘECHODY*. Praha: HYDROPROJEKT CZ a.s., 2011.
- [29] MIGRACE RYB, RYBÍ PŘECHODY A ZPŮSOB JEJICH TESTOVÁNÍ: Metodický postup pro návrh, realizaci a možnosti testování funkce rybích přechodů pro žadatele OPŽP. *Mzp.cz* [online]. 2012 [cit. 2023-02-19]. Dostupné z:  
[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/prirode\\_blizka\\_opatreni/\\$FILE/OOV\\_121130\\_Migrace.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/prirode_blizka_opatreni/$FILE/OOV_121130_Migrace.pdf)
- [30] STANDARDY PÉČE O PŘÍRODU A KRAJINU: 02 006 Rybí přechody. *Platné standardy – AOPK ČR* [online]. 2014 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z:  
[https://nature.cz/documents/20121/1199906/02006\\_Rybi\\_prechody.pdf/f704daf0-29f1-89b4-a6ee-f4bef4a09143?t=1652776207374](https://nature.cz/documents/20121/1199906/02006_Rybi_prechody.pdf/f704daf0-29f1-89b4-a6ee-f4bef4a09143?t=1652776207374)
- [31] KOCMAN, Tomáš. *Návrh vakového jezu v Oslavanech* [online]. Brno, 2013 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/30040>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [32] SVATOŠ, Petr. *Rekonstrukce stavidlového jezu na řece Bystřici v Kunčicích* [online]. Brno, 2017 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z:  
<https://dspace.vutbr.cz/xmlui/handle/11012/68766?locale-attribute=de>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [33] *Výpočet přepadu přes hradičí vak*. Praha, 2023. Poskytnuto vedoucím práce.



- [34] Návrhové přístupy pro případy porušení STR a GEO. Profesis.ckait.cz [online]. [cit. 2023-03-24]. Dostupné z: <https://profesis.ckait.cz/dokumenty-ckait/tp-1-9-5/#2-2-2>
- [35] *Lumion 12: 3D vizualizace, animace a virtuální realita* [software]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.lumion.cz/> (Studentská licence)



## 9. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1: Situace zájmové lokality [3].....	5
Obr. 2.2: Geologická prozkoumanost okolí jezu [4] .....	6
Obr. 2.3: Geologický profil vrtu (ID 693997) [7].....	7
Obr. 2.4: Záplavová území v okolí jezu pro $Q_{20}$ (oranžově) a pro $Q_{100}$ (modře) [9] .....	8
Obr. 3.1: Zjednodušený tvar dolního koryta (2,5 x převýšeno) [3].....	14
Obr. 3.2: Zjednodušený tvar horního koryta (2,5 x převýšeno) [3].....	14
Obr. 3.3: Konsumpční křivka dolního koryta s vyznačením nominální hladiny jezu Počaply.....	15
Obr. 3.4: Konsumpční křivka přepadu přes stavidla .....	17
Obr. 3.5: Schéma pro výpočet přepadu přes stavidla (příčný řez).....	17
Obr. 3.6: Schéma pro výpočet přepadu přes stavidla .....	17
Obr. 3.7: Schéma pro výpočet výtoku pod horními díly šesti středových stavidel .....	19
Obr. 3.8: Schéma pro výpočet výtoku pod dolními díly šesti středových stavidel.....	20
Obr. 3.9: Hranice mezi dokonalým a nedokonalým výtokem [16] .....	20
Obr. 3.10: Konsumpční křivky výtoku pod horními díly šesti středových stavidel .....	21
Obr. 3.11: Konsumpční křivky výtoku pod dolními díly šesti středových stavidel .....	22
Obr. 3.12: Schéma pro výpočet kapacity jezu při úplném vyhrazení (středová část).....	24
Obr. 3.13: Schéma pro výpočet kapacity jezu při úplném vyhrazení (krajní část).....	24
Obr. 3.14: Schéma pro výpočet kapacity jezu při úplném vyhrazení.....	25
Obr. 3.15: Konsumpční křivka stavidlového jezu při úplném vyhrazení .....	25
Obr. 4.1: Pevný jez [14].....	31
Obr. 4.2: Schéma půdorysného uspořádání varianty A .....	32
Obr. 4.3: Schéma půdorysného uspořádání varianty B .....	32
Obr. 4.4: Dutá klapka podpíraná hydromotorem [14] .....	33



Obr. 4.5: Schéma půdorysného uspořádání varianty C .....	34
Obr. 4.6: Schéma půdorysného uspořádání varianty D .....	34
Obr. 4.7: Příčný řez pokloповým uzávěrem (Jez Nižbor) [22] .....	35
Obr. 4.8: Schéma půdorysného uspořádání varianty E.....	36
Obr. 4.9: Schéma půdorysného uspořádání varianty F.....	36
Obr. 4.10: Vakový jez [23] .....	37
Obr. 4.11: Schéma půdorysného uspořádání varianty G .....	38
Obr. 4.12: Schéma půdorysného uspořádání varianty H .....	38
Obr. 4.13: Konsumpční křivky jednotlivých variant nové hradicí konstrukce (1. stav). 46	
Obr. 4.14: Konsumpční křivky jednotlivých variant nové hradicí konstrukce (2. stav). 47	
Obr. 6.1: Tvar vaku vycházející z graficko-početní metody [14][31] .....	55
Obr. 6.2: Obvod vaku vycházející z graficko-početní metody .....	55
Obr. 6.3: Schéma pro výpočet výtoku pod stavidlem.....	57
Obr. 6.4: Schéma pro výpočet přepadu přes klapkový uzávěr .....	59
Obr. 6.5: Schéma pro výpočet přepadu přes deskovou klapku.....	60
Obr. 6.6: Schéma pro výpočet přepadu přes vak .....	62
Obr. 6.7: Výška vaku neovlivněná dolní vodou $H_1$ [33].....	63
Obr. 6.8: Výška vaku ovlivněná dolní vodou $H_1'$ [33].....	63
Obr. 6.9: Rozšířený součinitel přepadu přes vak $M, M'$ [33].....	64
Obr. 6.10: Schéma pro výpočet přepadu přes pevný jez .....	66
Obr. 6.11: Schéma pro výpočet průtoku přes vyhrazenou šterkovou propust' .....	67
Obr. 6.12: Schéma pro výpočet přepadu přes Jamborův práh .....	68
Obr. 6.13: Součinitel přepadu $m$ přes Jamborův práh [14].....	69
Obr. 6.14: Schéma pro výpočet přepadu přes sklopenou deskovou klapku .....	69
Obr. 6.15: Schéma pro výpočet přepadu přes sklopený vak (široká koruna) .....	70



Obr. 6.16: Schéma pro návrh vývaru – pevný jez .....	73
Obr. 6.17: Schéma pro návrh vývaru – šterková propust' .....	73
Obr. 6.18: Schéma pro návrh vývaru – vakový uzávěr .....	73
Obr. 6.19: Schéma pro návrh vývaru – klapkový uzávěr .....	73
Obr. 6.20: Schéma zatěžovacího stavu A – pole s vakem .....	81
Obr. 6.21: Schéma zatěžovacího stavu A – pole s pevným jezem .....	81
Obr. 6.22: Schéma zatěžovacího stavu B – pole s vakem .....	81
Obr. 6.23: Schéma zatěžovacího stavu B – pole s pevným jezem.....	81
Obr. 6.24: Průběh vztlaku (modře) – pole s vakem .....	83
Obr. 6.25: Průběh vztlaku (modře) - pole s pevným jezem.....	83
Obr. 6.26: Schéma sil působících na jezové těleso (pole s vakem) při zat. stavu A.....	87
Obr. 6.27: Schéma sil působících na jezové těleso (pole s pevným jezem) při zat. stavu A .....	89
Obr. 6.28: Schéma sil působících na vývarovou desku při zat. stavu A.....	91
Obr. 6.29: Schéma sil působících na návodní pilíř při zat. stavu A.....	93
Obr. 6.30: Schéma sil působících na jezové těleso (pole s vakem) při zat. stavu B.....	95
Obr. 6.31: Schéma sil působících na vývarovou desku při zat. stavu B.....	97
Obr. 6.32: Zjednodušená proudová síť v posuzovaném místě.....	101
Obr. 6.33: Schéma pro posouzení únosnosti základové půdy pod jezovým tělesem ...	105
Obr. 6.34: Schéma pro posouzení únosnosti základové půdy pod vývarovou deskou.	110
Obr. 6.35: Schéma pro posouzení únosnosti základové půdy pod návodním pilířem..	113



## 10. SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1: N-leté průtoky v profilu jezu (II. Třída) [1] .....	7
Tab. 2.2: M-denní průtoky v profilu jezu (III. Třída) [1] .....	7
Tab. 3.1: Hodnoty průtoků při manipulaci s horními šesti díly středových stavidel.....	21
Tab. 3.2: Hodnoty průtoků při manipulaci s dolními díly šesti středových stavidel .....	22
Tab. 3.3: Součinitel zatopení $\sigma_z$ pro přepad přes širokou korunu [17] .....	26
Tab. 3.4: Součinitel přepadu $m$ při bočním zúžení [18] .....	26
Tab. 4.1: Sestavený Fullerův trojúhelník pro určení vah jednotlivých kritérií [19][20]	30
Tab. 4.2: Bodování jednotlivých variant nové hradicí konstrukce .....	39
Tab. 4.3: Parametry vývaru jednotlivých variant .....	43
Tab. 4.4: Teoretická spotřeba oceli pro jednotlivé varianty hradicí konstrukce [14][21] .....	44
Tab. 4.5: Celková cena jednotlivých variant .....	45
Tab. 6.1: Poloměry dílčích kružnic [31] .....	54
Tab. 6.2: Opravný součinitel $\sigma_{sk}$ zohledňující sklon přelivné hrany o úhel $\delta$ [17].....	59
Tab. 6.3: Součinitel zatopení $\sigma_z$ [17] .....	59
Tab. 6.4: Součinitel zatopení přepadu $\sigma$ , $\sigma'$ a $\sigma^x$ [33].....	63
Tab. 6.5: Součinitel přepadu přes pevný přeliv $M^x$ [33] .....	64
Tab. 6.6: Součinitel aktivní délky vývaru $K$ [14] .....	74
Tab. 6.7: Návrh a posouzení parametrů vývaru pro variantu H (1. stav) .....	75
Tab. 6.8: Návrh parametrů vývaru pro variantu H (2.stav) .....	75
Tab. 6.9: Návrh parametrů vývaru pro variantu H (3.stav) .....	75
Tab. 6.10: Návrh rybiho přechodu [28][29][30].....	79
Tab. 6.11: Síly působící na jezové těleso (pole s vakem) při zat. stavu A .....	88
Tab. 6.12: Síly působící na jezové těleso (pole s pevným jezem) při zat. stavu A.....	90



Tab. 6.13: Síly působící na vývarovou desku při zat. stavu A .....	92
Tab. 6.14: Síly působící na návodní pilíř při zat. stavu A .....	94
Tab. 6.15: Síly působící na jezové těleso (pole s vakem) při zat. stavu B.....	97
Tab. 6.16: Síly působící na vývarovou desku při zat. stavu B.....	99
Tab. 6.17: Přepočítání efektivních parametrů zemin na výpočtové hodnoty [34].....	102
Tab. 6.18: Stanovení průměrných hodnot parametrů zeminy.....	103
Tab. 6.19: Stanovení únosnosti skalního podloží .....	104
Tab. 6.20: Stanovení kontaktního napětí v teoretické základové spáře pod jezovým tělesem .....	106
Tab. 6.21: Stanovení únosnosti základové půdy ve svislém a vodorovném směru (pod jezovým tělesem) .....	108
Tab. 6.22: Stanovení kontaktního napětí v základové spáře pod vývarovou deskou ...	111
Tab. 6.23: Stanovení únosnosti základové půdy ve svislém a vodorovném směru (pod vývarovou deskou).....	111
Tab. 6.24: Stanovení kontaktního napětí v základové spáře pod návodním pilířem ....	113
Tab. 6.25: Stanovení únosnosti základové půdy ve svislém a vodorovném směru (pod návodním pilířem).....	114



## 11. SEZNAM PŘÍLOH

Pro variantu H, která byla v rámci hodnocení vybrána jako nejvhodnější, byly zpracovány přílohy A.1 až C.3. Pro současný stav jezu byla pořízena fotodokumentace D.

A.1	Výpočet konsumpční křivky přepadu přes jez	
A.2	Konsumpční křivka přepadu přes jez	
A.3	Výpočet konsumpční křivky přepadu přes jez při úplném vyhrazení jezu	
A.4	Konsumpční křivka přepadu přes jez při úplném vyhrazení jezu	
B.1	Situace	M 1:400
B.2	Půdorys jezu	M 1:135
B.3	Rozvinutý podélný řez A-A' (Rybí přechod)	M 1:225
B.4	Příčný řez B-B', Detail A – kotvení vaku	M 1:100; 1:10
B.5	Příčný řez C-C', Detail B – drenážní otvory s filtry	M 1:100; 1:30
B.6	Podélný řez D-D', Detail C – kotvení vaku	M 1:100; 1:10
B.7	Příčný řez E-E' (Navázání na vtokový objekt náhonu)	M 1:100
C.1	Vizualizace 1	
C.2	Vizualizace 2	
C.3	Vizualizace 3	
D.	Fotodokumentace jezu Sezemice (současný stav)	