

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební
Katedra hydrotechniky



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Rekonstrukce jezu Freiwald na Metuji ve městě Hronov

**Rehabilitation of the Freiwald Weir at the Metuje River in
the Hronov Town**

Vedoucí diplomové práce: Ing. Miroslav Brouček, Ph.D.

říjen 2023

Bc. Václav JURÁNEK

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Juránek Jméno: Václav Osobní číslo: 477418

Zadávací katedra: k142 - Katedra hydrotechniky

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Rekonstrukce jezu Freiwald na Metuji ve městě Hronov

Název diplomové práce anglicky: Rehabilitation of the Freiwald Weir at Metuje River in the Hronov town

Pokyny pro vypracování:

Na základě dostupných podkladů zpracujte projektové řešení rekonstrukce jezu Freiwald na ř. km 44,907 Metuje. Řešení bude obsahovat technický návrh změny hradičí konstrukce ze současných 4 dubových stavidel na vakový uzávěr. Návrh doplňte o řešení migrační prostupnosti jezu pomocí rybliho přechodu umístěného v levém běhu. Navržené řešení bude vycházet z hydraulického posouzení stávajících konstrukcí a požadavků manipulačního řádu. Návrh rozpracujte v podrobnosti odpovídající dokumentaci pro stavební povolení v technické rovině – výkresová část, hydrotechnické a statické výpočty, technická zpráva.

Seznam doporučené literatury:

Medřický V., Valenta P.: Hydrotechnické stavby 1, Navrhování jezů, ČVUT, 2009, ISBN 978-80-01-04309-7;

Gabriel P. a kol.: Jezy, SNTL, 1989;

další odborná literatura z oblasti řešení jezů a ryblih přechodů se vztahem k tématu diplomové práce (zejména pro hydraulické řešení vakového uzávěru);

relevantní technické normy, zejména TNV 75 2303 Jezy a stupně, TNV 75 2321 Zprůchodňování migračních bariér ryblih přechody, ČSN 73 1208 Navrhování betonových konstrukcí vodohospodářských objektů, příslušné EC a legislativní přepisy.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Miroslav Brouček, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 29.9.2023

Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2024

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

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

29.9.2023

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem ČVUT 1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

V Liberci, dne 15.12.2023

.....

Bc. Václav Juránek

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce Ing. Miroslavu Broučkovi Ph.D., za velmi milý přístup a cenné rady při konzultacích této práce. Dále bych rád poděkoval státnímu podniku Povodí Labe, jmenovitě Ing. Bohumilu Pleskačovi za spolupráci během psaní diplomové práce. Poděkování náleží také společnosti AQUATIS a.s., jmenovitě Ing. Ivo Vaňkovi, se kterým byla konzultována technologie vzduchem plněných vaků. Velké díky patří mé rodině, která mě ve studiu vždy podporovala a poskytovala mi zázemí, bez kterého bych se neobešel.

Abstrakt

Zadáním této diplomové práce je zpracování projektového řešení rekonstrukce jezu Freiwald v obci Hronov na řece Metuji, které zahrnuje technický návrh změny hradicí konstrukce ze současného stavidlového jezu na vakový uzávěr. Součástí diplomové práce je také vyřešení migrační prostupnosti jezu vhodným návrhem rybího přechodu na levém břehu. Návrh je rozpracován v podrobnosti odpovídající dokumentaci pro stavební povolení s přílohami zahrnující výkresovou část, hydrotechnické a statické výpočty a technickou zprávu.

Klíčová slova

jez, rybí přechod, migrační bariéra, spodní stavba, vakový jez, řeka Metuje

Abstract

The task of this master thesis is to prepare a design solution for the rehabilitation of the Freiwald weir in the Hronov town on the Metuje River, which includes a technical design for the change of the damming structure from the current sluice gate weir to an inflatable rubber weir. The thesis also includes the solution of the migration permeability of the weir by a suitable design of a fish pass on the left bank. The design is elaborated in details corresponding to the documentation for the building permit with annexes including technical drawings, hydrotechnical and structural calculations and a technical report.

Key words

weir, fish pass, migration barrier, substructure, inflatable rubber weir, the Metuje River

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíl práce.....	2
3. Vakové uzávěry	3
3.1 Vodou plněné vakové uzávěry	3
3.2 Vzduchem plněné vakové uzávěry.....	3
3.2.1 V-efekt.....	4
3.3 Porovnání vzduchem plněných vaků a vodou plněných vaků	5
3.3 Použití vakových uzávěrů.....	7
3.4 Výhody a nevýhody vakových uzávěrů	10
4 Migrační prostupnost vodního toku	11
4.1 Legislativa migrační průchodnosti	11
4.2 Základní pojmy a definice	11
4.2.1 Rybí přechod	11
4.2.2 Migrace	11
4.2.3 Migrační prostupnost.....	12
4.2.4 Vábící proud	12
4.3 Zásady návrhu rybího přechodu	12
4.3.1 Umístění rybího přechodu	12
4.3.2 Návrhový průtok	13
4.3.3 Sklonové poměry	13
4.4 Typy rybích přechodů	13
4.4.1 Přírodě blízké RP	13
4.4.2 Technické rybí přechody	14
5. Popis zájmového území	17
5.1 Údaje o území	17

5.2 Přírodní poměry	18
5.2.1 Klimatické podmínky	18
5.2.2 Srážky	19
5.2.3 Teplotní podmínky	20
5.2.4 Hydrologické poměry	21
5.2.5 Záplavová území	22
5.2.6 Rybí pásma a revíry	22
5.3 Vodácký turismus	23
6. Popis vodního díla Hronov – Freiwald	24
6.1 Historie výstavby jezu a MVE	24
6.2 Aktuální stav VD Hronov	25
6.2.1 Jezové těleso	26
6.2.2 Manipulace na stavidlovém jezu	29
6.2.3 Malá vodní elektrárna	30
6.2.4 Automatická regulace jezu a MVE	31
6.2.5 Problémy na vodním díle	32
7. Podklady	33
7.1. Hydrologické podklady	33
7.2. Mapové podklady	34
7.3. Geologické a hydrogeologické podklady	35
7.3.1 Geologické posouzení	35
7.3.2 Hydrogeologické posouzení	37
8. Návrh rybího přechodu	38
8.1 Umístění a návrhové parametry RP	38
8.2 Popis technického řešení	39
8.3 Hydrotechnický výpočet	40

8.4 Statický výpočet	45
8.4.1 Posouzení zdvihu vztlakem vody	45
8.4.2 Návrh hlavní ohybové výztuže	46
9. Návrh nového jezového tělesa	51
9.1 Popis nové jezové konstrukce	51
9.2 Hydrotechnický výpočet pevného prahu	52
9.3 Ověření výskytu V-efektu	54
10. Posouzení stability spodní stavby jezu	57
10.1 Posunutí v základové spáře, překlopení a nazdvižení konstrukce vztlakem vody	57
10.1.1 Zatěžovací stavy	57
10.1.2 Rozbor působících sil na spodní stavbu jezu	58
10.1.3 Stanovení podmínek stability	60
10.1.4 Zatěžovací stav A	62
10.1.5 Zatěžovací stav B	65
10.1.6 Zatěžovací stav C	67
11. Základní bilance a kalkulace nákladů	72
12. Závěr	73
13. Seznam použitých zdrojů	75
14. Seznam použitých zkratk	77
15. Seznam obrázků	78
16. Seznam tabulek	80
17. Seznam grafů	81
18. Seznam rovnic	82
19. Seznam příloh	83

1. Úvod

Jezové stavby již od pradávna patří k nedílné součásti vodních toků po celém světě a bezesporu je lze zařadit mezi nejstarší vodohospodářské stavby. První historická zmínka o jezu se dochovala z období 3000 let před naším letopočtem z oblastí řeky Nilu. Jednalo se o stavby za účelem vzdutí hladiny k odběrům pro zavlažování zemědělských pozemků. Konstrukčně šlo o primitivní stavby obvykle ze dřeva, kamenů nebo hlíny s nutností obnovy po každé větší vodě.

Na našem území lze dohledat první zmínku o jezové stavbě z 8 stol. n. l. z oblasti Žatecka. Za první významnější jezové stavby na našem území lze pokládat jezy pražského typu z 12. a 13. století vybudovaných pro pohon místních mlýnů. Rozvoj výstavby jezů v těchto a následujících staletí souvisel především s rozvojem lodní dopravy. Významným krokem tehdy bylo vydání patentu Karlem IV., jehož snaha spočívala v umožnění kontinuální plavby vodním tokem díky výstavbě vorových propustí, které umožňovaly plavení dřeva z šumavských lesů.

Další posun ve výstavbě jezů přišel v 19. století s rozvojem hutního průmyslu. Častěji se začaly používat nejprve litinové a později ocelové konstrukce pro výstavbu nových pohyblivých jezů. Zásadním obdobím nejen ve výstavbě jezů, ale obecně vzdouvacích staveb na našem území bylo 20. století, kdy vznikaly naše nejvýznamnější jezy a přehrady, kam bezesporu lze zařadit soustavu zdymadel Vltavské kaskády a Labské vodní cesty. V současné době se dává přednost především tenkostěnným uzavřeným konstrukcím s možností hrazení širokých rozpětí při nízké spotřebě materiálu. Do této kategorie lze zařadit ocelové klapky, hydrostatické sektory a segmenty nebo moderní vakové hradicí konstrukce.

Současná společnost se k výstavbě nových jezových staveb staví velmi negativně a drtivá většina záměrů se dostává do nekonečné spirály byrokratických procesů s výsledkem zamítnutí ze strany ekologických aktivistů. Pozornost by tedy měla být upřena především na jezy již vybudované, kde je nutné zajistit jejich optimální využití, bezpečný provoz a potřebnou údržbu. Na našich tocích lze najít řadu zastaralých jezů, které z pohledu funkčního i provozního již nevyhovují stávajícím standardům a je třeba přistoupit ke kompletním rekonstrukcím. Cíl těchto rekonstrukcí pak obvykle spočívá v návrhu moderní, plně automatizované konstrukce s požadavkem na spolehlivost, minimální údržbu a zajištění bezpečnosti provozu v mimořádných podmínkách. A právě tyto požadavky by měla splňovat i nově navržená jezová konstrukce, jež je předmětem této diplomové práce.

2. Cíl práce

Cíl diplomové práce spočívá v návrhu nové hradicí konstrukce jezu Freiwald v obci Hronov na řece Metuji. Stávající stav vodního díla nevyhovuje provozním standardům a značné stáří konstrukce jezu a jeho stavebních částí představuje potenciální riziko s ohledem na bezpečný provoz vodního díla.

Parametry nového hradicího systému by měly splňovat nejen současné požadavky, jakými jsou zajištění podélné stability dna a vzdouvání vody pro provoz přilehlé MVE, ale i zajistit odpovídající míru protipovodňové ochrany z pohledu spolehlivosti a bezpečnosti při manipulacích s hradicí konstrukcí.

Spolu s rekonstrukcí jezu je cílem této práce také navrhnout opatření pro zvýšení migrační prostupnosti ve formě rybího přechodu situovaného na levém břehu řeky.

Hlavní motivace této práce spočívá v návrhu plně automatické, moderní a pro obsluhu vodního díla bezpečné hradicí konstrukce s minimálním nárokem na údržbu, která rovněž sníží možnost ucpávání jezového profilu plávim a sedimenty při zvýšených průtocích.

3. Vakové uzávěry

Vakové uzávěry jsou specifické hradicí konstrukce z pryžotextilní membrány, které pracují ve většině případů v plně automatickém režimu. Kotvení do spodní stavby jezu a bočních pilířů je obvykle provedeno pomocí ocelových válcovaných profilů – nejčastěji dvojitý U profil. Vak může být naplněn vodou (drtivá většina vakových jezů v České republice) nebo vzduchem, případně kombinací vody a vzduchu. Funkci vaku lze popsat jako princip spojitých nádob, při kterém se vytvoří rovnováha mezi vnějším tlakem a vnitřním tlakem, případně přetlakem. Narušením tohoto rovnovážného stavu pak dochází ke sklápění nebo vztyčení vaku. [1]

Standardní hrazené výšky se pohybují v rozmezí od 0,5 m do 3,5 m (v České republice obvykle do 2,0 m). Nejvyšší hrazená výška vakovou technologií byla realizována v Japonsku na vodním díle Kurotani Dam s šířkou pole 34,5 m a hrazenou výškou 6,0 m. Obecně lze prohlásit, že ekonomicky výhodné je navrhovat vakové uzávěry na velké světlosti jezových polí, kdy náklady oproti ocelovým konstrukcím jsou výrazně nižší. [1]

3.1 Vodou plněné vakové uzávěry

Plnicím médiem vaku je voda. Pohyb uzávěru, tedy sklopení nebo vztyčení, probíhá díky změně tlaku vody uvnitř hradicí konstrukce. Pro plné vztyčení vaku je nutné, aby uvnitř konstrukce byl přetlak (obvykle 1,3 až 1,5násobek hradicí výšky uzávěru). [1]

Vak je propojen systémem potrubí s manipulačními šachtami umístěnými obvykle v břehovém pilíři. Odtud dochází k dopravě vody z manipulačních šachet do tělesa vaku. V manipulačních šachtách se nachází také čerpadla (v minulosti trkače) a řídicí jednotky, které ovládají pohyb vaku.

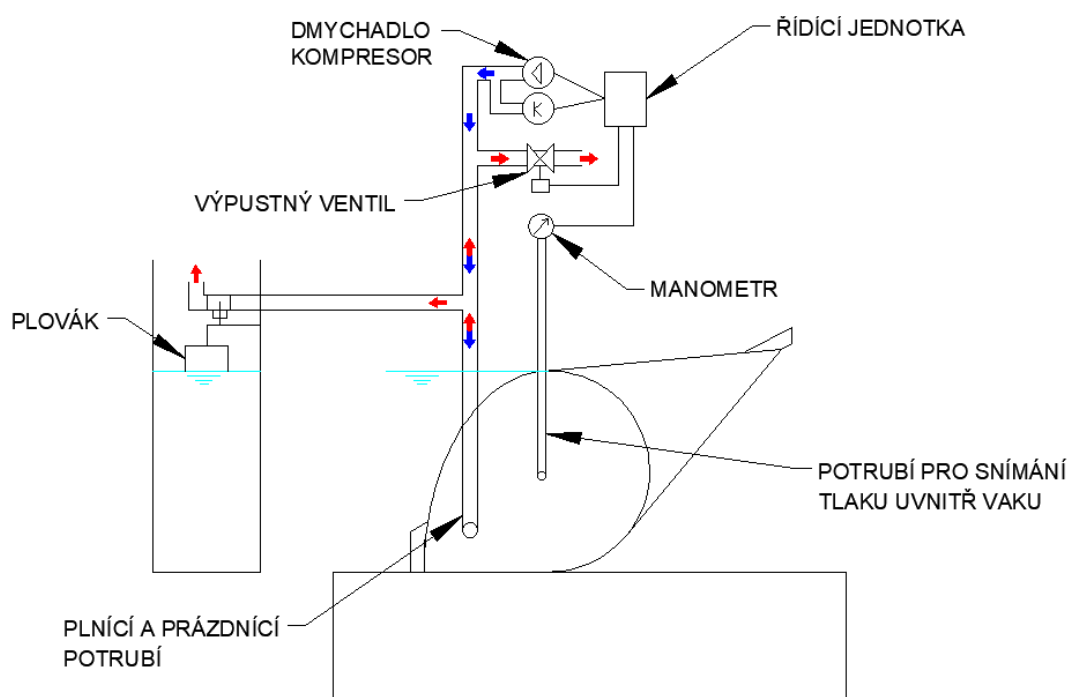
3.2 Vzduchem plněné vakové uzávěry

Principiálně se vzduchem plněné vaky od vodou plněných vaků neliší. Podstatný rozdíl ovšem spočívá v hustotě obou médií. Tento rozdíl má za následek řadu rozdílných chování při přepadu vody přes vak, ovlivňuje délku rozpětí jezového pole nebo předurčuje vhodnost technologie při realizaci v místech s výskytem extrémních klimatických jevů. Podstatný rozdíl také spočívá v technologickém vyzbrojení jezu.

Standardní vybavení zahrnuje dmychadla a kompresory, plnicí a prázdnicí potrubí, ventily, řídicí systém, bezpečnostní zařízení bránící vzniku nadměrného přetlaku uvnitř vaku a

nouzový systém pro vypuštění vaku v případě výpadku elektrické energie. Požadavky na tlak jsou u vaků obecně velmi nízké, a proto jsou vzduchová dmychadla vhodná k použití v běžném provozu. Doba pro úplné vypuštění nebo napuštění vaku závisí obecně na požadavcích provozovatele vodního díla. Rychlé plnění a prázdnění není doporučováno s ohledem na nutnost předimenzování celého systému (elektrického a mechanického). [2]

Automatický řídicí systém obvykle ovládá dmychadla a výfukové ventily tak, aby udržoval nastavenou hodnotu hladiny nebo nastavenou hodnotu tlaku vzduchu uvnitř vaku. Prostředkem pro omezení přetlaku v pryžové membráně je obvykle přetlakový ventil v blízkosti dmychadla. Dmychadla a výfukové ventily by také měly mít možnost ručního ovládání. [3]



Obrázek 1: Schéma principu provozu vzduchem plněného vaku (zdroj: autor)

3.2.1 V-efekt

Jednou z charakteristik vzduchem plněných vaků je, že průtok vody přes vak není vždy rovnoměrně rozložen. Při vypouštění se vytváří V-zářez¹, což vede ke koncentraci průtoku v jednom místě a obtížím při řízení požadované hladiny vody a průtoku. V-efekt vzniká v důsledku rozdílů hustoty vzduchu a vody, jelikož membrány jsou velmi tenké dvourozměrné

¹ V anglicky psané literatuře se tento pojem nejčastěji vyskytuje pod názvem *V-notch phenomenon*

nosné konstrukce s relativně malou tuhostí v ohybu. [2] Systém se následně stává nestabilním – ohne se nebo promáčkne.

Vzniklý "důlek" ve tvaru písmene V (obrázek 2) způsobí zatížení pryžové membrány pouze na jedné straně a koryto v podjezí je následně vystaveno lokálně vyššímu zatížení. Vzduchem plněné vaky používané k regulaci vodní hladiny se tímto způsobem zhroutí, i když jsou přepadové výšky malé. Na základě laboratorních měření bylo stanoveno, že k efektu dochází ve chvíli, kdy je poměr přepadové výšky/hrazená výška v rozmezí 0,25 až 0,30. [2]



Obrázek 2: V-efekt, kolaps vakového uzávěru [2]

3.3 Porovnání vzduchem plněných vaků a vodou plněných vaků

Při volbě technologie plnění vaku je tak velmi důležité zvážit mnoho aspektů budoucího provozu. Například zda se očekává regulace průtoku pomocí uzávěru, případně v jakých rozmezích budou očekávané přepadové výšky, zdali okolí jezu disponuje dostatečným prostorem pro umístění technologického vybavení a v neposlední řadě je důležité brát v úvahu také klimatické podmínky v místě realizace.

Porovnání obou technologií shrnuje následující tabulka:

Tabulka 1: Porovnání vzduchem plněných vaků a vodou plněných vaků z hlediska provozu jezu [2]

Kritérium porovnání	Plnicí médium	
	vzduch	voda
Regulace hladiny	Vhodné pouze pro malé rozpětí průtoků, ideálně hladinu v nadjezí reguluje MVE	Velmi vhodné – možnost regulovat celé rozpětí průtoků
Vibrace a deformace uzávěru	Větší náchylnost k vibracím již při malých přepadových výškách (cca 20% h.v.), při větších přepadových výškách nastává V-efekt a dojde k deformaci vaku	Minimální riziko vzniku vibrací
Max. rozpětí jez. pole	Vodou plněné vaky jsou schopny hradit větší rozpětí při stejné hrazené výšce oproti vzduchovým vakům, rozdílná hustota vody a vzduchu omezuje velká rozpětí	
Interakce s MVE	Vhodné pouze v případě, že hltlost turbíny pokrývá široký rozsah průtoků, aby se omezil přepad vody přes vak	Vhodné ale pomalejší reakce uzávěru v případě výpadku provozu elektrárny
Zimní režim	Oba typy jsou vhodné pro převod ledu přes jezovou konstrukci, u vodou plněných vaků se v zimním období doporučuje zajištění cirkulace vody v systému	
Převod sedimentu	Oba typy umožňují převod sedimentu z nadjezí při úplném sklopení vaku	
Náchylnost k poškození	Oba typy mají zhruba stejnou náchylnost k poškození ostrými předměty	
Extrémní klimatické podmínky	Nevhodné při extrémně vysokých teplotách okolního vzduchu	Nevhodné do podmínek s velmi nízkými teplotami vzduchu
Tlak uvnitř vaku	Závisí na koeficientu vnitřního tlaku α , obvyklé hodnoty $\alpha=1,0$ až $1,2$ [-]	Závisí na koeficientu vnitřního tlaku α , obvyklé hodnoty $\alpha=1,3$ až $1,5$ [-]
Rychlost vyhrazení za povodňových průtoků	Velmi vhodné, možnost rychlé manipulace	Vhodné, doba prázdnění vaku je ale delší než u vzduchem plněných vaků
Vnitřní prostor vaku – údržba	Kontrolovaný odvod kondenzátu a nečistot spec. potrubím	Vyšší riziko zanášení vnitřního prostoru vaku sedimenty a nečistotami

3.3 Použití vakových uzávěrů

První realizace vakových uzávěrů sahají do 50. a 60. let minulého století. Za dobu téměř 70 let realizací se technologie i materiály uzávěrů natolik zdokonalily, že vakové uzávěry disponují širokým spektrem využití v oblasti vodních staveb.

Jezový uzávěr:

Technologie je využívána u jezů například pro získání požadovaného spádu pro přilehlou vodní elektrárnu. V případě realizace vzduchem plněného vaku u přilehlé vodní elektrárny je hladina v nadjezí obvykle řízena spíše průtokem přes turbíny než přepadem přes jez. Jako jezový uzávěr si vak získal uplatnění i na tocích využívaných pro plavbu nákladních nebo rekreačních plavidel. Technologie umožňuje zajištění stálých plavebních hloubek s odchylkou od nominální kóty několika málo centimetrů (vodou plněné vaky). V České republice byla realizována řada nízkých vakových jezů pro vytvoření jezové zdrže za účelem využití vzduté hladiny pro odběr k zavlažování. [4]



Obrázek 3: Jez Turnov na řece Jizeře [9]

Protipovodňová ochrana:

Vakové uzávěry lze použít i jako protipovodňovou ochranu v určitých místech podél vodních toků (osazení technologie vyžaduje speciální stavební objekt). V takovém případě jsou v období běžných průtoků hradicí konstrukce vypuštěné. Se stoupající hladinou lze vak postupně vztyčit a vytvořit tak bariéru mezi vodním tokem a chráněným územím, případně kontrolovaně převádět část průtoku do území uzpůsobené k rozlivu části průtoku.



Obrázek 4: **Využití vakové technologie spolu s ocelovou hradicí konstrukcí jako protipovodňová ochrana – Pistoia, Itálie [2]**

Pohyblivý uzávěr bezpečnostních přelivů:

Využití této technologie je typické především pro Japonsko a USA (např. Nacimiento Dam). V České republice se dává přednost tradičním ocelovým hradicím konstrukcím (klapky, segmenty). Důvod lze pravděpodobně hledat v ověření spolehlivosti ocelových konstrukcí, zatímco s vakovými uzávěry nemají správci vodních děl prakticky žádné provozní zkušenosti. Jediný bezpečnostní přeliv hrazený vakovým uzávěrem se nacházel na VD Baška (správce VD – Povodí Odry, s. p.), avšak v současnosti probíhá rekonstrukce části hráze včetně výstavby nového nehrazeného bezpečnostního přelivu.



Obrázek 5: VD Baška – Bezpečnostní přeliv hrazený vakem (zdroj: poskytnuto vedoucím diplomové práce)

Přilivová bariéra:

Vakové uzávěry mohou být instalovány i jako bariéry proti přílivu nebo proti vnikání slané mořské vody do sladkovodních částí řek.



Obrázek 6: Vzduchem plněné vakové uzávěry jako ochrana proti přílivu – Doki river, Japonsko [2]

3.4 Výhody a nevýhody vakových uzávěrů

Výhody vakových uzávěrů:

- Nízké pořizovací náklady v porovnání s ocelovými konstrukcemi
- Nenáročná spodní stavba jezu
- Jednoduchá montáž a případná výměna uzávěrů v porovnání s ocelovými konstrukcemi
- Malé nároky na údržbu a obsluhu jezu
- Nízké provozní náklady
- Drobná poškození lze jednoduše opravit
- Minimální riziko vzniku koroze materiálu, ani u ocelových prvků
- Nevzniká riziko kontaminace životního prostředí – provoz bez olejů a maziv
- Možnost kotvení na svislé stěny i na ukloněné břehové (návodní) pilíře
- Jednoduchá regulace hladiny vody s přesností ± 2 cm až do úplného vyhrazení uzávěru (vodou plněné vaky)
- Lineární nárůst zatížení na spodní stavbu (s rostoucím rozpětím jezového pole oproti ocelovým konstrukcím)

Nevýhody vakových uzávěrů

- Obvyklé maximální hradicí výšky se pohybují do 3,5 m
- U vzduchem plněných vaků není prakticky možné regulovat průtok
- Náchylnost k poškození vaku ostrými předměty (stromy, větve, ledové kry ...)
- Vandalismus – membránu je možné poškodit např. nožem
- Náchylnost k vibracím a vznik V-efektu (vzduchem plněné vaky)
- Pomalejší reakční doba uzávěru v případě výpadku přilehlé VE (vodou plněné vaky)
- Nižší životnost uzávěru v porovnání s ocelovými konstrukcemi

Pro výčet výše uvedených výhod a nevýhod vakových uzávěrů byly využity zdroje [1], [2], [3] a [4].

4 Migrační prostupnost vodního toku

V souvislosti s vodními toky je v posledních letech velmi diskutované téma jejich migrační prostupnosti. Příčná překážka v toku brání rybám v přirozeném pohybu říčním prostředím, jejímž důsledkem může být přirozený úbytek druhové rozmanitosti obsádky. Aby se návrh rybího přechodu stal skutečně prospěšný, je zapotřebí respektovat zásady návrhu RP dle vydaných metodik od AOPK a ministerstva životního prostředí a dále brát zřetel na typické chování ryb při migraci. Tyto důležité prvky návrhu shrnují následující podkapitoly.

4.1 Legislativa migrační průchodnosti

Každé vodní dílo se musí řídit předpisy, které jsou pro něj závazné. Mezi tyto dokumenty lze řadit zákony, zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), usnesení a vyhlášky vlády České republiky. [5]

Kromě těchto závazných dokumentů je důležité brát v potaz také technické normy. Odvětvová technická norma zabývající se zprůchodňováním migračních bariér rybími přechody nese označení TNV 75 2321. Zde jsou charakterizovány schopnosti jednotlivých rybích druhů, jejich životní potřeby i předpoklady správného návrhu RP.

4.2 Základní pojmy a definice

4.2.1 Rybí přechod

Jedná se o funkční objekt umožňující rybám migrovat skrze příčnou překážku toku jakou je jez, přehrada nebo MVE. Stavbu lze rozdělit na tři části:

- vstup RP, kudy ryba vplouvá z dolní vody
- trať RP
- výstup z rybího přechodu do horní vody

4.2.2 Migrace

Pod pojmem migrace lze rozumět pohyb živočichů za určitým účelem. Dle účelu můžeme migraci dělit následovně [5]:

- reprodukční – účelem je rozmnožování, ryba migruje do tzv. trdlišť, kde se vytírá
- vývojová – důvodem jsou nároky na životní prostředí živočicha v různém stádiu života
- repatriační – snaha o navrácení do své původní lokality

- okupační – způsobena rozšířením výskytu druhu
- kompenzační – snaha o dosažení rovnovážného stavu v toku

Migraci dle prostředí, ve kterém se odehrává, lze dělit na potamodromní (v rámci sladkovodního prostředí, typické pro většinu ryb na našem území) a na diadromní (mezi sladkou a slanou vodou, typické pro lososa nebo úhoře). [5]

4.2.3 Migrační prostupnost

Za migračně prostupný lze považovat tok, který umožňuje obousměrnou migraci ryb a splňuje hydraulické, fyzikální a chemické parametry v souladu se schopnostmi živočichů. Tohoto stavu lze dosáhnout odstraněním migrační překážky z vodního toku nebo vytvoření nové cesty v podobě RP. [5]

4.2.4 Vábící proud

Ryby migrují především proti proudu a hlavním vodítkem, kterým se řídí je proudnice toku. Pro úspěšnou lokalizaci vstupu RP rybou je tedy vhodné, aby se nacházel poblíž proudnice v podjezí (často v blízkosti savek MVE), pokud to možné není, lze vybavit RP přídatným proudem (obvykle veden skrze návodní pilíř).

4.3 Zásady návrhu rybího přechodu

Jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly, při návrhu RP je nutné nejen respektovat normy a předpokládané chování ryb, ale také správně definovat, pro které společenství ryb se funkční objekt navrhuje.

Vstupní data by měly zahrnovat výsledky ichtyologického průzkumu pro správné navržení parametrů RP jako je rychlost proudění, sklon tratě, výška dílčích překážek, velikost otvorů apod.

4.3.1 Umístění rybího přechodu

Z hlediska výstavby a údržby objektu je vhodné trať umístit v blízkosti břehů. Návrh může být limitován možností zásahu do okolních pozemků. [5]

Pro úspěšný vstup ryby do RP je ideální, pokud se nachází v blízkosti největšího proudu u překážky. Často je tímto místem vyústění savek z MVE, v tomto případě je vábící proud dostatečně silný i bez přídatného proudu.

Výstup z rybího přechodu by měl být v dostatečné vzdálenosti od přelivné hrany jezu, aby ryba nebyla stržena proudem opět pod překážku. Za ideální nelze považovat ani výstup v blízkosti nátoky na MVE. Ryba může být po překonání překážky unavená a proud směřující na česla elektrárny by mohl být fatální.

4.3.2 Návrhový průtok

Návrh vychází z aspektů, které zahrnují situaci v řešené lokalitě:

- M-denní průtoky
- Překážka je ve formě pohyblivého nebo pevného jezu
- Režim řízení hladiny v nadjezí
- Stanovený MZP
- Vodohospodářská bilance profilu
- Provozní průtok se obecně stanovuje dle velikosti toku, na kterém je projektován. Pro malé vodní toky by se měl pohybovat v rozmezí 5–10 % průměrného dlouhodobého ročního průtoku

U toků s $Q_{330d} > 10 \text{ m}^3/\text{s}$ by průtok rybím přechodem by měl tvořit 1 – 5 % aktuálního průtoku. [5]

4.3.3 Sklonové poměry

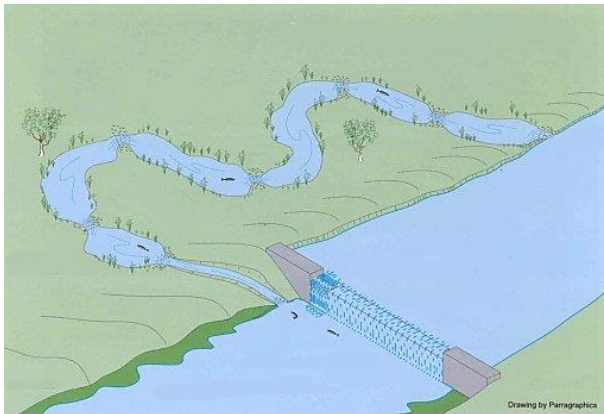
Sklon je často limitován morfologií okolního terénu. Pro kaprové vody platí limitní sklon 1:20, optimálně ale pozvolnější. Pro lososové vody lze připustit strmější sklony. Za optimální se považuje sklon 1:20, hraniční sklon se pohybuje kolem hodnot 1:15. [5]

4.4 Typy rybích přechodů

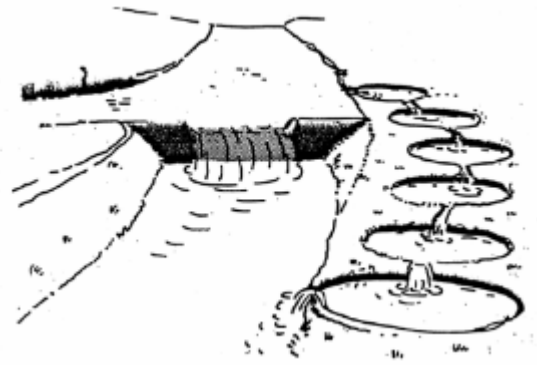
Tato kapitola zmiňuje vybrané druhy rybích přechodů, možností je však celá řada včetně kombinací jednotlivých typů. Základní dělení zahrnuje přírodě blízké rybí přechody a přechody technické.

4.4.1 Přírodě blízké RP

Bypass (obrázek 7) vytváří přírodní obtokové koryto vedené kolem příčné překážky. Obvykle se jedná o lichoběžníkové koryto s kamenným svahem a miskovitým dnem. Přepážky jednotlivých tůní tvoří balvany různých velikostí, které vytváří průtočné mezery pro pohyb ryb. [6]



Obrázek 7: **Bypass** [20]



Obrázek 8: **Tůňový RP** [7]

Dalším zástupcem přírodě blízkého rybního přechodu je tůňový (Obrázek 8). Stejně jako bypass je veden okolo překážky a jednotlivé tůňe spojují kanálky. Tvar tůňe je obvykle kruhový. Pro splnění podmínky dostatečného proudu u vstupu do RP bývá často doplněn o přídavný proud pro nalákání ryb. [5]

4.4.2 Technické rybní přechody

Těleso štěrbinového přechodu tvoří obvykle obdélníková konstrukce z betonu. Přepážky jsou rovněž z betonu a vytváří tzv. „štěrbiny“. Šířka štěrbin závisí na druhu migrujících ryb a obvykle se pohybuje v rozmezí 15 až 60 centimetrů. Vzdálenost mezi přepážkami se pohybuje od jednoho a půl do tří metrů a je také navázána na druh migrujících ryb. Dno obvykle pokrývá hrubé kamenivo nebo vrstva štěrku. [5]



Obrázek 9: Štěrbínový rybí přechod [8]

Kartáčové rybí přechody jsou obdobou štěrbinových přechodů. Přepážky místo betonu tvoří bloky elastických kartáčů, které jsou kotveny do dna. Maximální možný sklon by neměl přesáhnout 5 %, rychlost proudění by u dna mezi kartáči měla být nižší než 1,7 m/s. [6]

Kartáče se také uplatňují v podpůrném opatření, kdy se osazují do dna sportovních propustí. Toto řešení tedy umožňuje splutí sportovních plavidel i migraci ryb při menší prostorové náročnosti funkčního objektu.

Do kategorie technických rybích přechodů lze zařadit také komůrkové rybí přechody nebo Denilův rybí přechod (obrázek 10).



Obrázek 10: Denilův rybí přechod [20]

5. Popis zájmového území

5.1 Údaje o území

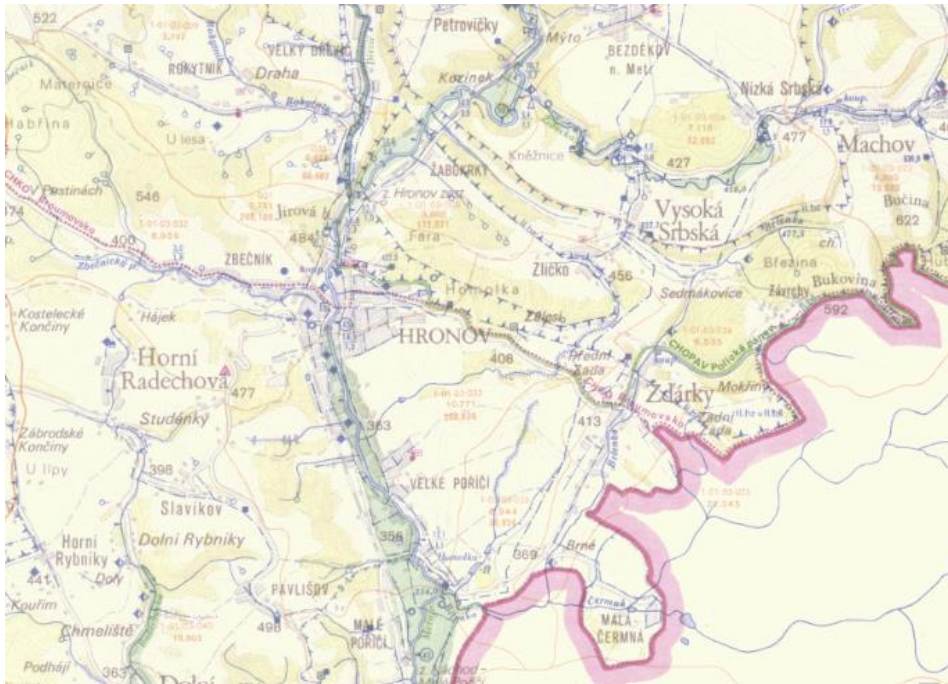
Řešené vodní dílo se nachází v obci Hronov, která spadá pod okres Náchod a leží u hranic s Polskem. Mezi nejbližší města lze zařadit Náchod, Jaroměř nebo Česká Skalice (Obrázek 11). Jihozápadně od obce se nachází důležitý silniční uzel Hradec Králové – Trutnov – Polsko, avšak dálniční spojení sahá zatím pouze k Jaroměři. Nadmořská výška řešené lokality se pohybuje kolem 360 metrů nad mořem.

Významnou vodní plochou v okolí je vodní nádrž Rozkoš, která byla vybudována v šedesátých letech minulého století. Mezi zajímavosti nádrže lze zařadit Úpský přivaděč, který slouží k dopravě vody z řeky Úpy do nádrže Rozkoš. Začátek přivaděče se nachází v blízkosti pohyblivého klapkového jezu ve Zlíči, jehož funkcí je právě regulace odváděného průtoku do nádrže Rozkoš.



Obrázek 11: Obec Hronov (červeně vyznačeno) [9]

Název toku	Metuje
Katastrální území	Hronov [648370]
Obec	Hronov
Okres	Náchod
Kraj	Královehradecký
Říční kilometr	44,907
Číslo vodohospodářské mapy	04–33

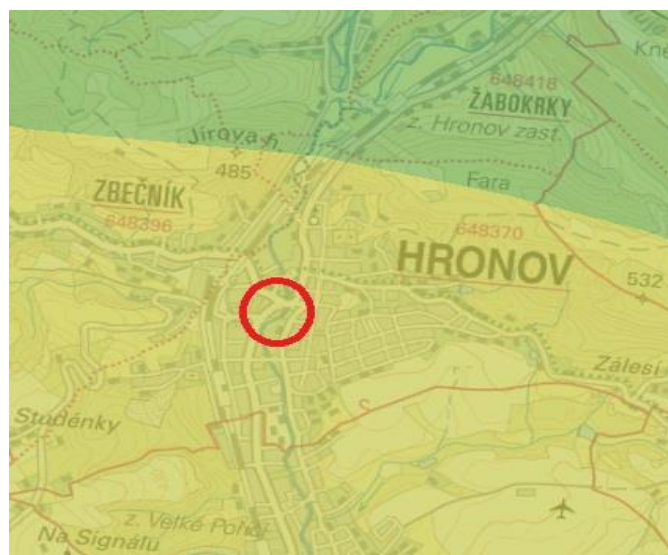


Obrázek 12: Detail z vodohospodářská mapy [10]

5.2 Přírodní poměry

5.2.1 Klimatické podmínky

Obec Hronov spadá do klimaticky mírně teplé oblasti MT7, kterou vyznačuje žlutá barva na následujícím obrázku (červeně zakroužkována oblast VD). Mírně teplá oblast se vyznačuje mírným a krátkým jarem, teplotně mírným a suchým létem i podzimem a chladnou zimou normální doby trvání. [11]



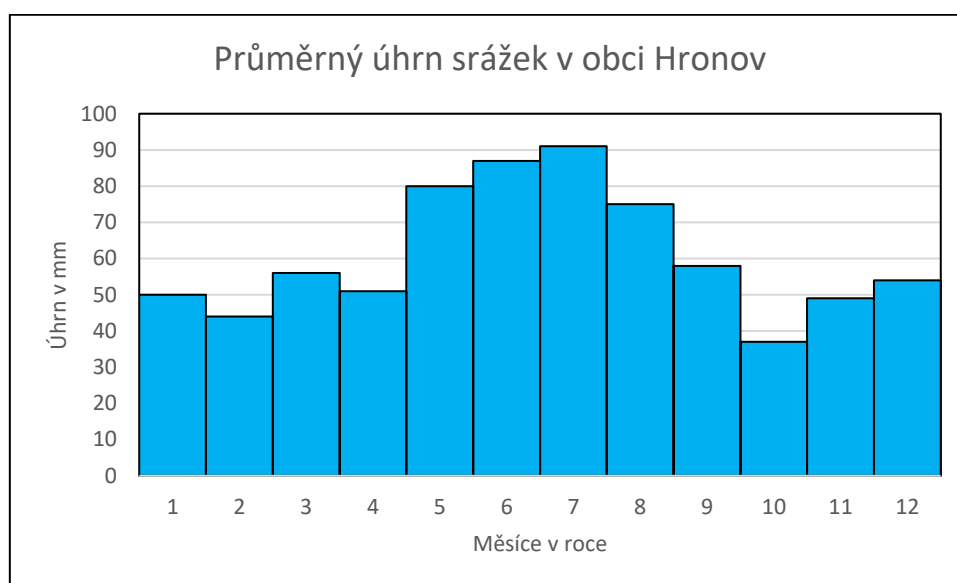
Obrázek 13: Klimatické poměry řešené oblasti [11]

5.2.2 Srážky

Roční průměr srážek v pásmu Hronova se pohybuje kolem 764 mm za rok z dlouhodobého pozorování. [12] Průměrné úhrny srážek v jednotlivých měsících v roce shrnuje následující tabulka a graf.

Tabulka 2: **Průměrné údaje o srážkách** [13]

	Model pro obec Hronov											
	Měsíce											
	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Průměrný úhrn srážek [mm]	50	44	56	51	80	87	91	75	58	37	49	54



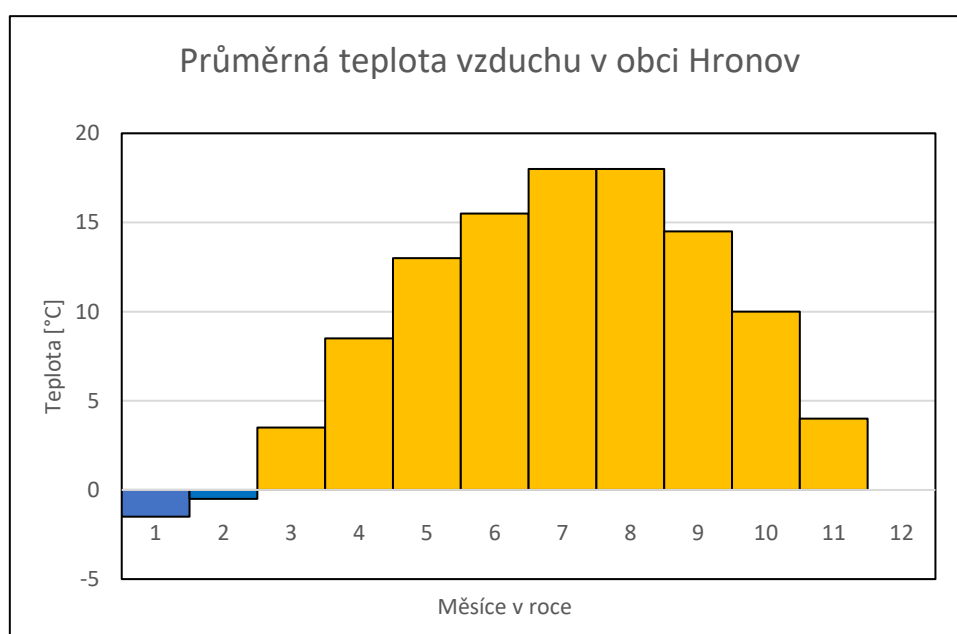
Graf 1: **Průměrný úhrn srážek v obci Hronov** [13]

5.2.3 Teplotní podmínky

Průměrná roční teplota je 8,5 °C z dlouhodobých pozorování regionu. [13] Průměrné měsíční hodnoty teploty vzduchu popisuje následující tabulka

Tabulka 3: Průměrné hodnoty teplot vzduchu [13]

	Model pro obec Hronov											
	Měsíce											
	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Průměrná teplota vzduchu °C	-1,5	-0,5	3,5	8,5	13,0	15,5	18,0	18,0	14,5	10,0	4,0	0,0



Graf 2: Průměrné teploty vzduchu pro obec Hronov [13]

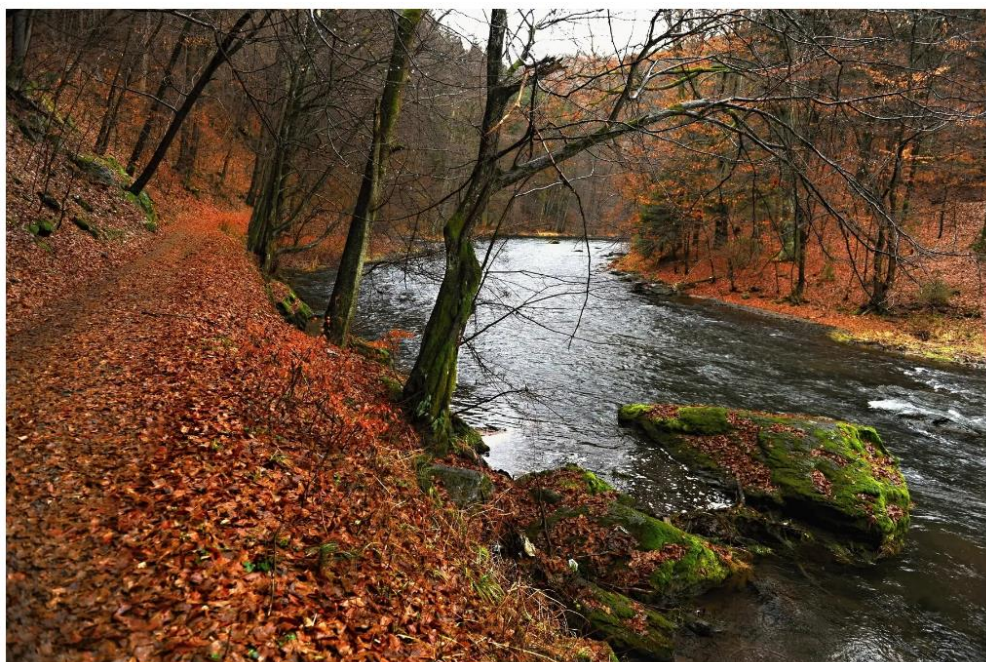
5.2.4 Hydrologické poměry

Řeka Metuje pramení v Broumovské vrchovině u osady Hodkovice západně od Adršpašských skal v nadmořské výšce 620 m n.m. Pro horní a střední tok jsou charakteristická hluboká zaříznutá údolí, ve kterých se nachází množství peřejí a turisticky velmi atraktivní přírodní scenérie. Jednou z takových oblastí je Pekelské údolí, velmi oblíbený úsek i pro vodácký turismus, avšak splouvání tohoto úseku vyžaduje zkušenější posádku oproti splouvání dolního toku Metuje.

Od Nového Města nad Metují má řeka spíše charakter nížinné řeky, ubývá peřejí a vodácky se jedná o méně náročné úseky. Historicky se okolí dolního toku Metuje využívalo k zemědělské činnosti. Tato oblast byla zásobena vodou díky systémům zavlažovacích kanálů, které odebíraly vodu ze zdrže hradlových jezů.

U obce Dolsko, necelých 100 metrů nad stejnojmenným jezem, dochází k rozdělení Metuje na Starou a Novou řeku. K soutoku obou toků dochází nedaleko obce Šestajovice a odtud už teče Metuje necelých 7 km k soutoku v Jaroměři, kde se vlévá jako levostranný přítok do řeky Labe.

Správcem vodního toku je státní podnik Povodí Labe. Plocha povodí pro má pro profil řešené oblasti 250,16 km². Údaje o průtocích v profilu jezu jsou shrnuty v kapitole 7.1 Hydrologické podklady.

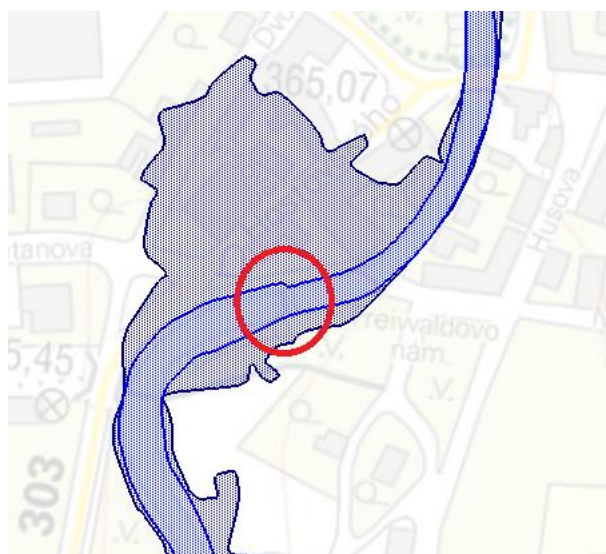


Obrázek 14: **Pekelské údolí**, autor: Zdeněk Uhlíř

5.2.5 Záplavová území

Řešená oblast se nachází v intravilánu města Hronov. Koryto nad jezem je tvořeno svislými nábrežními zdmi a spolehlivě převede (při vyhrazení stavidlového jezu) průtok odpovídající 20leté vodě. Koryto pod jezem má lichoběžníkový profil a jeho kapacita směrem po toku dle dostupných dat klesá a dochází k menším rozlivům již při průtoku Q_{20} na levém břehu řeky Metuje.

Při průchodu stoleté vody dochází v okolí jezu k poměrně rozsáhlým rozlivům na pravém břehu směrem do ulice Tyršova a Hostovského (Obrázek 15).



Obrázek 15: Záplavová území v okolí jezu, Q_{20} - modře, Q_{100} – černě, červeně vyznačena poloha jezu Freiwald [10]

5.2.6 Rybí pásma a revíry

Zájmová oblast spadá do kategorie losových vod dle nařízení vlády č. 71/2003 Sb. [10] Dle dělení rybích pásem odpovídá část toku lipanovému pásmu, pro toto pásmo jsou charakteristické ryby jako lipan podhorní, pstruh potoční, siven americký, jelec proudník a zvláště chráněný rybí druh – střevele potoční.

Údaje o obsádce ryb v řešené oblasti představují jeden z klíčových faktorů pro návrh funkčního rybího přechodu, proto je vhodné, aby projektu předcházel ichtyologický průzkum.

5.3 Vodácký turismus

Splouvání řek především malými sportovními plavidly jako například kánoemi nebo rafty se v České republice těší velké oblibě. Řeka Metuje sice nedisponuje množstvím kempů, občerstveních, velkým počtem půjčoven lodí nebo průtokem zajišťujícím celoroční splouvání, avšak proti řekám jako Vltava, Otava, Sázava nebo Ohře nabízí Metuje zcela jiný vodácký zážitek. Na horním a středním toku proplouvají turisté hlubokými údolními v téměř nedotčené krajině, a především bez velkého počtu ostatních vodáckých posádek.

Sjízdnost řeky Metuje je v horním a středním toku během roku velmi kolísavá a obecně se doporučuje splouvat spíše na jaře nebo po déle trvajících deštích. S rostoucím průtokem se však značně zvyšuje nárok na zkušenosti posádky plavidel a použitého vybavení. Tato část řeky je charakteristická velmi svižným průběhem toku s množstvím peřejí a jezy nedisponují sportovními propustmi, a v některých případech ani ideálními podmínkami pro možnost výstupu z lodi a následného přenesení.

Dolní úsek řeky Metuje (od Nového Města nad Metují) je obvykle splavný celoročně. Síla proudu slábne a tok nabývá spíše nížinného charakteru a dochází zde k rozdělení řeky nejprve u obce Krčín na Mlýnský náhon a koryto Metuje a poté u obce Dolsko – na Starou a Novou řeku. Tento úsek lze doporučit i méně zkušeným vodákům, avšak opatrnost nelze opomenout ani zde, jelikož v úseku Nové řeky se nachází řada nízkých stupňů, které i při lehce zvýšených průtocích ohrožují neopatrné vodáky v prostoru vývaru vzdutým vodním skokem.

6. Popis vodního díla Hronov – Freiwald

6.1 Historie výstavby jezu a MVE

Výstavba současného stavidlového jezu proběhla v roce 1932 jako součást břehových úprav v ř. km 43,764 – 45,959 řeky Metuje. Hlavní účel výstavby jezu spočíval ve vzdouvání vody pro tehdejší mlýn Freiwald. Vodoprávní povolení bylo vydáno Zemským úřadem v Praze dne 28.1.1931 a povolení k uvedení do trvalého provozu bylo vydáno dne 15.2.1937 též úřadem. K první zásadnější opravě jezu došlo v roce 1969, při které došlo k přerušení náhonu k původnímu mlýnu. [12]

První soukromá malá vodní elektrárna byla u jezu postavena v roce 1987 přímo u levého jezového pilíře. Tato elektrárna zde stála až do roku 2011, kdy došlo k odstranění stavby MVE včetně studny, nářadovny a oplocení. O rok později proběhly demoliční práce a zadržování vtoku na MVE. [12]

V roce 2013 byla zahájena stavba stávající malé vodní elektrárny situované proti levobřežnímu pilíři jezu. Detailnější popis stávající MVE je součástí kapitoly 6.2.3.



Obrázek 16: Výstavba současné MVE, rok 2014 [14]

6.2 Aktuální stav VD Hronov

Profil stavidlového jezu Hronov se nachází na ř. km 44,907 řeky Metuje. V bezprostředním okolí pravého břehu se nachází pozemek s parcelním číslem 217, jehož vlastníkem je obec Hronov. Situace na levém břehu je, co do rozdělení pozemků značně komplikovanější, avšak vlastnicky je rozdělena mezi dva subjekty. Pozemky s parcelním číslem 1704/12, 1704/13, 542/1, 543/3, 543/8 a pozemek 543/10 s budovou MVE náleží subjektu Freiwald s. r. o. Na pozemku s parcelním číslem 539 (na obrázku 17 vlevo dole) se nachází dětské hřiště, vlastníkem pozemku je obec Hronov. [15]



Obrázek 17: Mapa katastru nemovitostí [9]

Vodní dílo spadá do IV. kategorie TBD dle vyhlášky č. 255/2010 Sb. Účel vodního díla spočívá v zajištění stabilizačních a spádových poměrů řeky Metuje a rovněž využití energetického potenciálu v přilehlé MVE. [12]

6.2.1 Jezové těleso

Jedná se o stavidlový jez, jehož hlavní nosnou konstrukci tvoří tři ocelové stojiny profilu I 40/16 o celkové délce 7,1 m, z toho je 1,25 m zakotveno ve spodní stavbě jezu. Drážky v břehových pilířích tvoří kotvené U profily 22/8 cm. Těchto pět stojin je navzájem spojeno U profily 20, 5/7,5 cm a 16/6,5 cm a zároveň slouží jako nosná konstrukce pro obslužnou lávku a pohybovací mechanismus stavidlového jezu.

Hradicí konstrukci tvoří 15 cm široká dubová stavidla s šířkou jednotlivých polí 3,11 m a hrazenou výškou 2,5 m. Levé střední stavidlo je rozděleno na dolní a horní část. Tyto části jsou spojeny zámky a k jejich rozpojení dochází tahem za řetěz z obslužné lávky. Dolní část je 1,5 m vysoká, horní část 1 m. Díky této konstrukci lze dosáhnout manipulace, kdy je část průtoku převáděna přes MVE a částečně jezem – přepadem přes jezové těleso. [12]



Obrázek 18: Převod průtoku přepadem přes stavidlo (zdroj: vlastní archiv)

Obslužná lávka nad jezem má šířku 1 m a vstup je umožněn z obou břehů. Z pravého břehu je vstup umožněn pomocí žebříku, na levém břehu jsou umístěny schody. Stavidly je možno manipulovat pomocí mechanismu skládajícího se z kliky, šneku, šnekového kola, transmisí oboustranné hřídele, pastorků a cévových tyčí. Ovládat lze mechanismus motoricky pomocí systému tlačítek v uzamykatelném rozvaděči na levém břehu jezovém pilíři nebo pomocí prodlužovacího kabelu s tlačítky. Napájení jezového rozvaděče je z veřejné sítě.

Předprsí jezu je tvořeno opevněným dnem z kamenné dlažby uložené v prostém betonu, toto opevnění má délku 10 m a je zakončeno záhozovou patkou. Spodní stavbu jezu tvoří prostý beton opevněný kamennými kvádry. Z návodní strany stabilizuje spodní stavbu štětová stěna.

Pod jezem navazuje 11 m dlouhý opevněný vývar, který je zakončený šikmou plochou ve sklonu 1:5. Dno vývaru je rovněž opevněno dlažbou kladenou do betonu a ukončeno betonovým blokem o rozměrech 120/80 cm. Na tento blok navazuje štětová stěna, za kterou následuje opevněné dlážděné dno v délce 7 m se zajišťovací patkou 2 m.

Jezové pilíře jsou zděné žulovými bloky a v půdorysu mají rozměry 4 x 1 m s postupným rozšířením v základové spáře na rozměry 4 x 2 m. Celková výška pilířů od základové spáry činí 7,70 m. Koryto nad jezem lze charakterizovat jako obdélníkové s opevněnými nábřežními zdmi. Pod jezem přechází profil do lichoběžníkového tvaru s vydlážděnými svahy. [12]

Tabulka 4: **Základní údaje o vodním díle Freiwald** [12]

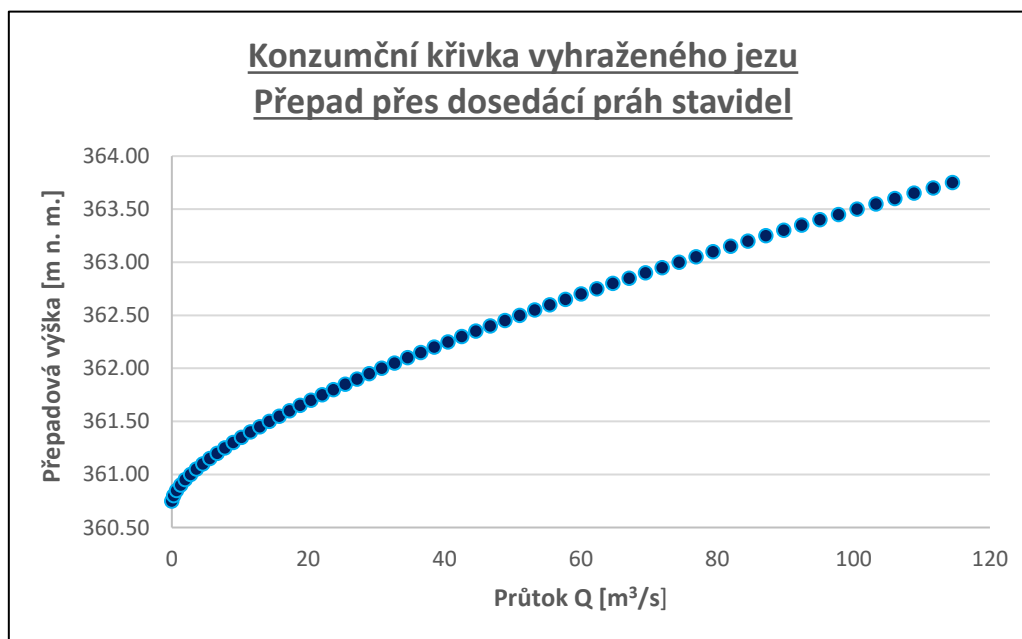
Hrazená výška	2,5	m	
Světlá šířka	12,44	m	
Délka vzdutí	728	m	
Objem zdrže	16 380	m ³	
Plocha zdrže	1,092	ha	
Povolená tolerance	-1 až +19	cm	
Provozní hladina VD	363,25	m n.m.	
Horní hrana spuštěných stavidel	363,25	m n.m.	
Kóta pevného prahu	360,75	m n.m.	
Kóta dna vývaru	359,32	m n.m.	
Kóta prahu ukončující vývar	360,20	m n.m.	

Balt p. v.

Hydraulické výpočty byly převzaty z manipulačního řádu. Kapacita zcela vyhraženého jezu je dle manipulačního řádu stanovena na zhruba 100 m³/s, přičemž při překročení hladiny na kótě 363,44 m n. m. nastává na vodním díle neovladatelný stav. [12]

Tabulka 5: Výpočet konzumční křivky vyhraženého jezu [12]

Hladina [m n. m.]	Výška přepadu [cm]	Průtok Q [m ³ /s]	Hladina [m n. m.]	Výška přepadu [cm]	Průtok Q [m ³ /s]	Hladina [m n. m.]	Výška přepadu [cm]	Průtok Q [m ³ /s]
360.75	0	0.0	361.80	105	23.7	362.85	210	67.1
360.80	5	0.2	361.85	110	25.4	362.90	215	69.5
360.85	10	0.7	361.90	115	27.2	362.95	220	71.9
360.90	15	1.3	361.95	120	29.0	363.00	225	74.4
360.95	20	2.0	362.00	125	30.8	363.05	230	76.9
361.00	25	2.8	362.05	130	32.7	363.10	235	79.4
361.05	30	3.6	362.10	135	34.6	363.15	240	81.9
361.10	35	4.6	362.15	140	36.5	363.20	245	84.5
361.15	40	5.6	362.20	145	38.5	363.25	250	87.1
361.20	45	6.7	362.25	150	40.5	363.30	255	89.8
361.25	50	7.8	362.30	155	42.5	363.35	260	92.4
361.30	55	9.0	362.35	160	44.6	363.40	265	95.1
361.35	60	10.2	362.40	165	46.7	363.45	270	97.8
361.40	65	11.6	362.45	170	48.9	363.50	275	100.5
361.45	70	12.9	362.50	175	51.0	363.55	280	103.3
361.50	75	14.3	362.55	180	53.2	363.60	285	106.0
361.55	80	15.8	362.60	185	55.5	363.65	290	108.8
361.60	85	17.3	362.65	190	57.7	363.70	295	111.7
361.65	90	18.8	362.70	195	60.0	363.75	300	114.5
361.70	95	20.4	362.75	200	62.3			
361.75	100	22.0	362.80	205	64.7			



Graf 3: Konzumční křivka vyhraženého stavidlového jezu

6.2.2 Manipulace na stavidlovém jezu

Hlavní zásadou manipulací je udržení provozní hladiny s kótou 363,25 m n. m. s povolenou odchylkou +19 cm a -1 cm. Za běžných průtokových situací jsou stavidla spuštěna na dosedací práh a horní hrana stavidel je na úrovni provozní kóty 363,25 m n. m [12].

Minimální průtoky:

Minimální zůstatkový průtok (MZP) musí být zachován pod vodním dílem pouze v případě, pokud dochází k plnění jezové zdrže. Hodnota MZP odpovídá $Q_{355} = 0,65 \text{ m}^3/\text{s}$.

V době minimálních průtoků je jez plně zahrazen s kótou horní hrany stavidel 363,25 m n. m. Veškerý průtok je využíván v MVE až do hodnoty průtoku $4,6 \text{ m}^3/\text{s}$, což odpovídá maximální hltnosti turbín. V případě poklesu říčního průtoku pod hodnotu $0,38 \text{ m}^3/\text{s}$ (minimální zpracovatelný průtok MVE) dojde k zastavení provozu MVE a veškerý průtok se převádí jezovým profilem [12].

Výpadek MVE:

V případě náhlého výpadku MVE se veškerý průtok převede profilem jezu. Pokud dojde k plánované odstávce MVE, přepadá průtok do velikosti $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$ přes přelivnou hranu stavidel (tolerance + 19 cm), při průtoku vyšším je již nutná manipulace se stavidly [12].

Situace za normálních a velkých vod:

Při průtocích vyšších než $4,6 \text{ m}^3/\text{s}$ se úroveň hladiny vody v nadjezí odvíjí dle velikosti momentálního přítoku vody do jezové zdrže. Při vzestupu průtoku bude při dosažení kóty 363,44 m n. m. (tolerance +19 cm) zahájena manipulace se stavidly jezu. V případě trvajících vzestupu průtoku a zcela vyhrazeném profilu jezu lze překročit kótu 363,44 m n. m. a na vodním díle nastává neovladatelný stav. Kapacita jezu při úplném vyhrazení a maximální hladině je cca $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Lze předpokládat, že v tomto případě již bude MVE mimo provoz. Po průchodu vysokých průtoků a zaklesnutí hladiny pod kótu 363,44 m n.m. bude zahájeno postupné spouštění stavidel jezu. Provoz MVE bude postupně obnovován dle prováděných manipulací – spouštění stavidel jezu [12].

Zimní provoz:

Automatické ovládání jezu je v období mrazu vypnuto a hladina v nadjezí je udržována v povolené toleranci odchylce regulací provozu turbín. V době oblevy je nezbytné uvolnit stavidla od mrazu tak, aby umožňovala běžný provoz vodního díla [12].

Ostatní manipulace:

Aby byla zachována provozuschopnost vodního díla, je nutné včas odstraňovat z nadjezí větší kusy splávi, které by mohly způsobit ucpání jezového profilu mezi slupicemi. Jestliže dojde k zachycení splavenin na slupicích stavidlového jezu, je možné krátkodobě zvednout horní část prostředního stavidla. Při velkých vodách je možné v případě potřeby (např. z důvodu proplachu) střídat vyhrazování stavidel [12].

6.2.3 Malá vodní elektrárna

Současná průtočná MVE je situována na levém břehu. Průtok k turbínám je přiváděn obdélníkovým profilem s celkovou délkou 23,5 m. Při vtoku v linii s levobřežní opěrnou zdí jsou situovány hrubé česle, za kterými jsou osazeny 2 tabulové uzávěry s dosedacím prahem na kótě 361,70 m n.m., v celkové šířce 6,5 m. Zde je také osazen elektrický odpuzovač ryb. Na konci přivaděče se nachází dnový odpískovací stupeň se stavidlem proplachovací propusti s šířkou 1 m. V česlovně jsou umístěny jemné česle s roztečí 25 mm a strojním stíráním.

Instalovány jsou celkem dvě soustrojí se shodným instalovaným výkonem 45 kW. Maximální výkon MVE při souběhu obou turbín je 72 kW. Každá turbína disponuje na vtoku drážkami pro umístění uzavíracího stavidla. Minimální hltnost MVE při provozu jednoho soustrojí je 0,38 m³/s při výkonu 8 kW [12].

Tabulka 6: Parametry instalovaných turbín v MVE [12]

Parametry Kaplanovy vertikální kašnové turbíny		
Maximální hltnost	2,15	m ³ /s
Celkový instalovaný výkon	45	kW
Průměr oběžného kola	850	mm
Maximální spád	3,05	m

Parametry Kaplanovy vertikální kašnové turbíny		
Maximální hltnost	2,45	m ³ /s
Celkový instalovaný výkon	45	kW
Průměr oběžného kola	1300	mm
Maximální spád	3,05	m

Odpad od MVE s délkou 7,18 m je zaústěn do podjezí, zhruba 13 m pod jezem. Dno odpadu je opevněno těžkým kamenným záhozem, stěny jsou z monolitického betonu. Oprávněným vlastníkem MVE je subjekt Freiwald s. r. o. [12].



Obrázek 19: **MVE Freiwald** (zdroj: vlastní archiv)

6.2.4 Automatická regulace jezu a MVE

Jez disponuje ovládacím systémem pro hladinovou regulaci. Hladinová sonda je umístěna v nadjezí na levobřežní opěrné zdi nad hrubými česlemi. Pro systém řízení MVE je sonda umístěna v šachtě v přivaděči za hrubými česlemi. Oba systémy (pro jez a MVE) jsou propojeny, avšak řídicí systém jezu je nadřazen řídicímu systému MVE. V případě potřeby lze oba systémy uvést do módu ručního ovládání. [12]

Úkolem hladinové regulace obou systémů je zajištění hladiny vody v nadjezí v povoleném rozsahu výkyvu hladiny -1 až + 19 cm. Při výpadku MVE je systém nastaven tak, aby došlo k zajištění plynulého odtoku vody pod vodní dílo přes stavidla jezu, případně na základě aktuálního průtoku dojde k odpovídající manipulaci s tabulí jezu tak, aby celkový odtok zůstal na konstantní úrovni. [12]

Kromě odběru vody pro zajištění funkce MVE neprobíhají žádné jiné odběry z jezové zdrže.

6.2.5 Problémy na vodním díle

Na základě dlouhodobého provozu vodního díla poskytlo Povodí Labe jakožto správce jezu charakteristiku problémů, které se na vodním díle vyskytují. Z těchto důvodů je uvažováno o rekonstrukci celého vodního díla, při zachování stávajících funkcí jezu, a zároveň zajištění vyšší míry protipovodňové ochrany intravilánu obce Hronov a k minimalizaci nároků na obsluhu vodního díla.

S ohledem na platnou legislativu, konkrétně zákon č. 254/2001 o vodách, kde ustanovení § 15 odstavec 8 ukládá, že při povolování, změně užívání nebo při odstranění vodních děl nesmí vodní díla vytvářet migrační bariéru pro organismy, je rovněž nutné zajistit, aby budoucí vodní dílo nezpůsobovalo fragmentaci vodního toku a spolu s návrhem nové jezové konstrukce musí být vyřešena také migrační prostupnost příčné překážky.

Výčet problémů na VD: (zdroj: konzultace se správcem VD – Povodí Labe, s. p.)

- 1) První problém je spojen se značným stářím stávající konstrukce včetně spodní stavby, projevuje se hluboká koroze nosné konstrukce obslužné lávky a degradace jezových pilířů.
- 2) Při zvýšených průtocích dochází k ucpávání jezového profilu splaveninami a plávím
- 3) Provozně složitá a nebezpečná manipulace s hradicí konstrukcí

7. Podklady

Navržená rekonstrukce jezu Hronov vychází z hydrologických podkladů, mapových podkladů včetně katastru nemovitostí, říční mapy, provozně-technické evidence, provozního a manipulačního řádu jezu Freiwald Hronov a MVE Freiwald, které poskytlo Povodí Labe, státní podnik.

7.1. Hydrologické podklady

Údaje pro profil jezu Hronov poskytli ČHMÚ dne 18.12. 2015. Třída přesnosti údajů odpovídá II. třídě. Na základě dat byly sestaveny čáry překročení m-denních průtoků a opakování N – letých průtoků. (graf 4 a 5).

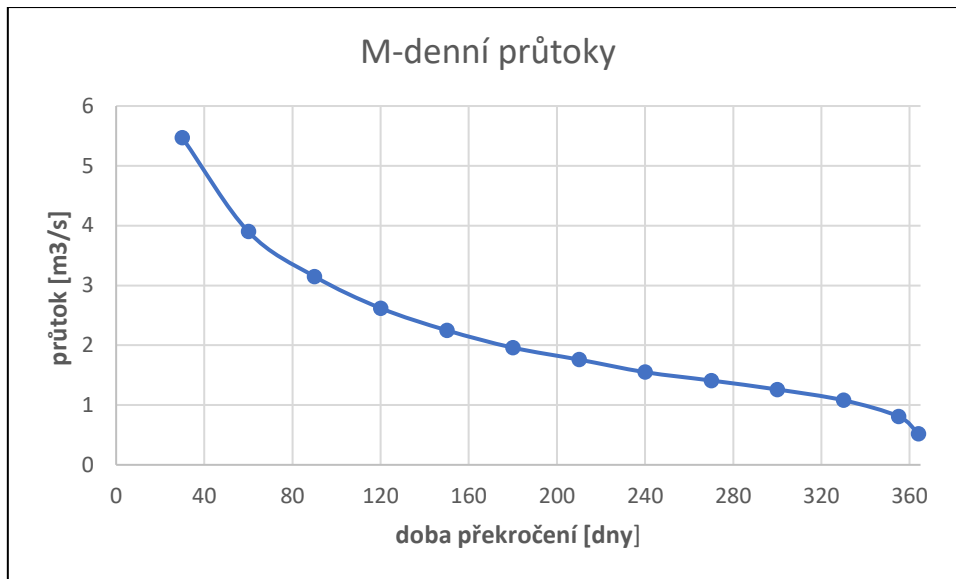
- Dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek: 764 mm
- Plocha povodí: 250,16 km²
- MZP: 0,65 m³/s
- Průměrný dlouhodobý roční průtok Q_a: 2,78 m³/s

Tabulka 7: m-denní průtoky [12]

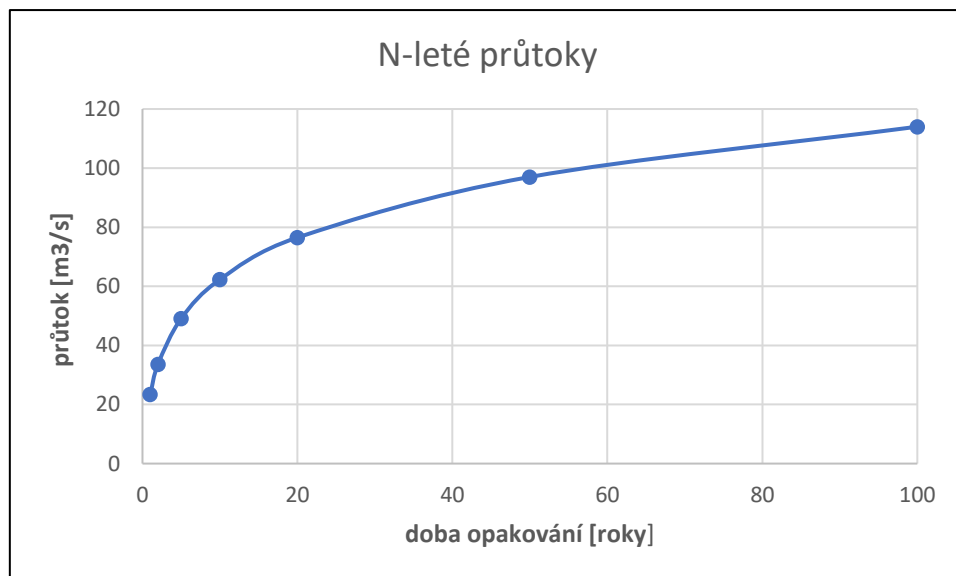
dny	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q _M [m ³ /s]	5,47	3,90	3,15	2,62	2,25	1,96	1,76	1,55	1,41	1,26	1,08	0,81	0,52

Tabulka 8: N-leté průtoky [12]

roky	1	2	5	10	20	50	100
Q _N [m ³ /s]	23,4	33,6	49,1	62,3	76,5	97,0	114



Graf 4: m-denní průtoky



Graf 5: N-leté průtoky

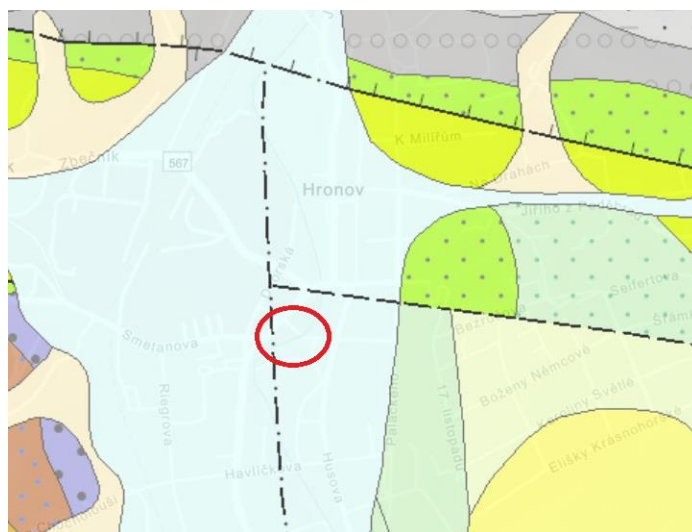
7.2. Mapové podklady

Čerpáno bylo z mapových podkladů, které poskytlo Povodí Labe pro potřeby diplomové práce. Mimo těchto katastrálních a situačních map se využil digitální model reliéfu 5. generace od ČÚZK pro tvorbu řezů konstrukce v terénu.

7.3. Geologické a hydrogeologické podklady

7.3.1 Geologické posouzení

Pro řešenou lokalitu vycházejí informace o geologických poměrech z geologické mapy, vrtné prozkoumanosti okolí vodního díla Hronov a podkladu hydrogeologického posouzení oblasti, který poskytlo Povodí Labe pro potřeby diplomové práce. Geologická mapa stanovuje výskyt nivního nezpevněného sedimentu tvořeného hlínou, pískem a štěrskem (na obrázku č. 20 znázorněno světle modrou barvou). [16]



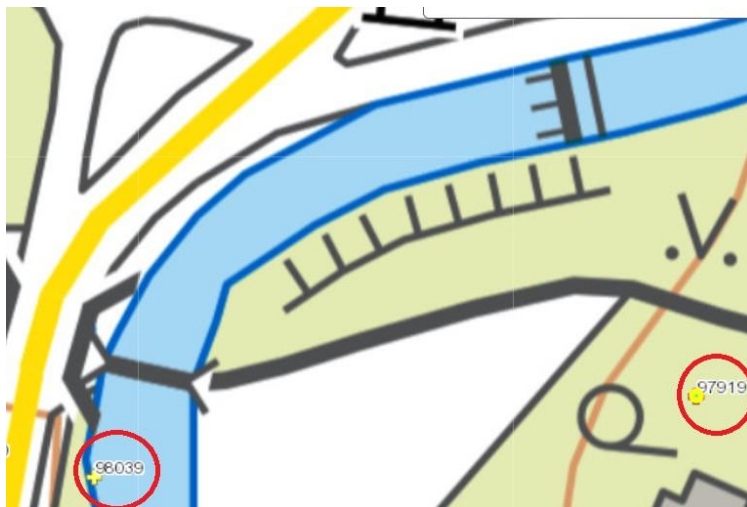
Obrázek 20: **Geologická mapa řešené oblasti** (červeně zakroužkována lokalita VD Hronov)

[16]

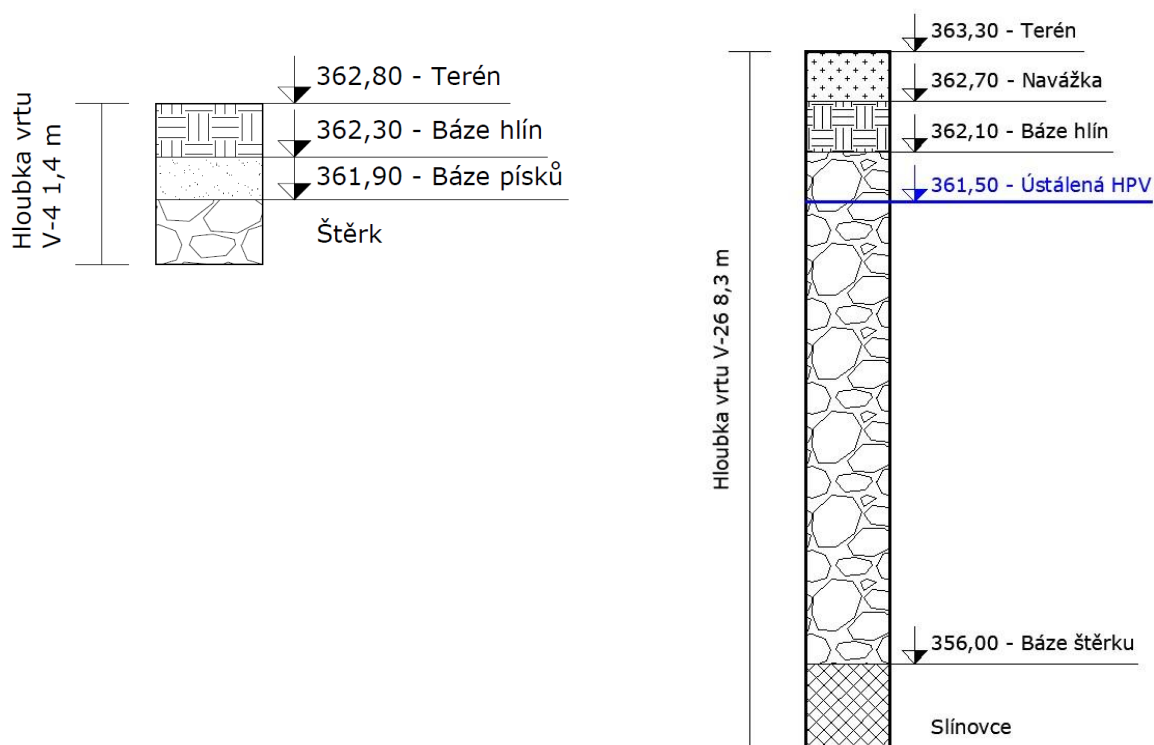
Zájmové území je pokryto kvartéerními sedimenty nižší a vyšší terasy, tvořenými několik metrů mocnými polohami písčitoštěrkovitých sedimentů. Bázi lze očekávat v hloubce kolem 6-9 m, mocnost kvartéru přesahuje i 10 m. Na bázi jsou to často hrubé písčité štěrky s valouny i přes 10 cm. Výše se nacházejí polohy štěrkovitých a hlinitých písků. Nad nimi je obvykle poloha povodňových hlín až písčitých jííl s mocností většinou 0,5-3,0 m. Místy je zastoupená i poloha sprašových hlín. Nejvyšší partie tvoří navážky, nejčastěji z písčitých hlín a hlinitých písků s úlomky hornin. [17]

Analýzou vrtné prozkoumanosti okolí vodního díla byly vybrány dva vrty nejbliže řešené oblasti. Jedná se o vrty s označením ID GDO 98039 (původní označení V-4) a ID GDO 97919 (původní označení V-26). Vrt V-4 byl proveden v břehové hraně zhruba 100 metrů od tělesa jezu směrem po proudu řeky Metuje, Vrt V-26 byl proveden na levém břehu zhruba 30

metrů od tělesa jezu. Umístění a rozbor jednotlivých vrtů shrnují obrázky Obrázek 21 a Obrázek 22.



Obrázek 21: Lokalizace vrtů [18]



Obrázek 22: Rozbor vrtů V-4 a V-26 (zdroj: vlastní)

7.3.2 Hydrogeologické posouzení

Kvartérní uloženiny mají proměnlivou průlinovou propustnost, dle obsahu jílovité frakce. Dobře propustné jsou polohy hlinitých štěrků a písků v údolí Metuje. Propustnost zde nebyla v rámci hydrogeologického posouzení z roku 2017 systematicky měřena. Vzhledem k zrnitostnímu složení bylo odhadnuto pro písčité štěrky a štěrkovité písky koeficient propustnosti v rozmezí 10^{-3} až 10^{-4} m/s, u zahliněných poloh až 10^{-5} m/s. Středně až slabě propustné jsou povodňové písčité hlíny, s propustností v řádu 10^{-5} až 10^{-6} m/s. Nízkou propustnost (v řádu 10^{-6} až 10^{-8} m/s) mají sprašové hlíny a nejméně propustné (v řádu 10^{-7} až 10^{-9} m/s) jsou písčité jíly. [17]

8. Návrh rybího přechodu

Při povolování vodních děl, jejich změn, změn jejich užívání nebo odstranění dle § 15 zákona o vodách 254/2001 Sb. odstavce 8 musí být zohledněna migrační prostupnost vodního toku. Vodní dílo by nemělo vytvářet překážku pro pohyb ryb a vodních živočichů v obou směrech, a proto součást rekonstrukce jezu Freiwald tvoří také návrh rybího přechodu.

Návrh rybího přechodu se řídil platnou normou TNV 75 2321 zprůchodňování migračních bariér rybími přechody a pro hydrotechnický výpočet bylo využito metodiky – Rybí přechody: Standardy péče o přírodu a krajinu z roku 2011.

8.1 Umístění a návrhové parametry RP

Trasa rybího přechodu byla navržena do levého břehu kolem stávající MVE. Důvody pro toto umístění shrnuje následující výčet v bodech:

- **Optimální umístění vstupu rybího přechodu** v blízkosti odpadu od MVE z důvodu dominantního vábíčího proudu v podjezí
- **Dostatečný prostor pro rozvolnění trasy** – přírodě bližší geometricky nepravidelná trasa, zajištění odpovídající délky RP pro překonání spádu jezu
- **Majetkoprávní vztahy dotčených pozemků** – část ve vlastnictví státu s právem hospodařit – Povodí Labe s. p., část ve vlastnictví majitele MVE a obce Hronov
- **Charakter využití pozemku** – na pravém břehu je situována komunikace s možností parkování vozidel, levý břeh je součástí přilehlého parku u Freiwaldova náměstí

Výstup z rybího přechodu byl navržen v dostatečné vzdálenosti od vtokového objektu náhonu MVE i přelivné hrany jezu, aby nedocházelo ke strhávání ryb k česlím MVE případně přes jez zpět do podjezí. Jako ochrana proti vstupu ryb do náhonu slouží elektrický odpuzovač ryb, který je zde umístěn od zahájení provozu MVE. [12]

Dle doporučení TNV 75 2321 byl zvolen návrhový průtok jako 10 % z průměrného ročního průtoku ($Q_a = 2,78 \text{ m}^3/\text{s}$ z toho 10 % = $0,28 \text{ m}^3/\text{s}$). Optimální podmínky v rybím přechodu jsou zaručeny při hloubce vody v tůňce v intervalu 0,5 až 0,75 m. Mimo tento interval je rybí přechod sice stále v provozu, avšak nejsou zajištěny návrhové parametry. [5]

Návrhové parametry rybího přechodu shrnuje Tabulka 9.

Tabulka 9: **Návrhové parametry RP**

Trať rybího přechodu		
Celkový geodetický spád	$H_g =$	2.77 m
Návrhový průtok RP	$Q_{rp} =$	0.28 m ³ /s
Podélný sklon	$i =$	3 %
Délka RP	$L_{rp} =$	92.00 m
Šířka kanálu	$B_{rp} =$	1.90 m

8.2 Popis technického řešení

Rybí přechod byl s ohledem na značné zahlobení nivelety dna především v dolní části RP navržen jako technický rybí přechod s přepážkami z balvanů o přibližných rozměrech \varnothing 400 x 1700 mm zapuštěných 0,5 m do betonového lože. Šířka štěrbin se pohybuje v rozmezí 0,1 až 0,3 m a rozmístění v profilu je navrženo střídavě tzv. zig-zag pro zajištění optimálních hydraulických podmínek.

Profil kanálu je obdélníkový s šířkou dna 1,9 m. Dno rybího přechodu je tvořeno betonovou deskou s tloušťkou 0,5 m, na kterou se umístí vrstva hrubého šterku mocnosti 0,1 až 0,2 m. Tůňky mají délku 2,7 m. U vstupu do rybího přechodu jsou navrženy drážky provizorního hrazení, u výstupu je navržen stavidlový uzávěr pro možnost zahrazení profilu v případě povodňových průtoků nebo údržby koryta rybího přechodu. Pro zamezení vstupu plávejícího materiálu do profilu RP je rovněž osazena norná stěna z ohoblovaného kmene, která se přikotví ke stěnám rybího přechodu.

Stěny rybího přechodu jsou navrženy z železobetonu tl. 0,5 m s obložením z kyklopského zdiva s vyspárováním. Korunu zdí tvoří obklad hrubým kopákem ($h = 0,4$ m). U vstupu do rybího přechodu bude koruna zdí kopírovat stávající opevnění koryta ve sklonu 1:2. Dilatační bloky mají délku 10 m, výjimkou je dilatační blok se vstupem do RP, tento dilatační blok má délku 12 m.

Z důvodu zabezpečení proti pádu osob a zvířat do rybího přechodu se na korunu zdí osadí lankové zábradlí kotvené do betonu. Navrženo je rovněž přemostění rybího přechodu pro pojezd těžké techniky ke stávající MVE v případě údržby, revize nebo výměny technologie.

8.3 Hydrotechnický výpočet

Pro hydrotechnický výpočet bylo využito metodiky – Rybí přechody: Standardy péče o přírodu a krajinu z roku 2011. Zde je uveden vzorový výpočet návrhu technického štěrbinového rybího přechodu s betonovými přepážkami. Standardy dovolují aplikovat tento výpočet i na RP s balvanitými přepážkami, pouze je potřeba počítat s odlišnostmi vyplývající z nepravidelné geometrie balvanitých přepážek. Jako příklad je zde uvedeno několik bodů [5] :

- Mezi skutečnými a požadovanými rozměry budou náhodné odchylky rozměrů balvanitých přepážek (výška a šířka)
- Štěrbina nebude mít po výšce konstantní světlost, ale bude mírně proměnlivá; šířka štěrbin musí odpovídat minimální požadované šířce pro daný druh ryby
- Boční stěny balvanů nebudou svíslé, budou proudění odlišně usměrňovat, a proto se bude výsledné proudění v bazénku lišit od proudění plánovaného
- Vzhledem k vysoké drsnosti stěn a dna bude tlumení energie vody v porovnání s betonovou konstrukcí účinnější, a proto je možné se při shodných návrhových parametrech držet blíže maximálním dovoleným hodnotám (např. měrný disipovaný výkon)

Postup výpočtu:

- 1) Nejprve se určí dovolený spád na štěrbině $\Delta h_{\text{dovolený}}$, který vychází z doporučené maximální rychlosti ve štěrbině $v_{\text{dovolená}}$ dle cílového druhu migrujících ryb.

Rovnice 1: **Dovolený rozdíl hladin mezi přepážkami**

$$\Delta h_{\text{dovolený}} = \frac{v_{\text{dovolená}}^2}{2 * g * \varphi^2}$$

$v_{\text{dovolená}}$	dovolená rychlost proudění mezi přepážkami [m/s]
g	tíhové zrychlení [m/s ²]
φ	výtokový součinitel [-] (hodnota se volí od 0,7 až 0,8)

2) Z celkového spádu RP se vypočítá nutný minimální počet přepážek.

Rovnice 2: **Minimální počet přepážek v RP**

$$n_{min} = \frac{dH_{rp}}{\Delta h_{dovolený}}$$

dH_{rp} celkový spád RP [m]

Návrh se zaokrouhlí na vyšší celé číslo.

3) Vypočte se návrhový spád na přepážce.

Rovnice 3: **Návrhový spád na přepážce**

$$\Delta h = \frac{dH_{rp}}{n}$$

n navržený počet přepážek [ks]

4) Zkontroluje se maximální výtoková rychlost ve štěrbině.

Rovnice 4: **Maximální výtoková rychlost ve štěrbině**

$$v_{max} = \varphi * \sqrt{2 * g * \Delta h}$$

Musí být splněn předpoklad $v_{max} < v_{dovolená}$

5) Dle doporučení se stanoví minimální hloubka vody v tůňce, pro lososovité ryby

$$h_{min} = 0,5 \text{ m. [5]}$$

6) Vypočte se světlá šířka štěrbin $B_{štěrbin}$.

Rovnice 5: **Výpočet světlé šířky štěrbin**

$$B_{štěrbin} = \frac{Q}{\varphi * h_{min} * \sqrt{2 * g * \Delta h}}$$

- 7) Průtok RP se vypočítá dle níže uvedeného vztahu v případě, že dno na sebe výškově navazuje, tedy rovnicí zatopeného výtoku spodem při tlačné výšce dh .

Rovnice 6: **Výpočet průtoku RP**

$$Q = \varphi * h_{min} * B_{štěrbin} * \sqrt{2 * g * \Delta h}$$

- 8) Ověří se kontrola vtoku do RP pomocí rovnice přepadu s ohlednutím na ztrátu na vtoku a snížení hladiny při nárůstu rychlostní výšky.

Rovnice 7: **Výpočet přítokové rychlosti na vtoku do RP**

$$v_0 = \frac{Q}{B_{RP} * h_{max}}$$

v_0 přítoková rychlost do RP [m/s]

h_{max} maximální hloubka v tůňce [m]

- 9) Vypočte se redukovaná energetická výška zahrnující hydraulické ztráty na vtoku.

Rovnice 8: **Výpočet redukované energetické výšky na vtoku do RP**

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

- 10) Stanoví se kapacitní průtok Q_{kap} , který musí být větší než návrhový průtok Q .

Rovnice 9: **Výpočet kapacitního průtoku**

$$Q_{kap} = 0,54 * B_{štěrbin} * \sqrt{2 * g} * h_e^{\frac{3}{2}}$$

- 11) V dalším kroku se provede kontrola režimu proudění ve štěrbině. Je nutné zachovat režim říčního proudění, aby v rybím přechodě nevznikal vodní skok. Hodnota Froudova čísla tedy musí být menší než 1.

Rovnice 10: **Výpočet Froudova čísla**

$$FR_{štěrbin}^2 = \frac{v_{max}^2}{g * h_{min}}$$

- 12) Minimální délka tůňky pro lososovité ryby je dle doporučení 2,0 m, v případě výskytu lososa 3,0 m.

13) V posledních krocích výpočtu se ověří disipovaný výkon v jedné tůňce.

Rovnice 11: **Výpočet disipovaného výkonu v jedné tůňce**

$$P = Q * \Delta h * \rho * g$$

P disipovaný výkon v jedné tůňce [W]

ρ měrná hmotnost vody [kg/m³]

14) Určí se objem tůňky.

Rovnice 12: **Objem jedné tůňky**

$$V_{t\ddot{u}\ddot{n}\ddot{k}y} = h_{min} * B_{RP} * L_{t\ddot{u}\ddot{n}\ddot{k}y}$$

15) Vypočte se měrný disipovaný výkon.

Rovnice 13: **Výpočet měrného disipovaného výkonu v tůňce**

$$P_{m\ddot{e}r} = \frac{P}{V_{t\ddot{u}\ddot{n}\ddot{k}y}}$$

$P_{m\ddot{e}r}$ měrný disipovaný výkon [W/m³]

Maximální hodnota přípustného disipovaného výkonu je pro lososovité ryby dle standardů 100 až 125 W/m³.

16) Ověří se předpoklad $P_{m\ddot{e}r} < P_{dovolen\ddot{y}}$.

Výpočet shrnuje následující tabulka.

Tabulka 10: Shrnutí návrhu RP

krok	veličina	označení	hodnota	jednotka	požadavek	posouzení
Vstupní data	celkový spád	dH	3.05	m	dáno rozdílem hladin	
	návrhový průtok	Q _n	0.278	m ³ /s	TNV 75 2321	
	max. dovolená rychlost	V _{dovolená}	1.20	m/s	dle doporučení	
1)	výtok. součinitel	φ	0.71	-	0.7 až 0.8	
	max. rozdíl hladin štěrbin	Δh _{dovolený}	0.15	m		
2)	min. počet přepážek	n _{min}	20.9	ks		
	návrh. počet přepážek	n	28	ks		
3)	spád na přepážce	Δh	0.11	m		
4)	max. výtoková rychlost ve štěrbině	V _{max}	1.04	m/s	≤ V _{dovolená}	vyhovuje
5)	min. hloubka v tůňce	h _{min}	0.50	m	dle doporučení	
	max. hloubka v tůňce	h _{max}	0.75	m	dle doporučení	
6)	výpočtová šířka štěrbin	B _{štěrbin_v}	0.54	m		
	navržená šířka štěrbin	B_{štěrbin}	0.60	m	dle doporučení	
7)	průtok RP -výtok spodem	Q	0.31	m³/s	≥ Q _n	vyhovuje
8)	šířka RP	B_{RP}	1.90	m	min. 1.2 m	vyhovuje
	rychlost vody na vtoku	v ₀	0.12	m/s	≤ 0.4	vyhovuje
9)	reduk. energ. výška	h _e	0.70	m		
10)	kapacitní průtok - vtok	Q _{kap}	0.84	m ³ /s	≥ Q	vyhovuje
11)	Froudovo číslo	Fr _{štěrbin}	0.23	-	< 1	vyhovuje
12)	doporučený sklon	i _{doporučený}	5.00	%	optimální hodnota a pozvolnější	
	tloušťka přepážky	tl_{přepážka}	0.50	m		
	doporučená délka tůňky	L _{doporučená}	2.00	m	dle doporučení	
	navržená délka tůňky	L_{tůň}	2.70	m	≥ L _{doporučená}	vyhovuje
	podélný sklon	i_{RP}	3.00	%	≤ i _{doporučený}	vyhovuje
	délka RP bez vtok. výtok. části	L_{RP}	86.40	m		
13)	disipovaný výkon na přepážce	P	332.74	W		
14)	objem tůňky	V _{tůň}	2.68	m ³		
15)	měrný disip. výkon	P _{měr}	124.16	W/m ³		
16)	max. dovolený disip. výkon	P _{dovolený}	125	W/m ³	≥ P _{měr}	vyhovuje

8.4 Statický výpočet

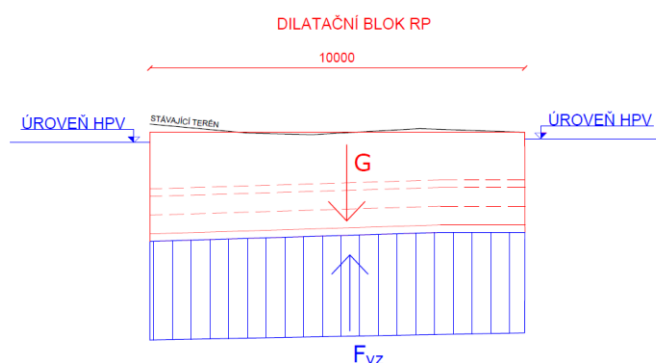
Konstrukce rybího přechodu byla z hlediska statického výpočtu posouzena na ověření stability vztlakem vody a návrhem hlavní ohybové výztuže stěny RP. Návrh hlavní ohybové výztuže spočíval ve stanovení profilu ocelových prutů a zda tento profil výztuže odpovídá nabídce běžně dostupných profilů.

8.4.1 Posouzení zdvihu vztlakem vody

Nejprve bylo nutné provést úvahu o úrovni hladiny podzemní vody v prostoru umístění budoucího rybího přechodu. Zkoumány byly provozní situace s různou hladinou vody v nadjezí i podjezí pro jednotlivé dilatační bloky RP, přičemž výsledné posouzení bylo provedeno pro stav, který by vybraný dilatační blok rybího přechodu ohrožoval nejvíce. Ve všech případech bylo uvažováno se zahrazením rybího přechodu, a tedy bez hydrostatického přetížení konstrukce proudící vody přes rybí přechod.

Předpokladem ke stanovení úrovně HPV pro jednotlivé dilatační bloky byl lineární úbytek hladiny podzemní vody podél stěny náhonu MVE až do dolní vody. Odsud byly vytyčeny kolmice k dilatačním spárám rybího přechodu a určena odpovídající úroveň HPV na začátku a konci dilatačního bloku.

Do výpočtu stability konstrukce rybího přechodu byla zahrnuta pouze vlastní tíha železobetonové konstrukce a podkladního betonu. Vlastní tíha balvanitých překážek, vrstva dnového substrátu ani vlastní tíha kamenného obkladu nebyla zahrnuta, což je na straně bezpečnosti. Z analýzy jednotlivých dilatačních bloků vyšel jako nejnáchylnější ke ztrátě stability dilatační blok u výstupu z rybího přechodu za provozní situace s hladinou v nadjezí odpovídající kótě 363,70 m n. m., což je maximální doporučená úroveň hladiny pro plně vztyčený vak (viz kapitola 9.3 Ověření výskytu V-efektu).



Obrázek 23: Zjednodušené schéma výpočtu zdvihu vztlakem RP

Zdvih vztlakem vody:

$$F_v = F_{vz} * 1,1 = 268,20 * 1,1 = 295,02 \text{ kN}$$

$$U_v = G_{zb} + G_b = 616,08 + 44,0 = 660,08 \text{ kN}$$

Posouzení zdvihu bylo stanoveno dle Rovnice 30 (viz kapitola 10.1.3 Stanovení podmínek stability)

$$\gamma_n * F_v = 1,1 * 295,02 = 324,52 \text{ kN}$$

$$\gamma_{stp} * U_v = 660,08 * 1,0 = 660,08 \text{ kN}$$

$$324,52 \text{ kN} \leq 660,08 \text{ kN}$$

Dilatační blok rybího přechodu vyhoví proti zdvihu vztlakem vody.

Působící síly jsou shrnuty v tabulce Tabulka 11.

Tabulka 11: **Působící síly – zdvih RP vztlakem vody**

BLOK 1	Druh zatížení	Označení	Plocha	γ	Velikost síly
		[-]	[m ²]	[kN/m ³]	[kN]
	Vztlak	F_{vz}	26.82	10	268.2
	vlastní tíha železobetonu	G_{zb}	25.67	24	616.08
	vlastní tíha prostého betonu	G_b	2.00	22	44.00

8.4.2 Návrh hlavní ohybové výztuže

Stěny rybího přechodu jsou namáhány kombinací zemního tlaku a působením okolní podzemní vody. Stěny rybího přechodu jsou navrženy jako monolitická konstrukce a pro výpočet byl uvažován statický model svislé konzoly. Pro výpočet maximálního ohybového momentu na konzole se příslušné zatěžovací obrazce převedly na náhradní silová břemena a dle odpovídajících ramen k bodu otáčení byl vyčíslen maximální ohybový moment.

Rovnice 14: **Výpočet maximálního ohybového momentu**

$$M_{max} = S_1 * r_1 + S_2 * r_2 + S_w * r_w$$

Kde

S_1 výslednice zemního tlaku nad HPV = 17,11 kN

r příslušné rameno k bodu otáčení

S_2 výslednice zemního tlaku pod HPV = 23,78 kN

S_w výslednice hydrostatického tlaku = 5 kN

Zatížení zemním tlakem se vypočítalo na základě dat z dostupných geologických vrtů. Ve výpočtové hloubce pod terénem se vyskytují báze štěrku, proto byl zvolen štěrk G3 s následujícími parametry:

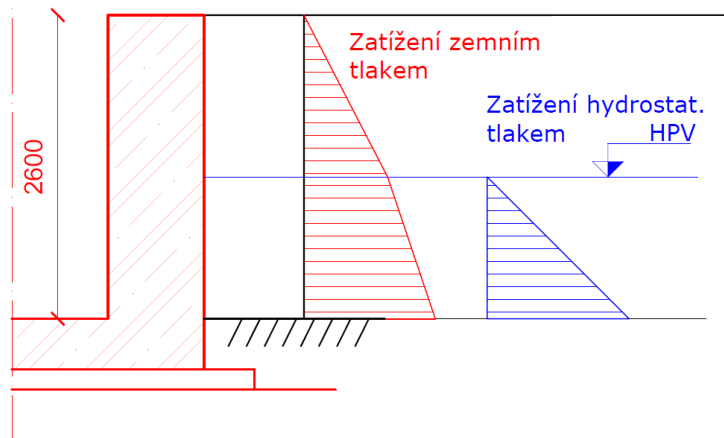
Tabulka 12: Parametry štěrku G3

Štěrk G3			
objem. hmotnost	$\gamma =$	1900	kg/m ³
	=	19	kN/m ³
objem. hmotnost zvodnělé zeminy	=	13	kN/m ³
úhel vnitř. tření	$\phi =$	38	°
hloubka působení	$h =$	2.6	m
součinitel tlaku v klidu	$K_r =$	0.7036	-

Maximální ohybový moment byl vypočítán s hodnotou 39,0 kNm dle rovnice 14. Pro získání návrhové hodnoty ohybového momentu byl M_{max} přenásoben $\gamma_G = 1,35$.

odtud

$$M_{max,návrh} = 39,00 * 1,35 = 52,65 \text{ kNm}$$



Obrázek 24: Statický model stěny rybího přechodu

Potřebná plocha výztuže $A_{s, req}$ pro přenos ohybového momentu se spočítá podle

Rovnice 15.

Rovnice 15: Výpočet potřebné plochy výztuže

$$A_{s,req} = \frac{b \cdot d \cdot f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}}\right)$$

Kde

- b šířka [m] (výpočet uvažován na 1 m' délky)
d staticky účinná výška průřezu [m], dle rovnice Rovnice 16
f_{cd} pevnost betonu v tlaku [MPa], uvažován beton C 30/37 = 20 MPa
f_{yd} mez kluzu ocele [MPa], uvažována ocel B500B = 435 MPa
M_{ed} návrhový moment [kNm] = 52,65 kNm

Rovnice 16: Výpočet staticky účinné výšky průřezu

$$d = h - c - \frac{\varnothing_s}{2}$$

Kde

- h stavební rozměr průřezu [m], uvažována tl. stěny bez kamen. obkladu = 0,5 m
c krytí výztuže [m]
ϕ_s průměr výztuže [m], dle návrhu ϕ_s = 10 mm (iterační postup)

odtud
$$d = 500 - 50 - \frac{10}{2} = 445 \text{ mm}$$

odtud
$$A_{s,req} = \frac{1000 \cdot 445 \cdot 20}{435} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 52,65 \cdot 10^6}{1000 \cdot 445^2 \cdot 20}}\right) = 281 \text{ mm}^2$$

Pro přenos ohybového momentu je zapotřebí minimální plocha výztuže 281 mm². Profil a počet prutů byl volen s cílem rovnoměrného vyztužení celého průřezu. Z tohoto důvodu se zvolil profil prutů 10 mm s počtem 5 ks na 1 m' stěny rybího přechodu. Prováděná plocha navržené výztuže se spočítá dle následující rovnice.

Rovnice 17: **Prováděná plocha výztuže**

$$A_{s,prov} = n * A_s = n * \frac{\pi * \varnothing_s^2}{4}$$

Kde

n počet navržených prutů výztuže na 1 m'

odtud
$$A_{s,prov} = 5 * \frac{\pi * 10^2}{4} = 393 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,req} < A_{s,prov}$$

Návrh vyhovuje

Dalším krokem výpočtu je ověření maximálního protažení výztuže.

Rovnice 18: **Ověření protažení výztuže**

$$\xi = \frac{x}{d} \leq 0,45$$

Kde

x výška tlačené oblasti [m], dle rovnice Rovnice 19.

Rovnice 19: **Výška tlačené oblasti**

$$x = \frac{A_{s,prov} * f_{yd}}{0,8 * b * f_{cd}}$$

Odtud
$$x = \frac{393 * 435}{0,8 * 1000 * 20} = 10,7 \text{ mm}$$

Odtud
$$\xi = \frac{10,7}{445} \leq 0,45$$

$$0,02 \leq 0,45$$

Maximální protažení vyhovuje

V závěru výpočtu se ověří únosnost navrženého průřezu a minimální plocha výztuže.

$$M_{Rd} = A_{s,prov} * f_{yd} * (d - 0,4 * x)$$

Odtud
$$M_{Rd} = 393 * 435 * 10^{-6} * (445 - 0,4 * 10,7) = 75,25 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

Návrh ohybové výztuže vyhovuje

$$A_{s,min} = 0,002 * A_c$$

Kde

$A_{s,min}$ minimální plocha výztuže v průřezu [mm^2]

A_c plocha betonu [mm^2] = 500 000 mm^2

Odtud $A_{s,min} = 0,002 * 500000 = 1000 \text{ mm}^2$

$$1000 \leq 393$$

Návrh nesplňuje požadavky na minimální plochu vyztužení.

Nový návrh: 5 x $\varnothing_s = 18 \text{ mm}$ na 1 m' ve stěně rybího přechodu

$A_{s,prov} = 1272 \text{ mm}^2$, $\xi = 0,08$, $M_{Rd} = 236,31 \text{ kNm}$ → **Návrh vyhovuje**

9. Návrh nového jezového tělesa

9.1 Popis nové jezové konstrukce

Nově navrženou konstrukci jezu tvoří spodní stavba uzávěru, vzduchem plněný vak, technologie potřebná k zajištění provozu vakového uzávěru a břehové pilíře. Projektovaná stavba zachovává původní parametry jezu – celková hrazená výška a šířka jezového pole zůstala nezměněna.

Pro optimální provoz vakového uzávěru je ve spodní stavbě navržena soustava potrubí pro zajištění plnění a prázdnění vaku s celkem čtyřmi otvory pro plnění respektive prázdnění vaku. Toto potrubí slouží i pro gravitační odvod kondenzátu z prostoru vaku. V případě provádění revizí a oprav pryžotextilní membrány disponuje spodní stavba kapsami pro umístění provizorního hrazení. K odvodu prosáklé vody tímto hrazením jsou navrženy dvě odvodňovací potrubí s otvory před kotvením vaku vedoucí skrze jezový práh a ústí do skluzu za objektem hradicí konstrukce. V běžném provozu bude odvodňovací potrubí uzavřeno vyztuženou zátkou. Ke spodní stavbě jezu je vak ukotven dvojitě pomocí U-profilu a řady šroubů (kotevní detail A – výkres D.3).

Vakový uzávěr je spojen soustavou potrubí s provozní budovou. Zde jsou pro provoz vaku umístěna vzduchová dmychadla, kompresor, manometry, elektromagnetické ventily, nouzové ovládání vaku, el. rozvaděč s celkovým ovládáním jezu. Pro odečet hladiny v nadjezí je navržena plováková komora, která je rovněž spojena potrubím s provozní budovou. Důležitou součástí technologie je i potrubí pro měření tlaku uvnitř vaku, které je s vakem spojeno skrze stěnu jezového pilíře a vyhodnocení naměřených veličin probíhá pomocí manometru umístěného v provozní budově.

Tlumení kinetické energie přepadající vody zajišťuje navržený balvanitý skluz vybudovaný na železobetonové desce v prostoru původního vývaru. Bezvývarové řešení bylo zvoleno z důvodu charakteru proudění v korytě pod jezem, kde vzhledem k dvouprocentnímu sklonu dochází za zvýšených průtoků k bystřinnému proudění. Druhým důvodem je ochrana vakové konstrukce, ve vývaru by mohlo docházet ke hromadění ostrých předmětů, a tím by mohlo dojít k poškození pryžotextilní membrány.

Podrobný popis jednotlivých částí obou stavebních objektů (rybí přechod a jez) je součástí souhrnné technické zprávy – kapitola *B.2.6 Základní charakteristika objektů, odstavec a.*

9.2 Hydrotechnický výpočet pevného prahu

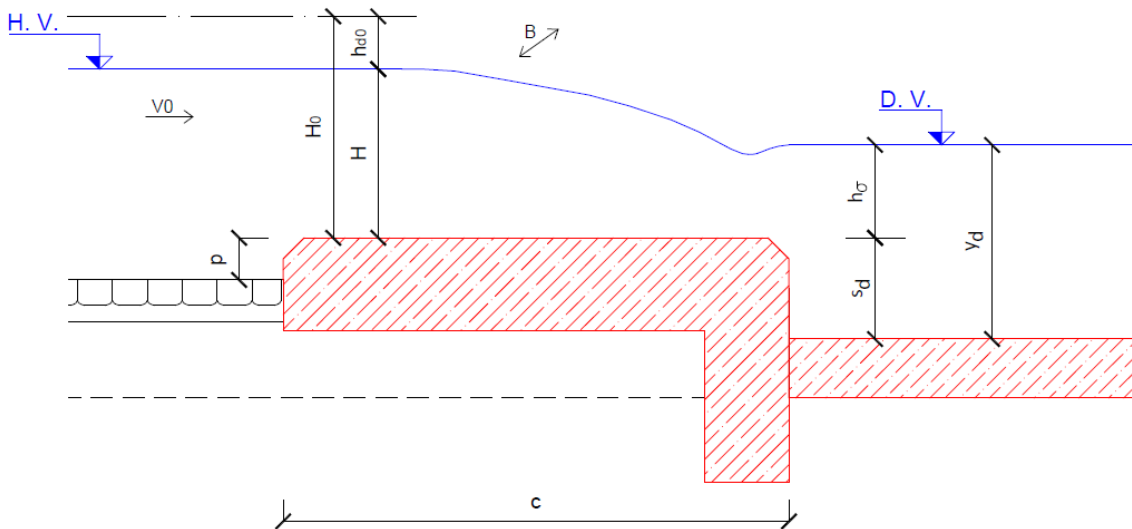
Při vypuštění hradicího vaku se z hlediska hydrauliky přepadu jedná o přepad přes širokou korunu (Obrázek 25). Pro výpočet byla využita Rovnice 20. Součinitel přepadu je odečten z tabulky 13, součinitele zatopení jsou odečteny z tabulky 14. Výpočet je shrnut v příloze *E-Hydrotechnické výpočty*.

Rovnice 20: Rovnice přepadu přes širokou korunu

$$Q_{PV} = \sigma * M * A * B * H_0^{\frac{3}{2}} + 0,8 * \sigma' * M^x * m^x * H_0^{\frac{5}{2}}$$

Kde:

σ	součinitel zatopení [-]
σ'	součinitel zatopení svahové části [-]
$M=M^x$	rozšířený součinitel přepadu [$m^{1/2} * s^{-1}$]
A	součinitel půdorysného uspořádání koruny přelivu [-], uvažováno 1,0
B	šířka přelivné hrany [m]
H_0	přepadová výška včetně rychlostní výšky [m]
c	šířka pevného prahu = 6,10 [m]
p	výška pevného prahu = 0,20 [m]
m^x	sklon náběhu pro kotvení = 1 [-]



Obrázek 25: Schéma výpočtu přepadu přes širokou korunu (vypuštěný vak)

Tabulka 13: Součinitel přepadu přes pevný práh [19]

p/H_0	c/H_0					
	> 2.5	2.0	1.5	1.2	1	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

Tabulka 14: Součinitel zatopení přepadu σ [19]

h_G/H_0	c/H_0					
	> 2.5	2.0	1.5	1.2	1	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
0.80	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
0.90	0.84	0.82	0.81	0.79	0.77	0.74
0.96	0.59	0.58	0.56	0.55	0.53	0.51
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

9.3 Ověření výskytu V-efektu

Vzhledem k návrhu vzduchem plněného vaku je nezbytné stanovit, při jaké přepadové výšce přes těleso vaku tento efekt nastane. Z hlediska provozu by se jednalo o neakceptovatelný stav, jelikož dojde k prolomení hradičí konstrukce a nelze průtok, jakkoliv řídit ani určit jeho množství.

Ověření vycházelo z m-denních průtoků během roku a jejich rozdělení mezi jednotlivé objekty na vodním díle. Pro rybí přechod byl uvažován konstantní odběr 0,33 m³/s, MVE disponuje minimální hltností 0,38 m³/s a maximální hltností 4,60 m³/s. Průtok řekou se tak rozdělí mezi tyto 2 objekty a zbylé množství přepadá jalově přes jezovou konstrukci. Z průtoku přes jez byla stanovena přepadová výška dle následujícího vzorce [2]:

Rovnice 21: Výpočet průtoku přes vzduchem plněný vak

$$Q = (B_{S,l} * C_s + B_m * C_m + B_{S,r} * C_s) * h^{\frac{3}{2}}$$

Kde

Q průtok přes vak [m³/s]

B_{S,l,p} šířka pravé a levé krajní sekce [m]

C_s součinitel přepadu krajní sekce, zahrnuje $\sqrt{2g}$, [m^{1/2}*s⁻¹]

C_m součinitel přepadu prostřední sekce, zahrnuje $\sqrt{2g}$, [m^{1/2}*s⁻¹]

B_m šířka prostřední sekce [m]

h přepadová výška [m]

Hodnota součinitele přepadu jednotlivých sekcí byla stanovena dle Rovnice 22 a Rovnice 23.

Rovnice 22: **Výpočet součinitele přepadu pro prostřední sekci**

$$C_m = 0,36 * \frac{h}{h_d} + 1,83$$

Rovnice 23: **Výpočet součinitele přepadu pro krajní sekce**

$$C_s = 2,10 * \frac{h}{h_d} + 1,00$$

Kde

h přepadová výška [m]

h_d úroveň dolní vody [m]

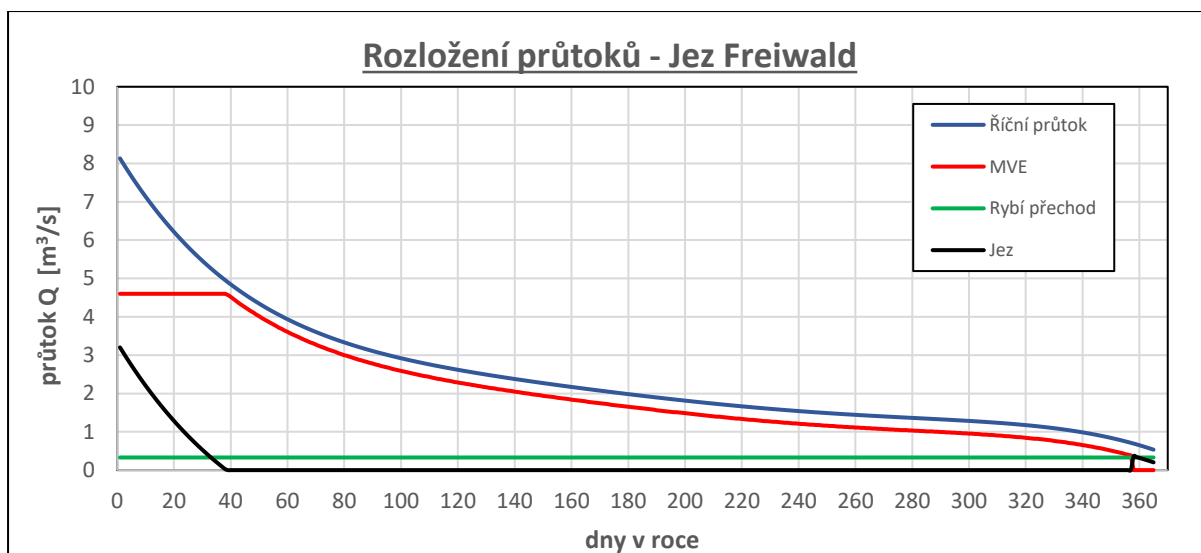
Pro aplikaci na navržený jez Freiwald byla pro výpočet uvažována pouze prostřední sekce, jelikož je vak kotven na svislé stěny a krajní sekce tvoří zanedbatelnou část (ověřeno výpočtem).

K prolomení vzduchem plněného vaku dochází dle modelového výzkumu, pokud přepadová výška dosahuje 25–30 % celkové hrazené výšky vaku. [3] Pro výpočet bylo uvažováno s 20 %, což je na straně bezpečnosti. Předpokládá se, že k vytvoření v-efektu dojde při přepadové výšce 0,46 m při kótě hladiny v nadjezí 363,71 m n. m.

Výše uvedeným postupem bylo vypočítáno přerozdělení průtoků a odpovídající přepadové výšky přes vakový jez během roku. Z výpočtu vyplývá, že k přepadu přes jez dochází ve 46 dnech v roce, přičemž ani jeden den v roce není překročena kritická přepadová výška k prolomení vaku. Závěrem byla spočítána hodnota v řece, při které by kritická přepadová výška nastala. Tato hodnota odpovídá 12,35 m³/s.

Na základě těchto výpočtů se doporučuje manipulovat s vakovým uzávěrem tak, kdy se až do kóty 363,70 m n.m. ponechá plně vztyčený vak. Při překročení této hodnoty je nutné vak vypustit, aby se zamezilo prolomení hradicí konstrukce.

Veškeré výpočty vztahující se ke kapitole ověření výskytu v-efektu jsou součástí přílohy E – Hydrotechnické výpočty.



Graf 6: Rozdělení m-denních průtoků přes jednotlivé objekty VD Freiwald

10. Posouzení stability spodní stavby jezu

10.1 Posunutí v základové spáře, překlopení a nazdvižení konstrukce vzlakem vody

10.1.1 Zatěžovací stavy

Pro posouzení stability spodní stavby jezu byly uvažovány 3 zatěžovací stavy (obrázek 26, obrázek 27, obrázek 28). Pro tyto stavy se ověřilo posunutí v základové spáře, překlopení a posouzení zdvihu konstrukce vzlakem vody.

Zatěžovací stav A – revize vakového uzávěru

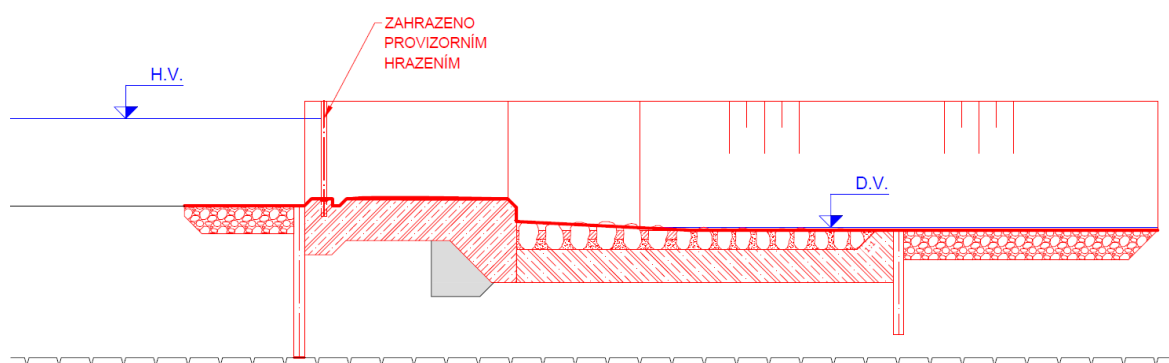
Při tomto stavu je uvažováno se zahrazením jezového uzávěru provizorním hrazením. Průtok je převáděn přes rybí přechod a MVE. Hladina v jezové zdrži je na kótě 363,25 m n. m. Hladina v podjezí je uvažována na kótě 360,13 m n. m, což odpovídá minimálnímu zůstatkovému průtoku. Případný průsak provizorním hrazením bude odveden do podjezí odvodňovacím potrubím PVC DN150.

Zatěžovací stav B – běžný provoz

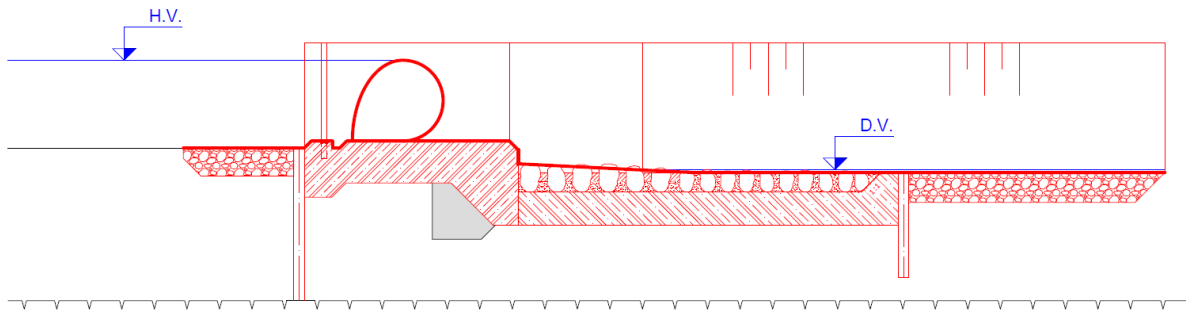
Tento stav odpovídá běžnému provozu jezu, při kterém je vak plně vztyčen na kótu 363,25 m n. m. Průtok je převáděn přes MVE a rybí přechod. Hladina v podjezí je uvažována na kótě 360,13 m n. m, což odpovídá minimálnímu zůstatkovému průtoku.

Zatěžovací stav C – mimořádný stav

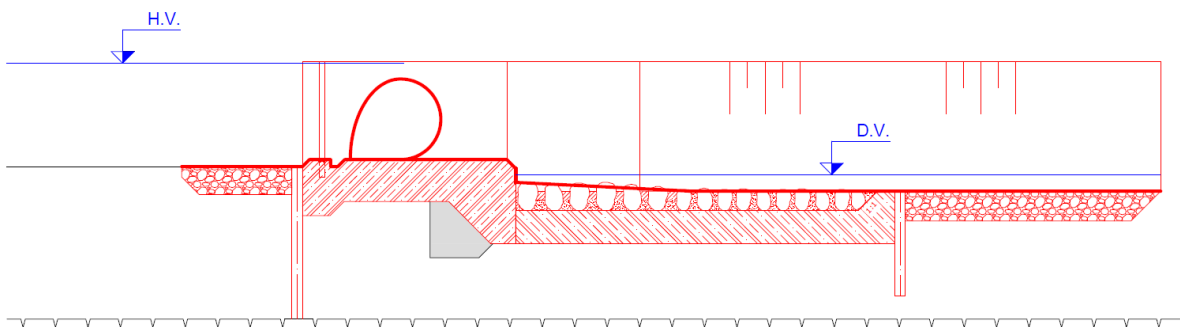
Mimořádný stav odpovídá situaci, kdy úroveň hladiny v nadjezí dosahuje kóty 363,71 m n. m., což je maximální možná hladina pro plně vztyčený vak (viz kapitola 9.3 *Ověření výskytu v-efektu*). Hladina v podjezí je uvažována na kótě 360,92 m n. m.



Obrázek 26: Schéma zatěžovacího stavu A – revize uzávěru



Obrázek 27: Schéma zatěžovacího stavu B – běžný provoz



Obrázek 28: Schéma zatěžovacího stavu C - mimořádný stav

10.1.2 Rozbor působících sil na spodní stavbu jezu

Pro uvažované zatěžovací stavy působí na spodní stavbu jezu následující síly:

Vlastní tíha spodní stavby

Spodní stavba je navržena ze slabě vyztuženého betonu C30/37 s odpovídající objemovou hmotností 24 kN/m^3 .

Hydrostatický tlak a vztlak vody

Pro stabilitní výpočty bylo uvažováno s hodnotou objemové hmotnosti 10 kN/m^3 . Vyšetření vztlakových sil bylo provedeno Laneho metodou (Rovnice 24). Tato metoda předpokládá lineární úbytek přetlaku H po celé rozvinuté délce spodní stavby. Výpočet zahrnuje také možnost, že ve vodorovném a svislém směru pod základovou spárou mohou být různé součinitele hydraulické vodivosti. V rámci výpočtu se předpokládá větší součinitel hydraulické vodivosti ve vodorovném směru (zahrnuto třetinovou délkou L_h). Části základové spáry, které jsou vytvořeny pod úhlem 45° a menším jsou uvažovány jako vodorovné. Ostatní části základové spáry jsou uvažovány jako svislé. [4]

Průběh vztlaku stanovený Laneho metodou je znázorněn na obrázku 29 a 30.

Laneho metoda výpočtu vztlaku:

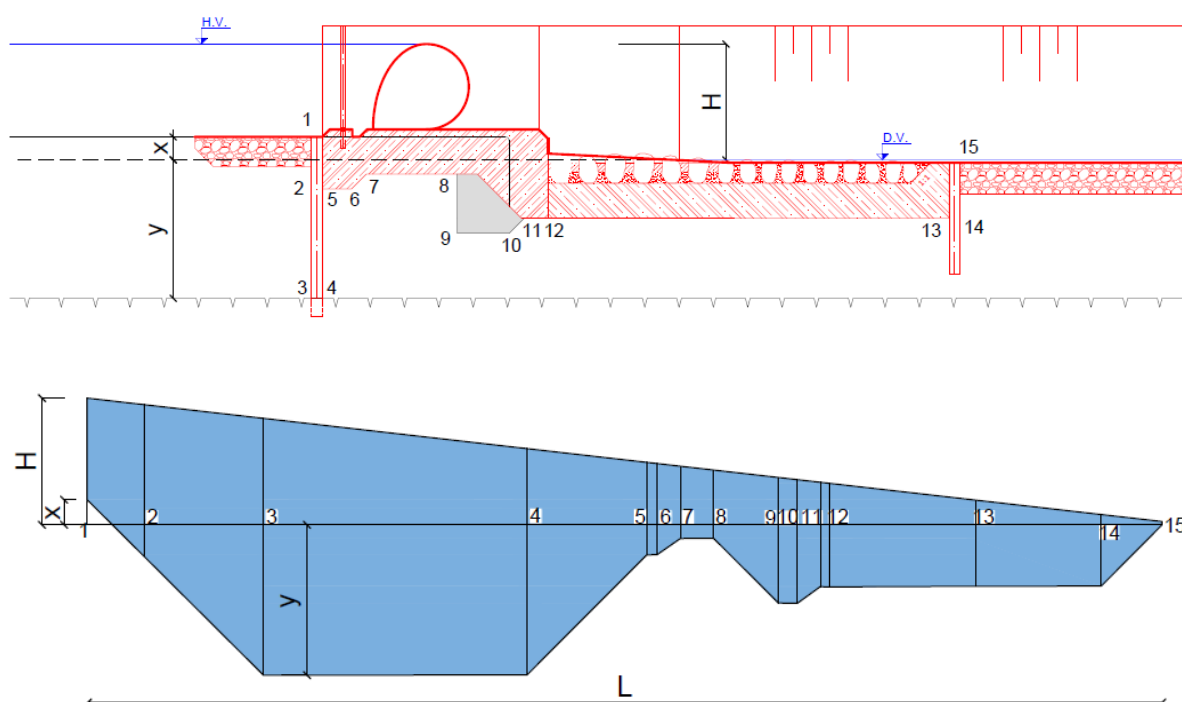
Rovnice 24: **Laneho metoda řešení vztlaku**

$$L = \sum L_v + \frac{1}{3} \sum L_h$$

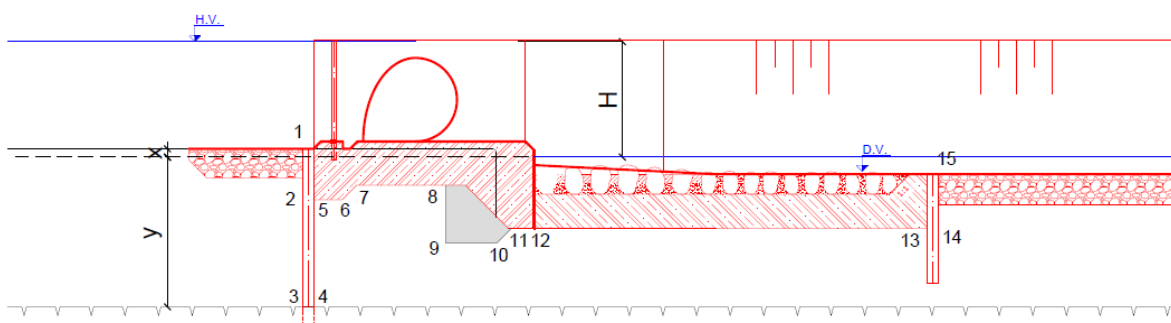
Kde

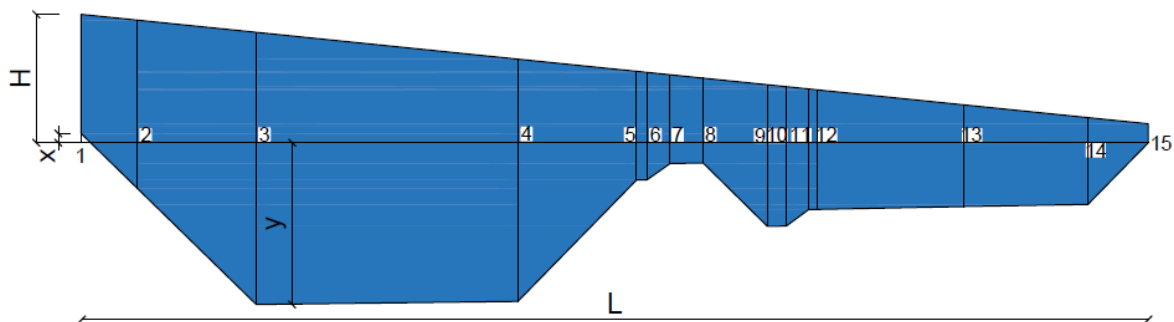
L_v svislé délky obrysu spodní stavbu [m]

L_h vodorovné délky obrysu spodní stavbu [m]



Obrázek 29: Průběh vztlaku (modře) - zatěžovací stavy A a B





Obrázek 30: Průběh vztlaku (tmavě modře) - zatěžovací stav C

Zemní tlak

Výpočty zahrnovaly působení zemního tlaku v klidu, jelikož se nepředpokládá, že by docházelo k deformaci konstrukce působením zemního tlaku.

Výslednice zemního tlaku v klidu byla stanovena na základě rovnice Rovnice 25. V této rovnici se vyskytuje součinitel zemního tlaku v klidu, který se určil pomocí rovnice Rovnice 26.

Rovnice 25: **Výslednice zemního tlaku v klidu**

$$S_a = \frac{1}{2} * \gamma_{zz} * h^2 * K_r$$

Rovnice 26: **Součinitel zemního tlaku v klidu**

$$K_a = 1 - \sin \varphi'$$

Kde

h mocnost zeminy působící na konstrukci [m]

γ_{zz} objemová hmotnost zvodnělé zeminy

φ' výpočtová hodnota úhlu vnitřního tření zeminy

10.1.3 Stanovení podmínek stability

Posouzení stability spodní stavby jezu proti posunutí v základové spáře bylo provedeno na základě Rovnice 27, stabilita konstrukce proti překlopení dle vztahu Rovnice 29 a stabilita spodní stavby jezu vůči nazdvihnutí vztlakem vody podle Rovnice 30.

Rovnice 27: **Stabilita konstrukce proti posunutí v základové spáře**

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

Kde

- γ_n součinitel účelu = 1,1 [-], pro třídu objektu Ib [1]
- F_{ud} výslednice sil působících rovnoběžně se základovou spárou ve směru posunutí uvažovaného [kN]
- γ_{stp} součinitel stability polohy [-] = 0,9
- U_u stanovený odpor proti posunutí [kN] – vypočteno dle Rovnice 28.

Rovnice 28: **Odpor proti posunutí v základové spáře**

$$U_u = \mu * N_d + c' * A_{c'}$$

Kde

- μ = $\text{tg } \varphi'$ - výpočtová hodnota součinitele smykového tření
- N_d svislá složka výslednice sil působících v kolmém směru na základ. spáru [kN]
- c' výpočtová hodnota soudržnosti zeminy
- $A_{c'}$ plocha základové spáry s vlivem sil od soudržnosti [m²]

Rovnice 29: **Stabilita proti překlopení**

$$\gamma_n * M_{akt} \leq \gamma_{stp} * M_{pas}$$

Kde

- γ_n součinitel účelu = 1,1 [-], pro třídu objektu Ib [1]
- M_{akt} moment sil způsobující překlopení konstrukce [kNm]
- γ_{stp} součinitel stability polohy [-] = 1,0
- M_{pas} moment sil zabraňující překlopení konstrukce [kNm]

Rovnice 30: **Stabilita proti zdvihu vztlakem vody**

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

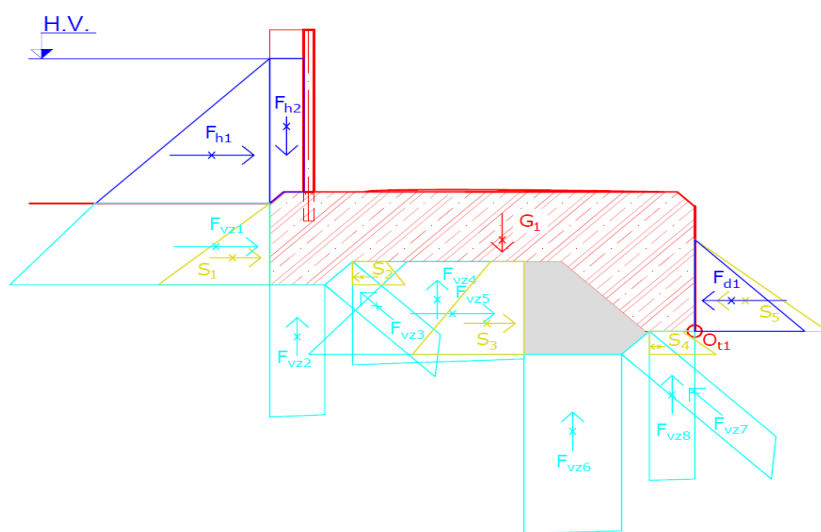
Kde

- γ_n součinitel účelu = 1,1 [-], pro třídu objektu Ib [1]
- F_{vd} výslednice sil od zatížení vztlakem [kN], hodnota je přenásobena součinitelem zatížení $\gamma_{nv} = 1,1$ [-]
- γ_{stp} součinitel stability polohy [-] = 1,0
- U_v vypočtený odpor proti nazdvihnutí vztlakem [kN]

10.1.4 Zatěžovací stav A

Při zatěžovacím stavu A byly posouzeny jednotlivé dilatační celky zvlášť (jezový práh, deska balvanitého skluzu) na výše uvedené podmínky stability. Každé posouzení je doplněno o schéma se zatěžovacími obrázky a působícími silami. Plochy a velikosti těchto sil jsou včetně příslušných ramen k bodu otáčení tabelovány (Tabulka 15).

Jezový práh



Obrázek 31: Schéma působících sil na jezový práh – zatěžovací stav A

Stabilita konstrukce proti posunutí v základové spáře:

$$F_{ud} = F_{h1} + F_{vz1} + F_{vz5} + S_1 + S_3 - F_{vz3x} - F_{vz7x} - F_{d1} - S_2 - S_4 - S_5 = 83,53 \text{ kN}$$

$$N_d = F_{h2} + G_1 - F_{vz2} - F_{vz3y} - F_{vz4} - F_{vz7y} - F_{vz8} = 181,66 \text{ kN}$$

$$U_u = \mu * N_d + c' * A_c = 181,66 * 0,6 = 108,99 \text{ kN}$$

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

$$1,1 * 83,53 \leq 0,9 * 108,99$$

$$91,88 \text{ kN} \leq 98,10 \text{ kN} \rightarrow \text{Návrh vyhovuje}$$

Překlopení k bodu O_{t1} :

$$M_{akt} = F_{h1} * r_{h1} + F_{vz1} * r_{vz1} + F_{vz2} * r_{vz2} + F_{vz3y} * r_{vz3y} + F_{vz4} * r_{vz4} + F_{vz5} * r_{vz5} + F_{vz6} * r_{vz6} + F_{vz7x} * r_{vz7x} + F_{vz7y} * r_{vz7y} + F_{vz8} * r_{vz8} + S_1 * r_{S1} + S_3 * r_{S3} + S_4 * r_{S4} = 442,87 \text{ kNm}$$

$$M_{pas} = F_{h2} * r_{h2} + F_{vz3x} * r_{vz3x} + G_1 * r_{G1} + S_2 * r_{S2} + S_5 * r_{S5} = 854,35 \text{ kNm}$$

$$\gamma_n * M_{akt} \leq \gamma_{stp} * M_{pas}$$

$$1,1 * 442,87 \leq 1,0 * 854,35$$

$$487,16 \text{ kNm} \leq 854,35 \text{ kNm} \rightarrow \text{Návrh vyhovuje}$$

Zdvih vztlakem vody:

$$F_{vzX} = F_{vz1} + F_{vz5} - F_{vz3X} - F_{vz7X} = 66,91 \text{ kN}$$

$$F_{vzY} = F_{vz2} + F_{vz3Y} + F_{vz4} + F_{vz6} + F_{vz7Y} + F_{vz8} = 104,65 \text{ kN}$$

$$F_{vz} = \sqrt{F_{vzX}^2 + F_{vzY}^2} = 124,21 \text{ kN}$$

$$F_{vd} = F_{vz} * 1,1 = 136,63 \text{ kN}$$

$$U_v = F_{h2} + G_1 = 286,31 \text{ kN}$$

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

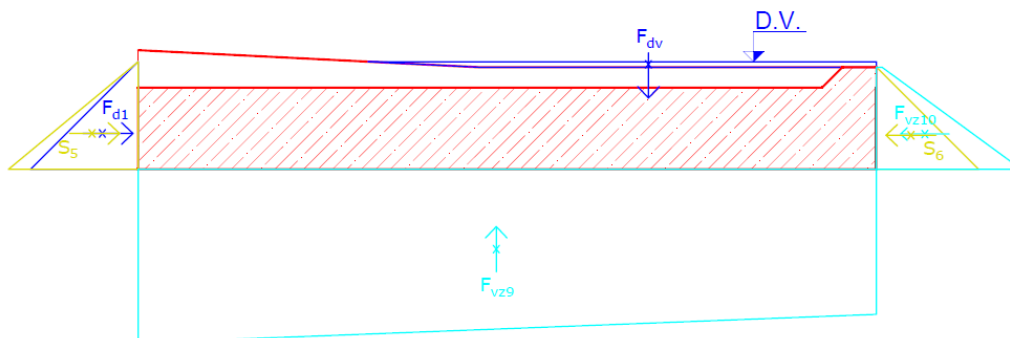
$$1,1 * 136,63 \leq 1,0 * 286,31$$

$$150,30 \text{ kN} \leq 286,31 \text{ kN} \rightarrow \text{Návrh vyhovuje}$$

Tabulka 15: Působící síly na jezový práh - zatěžovací stav A

Druh zatížení	Označení [-]	Plocha [m ²]	γ [kN/m ³]	Velikost síly [kN]	Rameno síly k bodu otáčení [m]
Hydrostatický tlak	F _{h1}	3.13	10	31.25	3.03
	F _{h2}	1.47	10	14.70	5.86
	F _{d1}	1.25	10	12.50	0.53
Vztlak	F _{vz1}	4.36	10	43.60	1.41
	F _{vz2}	1.78	10	17.80	5.71
	F _{vz3x}	0.80	10	8.04	0.99
	F _{vz3y}	0.80	10	8.04	5.12
	F _{vz4}	4.26	10	8.04	3.67
	F _{vz5}	3.82	10	42.57	0.23
	F _{vz6}	4.29	10	42.91	1.75
	F _{vz7x}	1.12	10	11.22	0.21
	F _{vz7y}	1.12	10	11.22	0.86
F _{vz8}	1.66	10	16.64	0.33	
Vlastní tíha kece	G ₁	11.32	24	271.61	2.76
Zemní tlak	S ₁		13	6.87	1.26
	S ₂		13	5.56	0.93
	S ₃		13	11.87	0.13
	S ₄		13	6.56	0.27
	S ₅		13	8.75	0.53

Skluz:



Obrázek 32: Schéma působících sil na desku skluzu – zatěžovací stav A i B

Stabilita konstrukce proti posunutí v základové spáře:

$$F_{ud} = F_{vz10} + S_5 - S_6 - F_{d1} = 4,96 \text{ kN}$$

$$N_d = F_{d2} + G_2 - F_{vz9} = 68,82 \text{ kN}$$

$$U_u = \mu * N_d + c' * A_c = 0,60 * 68,82 + 0 = 41,29 \text{ kN}$$

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

$$1,1 * 4,96 \leq 0,9 * 41,29$$

$$5,45 \text{ kN} \leq 37,16 \text{ kN} \rightarrow \text{Návrh vyhovuje}$$

Zdvih vztlakem vody:

$$F_{vzx} = F_{vz10} = 16,57 \text{ kN}$$

$$F_{vzy} = F_{vz9} = 253,70 \text{ kN}$$

$$F_{vz} = \sqrt{F_{vzx}^2 + F_{vzy}^2} = 254,24 \text{ kN}$$

$$F_{vd} = F_{vz} * 1,1 = 279,66 \text{ kN}$$

$$U_v = F_{d2} + G_2 = 322,52 \text{ kN}$$

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

$$1,1 * 279,66 \leq 1,0 * 322,52$$

$$307,63 \text{ kN} \leq 322,52 \text{ kN} \rightarrow \text{Návrh vyhovuje}$$

Tabulka 16: Působící síly na desku skluzu – zatěžovací stav A i B

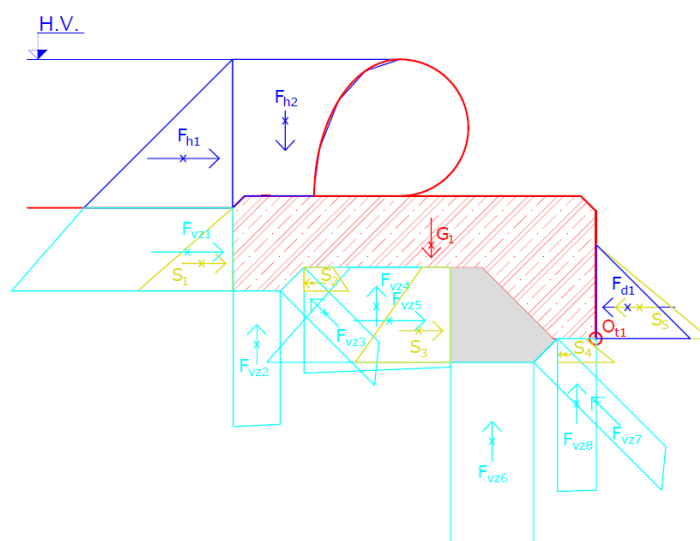
Druh zatížení	Označení	Plocha	γ	Velikost síly
	[-]	[m ²]	[kN/m ³]	[kN]
Hydrostatický tlak	F _{d1}	1.25	10	12.48
	F _{d2}	0.54	10	5.38
Vztlak	F _{vz9}	25.37	10	253.7
	F _{vz10}	1.66	10	16.57
Zemní tlak	S ₅		13	8.75
	S ₆		13	7.88
Vlastní tíha kce	G ₂	13.21	24	317.14

Zatěžovací stav A i B je pro desku skluzu stejný. Výpočet odpovídá oběma stavům.

10.1.5 Zatěžovací stav B

Při zatěžovacím stavu B byl posouzen pouze jezový práh na výše uvedené podmínky stability. Pro desku skluzu jsou podmínky stejné jako při zatěžovacím stavu A.

Jezový práh



Obrázek 33: Schéma působících sil na jezový práh – zatěžovací stav B

Stabilita konstrukce proti posunutí v základové spáře:

$$F_{ud} = F_{h1} + F_{vz1} + F_{vz5} + S_1 + S_3 - F_{vz3x} - F_{vz7x} - F_{d1} - S_2 - S_4 - S_5 = 83,53 \text{ kN}$$

$$N_d = F_{h2} + G_1 - F_{vz2} - F_{vz3y} - F_{vz4} - F_{vz7y} - F_{vz8} = 206,06 \text{ kN}$$

$$U_u = \mu * N_d + c' * A_c = 206,06 * 0,6 = 123,63 \text{ kN}$$

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

$$1,1 * 83,53 \leq 0,9 * 123,63 \text{ kN}$$

91,88 kN ≤ 111,27 kN → Návrh vyhovuje

Překlopení k bodu O_{t1} :

$$M_{act} = F_{h1} * r_{h1} + F_{vz1} * r_{vz1} + F_{vz2} * r_{vz2} + F_{vz3y} * r_{vz3y} + F_{vz4} * r_{vz4} + F_{vz5} * r_{vz5} + F_{vz6} * r_{vz6} + F_{vz7x} * r_{vz7x} + F_{vz7y} * r_{vz7y} + F_{vz8} * r_{vz8} + S_1 * r_{S1} + S_3 * r_{S3} + S_4 * r_{S4} = 442,87 \text{ kNm}$$

$$M_{pas} = F_{h2} * r_{h2} + F_{vz3x} * r_{vz3x} + G_1 * r_{G1} + S_2 * r_{S2} + S_5 * r_{S5} = 972,34 \text{ kNm}$$

$$\gamma_n * M_{akt} \leq \gamma_{stp} * M_{pas}$$

$$1,1 * 442,87 \leq 1,0 * 972,34$$

487,16 kNm ≤ 854,35 kNm → Návrh vyhovuje

Zdvih vztlakem vody:

$$F_{vzx} = F_{vz1} + F_{vz5} - F_{vz3x} - F_{vz7x} = 66,91 \text{ kN}$$

$$F_{vzy} = F_{vz2} + F_{vz3y} + F_{vz4} + F_{vz6} + F_{vz7y} + F_{vz8} = 104,65 \text{ kN}$$

$$F_{vz} = \sqrt{F_{vzx}^2 + F_{vzy}^2} = 124,21 \text{ kN}$$

$$F_{vd} = F_{vz} * 1,1 = 136,63 \text{ kN}$$

$$U_v = F_{h2} + G_1 = 310,71 \text{ kN}$$

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

$$1,1 * 136,63 \leq 1,0 * 310,71$$

150,30 kN ≤ 310,71 kN → Návrh vyhovuje

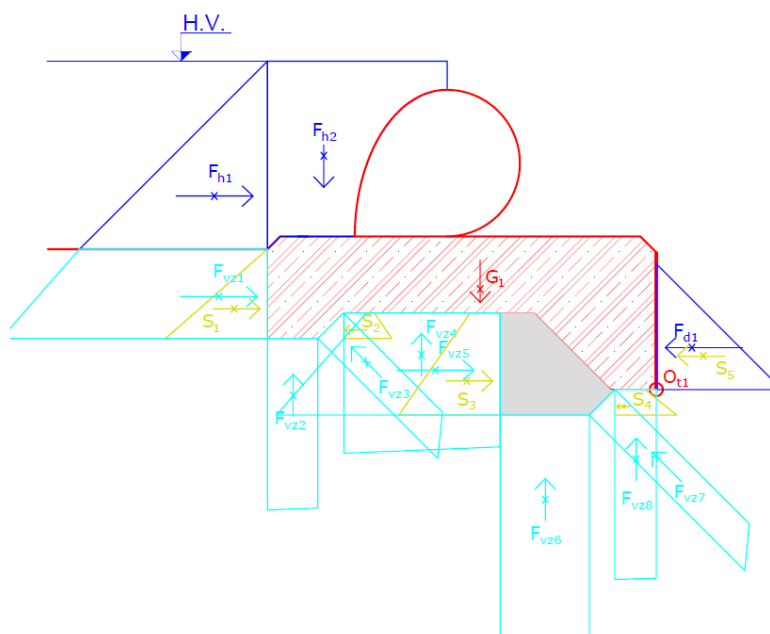
Tabulka 17: Působící síly na jezový práh - zatěžovací stav B

Druh zatížení	Označení	Plocha	γ	Velikost síly	Rameno síly k bodu otáčení
	[-]	[m ²]	[kN/m ³]	[kN]	[m]
Hydrostatický tlak	F_{h1}	3.13	10	31.25	3.03
	F_{h2}	3.91	10	39.10	5.22
	F_{d1}	1.25	10	12.50	0.53
Vztlak	F_{vz1}	4.37	10	43.70	1.41
	F_{vz2}	1.78	10	17.80	5.71
	F_{vz3x}	0.80	10	8.04	0.99
	F_{vz3y}	0.80	10	8.04	5.12
	F_{vz4}	4.26	10	8.04	3.67
	F_{vz5}	3.82	10	42.57	0.23
	F_{vz6}	4.29	10	42.91	1.75
	F_{vz7x}	1.12	10	11.22	0.21
	F_{vz7y}	1.12	10	11.22	0.86
F_{vz8}	1.66	10	16.64	0.33	
Vlastní tíha kce	G_1	11.32	24	271.61	2.76
Zemní tlak	S_1		13	6.87	1.26
	S_2		13	3.56	0.93
	S_3		13	9.87	0.13
	S_4		13	6.56	0.27
	S_5		13	8.75	0.53

10.1.6 Zatěžovací stav C

Při zatěžovacím stavu C byly posouzeny oba dilatační celky.

Jezový práh



Obrázek 34: Schéma působících sil na jezový práh - zatěžovací stav C

Stabilita konstrukce proti posunutí v základové spáře:

$$F_{ud} = F_{h1} + F_{vz1} + F_{vz5} + S_1 + S_3 - F_{vz3x} - F_{vz7x} - F_{d1} - S_2 - S_4 - S_5 = 87,80 \text{ kN}$$

$$N_d = F_{h2} + G_1 - F_{vz2} - F_{vz3y} - F_{vz4} - F_{vz7y} - F_{vz8} = 163,99 \text{ kN}$$

$$U_u = \mu * N_d + c' * A_c = 163,99 * 0,6 = 98,39 \text{ kN}$$

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

$$1,1 * 87,80 \leq 1,0 * 98,39 \text{ kN}$$

$$96,57 \text{ kN} \leq 98,39 \text{ kN} \rightarrow \text{Návrh vyhovuje}$$

Překlopení k bodu O_{t1} :

$$M_{act} = F_{h1} * r_{h1} + F_{vz1} * r_{vz1} + F_{vz2} * r_{vz2} + F_{vz3y} * r_{vz3y} + F_{vz4} * r_{vz4} + F_{vz5} * r_{vz5} + F_{vz6} * r_{vz6} + F_{vz7x} * r_{vz7x} + F_{vz7y} * r_{vz7y} + F_{vz8} * r_{vz8} + S_1 * r_{S1} + S_3 * r_{S3} + S_4 * r_{S4} = 691,77 \text{ kNm}$$

$$M_{pas} = F_{h2} * r_{h2} + F_{vz3x} * r_{vz3x} + G_1 * r_{G1} + S_2 * r_{S2} + S_5 * r_{S5} = 1038,02 \text{ kNm}$$

$$\gamma_n * M_{akt} \leq \gamma_{stp} * M_{pas}$$

$$1,1 * 691,77 \leq 1,0 * 1038,02$$

$$760,94 \text{ kNm} \leq 1038,02 \text{ kNm} \rightarrow \text{Návrh vyhovuje}$$

Zdvih vztlakem vody:

$$F_{vzx} = F_{vz1} + F_{vz5} - F_{vz3x} - F_{vz7x} = 70,18 \text{ kN}$$

$$F_{vzy} = F_{vz2} + F_{vz3y} + F_{vz4} + F_{vz6} + F_{vz7y} + F_{vz8} = 159,32 \text{ kN}$$

$$F_{vz} = \sqrt{F_{vzx}^2 + F_{vzy}^2} = 174,09 \text{ kN}$$

$$F_{vd} = F_{vz} * 1,1 = 191,50 \text{ kN}$$

$$U_v = F_{h2} + G_1 = 323,31 \text{ kN}$$

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

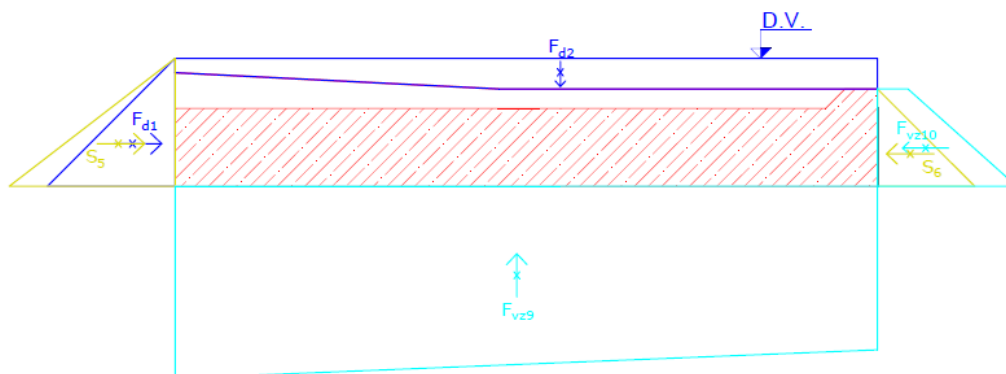
$$1,1 * 191,50 \leq 1,0 * 323,31$$

$$210,65 \text{ kN} \leq 323,31 \text{ kN} \rightarrow \text{Návrh vyhovuje}$$

Tabulka 18: Působící síly na jezový práh - zatěžovací stav C

Druh zatížení	Označení [-]	Plocha [m ²]	γ [kN/m ³]	Velikost síly [kN]	Rameno síly k bodu otáčení [m]
Hydrostatický tlak	F _{h1}	4.35	10	43.50	3.18
	F _{h2}	5.17	10	51.70	5.11
	F _{d1}	1.94	10	19.40	0.66
Vztlak	F _{vz1}	4.79	10	47.90	1.46
	F _{vz2}	2.11	10	21.10	5.71
	F _{vz3x}	0.97	10	9.71	0.98
	F _{vz3y}	0.97	10	9.71	5.09
	F _{vz4}	5.07	10	50.70	3.68
	F _{vz5}	4.48	10	44.80	0.33
	F _{vz6}	4.57	10	45.70	1.75
	F _{vz7x}	1.28	10	12.81	0.19
	F _{vz7y}	1.28	10	12.81	0.85
	F _{vz8}	1.93	10	19.30	0.33
Vlastní tíha kece	G ₁	11.32	24	271.61	2.76
Zemní tlak	S ₁		13	7.37	1.26
	S ₂		13	5.56	0.93
	S ₃		13	11.87	0.13
	S ₄		13	6.56	0.27
	S ₅		13	13.60	0.66

Skluz:



Obrázek 35: Schéma působících sil na desku skluzu – zatěžovací stav C

Stabilita konstrukce proti posunutí v základové spáře:

$$F_{ud} = F_{vz10} + S_5 - S_6 - F_{d1} = 6,01 \text{ kN}$$

$$N_d = F_{d2} + G_2 - F_{vz9} = 64,54 \text{ kN}$$

$$U_u = \mu * N_d + c' * A_c = 0,60 * 64,54 + 0 = 38,72 \text{ kN}$$

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

$$1,1 * 6,01 \leq 0,9 * 38,72$$

$$6,62 \text{ kN} \leq 34,85 \text{ kN} \rightarrow \text{Návrh vyhovuje}$$

Zdvih vztlakem vody:

$$F_{vzx} = F_{vz10} = 19,70 \text{ kN}$$

$$F_{vzy} = F_{vz9} = 297,30 \text{ kN}$$

$$F_{vz} = \sqrt{F_{vzx}^2 + F_{vzy}^2} = 297,95 \text{ kN}$$

$$F_{vd} = F_{vz} * 1,1 = 327,75 \text{ kN}$$

$$U_v = F_{d2} + G_2 = 361,84 \text{ kN}$$

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

$$1,1 * 327,75 \leq 1,0 * 361,84$$

$$360,52 \text{ kN} \leq 361,84 \text{ kN} \rightarrow \text{Návrh vyhovuje}$$

Tabulka 19: **Působící síly na desku skluzu - zatěžovací stav C**

Druh zatížení	Označení	Plocha	γ	Velikost síly
	[-]	[m ²]	[kN/m ³]	[kN]
Hydrostatický tlak	F _{d1}	1.94	10	19.4
	F _{d2}	4.47	10	44.7
Vztlak	F _{vz9}	29.73	10	297.3
	F _{vz10}	1.97	10	19.70
Zemní tlak	S ₅		13	13.60
	S ₆		13	7.88
Vlastní tíha kce	G ₂	13.21	24	317.14

Jezový práh vyhověl podmínkám stability pro všechny 3 zatěžovací stavy. Navržená deska skluzu rovněž vyhověla všem uvažovaným zatěžovacím stavům. Při ověřování stability desky skluzu nebylo uvažováno s přitížením štětových kamenů prolitých betonem, proto lze usoudit, že po realizaci balvanitého skluzu budou podmínky stability výrazně více ve prospěch navržené konstrukce.

11. Základní bilance a kalkulace nákladů

Do odhadované ceny budou promítnuty položky jako je bourání stávajících konstrukcí, zemní práce, nové železobetonové konstrukce, opevnění svahů v podjezí, vaková hradicí konstrukce a odhad ceny potřebné technologie pro provoz vaku. Předpokládá se, že by tyto položky tvořili hlavní část celkové ceny.

Podrobný popis bilancí jednotlivých stavebních objektů je součástí souhrnné technické zprávy v kapitole B.2.1 odstavec h.

Výpočet množství níže uvedených položek byl proveden v Autocad. Jednotkové ceny vycházejí z dat indexu stavebních prací Českého statistického úřadu s přihlédnutím na aktuální růst sazeb za provedené práce. Jednotková cena za vakový uzávěr byla konzultována s výrobcem vaků – Rubena Náchod s.r.o.

Druh	Položka	Měrná jednotka	Množství	Jednotková cena	Náklady
Demoliční práce	Bourání stávajících konstrukcí	m ³	367	3,500 Kč	1,284,500 Kč
	Odstranění stávající lávky	m ³	26	3,100 Kč	80,600 Kč
Zemní práce	Výkop pro RP, nábrežní zdi a břehové pilíře	m ³	2577	1,200 Kč	3,092,400 Kč
	Zásyp okolí kce hutněnou zeminou	m ³	871	93 Kč	81,003 Kč
Betonářské práce	Železobetonové kce	m ³	878	10,000 Kč	8,780,000 Kč
	Podkladní desky z prostého betonu	m ³	128	4,500 Kč	576,000 Kč
	Beton pro kotvení balvanů RP	m ³	17	3,500 Kč	59,500 Kč
	Beton pro kotvení balvanů – skluz	m ³	42	3,500 Kč	147,000 Kč
Vak	Vakový uzávěr	m ²	105	8,500 Kč	892,500 Kč
Technologie	Odhadovaná cena veškeré technologie pro provoz vaku	*uvažováno jako 20 % z ceny vaku	-	-	178,500 Kč
CELKEM					15,172,003 Kč

Celkové odhadované náklady přesahují částku 15 milionů korun (z toho 7 549 000 Kč jsou odhadované náklady pro výstavbu rybího přechodu, tedy téměř 50 % z celkových nákladů.)

12. Závěr

Cíl této diplomové práce spočíval v návrhu nové vakové hradicí konstrukce jezu Freiwald na řece Metuji v obci Hronov a v návrhu rybího přechodu zajišťující migrační prostupnost toku. Stávající stav stavidlového jezu byl správcem toku označen za nevyhovující jednak z hlediska stáří jezové konstrukce, ale také z pohledu nároků na provoz a údržbu tohoto vodního díla.

Úvodní část diplomové práce se věnuje podrobnému popisu vakové technologie včetně detailního popisu technologie vzduchem plněných vaků. Tato technologie není na území České republiky příliš rozšířena, proto bylo snahou tento způsob plnění vaku detailněji vysvětlit v příslušných kapitolách. Úvodní část se také věnovala teorii spojené s návrhem rybích přechodů. Následující kapitoly zahrnují popis zájmového území, podrobný rozbor současného stavu jezu Freiwald včetně definice současných problémů stanovených správcem vodního toku. Praktická část diplomové práce se zabývá jednak návrhem rybího přechodu, tak konceptem nové hradicí konstrukce, která svými základními parametry vychází z původního stavidlového jezu.

Rybí přechod byl navržen jako technický s balvanitými překážkami. Z důvodu omezených prostorových podmínek v intravilánu města Hronov došlo k jeho umístění na levý břeh řeky Metuje kolem stávající malé vodní elektrárny. Lokalizace vstupu a výstupu rybího přechodu respektuje požadavky plynoucí z technické normy TNV 75 2321 *Zprůchodňování migračních bariér rybími přechody*, neboť vstup je umístěn v těsné blízkosti savek MVE, respektive před odpadním kanálem MVE. Tento kanál způsobuje v podjezí dominantní proudění, a proto se předpokládá pohyb rybí obsádky především v těchto místech. Výstup z rybího přechodu je umístěn v dostatečné vzdálenosti od přelivné hrany jezu i hrubých česel objektu náhonu MVE tak, aby nedocházelo ke strhávání vysílených jedinců zpět do podjezí nebo na česla náhonu. Realizací rybího přechodu se zlepší migrační podmínky rybí obsádky a sníží se vliv fragmentace toku Metuje.

Na základě požadavků správce vodního toku byla navržena nová hradicí konstrukce v podobě vzduchem plněného vaku o jednom poli. Základní parametry nové konstrukce vycházejí z původních hodnot, neboť celková hrazená výška 2,5 m i šířka jezového profilu 13 m zůstaly nezměněny. Oproti původní konstrukci byl zvýšen jezový práh o 0,2 m na kótu 360,95 m n. m., samotný vak hradí 2,3 m s kótou koruny při plném vztyčením 363,25 m n. m. Kapacita plně vyhrazeného jezu byla na základě hydrotechnických výpočtů stanovena na 124,10 m³/s, což představuje navýšení o zhruba 9 % oproti původní kapacitě dle stávajícího manipulačního řádu.

Důležitým krokem v návrhu vzduchem plněného vaku bylo ověření výskytu v-efektu způsobujícího prolomení vakového tělesa. Na základě výpočtů bylo stanoveno, že k prolomení by mohlo dojít při kótě hladiny v nadjezí 363,71 m n.m. Výsledek ověření slouží k doporučené manipulaci spočívající ve sklopení hradicí konstrukce při dosažení kóty hladiny 363,70 m n.m. v nadjezí, aby se zabránilo prolomení a s tím spojené vysoké lokální zatížení podjezí i samotné pryžotextilní membrány a nekontrolovatelnému průtoku přes hradicí konstrukci. Tímto

výpočtem bylo také ověřeno, že nedojde k výraznému omezení provozu MVE návrhem vzduchem plněného vaku.

Nově navržený jezový objekt bude plnit jednak stávající účely, jakými jsou zajištění podélné stability dna a vzdouvání vody pro provoz přilehlé MVE, ale zároveň zajistí vyšší míru protipovodňové ochrany. Ta spočívá v provozně spolehlivějších manipulacích s hradicí konstrukcí a také v minimálním riziku ucpávání jezového profilu, jelikož oproti původnímu stavu nebude docházet k zachytávání plávi o stojiny lávky a drážky stavidel. Ke zlepšení stávajícího stavu dojde také z pohledu zimního režimu. Nová hradicí konstrukce umožňuje převádět ledové kry a nehrozí přimrzání vody k nosným prvkům jezu, a tím spojené omezení provozuschopnosti hradicí konstrukce. Významným benefitem je také možnost automatického provozu jezu nebo případné ruční ovládání z manipulační budovy, které zajistí větší bezpečnost pro pracovníky správce vodního toku.

Součástí diplomové práce je také kompletní projektová dokumentace dle vyhlášky č. 499/2006 § 1d – splňující rozsah projektové dokumentace pro vydání stavebního povolení. Přílohy diplomové práce tvoří průvodní technická zpráva, souhrnná technická zpráva, situační výkresy, výkresy stavebních objektů, hydrotechnické výpočty a příloha s fotodokumentací současného stavu VD Freiwald.

13. Seznam použitých zdrojů

- [1] BROŽA, V., SATRAPA, L.,. Skriptum *Hydrotechnické stavby 10*. Praha : ČVUT v Praze, 2000. ISBN 80-01-01581-5.
- [2] Infrastructure, The World Association for Waterborne Transport. *Inflatable structures in hydraulic engineering (2018)*. Brussels, Belgium.
- [3] M. Gebhardt, „*Hydraulische und statische Bemessung von Schlauchwehren,*“ Karlsruhe, 2006
- [4] GABRIEL, Pavel a kol. *Jezy*. 1. Praha: SNTL, 1989.
- [5] TNV 75 2321. *ZPRŮCHODŇOVÁNÍ MIGRAČNÍCH BARIÉR RYBÍMI PŘECHODY*. Praha: HYDROPROJEKT CZ a.s., 2011
- [6] Pavel Horký, Ondřej Slavík, Zdeněk Vančura, David Bůžek. *Metodika použití kartáčové technologie pro zajištění a zlepšení migrační prostupnosti vodních toků* [online]. 2013 [cit. 2023-09-30]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/kartacova_technologie_metodika/\\$FILE/OOOPK-Metodika_vyuziti_kartacove_technologie_2013-20200528.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/kartacova_technologie_metodika/$FILE/OOOPK-Metodika_vyuziti_kartacove_technologie_2013-20200528.pdf)
- [7] *Rybochody*. Výukový materiál ČVUT. [Online] [Citace: 28. říjen 2023.] Dostupné z: http://storm.fsv.cvut.cz/on_line/tok1/Rybochody.pdf.
- [8] *Fórum ochrany přírody*. [Online] [Citace: 28. říjen 2023.] Dostupné z: <http://www.forumochranyprirody.cz/vyuzitelnost-rybich-prechodu-u-malych-vodnich-elektraren>.
- [9] *mapy.cz*. [Online] [Citace: 28. září 2023.] Dostupné z: https://mapy.cz/zakladni?source=muni&id=2485&ds=1&x=16.1786959&y=50.4843300&z=11&base=o_photo
- [10] Záplavová území. *Hydroekologický informační systém VÚV TGM*. [Online] [Citace: 2. říjen 2023.] Dostupné z: https://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&TMPL=HVMAP_MAIN&IFRAME=0&lon=14.6486753&lat=49.7729521&scale=483840.
- [11] Hydrossoft. *Klimatické oblasti*. [Online] [Citace: 2. říjen 2023.] Dostupné z: <https://dpp.hydrossoft.cz/hvmap.dll?MU=001&MAP=7623&lon=16.1737347&lat=50.4719722&scale=50000>.
- [12] *Manipulační řád vodního díla Jez Freiwald a MVE Freiwald Hronov*. Hradec Králové, 2015. Povodí Labe, státní podnik

- [13] Meteoblue.com. [Online] [Citace: 25. říjen 2023.] Dostupné z:
https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/historyclimate/climateobserved/hronov_%C4%8cesko_3074805.
- [14] Výstavba MVE Freiwald. *Vodní mlýny*. [Online] [Citace: 8. 10 2023.] Dostupné z:
<https://www.vodnimlyny.cz/mlyny/objekty/detail/2831-dolni-hejnuv-freiwalduv-mlyn>.
- [15] Nahlížení do katastru nemovitostí. ČÚZK [Online] [Citace: 3. říjen 2023.] Dostupné z:
<https://sginahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&MarWindowName=Marushka&MarQueryId=6D2BCEB5&MarQParam0=648370&MarQParamCount=1>
- [16] Geologická mapa ČR. *Česká geologická služba* [Online] [Citace: 1. říjen 2023.] Dostupné z:
<https://mapy.geology.cz/geocr50/>.
- [17] Hydrogeologické posouzení vlivů plánované opravy nábrežních zdí – jez Freiwald Hronov. *Hydrogeologická společnost, s. r. o.* 2017. Poskytnuto Povodím Labe, státní podnik
- [18] Vrtná prozkoumanost. *Česká geologická služba* [online]. [cit. 2023-10-04]. Dostupné z:
https://mapy.geology.cz/vrtna_prozkoumanost
- [19] *Výpočet přepadu přes hradicí vak*. Praha, 2023. Poskytnuto Ing. M. Králíkem Ph.D.
- [20] Bypass. *Department of Primary Industries*. [Online] [Citace: 10. říjen 2023.] Dostupné z:
<http://www.dpi.nsw.gov.au/fishing/habitat/rehabilitating/fishways>.

14. Seznam použitých zkratk

VD	vodní dílo
RP	rybí přechod
ČÚZK	Český úřad zeměměřičský a katastrální
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
KN	katastr nemovitostí
TBD	technickobezpečnostní dohled
ř.km	říční kilometr
AOPK	Agentura ochrany přírody a krajiny
TNV	technická norma vodního hospodářství
MŽP	ministerstvo životního prostředí
HPV	hladina podzemní vody

15. Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma principu provozu vzduchem plněného vaku	4
Obrázek 2: V-efekt, kolaps vakového uzávěru	5
Obrázek 3: Jez Turnov na řece Jizeře	7
Obrázek 4: Využití vakové technologie spolu s ocelovou hradicí konstrukcí jako protipovodňová ochrana – Pistoia, Itálie	8
Obrázek 5: VD Baška – Bezpečnostní přeliv hrazený vakem	9
Obrázek 6: Vzduchem plněné vakové uzávěry jako ochrana proti přílivu – Doki river, Japonsko	9
Obrázek 7: Bypass.....	14
Obrázek 8: Tůňový RP.....	14
Obrázek 9: Štěrbínový rybí přechod	15
Obrázek 10: Denilův rybí přechod	16
Obrázek 11: Obec Hronov (červeně vyznačeno)	17
Obrázek 12: Detail z vodohospodářská mapy	18
Obrázek 13: Klimatické poměry řešené oblasti.....	18
Obrázek 14: Pekelské údolí	21
Obrázek 15: Záplavová území v okolí jezu, Q_{20} - modře, Q_{100} – černě, červeně vyznačena poloha jezu Freiwald	22
Obrázek 16: Výstavba současné MVE, rok 2014	24
Obrázek 17: Mapa katastru nemovitostí	25
Obrázek 18: Převod průtoku přepadem přes stavidlo	26
Obrázek 19: MVE Freiwald	31
Obrázek 20: Geologická mapa řešené oblasti (červeně zakroužkována lokalita VD Hronov)	35
Obrázek 21: Lokalizace vrtů	36
Obrázek 22: Rozbor vrtů V-4 a V-26	36
Obrázek 23: Zjednodušené schéma výpočtu zdvihu vztlakem RP	45
Obrázek 24: Statický model stěny rybího přechodu	47
Obrázek 25: Schéma výpočtu přepadu přes širokou korunu (vypuštěný vak).....	53
Obrázek 26: Schéma zatěžovacího stavu A – revize uzávěru.....	57

Obrázek 27: Schéma zatěžovacího stavu B – běžný provoz	58
Obrázek 28: Schéma zatěžovacího stavu C - mimořádný stav	58
Obrázek 29: Průběh vztlaku (modře) - zatěžovací stavy A a B	59
Obrázek 30: Průběh vztlaku (tmavě modře) - zatěžovací stav C	60
Obrázek 31: Schéma působících sil na jezový práh – zatěžovací stav A	62
Obrázek 32: Schéma působících sil na desku skluzu – zatěžovací stav A i B	64
Obrázek 33: Schéma působících sil na jezový práh – zatěžovací stav B	65
Obrázek 34: Schéma působících sil na jezový práh - zatěžovací stav C	67
Obrázek 35: Schéma působících sil na desku skluzu – zatěžovací stav C	70

16. Seznam tabulek

Tabulka 1: Porovnání vzduchem plněných vaků a vodou plněných vaků z hlediska provozu jezu.....	6
Tabulka 2: Průměrné údaje o srážkách	19
Tabulka 3: Průměrné hodnoty teplot vzduchu	20
Tabulka 4: Základní údaje o vodním díle Freiwald	27
Tabulka 5: Výpočet konzumční křivky vyhrazeného jezu	28
Tabulka 6: Parametry instalovaných turbín v MVE	30
Tabulka 7: m-denní průtoky	33
Tabulka 8: N-leté průtoky	33
Tabulka 9: Návrhové parametry RP	39
Tabulka 10: Shrnutí návrhu RP	44
Tabulka 11: Působící síly – zdvih RP vztlakem vody	46
Tabulka 12: Parametry šterku G3.....	47
Tabulka 13: Součinitel přepadu přes pevný práh	53
Tabulka 14: Součinitel zatopení přepadu σ	54
Tabulka 15: Působící síly na jezový práh - zatěžovací stav A	63
Tabulka 16: Působící síly na desku skluzu – zatěžovací stav A i B.....	65
Tabulka 17: Působící síly na jezový práh - zatěžovací stav B	67
Tabulka 18: Působící síly na jezový práh - zatěžovací stav C.....	69
Tabulka 19: Působící síly na desku skluzu - zatěžovací stav C.....	71

17. Seznam grafů

Graf 1: Průměrný úhrn srážek v obci Hronov	19
Graf 2: Průměrné teploty vzduchu pro obec Hronov	20
Graf 3: Konzumční křivka vyhraženého stavidlového jezu	28
Graf 4: m-denní průtoky.....	34
Graf 5: N-leté průtoky	34
Graf 6: Rozdělení m-denních průtoků přes jednotlivé objekty VD Freiwald	56

18. Seznam rovnic

Rovnice 1: Dovolený rozdíl hladin mezi přepážkami	40
Rovnice 2: Minimální počet přepážek v RP	41
Rovnice 3: Návrhový spád na přepážce	41
Rovnice 4: Maximální výtoková rychlost ve štěrbině	41
Rovnice 5: Výpočet světlé šířky štěrbin	41
Rovnice 6: Výpočet průtoku RP	42
Rovnice 7: Výpočet přítokové rychlosti na vtoku do RP	42
Rovnice 8: Výpočet redukované energetické výšky na vtoku do RP	42
Rovnice 9: Výpočet kapacitního průtoku	42
Rovnice 10: Výpočet Froudova čísla	42
Rovnice 11: Výpočet disipovaného výkonu v jedné tůňce	43
Rovnice 12: Objem jedné tůňky	43
Rovnice 13: Výpočet měrného disipovaného výkonu v tůňce	43
Rovnice 14: Výpočet maximálního ohybového momentu	46
Rovnice 15: Výpočet potřebné plochy výztuže	48
Rovnice 16: Výpočet staticky účinné výšky průřezu	48
Rovnice 17: Prováděná plocha výztuže	49
Rovnice 18: Ověření protažení výztuže	49
Rovnice 19: Výška tlačené oblasti	49
Rovnice 20: Rovnice přepadu přes širokou korunu	52
Rovnice 21: Výpočet průtoku přes vzduchem plněný vak	54
Rovnice 22: Výpočet součinitele přepadu pro střední sekci	55
Rovnice 23: Výpočet součinitele přepadu pro krajní sekce	55
Rovnice 24: Laneho metoda řešení vztlaku	59
Rovnice 25: Výslednice zemního tlaku v klidu	60
Rovnice 26: Součinitel zemního tlaku v klidu	60
Rovnice 27: Stabilita konstrukce proti posunutí v základové spáře	60
Rovnice 28: Odpor proti posunutí v základové spáře	61
Rovnice 29: Stabilita proti překlopení	61
Rovnice 30: Stabilita proti zdvihu vztlakem vody	61

19. Seznam příloh

Příloha A – Průvodní zpráva

Příloha B – Souhrnná technická zpráva

Příloha C.1 – Situace širších vztahů

Příloha C.2 – Katastrálně situační výkres

Příloha D.1 – Situace

Příloha D.2 – Půdorys jezu

Příloha D.3 – Řez A-A', detail kotvení

Příloha D.4 – Řez B-B'

Příloha D.5 – Výkres technologie

Příloha D.6 – Rybí přechod

Příloha E – Hydrotechnické výpočty

Příloha F – Fotodokumentace současného stavu