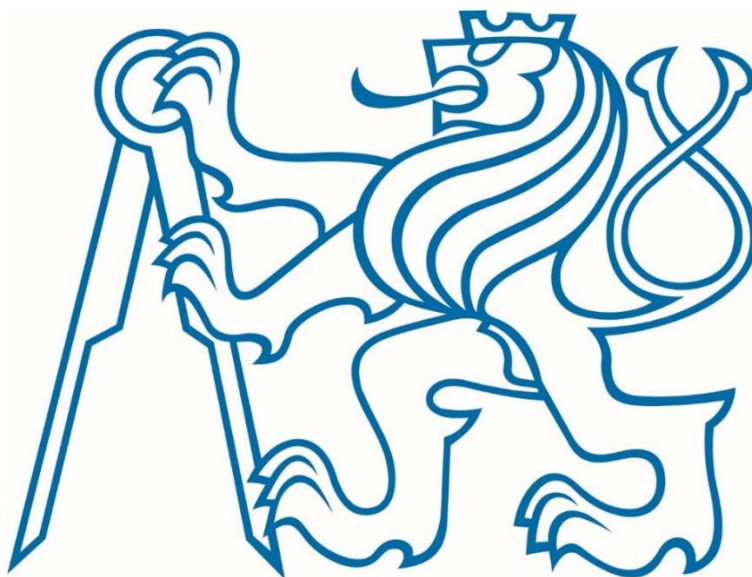


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra hydrotechniky



Diplomová práce

Modernizace plavební komory Miřejovice

Modernization of the Miřejovice lock

Autor: Bc. Vít Vavruška

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur

Praha 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracoval samostatně a citoval veškerou použitou literaturu v souladu s metodickým pokynem č. 1/2009 O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Místo, datum

Podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Dr. Ing. Pavlu Fošumpaurovi za všechny rady a odborné vedení mé diplomové práce. Dále mé díky patří Ing. Janu Kareisovi Ph.D. a podniku Povodí Vltavy za poskytnuté informace a podklady pro vypracování mé práce.

ABSTRAKT A KLÍČOVÁ SLOVA (česky)

Název práce: Modernizace plavební komory Miřejovice

Autor: Bc. Vít Vavruška

Obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

Druh práce: Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur

Katedra hydrotechniky, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze

Abstrakt:

Tato diplomová práce si klade za cíl vytvořit projekt na úrovni studie umožňující proplování vodní komory Miřejovice plavidly s parametry pro vodní cestu třídy Va. Tento nárok vznikl na základě dokumentu Koncepce vodní dopravy pro období 2016 – 2023. Dokument pojednává o rozvoji a zvýšení efektivity infrastruktury vodní dopravy. V současné době plavební komora Miřejovice splňuje parametry pro třídu IV, a je tedy nutná její rekonstrukce. V této práci jsou zhodnoceny dvě varianty možné modernizace. První varianta je nově vytvořená a pojednává o možném konstrukčním řešení modernizace samostatné komory tak, aby nedošlo k ovlivnění okolních objektů. Druhá varianta zhodnocuje a porovnává studii z roku 2013, která se zabývá daným problémem.

Klíčová slova: plavební komora, Miřejovice, vodní cesta, modernizace, Vltava

ABSTRAKT A KLÍČOVÁ SLOVA (anglicky)

Title: Modernization of the Miřejovice lock

Author: Bc. Vít Vavruška

Abstract:

This diploma thesis aims at creating a study-level project allowing the Miřejovice water lock to be used by vessels with parameters for the waterway class Va. This claim was created on the basis of the Water transport concept document for the period 2016 - 2023. The document deals with the development and improvement of the efficiency of the water transport infrastructure. At present the Miřejovice lock has the parameters for class IV and therefore it is necessary to reconstruct it. In this paper two options of possible modernization are evaluated. The first variant is newly created and discusses the possible structural design of the modernization of a standalone lock, so as not to interfere with the surrounding objects. The second variant evaluates and compares the 2013 study for that issue.

Key words: Miřejovice, water lock, Vltava, waterway, modernization

Obsah

1	Úvod a cíle práce.....	12
2	Teoretická část	13
2.1	Území.....	13
2.1.1	Vltava	14
2.1.2	Geodetické podklady.....	15
2.1.3	Hydrologické údaje	16
2.1.4	Geologie	17
2.2	Historie oblasti.....	17
2.2.1	Povodeň 1784.....	17
2.2.2	Historické hrazení jezu.....	18
2.2.3	Zámek Veltrusy	19
2.3	Plavební stupeň Měřežovice	19
2.3.1	Plavební komory	19
2.3.2	Plavební kanál	21
2.3.3	Jez.....	21
2.3.4	Manipulace na jezu.....	24
2.3.5	Malá vodní elektrárna.....	26
2.3.6	Sportovní propust, vorová propust	27
2.3.7	Rybí přechod	28
2.3.8	Jezový most.....	29
2.3.9	VD Vraňany	30
2.4	Koncepce vodní dopravy	31

2.5	Modernizace Miřejovic.....	31
2.6	Návrhové parametry	32
2.7	Vodní cesty	33
3	Varianta A – Úprava stávajících komor.....	36
3.1	Popis rekonstrukce.....	36
3.2	Proplavování lodí.....	36
3.3	Dlouhé obtoky	37
3.4	Výpočet sil na vzpěrná vrata	37
3.5	Vrata v horní vodě	39
3.5.1	Vzpěrná vrata	39
3.5.2	Čábelkova vrata.....	39
3.6	Vrata v dolní vodě a ve středním ohlavi.....	40
3.7	Rejdy.....	40
3.7.1	Dispozice	41
3.7.2	Svodidla.....	43
3.7.3	Příslušenství rejd	44
3.8	Výměna dna komory	44
3.9	Zed' plavební komory - konstrukční a statické řešení	45
3.9.1	Návrh zdi plavební komory.....	45
3.9.2	Kontaktní napětí v ZS	45
3.9.3	Stabilita tížné zdi proti převrácení kolem bodu	48
3.9.4	Smyk v základové spáře	48
3.9.5	Pootočení dříku	48
3.10	Plavební kanál.....	48
3.11	Vývar	49

3.12	Velín	49
3.13	Výstroj plavební komory	49
3.13.1	Elektro vybavení	49
3.13.2	Značení staničení	50
3.14	Hydraulické řešení plavební komory	50
3.14.1	Doba plnění	50
3.14.2	Průběh plnění a prázdnění	53
3.14.3	Síly působící na plavidlo	58
3.14.4	Potřeba vody na proplavení	61
3.14.5	Dopravní výkonnost	62
3.15	Shrnutí varianty A	64
3.16	Závěr pro variantu A	64
4	Varianta B – Výstavba nových komor a jezu	65
4.1	Plavební komory	65
4.1.1	Návrhové parametry	65
4.1.2	Stavební řešení	66
4.1.3	Horní ohlaví	66
4.1.4	Stěny a dno komory	66
4.1.5	Dolní ohlaví	66
4.2	Pohyblivý jez	66
4.2.1	Vorová propust	68
4.2.2	Vývar	68
4.2.3	Odpadní koryto	68
4.2.4	Jezová chodba + vstup do chodby	69
4.2.5	Velín	69

4.3	Rybí přechod.....	69
4.4	Hydraulické výpočty.....	70
4.4.1	Doba plnění	70
4.4.2	Průběh plnění a prázdnění	72
4.4.3	Síly působící na plavidlo	75
4.4.4	Potřeba vody na proplavení.....	78
4.4.5	Dopravní výkonnost	78
4.4.6	Rybí přechod	80
4.5	Závěr pro variantu B.....	85
5	Závěr	86
6	Přílohy.....	91

Seznam použitých symbolů a zkratk

AGN	European agreement on main inland waterways
AOPK	Agentury ochrany přírody a krajiny ČR
ČR	Česká republika
MVE	Malá vodní elektrárna
PK	Plavební komora
RP	Rybí přechod
VD	Vodní dílo

1 Úvod a cíle práce

V zájmu každého státu by mělo být zlepšovat svoji infrastrukturu ve všech směrech. To má za následek zlepšení jeho ekonomické situace a možnosti dalšího rozvoje. Věděli to už i staří Římané, kteří byli průkopníky výstavby silnic, jež usnadnily pohyb po jejich říši. Oni se nesoustředili pouze na dopravu pozemní, ale neopomínali ani možnosti plavby. Není to náhoda, že přístavní města byla ta nejbohatší a nejpokrokovější. Některá města to dotáhla až k nezávislosti a soběstačnosti, jako například Rhodos a později pak Benátky a Janov, utvořila si vlastní státní zřízení. Obchodní cesty proudící skrze tato města umožňovala import všech exotických komodit známých v tehdejších světe a export lokálních výrobků či surovin. Plavební doprava v té době byla ta nejrychlejší a nejlevnější. V dnešní době již nejrychlejší není, ale nesporně je stále ta nejlevnější a nejekologičtější. Byla by to tedy promarněná šance nevyužít na maximum potenciálu velkých řek, které máme na našem území.

Znatelný rozvoj vodních cest začal vznikat hned po druhé světové válce. V dnešní době tedy vznikají koncepce, které si dávají za úkol vytvořit silnou plavební infrastrukturu, jež umožní lodím plout co nejhluběji do vnitrozemí. Snahou je mít moderní vodní cesty a splavnit úseky, které v dnešní době buďto nejsou splavné vůbec, anebo jen část roku.

Tato práce si klade za cíl vytvořit dokument na úrovni studie zhodnocující možnosti modernizace plavebního stupně Miřejovice tak, aby splňoval všechny požadavky pro plavební třídu vodní cesty Va kladené Koncepcí vodní dopravy pro období 2016 – 2023. V současné době jsou parametry plavební komory Miřejovice vyhovující pro třídu IV plavební dráhy.

Celá práce je koncipována do tří částí, kde první část je zaměřena na seznámení s problematikou související s plavební komorou Miřejovice. Druhá a třetí část je věnována praktickému řešení zadaného problému, kdy každá část je jedna vhodná varianta obsahující návrh a zhodnocení kladů a záporů.

2 Teoretická část

Teoretická část je rozdělena do několika podkapitol, ve kterých se čtenář seznámí podrobně se všemi aspekty vodního díla Miřejovice. V podkapitolách je popsána oblast, v níž se dané dílo nachází, a krátké zasazení do historického kontextu.

V současné době se vodní dílo skládá z několika navzájem se ovlivňujících objektů. Každému objektu je věnován prostor, ve kterém jsou popsány jeho parametry a jeho účel. Odstavce jednotlivých objektů jsou pro názornost opatřeny leteckými snímky popisovaných objektů.

2.1 Území

Plavební komora se nachází na řece Vltavě mezi obcemi Nelahozeves a Veltrusy, asi 20 kilometrů severně od Prahy. Tyto obce spadají pod okres Mělník.

Nelahozeves je obcí s 1 900 obyvateli, ležící na levém břehu Vltavy. Pod obec spadají ještě sousední vsi Podhořany, Hled'sebi a Lešany, dříve byly součástí obce i Strachov a Lobeček, ležící na protějším břehu. Je zde rodiště hudebního skladatele Antonína Dvořáka. Vývoj obce je spojen s rodem Lobkowitzů, kteří zde vybudovali zámek. Obydlení této oblasti se datuje od mladší doby kamenné.

Veltrusy leží na pravém břehu Vltavy. Žije zde přibližně 2 100 obyvatel. Nejvýznamnější památkou je zde barokní zámek Veltrusy, který do roku 1945 patřil rodu Chodků. Okolí zámku je vyhlášeno za přírodní památku.



Obrázek 1 Mapa okolních obcí plavební komory Miřejovice

2.1.1 Vltava

Vltava je nejdelší řekou na českém území. Vltava je u svého počátku na Šumavě dotována ze dvou větších toků. Prvním je Teplá Vltava pramenící na Černé Hoře ve výšce 1 172 m n. m. A druhým tokem je bavorská řeka Altwasser pod českým názvem Studená Vltava. Studená Vltava a Teplá Vltava se spojují u obce Chlum ve výšce 721 m n. m. do jednoho toku. Od toho místa teče řeka až ke svému soutoku s Labem, který je ve výšce 156 m n. m. a po své trase se stýká s mnoha významnými českými řekami, jako jsou Malše, Lužnice, Otava, Sázava a Berounka. [1]

Vltavská vodní cesta byla dle mezinárodních dohod AGN zařazena mezi významné evropské vnitrozemské vodní cesty s mezinárodním označením E 20. Pro tuto vodní cestu byla stanovena třída Va nebo Vb jednotné klasifikace vnitrozemských vodních cest. V návaznosti na vyhlášku

č.222/1995 Sb. o vodních cestách se předpokládá postupná modernizace vltavské vodní cesty tak, aby odpovídala svými parametry požadavkům kladeným na tuto významnou vodní cestu. Třída Va umožňuje proplavování souprav délky 110 m, zatímco třída Vb umožňuje proplavování souprav až 185 m. Šířka souprav i jejich ponor zůstávají pro obě třídy stejné. Třída Va vyhovuje i pro dopravu kontejnerů, pokud bude dodržena minimální podjezdni výška 7.0 m. V případě, že by se do budoucnosti předpokládala intenzivní přeprava kontejnerů, pak by bylo třeba upravit plavební komory na třídu Vb. [2]

Mířejovické plavební komoře předchází výše po toku zdymadlo Dolany a níže po toku na něj navazuje zdymadlo Hořín, to je těsně před soutokem s Labem u Mělníku.



Obrázek 2 Pohled na plavební stupeň Mířejovice

2.1.2 Geodetické podklady

Následující mapové podklady (všechny nejsou hmotnou součástí této práce) byly použity pro vytvoření návrhu na Modernizaci plavební komory:

Základní vodohospodářská mapa 1 : 50 000, list 12-21 Kralupy nad Vltavou.

Základní vodohospodářská mapa 1 : 50 000, list 12-22 Mělník.

Základní mapa ČR měř. 1 : 10 000.

Plavební mapa Vltavy v úseku Slapy – Mělník.

Snímek ortomapy obcí Veltrusy, Nelahozeves.

Snímek katastrální mapy nemovitostí.

2.1.3 Hydrologické údaje

Průtoky v daném profilu jsou ovlivněny hospodařením s vodou Vltavskou kaskádou. Největší vliv na minimální průtoky je způsoben nastavením minimálního odtoku z vodního díla Vrané, který je $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

M [denní]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
$Q_{\text{md}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	337	234	182	148	123	104	88	74,3	62,3	51	39,8	28,2	20,4

Tabulka 1 M-denní průtoky na Vltavě

N [leté]	1	2	5	10	20	50	100
$Q_n [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	786	1119	1627	2055	2518	3180	3727

Tabulka 2 N-leté průtoky na Vltavě

Hydrologické údaje jsou převzaty od ČHMU z listopadu roku 1994 a jsou třídy III.

Data se odchylojí od skutečnosti v průtocích $Q_{330} - Q_{364}$, jelikož minimální průtok, který může v místě toku nastat, je $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Jak je již zmíněno výše, tento průtok je ovlivněn minimálním odtokem z vodního díla Vrané.

2.1.4 Geologie

Oblast je tvořena masivy druhohorního křídového útvaru (cenoman, turon). Od středověku zde probíhala těžba kvalitních pískovců a opuky. Lokálně se zde vyskytuje i starší prvohorní permokarbon a bylo zde těženo kamenné uhlí. [3]

V oblasti pod jezem se nalézá skalní útvar na rozmezí kót 155,10 – 153,95 m n.m. Jedná se o skalní masiv tvořený pískovcem. Svrchní vrstva zeminy je pak tvořena stěrkopísky a písky. [2]

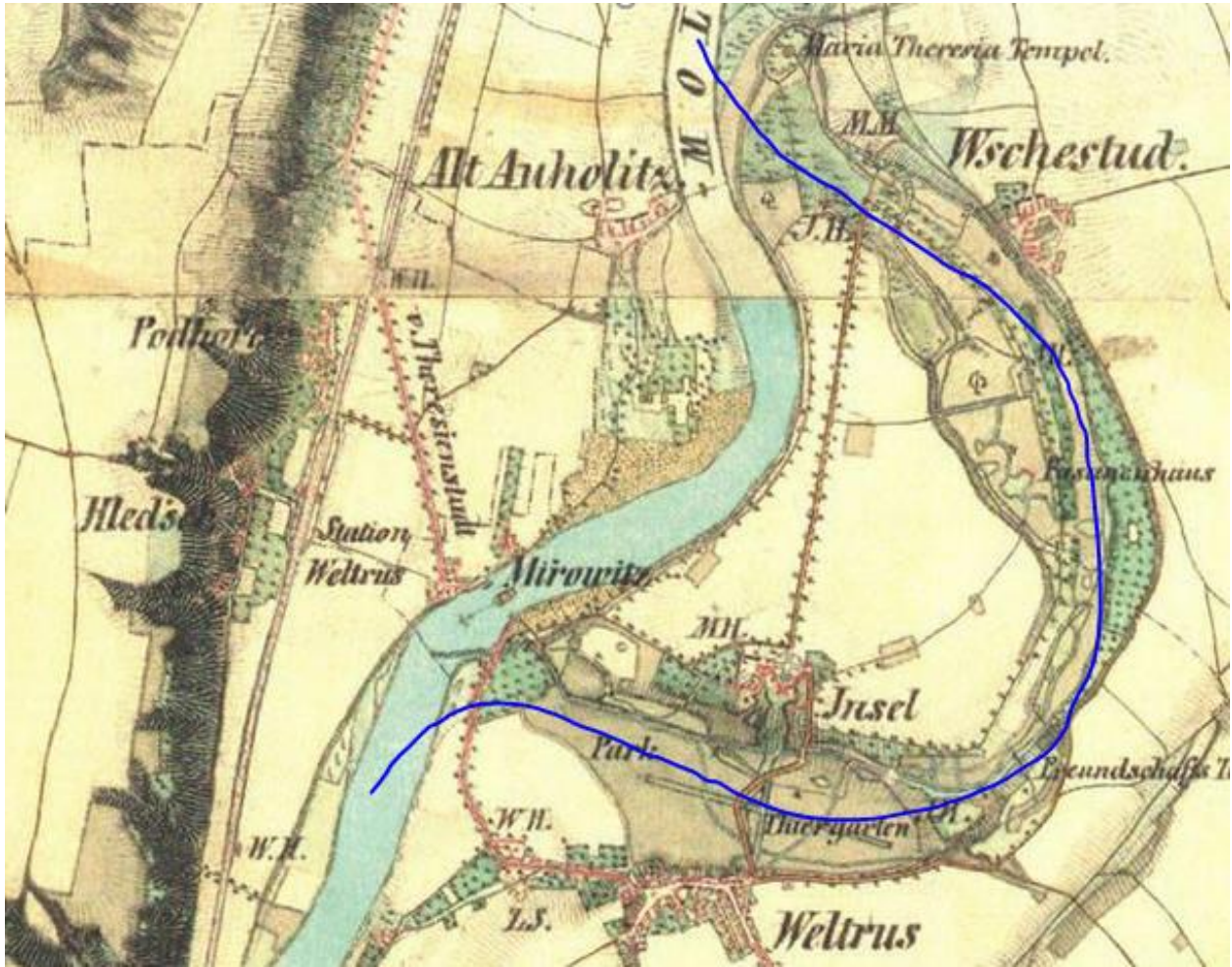
2.2 Historie oblasti

Historie dané oblasti se datuje až mladší době kamenné, kdy v okolí Vltavy vznikaly první osady. Už v té době zde byla využívána vodní doprava, která byla nejrychlejší možností přepravy i větších nákladů. Zprvu se jednalo pouze o dřevěné loďky z vykotlaného kmenu, nebo vory tvořené několika svázanými kmeny k sobě.

Historii jednotlivých staveb souvisejících s plavebním stupněm Miřejovice bude věnován prostor v kapitole „Plavební stupeň Miřejovice“.

2.2.1 Povodeň 1784

V 18. století postihla českou zem ničivá povodeň. Ta měla za následek kromě velikých škod na majetku i to, že ve zmiňované lokalitě došlo ke změně hlavní trasy koryta Vltavy. Původní tvar je naznačen modrou čarou na obrázku č. 3. Při této povodni si voda našla nové koryto na západní straně od zámku a v původní trase zbylo jen méně dotované boční rameno. Takto vznikl název dané oblasti Insel, tedy česky ostrov. V okolí původního toku je dnes park patřící k zámku Veltrusy. Povodeň s sebou vzala i původní dřevěný most.



Obrázek 3 Historická mapa Veltrus z 19.století

2.2.2 Historické hrazení jezu

Než byl jez vybudován do současné podoby, tak k hrazení sloužil jezový most vystavěný podle prof. Záhorského na počátku 20. století. K hrazení sloužily desky, které se spouštěly pomocí obslužného stroje na kolejích ze spodní plochy mostu. Most je vystavěn v secesním stylu a ocelové příhradové konstrukce jsou spojované pomocí nýtů.

2.2.3 Zámek Veltrusy

Původní tok Vltavy obtékal zámek z druhé strany než dnes (viz kapitola „Povodeň 1784“), v dnešní době zde zbylo pouze menší rameno Vltavy. Zámek ve Veltrusech a přilehlé pozemky patřily rodu Chotků, který byl nedílnou součástí české šlechty. Panství Veltrusy se dostalo do držení rodu Chotků sňatkem Marie Terezie ze Scheidlerů s Václavem Antonínem Chotkem. Tento rod se významně podílel na vývoji hospodářství v oblasti. [4]

2.3 Plavební stupeň Měříjovice

Tato kapitola je zaměřena na popis jednotlivých konstrukcí, který náleží k plavebnímu stupni Měříjovice. Spád, kvůli kterému je zde vybudována plavební komora, je zapříčiněn jezem o pěti polích. Tohoto spádu je využito i k vybudování malé vodní elektrárny a sportovní propusti.

Účel vodního díla:

- Zajištění splavnosti toku pro vodní dopravu.
- Využití hydroenergetického potenciálu jezu v průběžné malé vodní elektrárně.
- Stabilizace minimální hladiny a spádových poměrů říční tratě.
- Zajištění povolených a nasmlouvaných odběrů.

2.3.1 Plavební komory

K překonání jezu v Měříjovicích slouží dvě plavební komory, které jsou hlavním předmětem zájmu této práce. Na horní rejdě navazuje komora menší a za ni je hned připojena komora větší, která pokračuje do dolní rejdy.

Komora byla vybudována na počátku 20. století společně s komorami Dolánky a Roztoky. Tyto tři na sebe navazující plavební komory byly vybudovány, aby umožnily protažení plavby až do Prahy. Dispozičně se jedná o téměř totožné komory. Navrženy byly jako vlakové se šíří ohlaví 11 m a rozšířením druhé části komory na 22 m. Stěny mezi ohlavími byly původně šikmé, ale po rekonstrukci v 80. letech minulého století byly zdi nahrazeny štětovicovými stěnami.

Problém u těchto tří plavebních komor je v současné době šíře ohlaví 11 m. Tento rozměr je nevyhovující pro plavební třídu Va. Dále je třeba vyřešit vertikální omezení v podobě ocelového mostu přecházejícího přes plavební komoru v Měřejovicích.

Komory se nacházejí na osmnáctém říčním kilometru Vltavy. Celé plavební zařízení je v současné době tvořeno dvěma komorami a navazujícími kanály. S komorami stejně jako s jezem lze manipulovat z velínu.

Provoz na plavebních komorách je umožněn ve dnech od 1. května do 30. září v čase 7:00 – 17:00 a od 1. října do 30. dubna v čase 7:00 – 15:00. Je zde ale i možnost zažádat o proplavení plavební komorou v době mimo tuto vymezenou dobu, a pokud tomu nebrání žádné nepříznivé podmínky, může být žádosti vyhověno. [5]

Parametry obou komor

	Malá PK	Velká PK
Vjezdová šířka	11,00 m	11,00 m
Užitečná délka	68,80 m	133,42 m
Užitečná šířka	11,00 m	20,00 m
Světlá výška	8,00 m	8,00 m
Šířka ohlaví	11,00 m	11,00 m
Úroveň dna v ose	160,40 m n.m.	161,30 m n.m.
Úroveň horního záporníku	165,20 m n.m.	161,30 m n.m.
Úroveň dolního záporníku	161,30 m n.m.	161,30 m n.m.
Hloubka vody nad záporníkem	2,50 m	2,50 m
Kóta koruny plavebních komor	169,30 m n.m.	161,30 m n.m.
Kóta horní hrany vrat	168,10 m n.m.	168,10 m n.m.



Obrázek 4 Plavební komory

2.3.2 Plavební kanál

V horní části před komorami je vybudován plavební kanál o délce 155 metrů a šířce ve dně 20 metrů. Po obou stranách kanálu jsou umístěna svodidla. Břehy kanálu jsou zpevněny lomovým kamenem ve sklonu 1 : 1,5.

V dolní části je plavební kanál dlouhý 370 metrů a šířku ve dně má 85 metrů. Do dolního plavebního kanálu je zaústěn výtok z elektrárny. Mimo svodidel jsou zde umístěny i dvě vyvazovací dalby. [5]

2.3.3 Jez

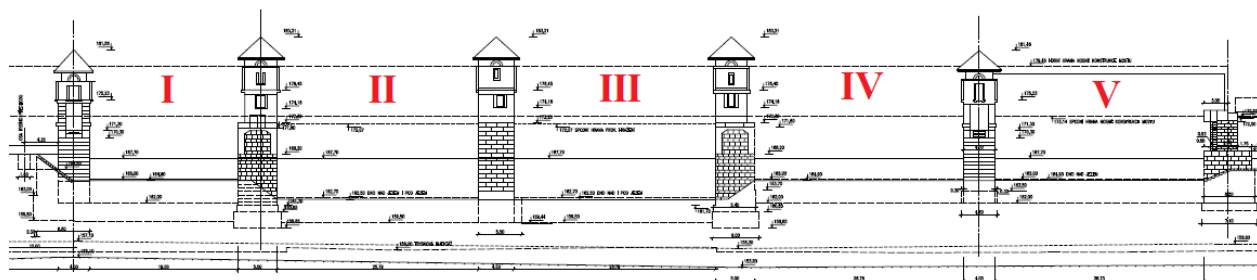
Jez udržuje hladinu na 167,70 m n. m. Tento údaj je důležitý pro pozdější návrh rekonstrukce plavební komory, jelikož se jedná o úroveň, na které je udržována horní voda.

Charakteristiky jezové zdrže

Umístění jezového tělesa	ř.km. Vltavy 17,980
Přítok do zdrže	Zákolanský potok ř.km. Vltavy 22,100
Normální vzdutá hladina jezem „0“	167,70 m n.m.
Povolená tolerance kolísání hladiny	-10, +25 cm
Délka vzdutí	9,240 km
Zatopená plocha	106 ha

Objem jezové zdrže 3,07 mil m³

Spád jezu 3,9 m



Obrázek 5 Pohled na jezová pole s vyznačeným číslováním

Parametry jezu:

I. jezové pole malý válec světlost: 19,000 m

II. jezové pole levá tabule „Stoney“ + klapka světlost: 25,785 m

III. jezové pole pravá tabule „Stoney“ + klapka světlost: 25,785 m

IV. jezové pole střední válec světlost: 26,760 m

V. jezové pole pravý válec světlost: 26,725 m

Horní hrana vztyčených klapek 168,00 m n.m.

Horní hrana válcových uzávěrů 168,00 m n.m.

Dosedací práh spodní stavby válcových jezových uzávěrů 165,00 m n.m.

Dosedací práh spodní stavby „Stoney“ tabulí 162,70 m n.m.

Hrazená výška při hladině na kótě 168,10 m n.m.

- válcových jezových uzávěrů 2,70 m

- „Stoney“ tabulí s klapkou 5,00 m

- z toho klapka 1,35 m

-	z toho tabule	3,65 m
Hydrostatický (max) spád hladin		3,90 m
Kóta spodní hrany zavěšeného provizorního hrazení		172,07 m n.m.
Kóta spodní hrany nosné konstrukce silničního mostu		173,07 m n.m.
Kóta lávky vorové propusti		168,60 m n.m.
Kóta prahu vorové propusti		166,50 m n.m.
Hradící výška segmentu		1,20 m

Jez má dohromady 5 polí. Druhé a třetí pole jsou hlubší a jsou hrazena Stony. Jedná se o konstrukci tvořenou klapkou nasazenou na tabuli. Zbylá pole jsou hrazena ocelovými válci uloženými na šikmé ozubnici, válce jsou zvedány pomocí Gallova řetězu.

Ve vývaru prvního a nejmenšího jezového pole byla provedena rekonstrukce a byl zde osazen rybí přechod umožňující migraci ryb z dolní vody do horní.

V budoucnu je plánována rekonstrukce jezu a výměna hradících desek s klapkami za pohyblivé klapky s větší hradící výškou. Hlavním impulzem k rekonstrukci je degradace ocelové konstrukce zapříčiněna vystavením se konstrukce vodou přetékající přes klapky.

Unikátní technickou památkou jsou hradící prvky na druhém a třetím poli. Jedná se o konstrukci hradícího prvku vytvořeného podle prof. Záhorského na počátku minulého století. Dnes toto hradící zařízení již neslouží jako primární způsob zahrazení, ale pouze jako pomocné hrazení v případě potřeby. Těsnění mezi jednotlivými tabulemi Záhorského jezu je prováděno pouze dřevěnými kulatinami, to má za následek velké netěsnosti. V době, kdy se jednalo o hlavní hradící prvky daného jezu, tato skutečnost nebyla na škodu a zajišťovala v dolním toku průtok. Jednotlivé tabule Záhorského jezu jsou umístěny na spodní konstrukci historického ocelového mostu. Ovládací zařízení, které spouští jednotlivé tabule, se pohybuje po kolejnici umístěné na mostovce.



Obrázek 6 Jez

2.3.4 Manipulace na jezu

Manipulace na vodním díle se provádějí dle přítoku s cílem dodržet hladinu na předepsané kótě 167,70 m n.m. s povolenou tolerancí +25cm,-10 cm.

Za běžných stavů je všechno průtok převáděn skrze malou vodní elektrárnu. Ve chvíli, kdy už nestačí hltnost turbín ($5 \times 30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, podrobněji viz následující kapitola „malá vodní elektrárna“), je zbytkový průtok převáděn přes jezové pole následujícím způsobem:

Průtok do $160 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Střídavě se sklápí obě klapky tak, aby rozdíl průtoků mezi jednotlivými klapkami nebyl větší než $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. První se začíná sklápět pravá klapka .

Průtok od $160 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do $(370 - Q \text{ MVE}) \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a dolní hladina na kótě 165,40 m n.m.

Při zcela sklopených klapkách se začínají střídavě zdvihát válce po 10 cm, a to v pořadí:

1. velký střední válec

2. velký pravý válec

3. malý válec

Při nestejném zdvižení je nejvýše velký střední válec, nejniže je malý válec.

Při průtoku $(370 - Q \text{ MVE}) \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Klapky se vztyčí a průtok se převede na tabule. Tabule se zvedají postupně o 60 cm, nejdříve pravá tabule, potom levá tabule. Válce jsou zdviženy jako doposud.

Při průtoku od $(370 - Q \text{ MVE}) \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do $920 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a dolní hladině na kótě 165,40 m n.m.

Klapky jsou vztyčeny, střídavě se zdvíhají válce po 10 cm a tabule po 20 cm v pořadí:

1. velký střední válec

2. velký pravý válec

3. malý válec

4. pravá tabule

5. levá tabule

Stoupne-li hladina spodní vody na kótu 166,70 m n.m., odstavuje se z provozu MVE.

Průtok nad $920 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Klapky jsou vztyčeny, válce i tabule jsou zdviženy do horní polohy. Nastává neovladatelný stav, jez je zcela vyhrazen. [5]

2.3.5 Malá vodní elektrárna

Malá vodní elektrárna se může pyšnit pěti instalovanými soustrojími s Francisovými turbínami o celkovém výkonu 3,5 MW. Při daném celkovém výkonu spadá MVE do kategorie Ia, kam patří MVE s celkovým výkonem nad 1 MW.

Základní parametry soustrojí

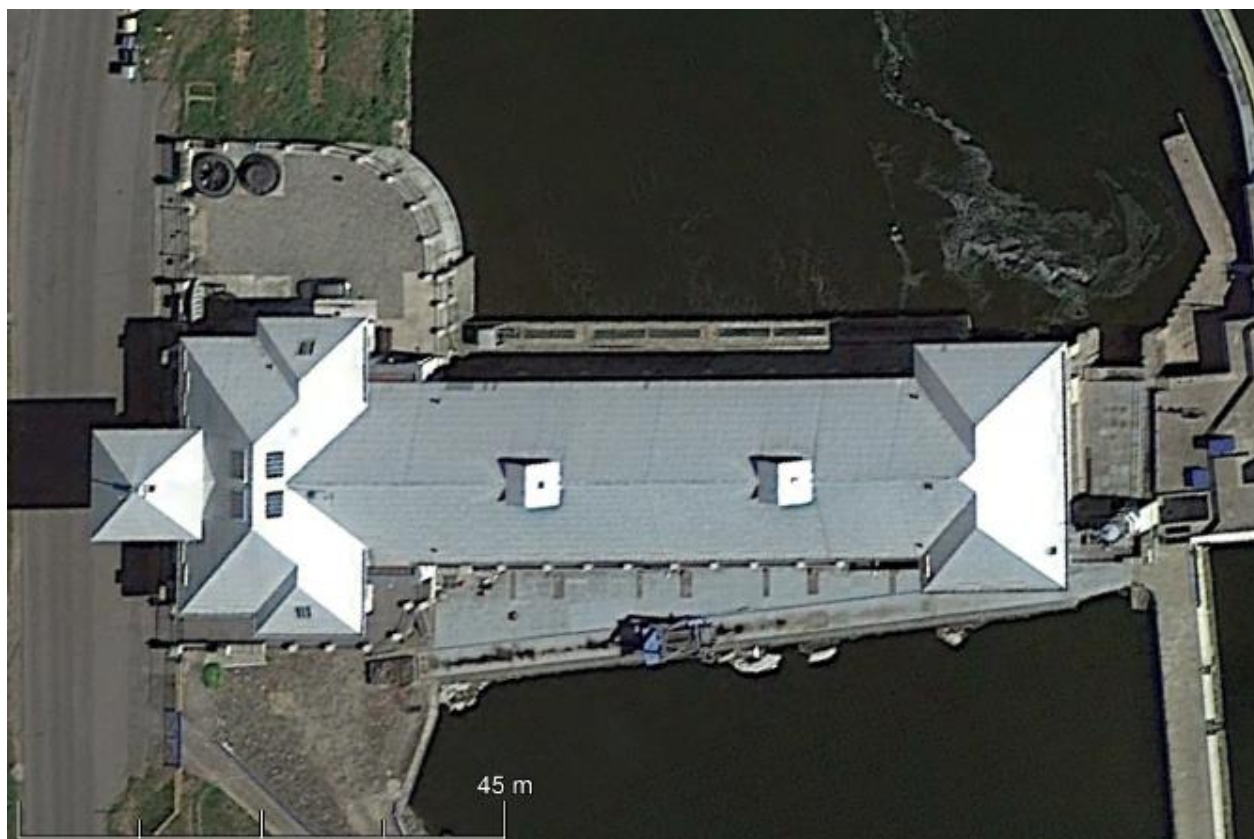
- maximální hltnost 1 turbíny	30 m ³ . s ⁻¹
- minimální hltnost 1 turbíny	7,5 m ³ . s ⁻¹
- čistý spád	3,9 m
- maximální spád	4,0 m
- minimální spád	1,5 - 1,7 m
- jmenovitý výkon	714 kW
- celkový instalovaný výkon	3 500 kW
-průměrná roční výroba elektrické energie	13 - 18 GWh

Odběr pro MVE Miřejovice v maximálním množství hltnosti soustrojí 5 x 30 m³ . s⁻¹ , max.389 mil m³.měsíc⁻¹ , , 4 666 mil m³ .rok⁻¹. Odběr není poplatný, je dán rozhodnutím o povolení nakládání s vodami podle § 8 zákona č. 138/1973 Sb., vydaného Stč. KNV dne 9.8.1989 pod čj. VLHZ 1478 /89 - 234. [5]

Jalová propust MVE

Jalová propust je umístěna mezi objektem MVE a velkou plavební komorou.

Ocelová stavidla v jalové propusti jsou na elektrický i ruční pohon .



Obrázek 7 Malá vodní elektrárna

2.3.6 Sportovní propust, vorová propust

Vorová propust historicky sloužila k proplavování vorů v místě jezu. Nebylo tak nutné přenášet vory po souši. Propust byla hrazena segmentovým uzávěrem. V dnešní době je propust upravena tak, aby sloužila pro účely sportovní plavby. Původní segmentový uzávěr zůstal zachován.

Parametry propusti:

Kóta koruny manipulační lávky	168,62 m n.m.
Délka vorové propusti k dolnímu prahu	316,15 m
Celková délka vorové propusti	550 m
Kóta horního prahu	166,50 m n.m.
Kóta na konci posledního stupně	163,52 m n.m.

Průměrný spád vorové propusti

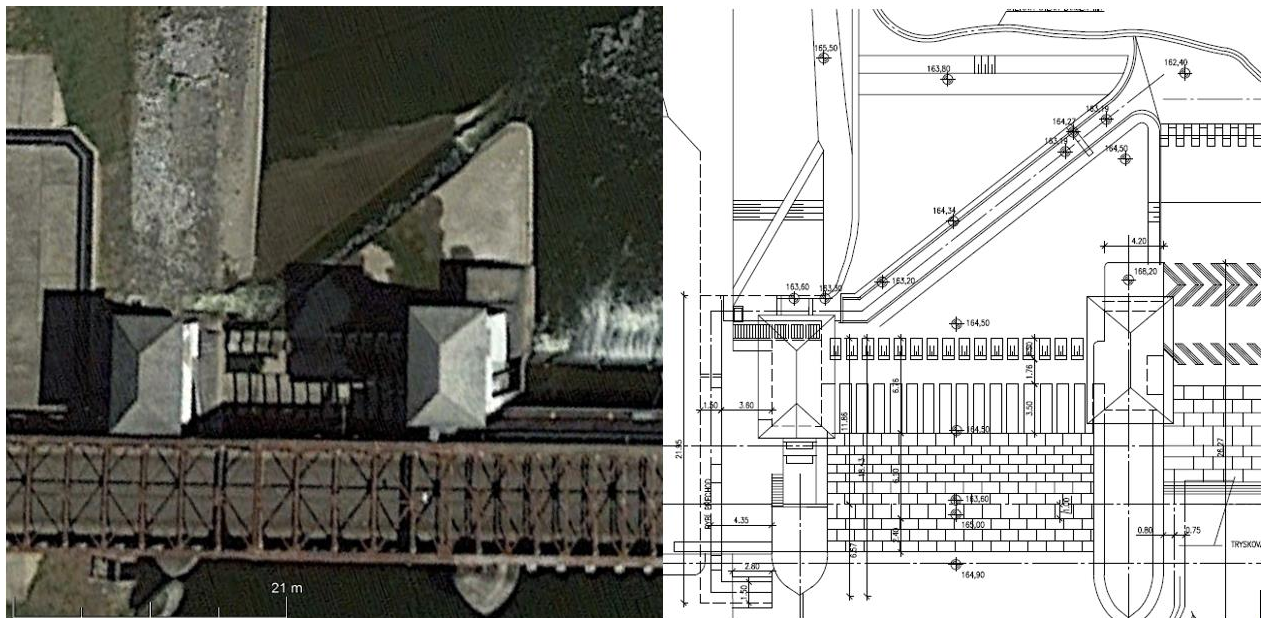
9,04 %



Obrázek 8 Sportovní propust

2.3.7 Rybí přechod

K překonání migrační překážky proti proudu pomáhá rybí přechod. Rybí přechod je vybudovaný kolem levého břehového pilíře válcového jezu. Jedná se o typ komůrkového rybího přechodu. Jednotlivé zdrže v přechodu jsou tvořeny betonovými deskami s otvory. Šířka přechodu je 1,5 m a maximální výška stupně 30 cm. V dolní vodě je zaústěn do toku pomocí žlabu. Celý přechod je možné zahradit dřevěnými deskami.



Obrázek 9 Rybí přechod

2.3.8 Jezový most

Most o délce 288 metů se klene přes náhon MVE, plavební komoru, rybí přechod a všechna jezová pole. Nosnou konstrukci mostu tvoří ocelová příhradová konstrukce spojovaná nýty. V místě II. a III. jezového pole je na spodní části mostu nainstalováno hradící zařízení. Celková šířka mostu s nosnou konstrukcí je 8,4 m.

Stávající ocelový most nahradil most dřevěný, který byl smeten při povodni v roce 1784. Za nízkých stavů vody je možné ještě dnes zbytky mostu vidět.

Současný jezový most byl vystavěn podle návrhu profesora Záhorského v letech 1900 – 1904. Dnes už původní hradící konstrukce neslouží k běžnému provozu. Při jejím vyhrazení dochází k nekontrolovanému a nechtěnému nadměrnému průniku vody skrze těsnění. Jako těsnění mezi jednotlivými deskami původního hrazení se využívá dřevěných kulatin. Prosakování v době po výstavbě nebylo nechtěné a bylo díky němu tak možné udržovat stálý zbytkový průtok.

Most v dnešní době je na pokraji své životnosti a potřeboval by nutnou rekonstrukci, ta ovšem může být náročná a zdoluhavá, jelikož se jedná o historicky významnou technickou památku.

V současné době není znám majitel ocelového mostu, tak bude nejpravděpodobněji zařazen do řízení o nalezené věci.

Jeden z pilířů se nachází v těsné blízkosti plavební komory a je nutné brát ho na zřetel při navrhování úpravy plavební komory. Návrh na modernizaci plavební komory je omezen i geodetickou výškou spodní hrany mostu. Spodní hrana mostu značně omezuje podjezdnou výšku a je tedy nutné, aby plavidlo s parametry třídy Va podplouvalo most v celé délce, pouze když je hladina na úrovni dolní vody.



Obrázek 10 Ocelový most

2.3.9 VD Vraňany

VD Vraňany přímo ovlivňuje návrhové parametry plavební komory v Měřejovicích. Manipulaci jezovým tělesem je ovlivněna hodnota dolní vody v Měřejovicích.

Jezové těleso je umístěné na 11,550 říčním kilometru. Konstrukci jezu tvoří tři pohyblivé duté klapky umístěné ve třech jezových polích. Součástí vodního díla je i MVE, rybí přechod a plavební kanál se dvěma plavebními komorami a jednou MVE.

V současné době je hladina udržována na kótě 163,9 m n. m. s možným kolísáním + 0,1 m a - 0,3 m. [6]

Při návrhu rekonstrukce plavební komory ve variantách A a B je počítáno s nutnou investicí do vodního díla Vraňany, po jehož rekonstrukci bude voda nadržena na kótě 164,5 m n. m. Tato úroveň slouží jako návrhový parametr pro úroveň dolní vody po rekonstrukci plavební komory Měřejovice. Na vodním díle bude třeba demontovat pohyblivé klapky a nahradit je klapkami s vyšší hradící výškou. Tato úprava sebou nese nutnost související s rekonstrukcí jezových pilířů ohraničujících klapky. Zmíněná úprava není součástí této práce a je nutno na ni vypracovat samostatný projekt.



Obrázek 11 VD Vraňany

2.4 Koncepce vodní dopravy

Vodní doprava je neekologičtější variantou přepravy jakéhokoliv nákladu. I přes to, na rozdíl od ostatních způsobů dopravy, do nedávna neexistovala v České republice jednotná koncepce jejího vývoje stanovící vize do blízké budoucnosti a cíle, ke kterým se svým rozvojem bude přibližovat. V roce 2016 vznikl dokument sjednocující ideje o tom, jakým směrem by se měla vodní doprava v České republice ubírat do konce roku 2023.

2.5 Modernizace Miřejovic

Jak již bylo řečeno, návrh rekonstrukce vychází z dokumentu Koncepce vodní dopravy pro roky 2016 – 2023. Tato koncepce počítá s modernizací vnitrozemní říční cesty na území České republiky v místech, kde by rozšíření plavební dráhy mohlo přinést ekonomický růst státu a zároveň na daných místech je prostor pro vybudování nových objektů, nebo modernizaci těch stávajících. [7]

V současném stavu je Vltava splavněna na úroveň I. třídy v úseku České Budějovice – Třebenice (Slapská přehrada) a v úseku Třebenice – Labe na úrovni IV. třídy. Ve střednědobém horizontu je plánováno s rozšířením na Va třídu, tomu však v současné době brání půdorysné rozměry v plavebních komorách (především šíře plavebních komor) Miřejovice, Dolánky, Roztoky, Praha – Štvanice a Praha – Smíchov. Po odstranění těchto úzkých míst na labsko-vltavské vodní cestě by mohlo dojít k nárůstu vytiženosti vodní cesty a umožnění využití plavidly se šířkou nad 10,5 m (až do 11,4 m). Také dojde k propojení velkých českých aglomerací jako jsou Pardubice, Praha, Ústí nad Labem a Děčín. [7]

S růstem intenzity plavby na Vltavě také souvisí vzrůstající nedostatečnost kapacit pro ochranná stání na vltavské vodní cestě. Tento problém přímo omezuje bezpečné proplavování plavebními komorami. Jedná se přímo i o Miřejovice, které jsou nejbližší od nejbližšího ochranného přístavu na dolní Vltavě. [7]

2.6 Návrhové parametry

Jako jedním z hlavních parametrů pro návrh plavební komory je rozdíl hladin, který plavební komora překonává. Kóta hladiny v horní vodě je ovlivněna manipulací na jezu Měřejovice nacházející se na 18,000 říčním kilometru. Za běžného stavu se manipuluje pouze s klapkami nasazenými na deskových tabulích. V současné době je hladina udržována na úrovni 167,7 m n. m. s možným vychýlením hladiny na + 0,25 m a – 0,1 m. Poloha dolní vody závisí na manipulaci na VD Vraňany nacházejícím se na 11,550 říčním kilometru. Voda ve zdrži je regulována dutými klapkami. a hladina je nyní udržována na kótě 163,9 m n. m. s odchylkou kolísání hladiny + 0,1 m a – 0,3 m. Výhledově se ovšem uvažuje s koncepcí zlepšení plavebních podmínek a zvýšení běžné hladiny na kótu 164,5 m n. m. Zvýšení hladiny bude způsobeno rekonstrukcí současného vodního díla. Z tohoto důvodu je jako hodnota návrhového parametru brána hodnota vyšší, než je současný stav. [6] [5]

Typ vnitrozemských vodních cest	Třídy splavných vodních cest	Motorová plavidla a nákladní říční čluny					Těžné sestavy					Minimální výška pod mosty H(m)	
		Typ plavidla: obecná charakteristika					Typ sestavy: obecná charakteristika						
		Označení	Maximální délka L(m)	Maximální šířka B(m)	Ponor D(m)	Nosnost T(t)		Délka L(m)	Šířka B(m)	Ponor D(m)	Nosnost T(t)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Regionální významu Na úpatí od Labe	I	Nákladní říční člun	38,5	5,05	1,80–2,20	250–400							4,0
		II	Kempenaar	50–55	6,6	2,50	400–650						4,0–5,0
		III	Gustav Koenigs	67–80	8,2	2,50	650–1 000						4,0–5,0
	II	Gross linow	41	4,7	1,40	180							3,0
		II	BM–500	57	7,5–9,0	1,60	500–630						3,0
		III		67–70	8,2–9,0	1,60–2,00	470–700		118–132	8,2–9,0	1,60–2,00	1 000–1 200	4,0
Mezinárodní významu	IV	Johann Welker	80–85	9,5	2,50	1 000–1 500		85	9,5	2,50–2,80	1 250–1 450	5,25 nebo 7,00	
		Va	Velké rýnské lodě	95–110	11,4	2,50–2,80	1 500–3 000		95–110	11,4	2,50–4,50	1 600–3 000	5,25 nebo 7,00 nebo 9,10
		Vb							172–185	11,4	2,50–4,50	3 200–6 000	
		Vla							95–110	22,8	2,50–4,50	3 200–6 000	7,00 nebo 9,10
		Vlb		140	15,0	3,90			185–195	22,8	2,50–4,50	6 400–12 000	7,00 nebo 9,10
		Vlc							270–280 195–200	22,8 33,0–34,2	2,50–4,0 2,50–4,50	9 600–18 000 9 600–18 000	9,10
		VII							285	33,0–34,2	2,50–4,50	14 500–27 000	9,0

Obrázek 12 Parametry pro návrh plavební komory [8]

Dalším důležitým parametrem je rozměr šířky komory. Ten je v současné době 11 m a tato hodnota je nedostačující pro třídu plavební dráhy Va. Pro vyhovění parametrů této třídy je nutné rozšířit plavební komoru na 12 m. Tento rozměr vychází z normového plavidla o šířce 11,4 m. [7]

Nyní mohou plavební komoru v Měřejovicích využívat plavidla až do délky 133,4 m ale pouze v případě, pokud jejich podjezdná výška je menší než 5,25 m. Z koncepce vodní dopravy vychází požadavek na umožnění proplavení soupravy s kontejnery s podjezdnou výškou 7 m a celkovou délkou 137 m. Pokud plavidlo potřebuje podjezdnou výšku 7 m je nutné, aby vplulo do úrovně dolní vody již před mostem. [7] [5]

V současné době nesmí být překročena hodnota ponoru 1,80 m v úseku Praha-Modřany ř. km 64,00 až Mělník ř. km 0,00. Při připočtení bezpečnostní marže 0,3 m pro řeky získáme hloubku současné plavební cesty, která je 2,1 m. Pro moderní vodní cestu třídy Va je nutné počítat s ponorem 2,5 m a bezpečnostní marží 0,5 m. Součtem těchto dvou hodnot získáme hloubku vhodnou pro plavební dráhu třídy Va. [9] [10]

Hloubka nad záporníkem musí být o něco vyšší než hloubka ve zbytku vodní cesty. Vyšší hloubka je z důvodu umožnění zpětného proudění a bezpečného proplutí plavební komorou. Hloubka nad záporníkem je v současné době 2,3 m. Pro třídu Va je doporučená hodnota hloubky nad záporníkem alespoň 4 m. [9]

	Současný stav	Návrh
Horní voda	167,7 (+0,25-0,1) m n. m.	167,7 (+0,25-0,1) m n. m.
Dolní voda	163,9 (+0,1-0,3) m n. m.	164,5 m n. m.
Šíře komory	11 m	12 m
Délka komory	133,4 m	137 m
Podjezdná výška	5,25 m	9 m
Hloubka nad záporníkem	2,3 m	4 m

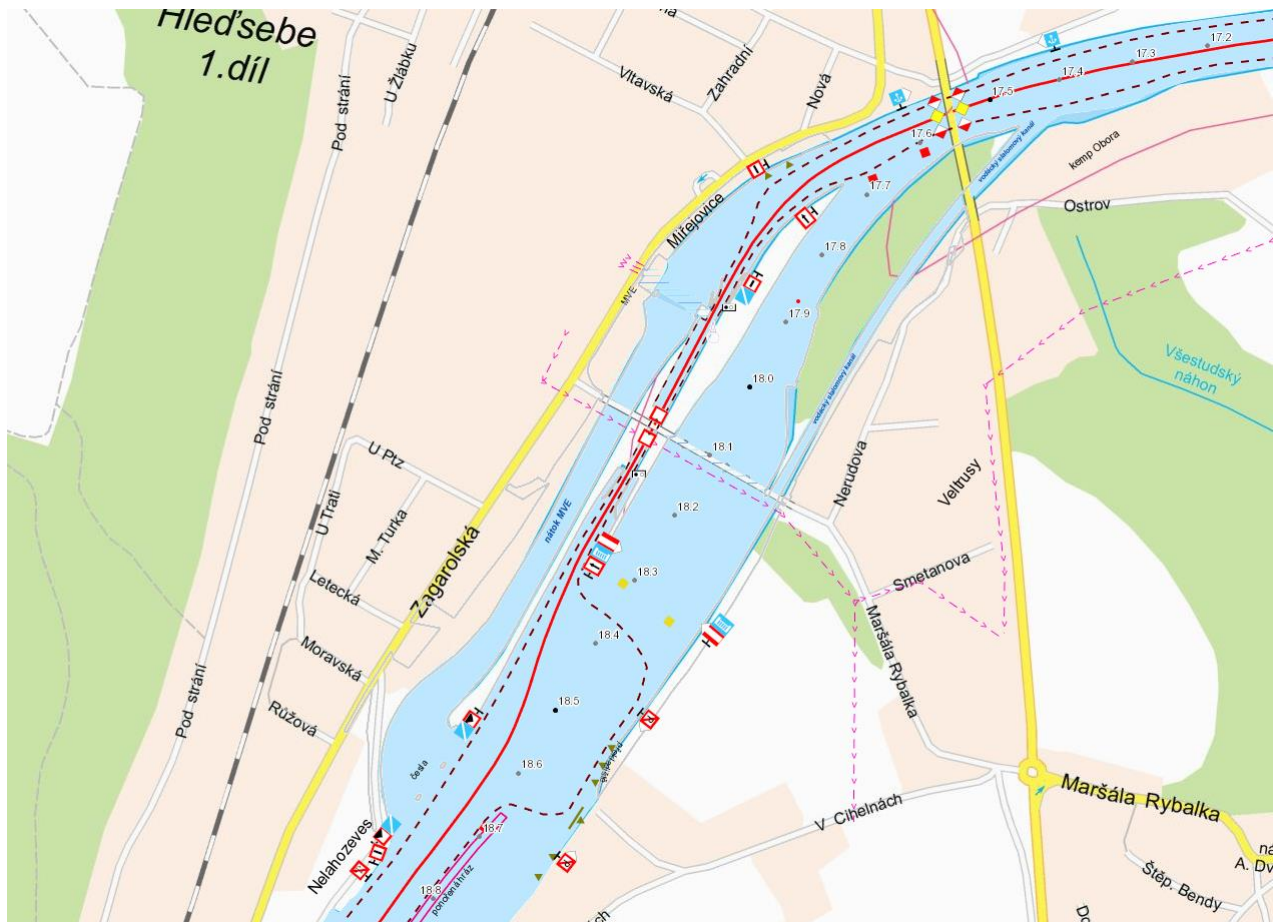
Tabulka 3 Návrhové parametry PK Měřejovice

2.7 Vodní cesty

VD Měřejovice se nachází na 18,000 říčním kilometru Vltavy, tedy v dolní Vltavě 18 km před Mělníkem, kde se Vltava vlévá do Labe.

Plavební mapa

V horní vodě je vodní cesta vedena podél ponořené hráze, za jejíž koncem se nachází překladiště na pravém břehu. Poté je směřována do plavební komory ležící mezi MVE a jezem. V blízkosti VD Miřejovice tok kříží dva mosty. První ocelový most je přímo nad plavební komorou. Druhý betonový most se nachází v dolní vodě na 17,55 říčním kilometru. Druhý most se podplavuje v blízkosti levého břehu.



Obrázek 13 Plavební mapa – VD Miřejovice

Praktická část

V této části diplomové práce jsou zhodnoceny dvě varianty pro možné řešení daného problému. Pro dané varianty jsou provedeny potřebné výpočty, detailní popis rozsahu prací vztahujících se na danou variantu a vyvozeny závěry, za kterých by byla varianta vhodná pro provedení.

Jedná se o variantu A, která si klade za cíl vytvořit funkční návrh s co nejmenšími investičními náklady. Ve variantě A je řešena studie rekonstrukce současné plavební komory, která nebude mít žádný provozní vliv na ostatní objekty v okolí stavby.

Varianta B je komplexnější a zahrnuje i rekonstrukci jezového tělesa. Na rekonstrukci tělesa se váže i zrušení stávajícího rybiho přechodu a vybudování nového. Varianta je rozdělena do dvou etap, kdy druhá je výhledová a počítá s vybudováním plavební komory třídy Vb. Součástí první etapy je vytvoření plavební komory pro třídu Va vedle stávající komory.

3 Varianta A – Úprava stávajících komor

V této variantě je cíleno na co nejefektivnější využití současných stávajících konstrukcí a minimalizování nákladů na vybudování komory s plavebními parametry třídy Va.

3.1 Popis rekonstrukce

Rekonstrukce zasáhne především stávající malou komoru. Ta bude rozšířena o metr a prodloužena. Stejně tak bude rozšířen o metr vjezd do velké komory ze spodní vody, to bude mít za následek výměnu všech tří stávajících vzpěrných vrat. Vrata v dolní vodě a vrata mezi komorami jsou v komoře navržena na stejné zatížení, jelikož jsou vystavena stejnému namáhání z horní vody. Minimální šíře v komoře bude navržena na 12 m tak, aby skrze ni mohly proplout lodě spadající do kategorie Va o standardní šířce 11,4 m.

Jelikož dojde k protažení malé komory a svojí délkou překročí délku velké komory, tak dále v této variantě nebude označována jako malá komora ale jako komora „úzká“.

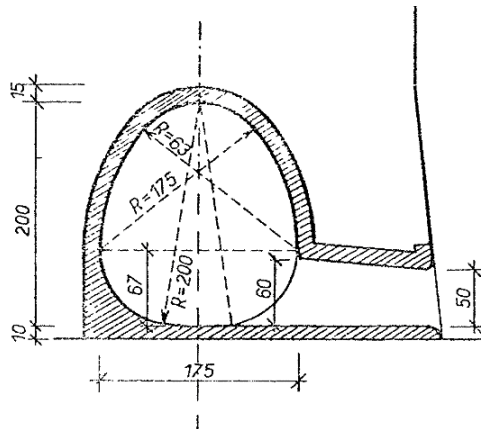
3.2 Proplavování lodí

Úzká komora je kapacitně navržena pro plavidlo o parametrech: délky 137 m, šířky 11,5 m, ponoru 2,5 m a podjezdné výšce 7 m (rozměr odpovídá plavidlu naloženému kontejnery). Takovéto plavidlo ovšem musí zastavit na počátku plavební komory u horní vody a zde počkat na změnu hladiny a poté se bezpečně proplavit plavební komorou. Pokud by plavidlo pokračovalo úrovní horní vody dále do komory, mohlo by dojít ke kolizi s ocelovým mostem. Spodní hrana ocelového mostu je nad plavební komorou v úrovni 173,14 m n. m., to činí při běžném nadržení horní vody na kótě 167,70 m n. m. podjezdnou výšku až 5,44 m (je nutné dát si pozor na rozkolísání hladiny, kdy hladina může být až o 25 cm vyšší). Pokud plavidlo potřebuje podjezdnou výšku pouze 5,25 m, mohlo by teoreticky takové plavidlo dosahovat až 150 m.

3.3 Dlouhé obtoky

Součástí rekonstrukce bude i úprava současných dlouhých obtoků sloužících k plnění komory. Snahou této varianty je, aby zásah do stávajících konstrukcí byl co nejmenší a bylo je možno nadále využívat.

Po obou stranách komory jsou vedeny obtokové kanály s průřezem ve tvaru vajíčka. Z tohoto kanálu vedou kolmé odbočky sloužící jako plnicí otvory.



Obrázek 14 Řez obtokovým kanálem

Po celkové úpravě bude vytvořeno přibližně 150 m nového obtokového kanálu a 20 nových výtokových oken, jak je tomu vidět na obrázku 14. Tvar nového kanálu bude odpovídat stávajícímu tvaru tak, aby bylo možno co nejjednodušeji navázat na konstrukci.

3.4 Výpočet sil na vzpěrná vrata

Na plavebním stupni jsou navržena troje nová vzpěrná vrata, jelikož původní vrata byla navržena pouze na šíři ohlaví 11 m. Po rekonstrukci bude šíře všech tří ohlaví 12 m, aby umožnila proplavení normovaných lodí pro skupinu Va se šíří plavidla 11,4 m. Ponecháním středního ohlaví bude zachována možnost manipulace s každou komorou jako samostatným prvkem, a tak i k úspoře vody potřebné na proplavení.

Při návrhu vrat plavební komory jsou kladeny požadavky na:

- Spolehlivost

- Snadnou ovladatelnost
- Vodotěsnost
- Hospodárnost (investice a provoz)
- Přístupnost při údržbě, revizích a opravách
- Provoznoschopnost i za mimořádné události

Síly jsou napočítány pro největší vrata ve středním a dolním ohlavi. Výpočet je prováděn pro 6 nesymetricky rozdělených nosníků po výšce vrátně. Na každý nosník působí stejná síla.

Délka vrátně:

$$a = \left(\frac{1}{10} \text{ až } \frac{1}{12} \right) b = 1200 \text{ až } 1000 = 1000 \text{ mm}$$

$$c \sim 0,4 * a = 380 \text{ mm}$$

$$l = \frac{b + 2 * c}{2 \cos \alpha} = \frac{1200 + 2 * 380}{2 * \cos 20} = 6,8m$$

Výška vrátně

$$h = 6,4 + 0, +0,2 = 7m$$

Předběžné stanovení hmotnosti

$$Q_1 = 0,05 * l * h \sqrt{l * h} = 0,05 * 6,8 * 7 \sqrt{6,8 * 7} = 16,4 t$$

Hydrostatický tlak na jeden nosník

$$q = \rho * g * \omega * b = 1000 * 9,81 * 3,41 * 1 = 33\,484 \text{ N} \cdot m^{-1}$$

Moment uprostřed nosníku

$$M = \frac{q * l^2}{8} = \frac{33\,484 * 6,8^2}{8} = 192\,942 \text{ Nm}$$

Síla v bodě, kde se o sebe nosníky opírají

$$S = \frac{q * l}{2 * \sin \alpha} = \frac{33\,484 * 6,8}{2 * \sin 20} = 332\,353 \text{ N}$$

Osová síla namáhající nosník vzpěrným tlakem

$$N = S * \cos \alpha = 332\,353 * \cos 20 = 312\,310 \text{ N}$$

3.5 Vrata v horní vodě

U vrat v horním ohlavi je možnost zvážit instalaci Čábelkových vrat namísto vzpěrných vrat pro případ, kdy by bylo nutné převádět extrémní povodňové průtoky také skrze těleso plavební komory.

3.5.1 Vzpěrná vrata

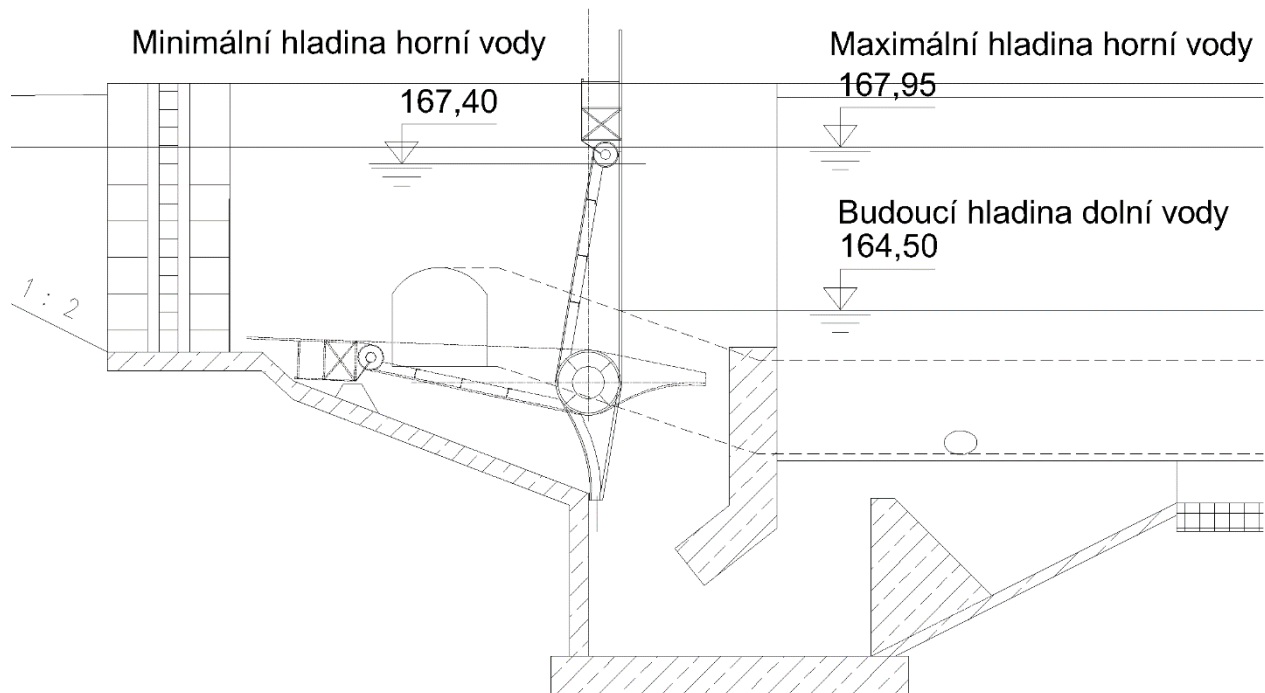
Vzpěrná vrata v horním ohlavi mají vodorovný nosný systém. Na rozdíl od vrat v dolním a středním ohlavi nemají tato vrata prázdnící otvory a jejich výška je o 2,3 m nižší.

3.5.2 Čábelkova vrata

Primárním návrhem pro tato vrata jsou vzpěrná vrata. V případě vzniku pádného důvodu by bylo možné nahradit vzpěrná vrata v horní vodě i vraty Čábelkovými. Jednalo by se pouze o podvariantu, ve které zůstanou zachovány všechny ostatní funkce navržené plavební komory. Nadále bude možné plnit plavební komory dlouhými obtoky, které nebudou nijak ovlivněny.

Výhodou plynoucí z tohoto řešení by mohlo být převádění extrémních průtoků skrze komoru, jelikož Čábelkova vrata lze využít jako klapku. Pro případ převádění extrémních průtoků skrze plavební komoru je nutné nejprve plně otevřít vzpěrná vrata ve středním a dolním ohlavi.

Častým důvodem volby Čábelkových vrat bývá i možnost převádění ledových ker. Tento důvod je ale pro daný případ zavádějící, jelikož Miřejovice se nacházejí na konci Vltavské kaskády, kde je v průběhu celého roku voda ohřívána funkcí vodních elektráren, a tudíž nedochází k zamrzání povrchu toku.



Obrázek 15 Podvarianta varianty A s Čábelkovými vraty v horním ohlavi

3.6 Vrata v dolní vodě a ve středním ohlavi

Vzpěrná vrata v dolní vodě a vrata ve středním ohlavi jsou totožná, stejně tak jako rozměry ohlaví. Návrh vychází z předpokladu, že na oboje vrata bude působit stejné zatížení.

Vhodné by bylo osadit ve vratech otvory, které by byly regulovány deskovým stavidlem pohybujícím se ve vnitřní konstrukci vrat.

3.7 Rejdy

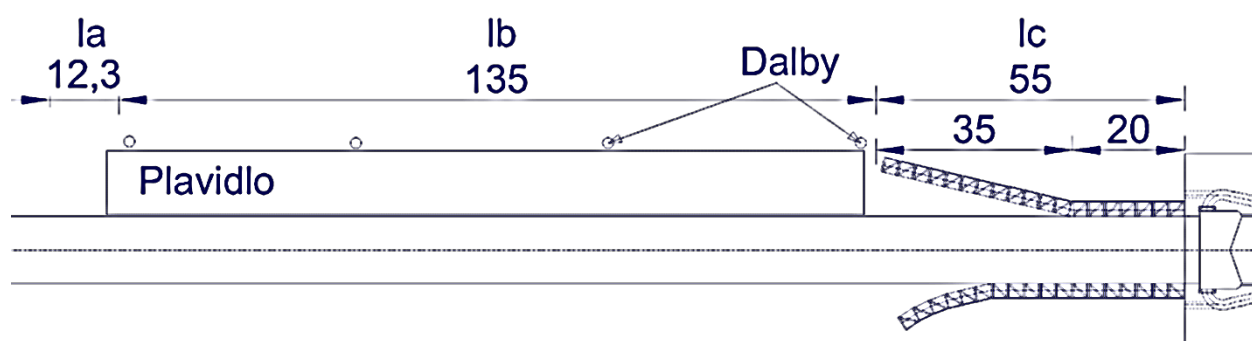
Současná rejda v horní vodě bude celkově odstraněna a její pozice se přesune před vjezd do upravené komory. Jelikož dojde ke změně návrhové délky plavidla, bude nutná i rekonstrukce zasahující rejdu v dolní vodě.

Protože se nejedná o vodní cestu s hustým provozem, jsou pro danou situaci navrženy asymetrické rejdy. Asymetrické rejdy umožňují stání pouze plavidlu z jedné strany. Tento návrh odpovídá i současnému stavu.

Návrh rejd obsahuje výpočetní část pro rozměry rejd a vlastnosti svodidel. Ve výkresech je pak vyobrazen samostatný návrh rejd.

3.7.1 Dispozice

Rejdy jsou navrženy rovnoběžně s osou konstrukce. Rejda v horní vodě je oddělena ostrovem tak, aby nedocházelo ke strhávání plavidel vlivem proudění vody na elektrárnu. Z druhé strany je pak rejda dělena ostrovem, který je zpevněný kamennou dlažbou, tento ostrov bude nutné prodloužit úměrně prodloužení komory tak, aby se zabránilo negativním vlivům od proudu směřujícího na jez.



Šířka rejdy B je ovlivněna kapacitou, na kterou je komora navržena. Pro tento případ je navržena asymetrická rejda s jedním čekacím stáním. Celková šíře se odvíjí od šířky plavební komory B_k , jelikož další rozměry svodidel se odvozují z empirických vztahů vycházejících z šířky komory. Z jedné strany je navrženo přímé svodidlo se zaoblením na konci a z druhé strany je navrženo šikmé svodidlo.

Hloubka rejdy H_r je taková, aby nedocházelo ke vzniku rychlostí větších než $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ a plavidlo se mohlo klidně přiblížit k čekacímu stání. V případě, že by v rejdě vznikaly větší rychlosti proudu, je nutné zaústit plnicí zařízení mimo těleso rejdy. Hloubka rejdy se navrhuje o $0,5 \text{ m}$ níže, než je záporník plavební komory z důvodu nebezpečí vzniku usazování splavenin.

Celková délka rejdy

$$l_r = l_a + l_b + l_c$$

l_a brzdňná délka (m)

lb vyčkávací stání (m)

lc svodidlová část (m)

Plavidlo o hmotnosti M musí svoji rychlost snížit z v_1 na v_2 tak, aby se mohlo bezpečně uvázat k dalbám. Na toto snížení rychlosti má plavidlo prostor na úseku l_a odpovídající brzdě délce plavidla. K brzdění je využíváno odporu vody R působícího na plavidlo pasivně a aktivního brzdění zpětným chodem motoru silou A .

Nejobtížnější část vzorce je získat brzdnu dráhu plavidla. K tomuto výpočtu je nutné vycházet ze základní diferenciální rovnice pro daný problém vyjadřující rovnováhu sil působící na plavidlo a proud vody.

$$A + R = \alpha M \frac{dv}{dt}$$

Odpor lodní soustavy R se upraví na empirický vztah a bude platit

$$A + (\lambda * O + k * f)v^2 + \alpha * M \frac{dv}{dt} = 0$$

Integrovaním rovnice v mezích rychlosti v_1 a v_2 a následnou integrací podle délky l_a získáme vztah pro výpočet celkové brzdě délky lodě

$$l_a = \frac{1,15 * \alpha * M}{(\lambda * O + k * f)} \log \left(\frac{(\lambda * O + k * f)v_1^2 + A}{(\lambda * O + k * f)v_2^2 + A} \right) =$$

$$\frac{1,15 * 1,2 * 3000}{(0,14 * 16,4 + 20 * 28,5)} \log \left(\frac{(0,14 * 16,4 + 20 * 28,5)1,5^2 + 3}{(0,14 * 16,4 + 20 * 28,5)0,2^2 + 3} \right) = 12,3 \text{ m}$$

M nosnost lodi odpovídající parametrům návrhové třídy

v_1 rychlost vplouvání do rejdy ($1,5 - 2 \text{ m.s}^{-1}$)

v_2 rychlost při uvazování lodi ($0,2 - 0,3 \text{ m.s}^{-1}$)

α součinitel souputné hmoty vody pohybující se zároveň s lodí (1,2)

λ součinitel tření vody o povrch lodě (0,14 – pro ocelové lodě)

- O omočený povrch lodní soupravy (m^2)
- k součinitel tvarového odporu lodní soupravy (pro hydraulicky tvarované lodě $k = 4 - 6$, pro lodě pontonového typu $k = 20 - 40$.)
- f ponořená plocha lodní soupravy (m^2)
- A brzdná síla (t) (přibližně 30% tažné síly remorkéru $A = 2 - 3$ t)

Po získání brzdné dráhy je možné vypočítat celkovou délku rejdy

$$l_r = 12 + 137 + 55 = 204 \text{ m}$$

Brzdná délka závisí na hmotnosti plavidla a pohybuje se v rozmezí 5 – 15 m. Brzdnou délku lze vypustit v případě neproudících vod, jako je tomu u průplavů. Podobně je možné celkovou délku zkrátit o tento rozměr i v případě dolní rejdy na volné řece, jelikož lodě připlouvají proti proudu a mohou svoji rychlost snížit bez ztráty manévrovací schopnosti.

Součástí návrhu rejdy je vytvoření řečiště odděleného od zbytku toku stěnou, která převyšuje nejvyšší plavební hladinu alespoň o 1 m. Minimální délka dělicí zdi je pak doporučena alespoň 1,5 násobek délky návrhového plavidla.

Aby bylo docíleno maximální příčné složky proudění o velikosti $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, lze opatřit ohlaví dělicí stěny několika otvory. Zprůtočněním dělicí stěny získáme stabilnější proud v kritickém místě.

Svodidla se navrhují alespoň v délce poloviny návrhového plavidla a dispozičně jsou umístěna tak, aby navazovala na stěny plavební komory.

Rozmístění a počet dalb se odvíjí od plavidel. Každé plavidlo proplouvající plavební komorou by mělo mít možnost bezpečně se uvázat alespoň na dvě dalby.

Pro získání přesných dat o proudění v navrhovaných rejdách je nutné vytvořit trojrozměrný fyzikální model a na něm provést hydrotechnický výzkum. Současný návrh vychází z empirických poznatků a fyzikálních výpočtů, který je pro úroveň studie dostačující.

3.7.2 Svodidla

V nových rejdách bude zachován stávající typ svodidel. Navržena jsou ocelová svodidla s rámovou konstrukcí v horní vodě a pružná svodidla v dolní vodě..

3.7.3 Příslušenství rejd

Jak rejdy v horní, tak i v dolní vodě musejí být řádně osvětleny, aby bylo umožněno bezpečné proplutí i za snížené viditelnosti.

Čekací prostor pro plavidla musí být opatřen dalbami, aby plavidla bylo možné vyvázat ve chvíli, kdy čekají na proplavení. Dalby jsou umístěny jak v horní, tak i v dolní vodě.

3.8 Výměna dna komory

V závislosti na požadavku udržení hladiny minimálně 4,0 m nad záporníkem, jak je tomu doporučeno ve vyhlášce 67/2015 sb., je nutno snížit záporník (a dno plavební komory) na úroveň 160.50 m n. m. Tato hodnota je platná pro návrhovou výšku hladiny dolní vody 164,50 m n. m udržovanou vodním dílem Vraňany.

Dno velké komory bude vybouráno a nahrazeno 26 perforovanými deskami o rozměrech 10.05 x 9,7 x 0,3 m. Kóta horního líce dna bude na úrovni 160,50 m n. m. Jednotlivé desky od sebe budou odděleny dilatační spárkou o velikosti 20 mm. Každá deska bude obsahovat 4 drenážní otvory o průměru 400 mm vytvořené vloženou ocelovou skruží o průměru 300 mm. Prostor otvoru bude zaplněn štěrkodrtí o frakci 32 -64 mm a proti odnosu kameniva bude sloužit ocelová mříž s otvory menšími než nejmenší frakce kameniva. Rostlou zem pod otvory je vhodné nahradit obráceným filtrem s vhodně zvolenou frakcí kameniva, aby nedocházelo k vyplavování zeminy pod úrovní nového dna komory.

Úzká komora bude mít zděné dno ve stejném principu jako tomu bylo doposud. Dno bude mít v příčném řezu tvar konvexy. Drenážní otvory budou podél komory rozmístěny ve stejných rozestupech jako tomu je v současném stavu.

V závislosti na reálné rozkolísanosti hladiny je nutné zvážit omezení provozu. S největší pravděpodobností to ale ve výsledku nebude nutné, jelikož reálná hladina bude o něco vyšší a doporučená hodnota má spíše empirický charakter.

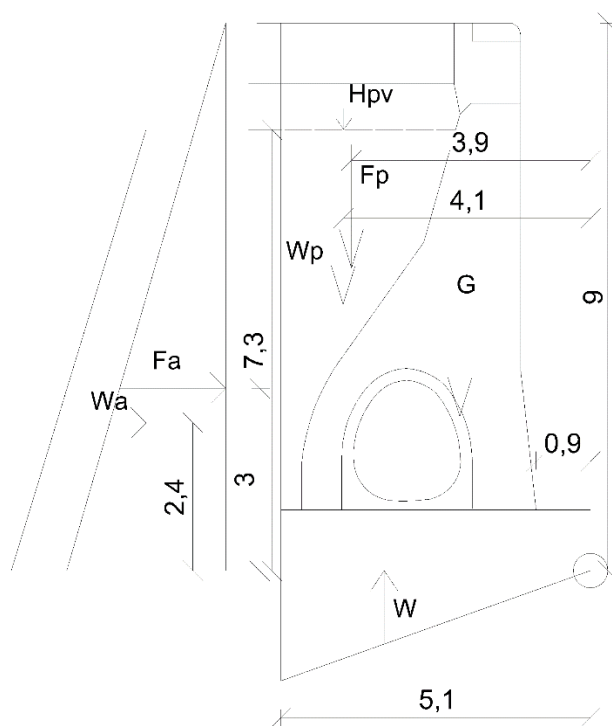
3.9 Zed' plavební komory - konstrukční a statické řešení

Zed' plavební komory je navržena jako tížná zed'. Její tvar a konstrukce odpovídá současnému tvaru a konstrukci stávající zdi plavební komory. Uvnitř zdi je navržen plnicí kanál vajíčkovitého průřezu o průřezové ploše $2,9 \text{ m}^2$. Zed' je zděná a založená na betonovém základu o výšce 1 m.

Výpočet je prováděn na 1 m délky zdi.

3.9.1 Návrh zdi plavební komory

Parametry zdi vycházejí z parametrů současné zdi plavební komory. Výpočet je prováděn pro nejnebezpečnější stav kdy je komora zahrazena a voda vyčerpána a na zed' působí podzemní voda s hladinou na úrovni horní vody.



Obrázek 16 Síly působící na těleso

3.9.2 Kontaktní napětí v ZS

Výpočet tíhy konstrukce

Objemová hmotnost materiálu je uvažována 20 kN.m^{-3} . Průřezová plocha zdi je $19,8 \text{ m}^2$.

$$G = \rho * A = 20 * 19,8 = 396 \text{ kN.m}^{-1}$$

aktivní zemní tlak

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{30}{2} \right) = 0,333$$

Výpočet napětí pro směry x a z

$$\sigma_{z,a} = \gamma_z * h = 18 * 9 = 162 \text{ kPa.m}^{-1}$$

$$\sigma_{x,a} = \sigma_{z,a} * K_a = 162 * 0,33 = 54 \text{ kPa.m}^{-1}$$

Výpočet síly aktivního zemního tlaku

$$F_a = \frac{1}{2} \sigma_{x,a} * h = 243 \text{ kN.m}^{-1}$$

Výpočet pasivního zemního tlaku

Jelikož nelze uvažovat celý pasivní tlak výsledná hodnota síly byla snížena o polovinu. Síla vyvozená zeminou je rovna součinu objemové tíhy zeminy a ploše obrazce.

$$F_p = 143 \text{ kN.m}^{-1}$$

Síly působící na zeď vyvolané vodou

Vztlak

Jelikož je komora vyčerpaná přechází vztlak pod základem z hodnoty hladiny podzemní vody do nulové velikosti. B je šířka základu.

$$W = \frac{B * \rho_w * g * H_{pv}}{2} = 181 \text{ kN.m}^{-1}$$

Hydrostatické síly od podzemní vody jsou sníženy vzhledem k pórovitosti zeminy.

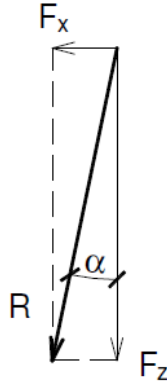
$$W_a = 103 \text{ kN.m}^{-1}$$

$$W_p = 36 \text{ kN.m}^{-1}$$

Výpočet výslednice síly působící na opěrnou stěnu

$$R = \sqrt{\left(\sum F_x\right)^2 + \left(\sum F_z\right)^2} = \sqrt{373^2 + 394^2} = 543 \text{ kN.m}^{-1}$$

$$\tan \alpha = \frac{F_x}{F_z} = \frac{373}{394} \Rightarrow \alpha = 43,39^\circ$$



Obrázek 17 Výslednice R

$$\sum F_x * r_z = \sum (F_{x,i} * r_{z,i})$$

$$r_z = 2,8 \text{ m}$$

$$\sum F_z * r_x = \sum (F_{z,i} * r_{x,i})$$

$$r_x = 2,7 \text{ m}$$

Napětí v základové spáře

$$b_{eff} = b - 2 * e = 5,1 - 2 * 0,16 = 4,77 \text{ m}$$

Posouzení únosnosti základové spáry

$$\sigma_{zs} = \frac{\sum F_z}{b_{eff}} = \frac{394}{4,77} = 75 \text{ kPa.m}^{-1}$$

$$\underline{\sigma_{zs} = 78 \text{ kPa} < \sigma_D = 100 \text{ kPa}}$$

3.9.3 Stabilita tížné zdi proti převrácení kolem bodu

$$G * x_G \geq Wa * y_{wa} + Fa * y_{fa} + W * y_w - Fp * x_{fp} - Wp * x_{wp}$$

$$\underline{974 \text{ kNm} \geq 854 \text{ kNm}}$$

3.9.4 Smyk v základové spáře

musí platit:

$$\mu \sum F_z > \sum F_x$$

kde μ je koeficient tření po základové spáře

$$\mu = \varphi_{ef} * \tan\left(\frac{2}{3} \div 1,0\right) = 30 \tan 1,0 = 0,524$$

po dosazení

$$\underline{373 \text{ kN.m}^{-1} > 206 \text{ kN.m}^{-1}}$$

3.9.5 Pootočení dříku

Při předpokládaném ukončení sedání a splnění podmínky $e < 0,25 * b$ je:

$$\tan \theta = \frac{12 * M_d}{\pi * b^2 * E_{def}} = \frac{12 * 206}{\pi * 5,1^2 * 8,0 * 10^3} \Rightarrow \theta = 0,217^\circ$$

kde M_d je momentem výslednice R k těžišti základové spáry. Rameno výslednice těžiště je značeno r_R .

$$M_d = R * r_R = 543 * 0,38 = 206 \text{ kNm.m}^{-1}$$

3.10 Plavební kanál

S rozšířením plavební komory se váže i nutná rekonstrukce plavebních kanálů před a za komorou tak, aby odpovídaly parametrům třídy Va. Plavební dráhu je nutno upravit, aby dosahovala alespoň hloubky 3 m. Z toho je 2,5 m pro ponor a 0,5 m pro bezpečnostní marži.

3.11 Vývar

Dno nového vývaru je sníženo o 0,8 m na kótu 159,40 m n. m. Do prostoru vývaru je symetricky umístěno pět betonových rozražečů usměřujících energii vzniklou na toku. Navrhovaný nový vývar pro rekonstrukci vychází z empirie a bylo by vhodné ověřit jeho funkčnost za pomoci fyzikálního modelu.

3.12 Velín

Současný velín zasahuje svým půdorysným rozměrem do oblasti výkopu, je tedy nutné v případě rekonstrukce velín přestavět.

3.13 Výstroj plavební komory

S výstavbou každé komory se váže nutnost vytvoření objektů v tělese komory umožňujících její bezpečné užívání.

3.13.1 Elektro vybavení

Rozvody kabelů

Rozvody elektrických kabelů budou vedeny v ochranném žlabu souběžně s plavební komorou od velína k místu potřeby. Nový žlab bude navazovat na stávající žlab.

Osvětlení

Pro nově vzniklou část plavební komory je potřeba vytvořit osvětlení pokrývající celou novou vodní plochu a blízké okolí plavební komory. K osvětlení poslouží průmyslové lampy vhodné k externímu použití. Jednotlivá osvětlení budou na každé straně komory prostrídána a rozestupy mezi jednotlivými lampami budou specifikovány ve výkresech. Osvětlení bude umístěno ve výši 10 m. Pro typ osvětlení jsou doporučené parametry následující: výkon 50W, svítivost 4000lm, teplota světla 4000K, krytí IP65, vyzařovací úhel 100°, vstupní napětí AC 230V a energetická třída

A+. Jedná se o osvětlení typu LED, které v porovnání se stávajícími lampami spotřebovává méně energie a vytváří menší světelné znečištění.

3.13.2 Značení staničení

Po obvodové hraně komory je vyznačené staničení černými číslicemi na žlutém poli po dvaceti metrech. Ve chvíli, kdy dojde k prodloužení první komory, přestane staničení být aktuální a bude se muset provést přečíslování současných značek. Počátek staničení se posune o 81,5 m. Jelikož se nejedná o desetinásobný rozměr, bude třeba měnit lokalitu současných značek tak, aby odpovídaly novému staničení. Pro novou značku je ovšem potřeba vytvořit nový žlutý podklad. Neaktuální číslice je nutné přetřít šedivou barvou splývající co nejlépe s okolím v minimálně dvou vrstvách, aby nebyly patrné původní číslice. Nové číslice budou bezpatkové a minimálně 40 cm vysoké, aby byly dobře čitelné.

3.14 Hydraulické řešení plavební komory

V následujícím odstavci jsou provedeny hydraulické výpočty k ověření jednotlivých vlastností plavební komory. Výpočty je stanoveno:

- Doba plnění a prázdnění
- Průběh plnění a prázdnění
- Síly působící na plavidlo
- Doba proplavení
- Potřeby vody na proplavení
- Dopravní výkonnost

3.14.1 Doba plnění

Doba plnění a prázdnění je uvažována jen s využitím jednoho obtoku. Tím je zabezpečena tato doba po celý rok, a to i v případě, že by bylo nutné jeden obtok uzavřít a provést na něm úpravy nebo údržbu.

Za použití základních diferenciálních rovnic (dynamické a kontinuity) získáme nekonečně malý element změny objemu dV ,

Dynamická diferenciální rovnice

$$dV = \mu * f \sqrt{2 * g * y} dt$$

Diferenciální rovnice kontinuity

$$dV = -F dy$$

Při porovnání obou rovnic získáme tvar

$$-F dy = \mu * f \sqrt{2 * g * y} dt$$

Tento tvar lze následně integrovat podle zvolených mezí

$$\int_0^T dt = \frac{-F}{\mu * f \sqrt{2 * g}} \int_H^0 y^{-1/2} dy$$

A získat celkovou dobu plnění

$$T = \frac{2 * F}{\mu * f \sqrt{2 * g}} \sqrt{H}$$

Výsledek nebude naprosto přesný, jelikož otevírací doba bude prodloužena o pozvolné otevírání profilu kanálu na počátku plnění. Tento výpočet je proveden pro instantní otevření celého profilu kanálu. Přesnější doba je uvedena v následující kapitole „Průběh plnění a prázdnění“

- μ součinitel plnění (též součinitel ztrát) (-)
- f plocha otvoru (m^2)
- g tíhové zrychlení ($9,81 m \cdot s^{-2}$)
- y výška mezi hladinou a elementem změny objemu (m)
- F plocha komory (m^2)
- T celkový čas nutný pro plnění (s)

- H rozdíl hladin v komoře (m)
 dV nárůst elementu objemu
 dy nárůst výšky hladiny
 dt čas, za který přibude element objemu

Způsob plnění (prázdňení) komory		μ
Přímé plnění otvory pod vraty	spád $H < 5$ m	0,72 - 0,75
	spád $H > 5$ m	0,80 - 0,85
Přímé prázdňení otvory ve vratech	spád $H < 12$ m	0,80 - 0,85
Nepřímé plnění pomocí krátkých obtoků		0,70 - 0,75
Nepřímé prázdňení pomocí krátkých obtoků		0,75 - 0,85
Nepřímé plnění a prázdňení pomocí dlouhých obtoků v bočních zdech	spád $H < 10$ m	0,60 - 0,70
	spád $H > 10$ m	0,70 - 0,80
Kombinované nepřímé plnění a prázdňení otvory ve dně		0,65 - 0,80

Tabulka 4 Střední hodnoty součinitele plnění μ

Součinitel ztrát byl nakalibrován podle známých hodnot celkové doby plnění plavební komory ze současného manipulačního řádu stávající plavební komory. Toto číslo odpovídá i tabulce 4 s empiricky odvozenými součiniteli.

Výpočet pro velkou komoru

$$T = \frac{2 * 3063}{0,62 * 2,8 \sqrt{2} * 9,18} \sqrt{3,2} = 1425 \text{ s} = 25 \text{ min}$$

Výpočet pro úzkou komoru

$$T = \frac{2 * 1978}{0,62 * 2,8 \sqrt{2} * 9,81} \sqrt{3,2} = 920 \text{ s} = 16 \text{ min}$$

Výpočet doby plnění pro podvariantu s Čábelkovými vraty v horním ohlavi.

Při osazení Čábelkovými vraty dochází k přímému plnění, to má vliv na výběr jiného součinitele ztrát než doposud. Součinitel je volen dle tabulky 4. Také dojde k nepatrné změně vodní plochy v komoře.

Pro výpočet je předpokládáno lineární otevírání po celou dobu plnění komory, je tedy nutné upravit vzorec pro výpočet na následující vzorec:

$$T = \frac{4 * F}{\mu * f \sqrt{2 * g}} \sqrt{H}$$

Následující výpočet je proveden pro plnění úzké komory pouze Čábelkovými vraty:

$$T = \frac{4 * 2000}{0,74 * 18 \sqrt{2 * 9,81}} \sqrt{3,2} = 242 \text{ s} = 4 \text{ minuty}$$

3.14.2 Průběh plnění a prázdnění

Cílem tohoto výpočtu je získat hladký průběh změny hladiny v průběhu plnění a prázdnění značený $h = \varphi(t)$ a průběh průtoků $Q = \varphi(t)$. Výpočet je možné provádět pro případ, kdy voda vytéká nad počáteční hladinou, anebo výtokové otvory jsou umístěny u dna, jako je tomu v tomto případě.

Výpočet vychází z diferenční rovnice

$$\Delta t = \frac{1}{\mu_s * f_i \sqrt{2 * g}} (\sqrt{H_{i-1}} - \sqrt{H})$$

Z rovnice lze vyjádřit spád v jednotlivém i -tém čase

$$H_i = \left(\sqrt{H_{i-1}} - \frac{\mu_s \sqrt{2 * g}}{2 * F} f_i * \Delta t \right)^2$$

Za pomoci takto získaného spádu je možné vyčíslit h_i (měnící se výšku hladiny v komoře). Hladina je rovna rozdílu jednotlivých spádů v čase a celkového spádu komory.

$$h_i = H - H_i$$

Za pomoci jednotlivých spádů je možné odvodit i průtok.

$$Q_i = \mu_s * f_i \sqrt{2 * g * H_i}$$

Δt časový krok (s)

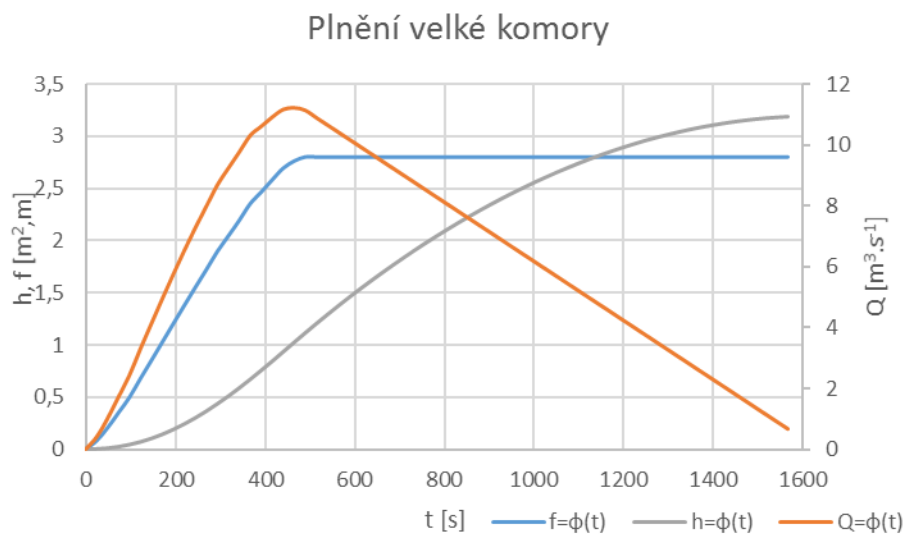
μ_s součinitel plnění (též součinitel ztrát) (-)

g tíhové zrychlení (9,81 m.s⁻²)

- F plocha komory (m^2)
- H rozdíl hladin v komoře (m)
- H_i rozdíl hladiny v komoře za časový úsek (m)
- f_i plocha otvoru, v průběhu času proměnná (m^2)
- Q_i průtok ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

Grafické znázornění výpočtu plnění pro velkou komoru

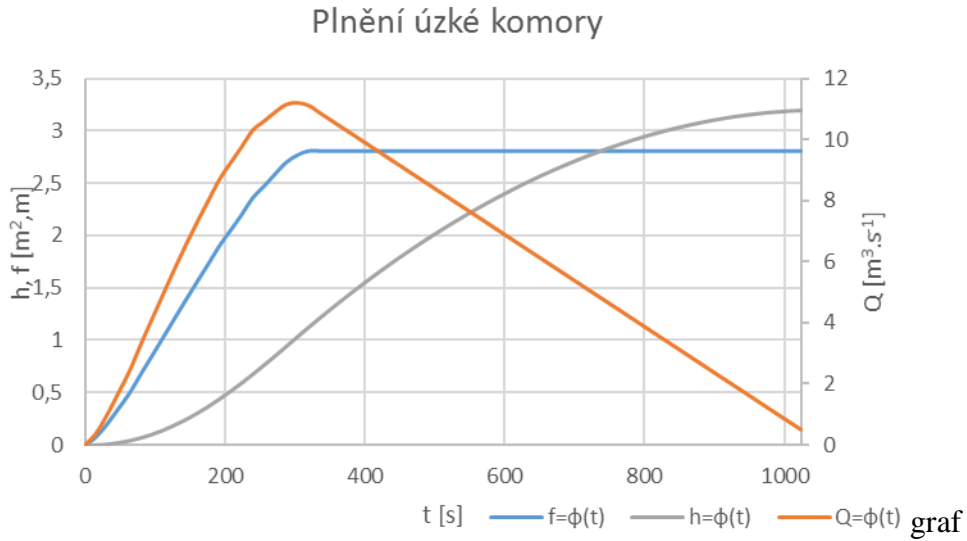
Podle tohoto výpočtu po zohlednění postupného otevírání uzávěru se komora naplní za 26 minut.



Obrázek 18 Graf - Plnění velké komory

Grafické znázornění výpočtu plnění pro úzkou komoru

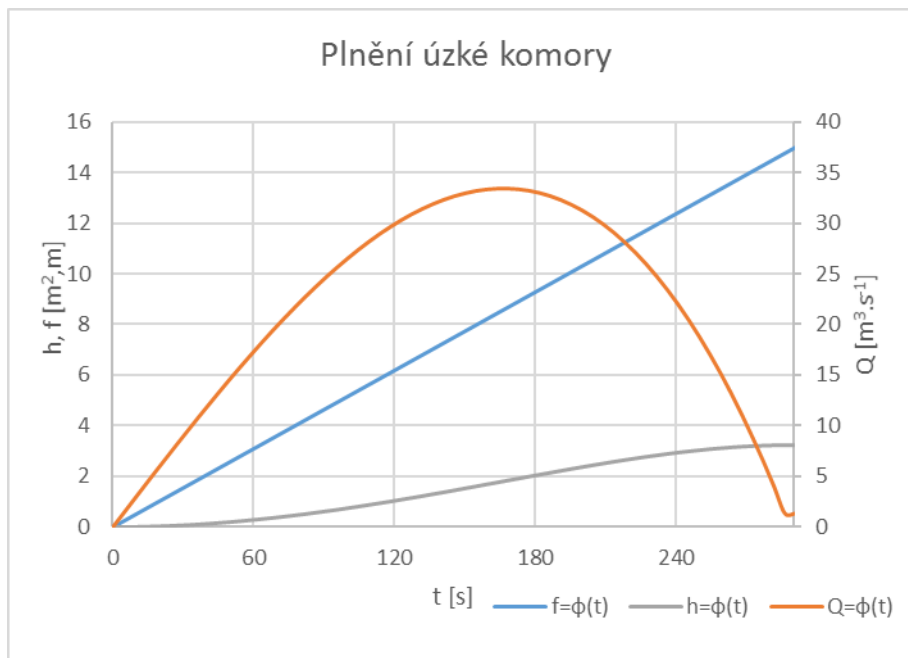
Podle tohoto výpočtu po zohlednění postupného otevírání uzávěru se komora naplní za 17 minut.



Obrázek 19 Graf - Plnění úzké komory

Výpočet průběhu plnění pro podvariantu s Čábelkovými vraty v horním ohlavi.

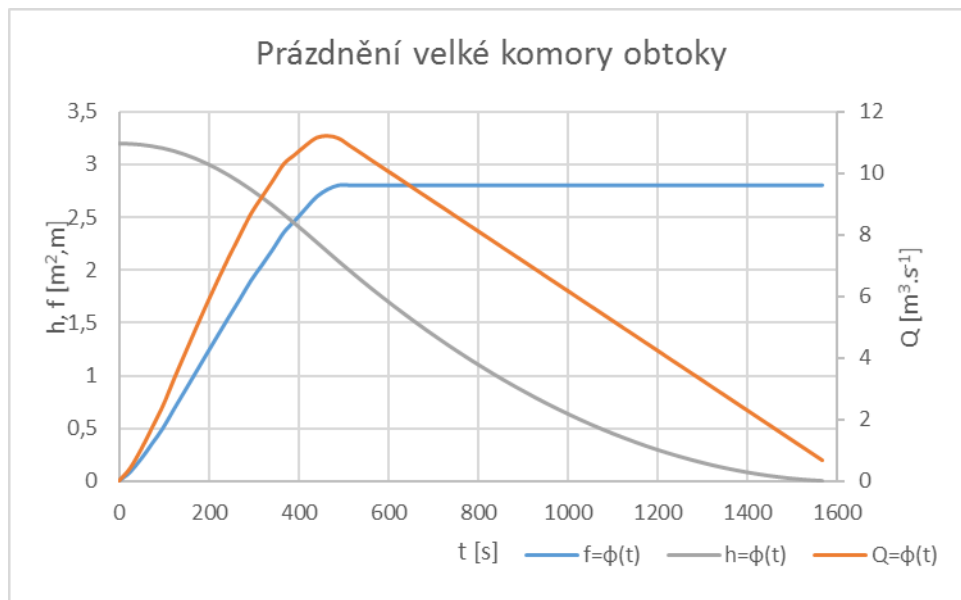
Pro výpočet je předpokládáno lineární otevírání po celou dobu plnění komory a komora se naplní za 4 minuty.



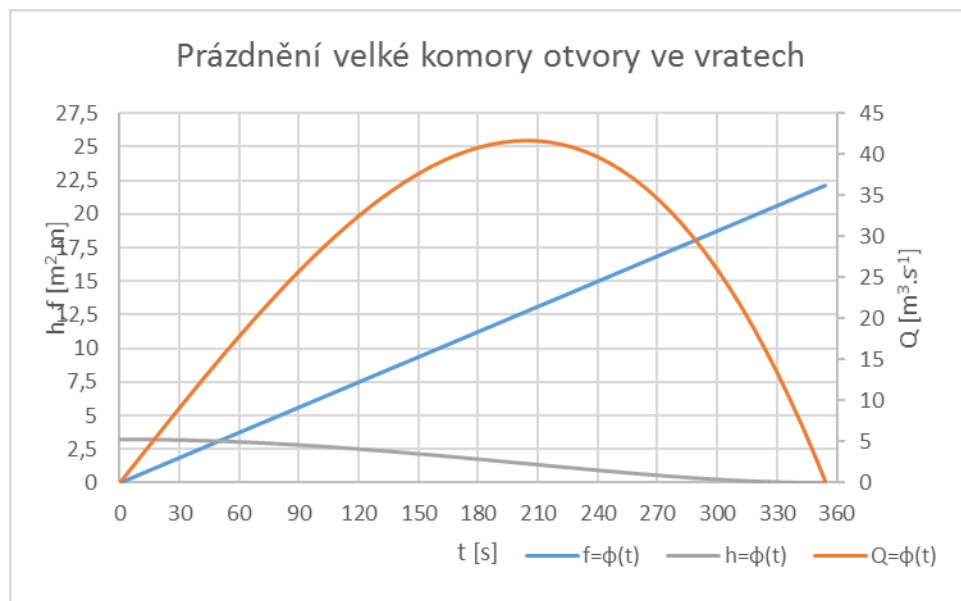
Obrázek 20 Graf - Plnění úzké komory Čábelkovými vraty

Grafické znázornění výpočtu prázdnění pro velkou komoru

Výpočet je proveden pro prázdnění obtoky a pro prázdnění otvory ve vratech.



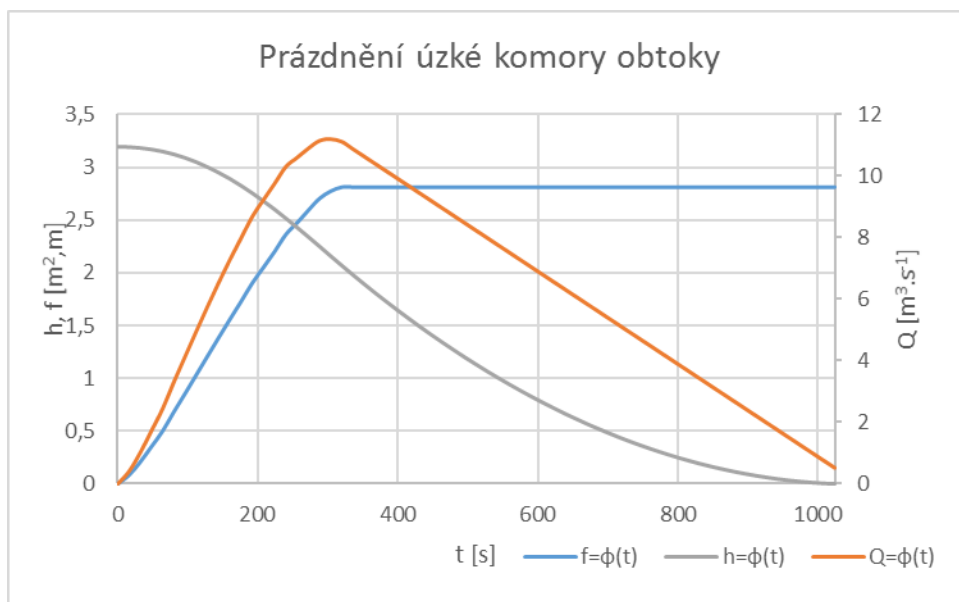
Obrázek 21 Graf - Prázdnění velké komory obtoky



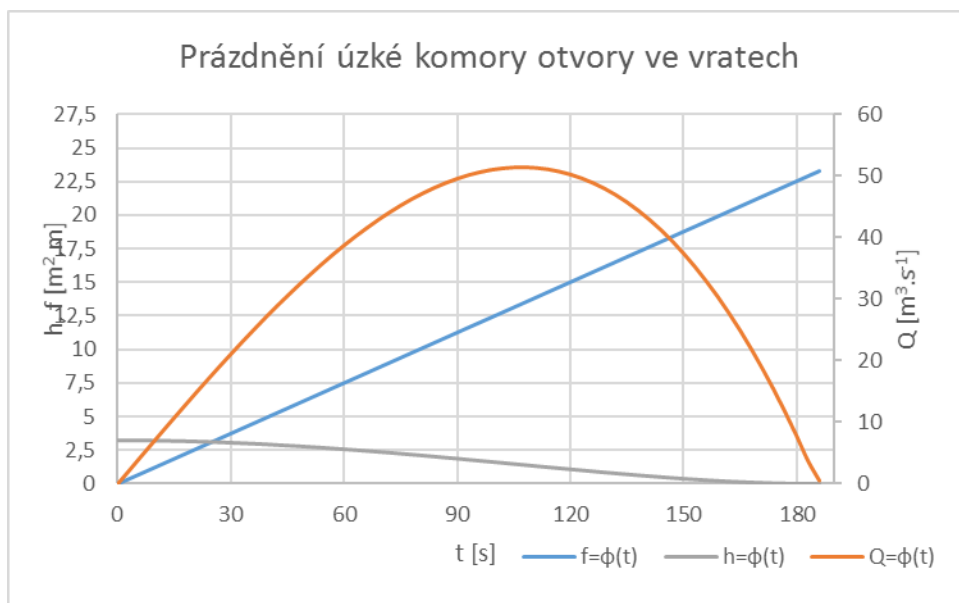
Obrázek 22 Graf - Prázdnění velké komory otvory ve vratech

Grafické znázornění výpočtu prázdnění pro úzkou komoru

Výpočet je proveden pro prázdnění obtoky a pro prázdnění otvory ve vratech.



Obrázek 23 Graf - Prázdnění úzké komory obtoky



Obrázek 24 Graf - Prázdnění úzké komory otvory ve vratech

3.14.3 Síly působící na plavidlo

Plavidlo je pro proplavování komorou namáháno silami horizontálními a vertikálními.

Vertikální síly jsou vyrušeny vlastní tíhou plavidla, a je tedy možné je při výpočtech zanedbat.

Horizontální síly ovlivňují plavidlo jak v příčném, tak i v podélném směru. Příčné síly jsou zanedbatelné a jejich působení se zachytí o zdi komory.

Výpočet sil působících na plavidlo je prováděn na síly podélné, ty ohrožují proplavované plavidlo nejvíce. Hrozí zde riziko nekontrolovatelného rozpořívování plavidla v podélném směru a následné kolizi s vraty plavební komory. V takovém případě by mohlo dojít k poškození plavidla, nebo i k poškození vrat. Aby se tomu zabránilo, je nutné proplouvající plavidlo vyvážit vždy dvěma protisměrnými lany, aby plavidlo bylo schopné odporovat podélné síle měnící směr v průběhu plnění a prázdňení.

Podélná síla se skládá ze tří složek:

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

P podélná síla (kN),

P₁ proudový odpor plavidla, způsobený obtékáním (zahrnuje odpor třením a tvarový odpor) (kN),

P₂ síla vznikající sklonem hladiny vody při změně kinetické energie vodního proudu na energii potenciální (kN),

P₃ síla vznikající vlněním hladiny od měnícího se přítoku do komory (kN).

Složky P₁ a P₂ působí proti sobě a z celkové síly tvoří max 15%, proto je možné, je v předběžném výpočtu zanedbat. Nejnebezpečnější je tedy složka P₃, a to u komor, které jsou plněny a prázdňeny přímo, případně krátkými obtoky.

Určení podélné síly při plnění obtoky.

Případ, kdy je komora plněna dlouhými obtoky, je přívětivější, než když je plnění prováděno přímo (skrze vrata v horní vodě), anebo krátkými obtoky. Při plnění nevznikají tak velké síly na plavidlo

jako v druhém případě. Komora je plněna pozvolna a rovnoměrně a obtoky na obou stranách navzájem snižují svůj negativní vliv.

Ve výpočtu P_3 je nutné vědět, jaký je průběh tlakové čáry energie v dlouhém obtoku. Ten je možno získat z fyzikálního modelu odečtem tlakových sond rozmístěných po délce obtokového kanálu. Jelikož žádný model prozatím nevznikl, není možné požadované hodnoty použít. Pro případ, kdyby vznikl, je k výpočtu možno použít následující rovnici:

$$P_{3 \max} = \sum_{i=1}^m \left[f_i \sqrt{2 * g \left(\frac{p_i}{\gamma} - h \right)} - f_m \sqrt{2 * g \left(\frac{p_m}{\gamma} - h \right)} \right] \frac{W}{g (f_k - f_{\check{c}})}$$

f_k plocha příčného řezu náležící vodnímu elementu (m^2),

$f_{\check{c}}$ plocha ponořeného plavidla v příčném řezu (m^2),

f_m plocha m -tého výtokového otvoru na horním konci obtoku (m^2),

f_i plocha i -tého výtokového otvoru (m^2)

Určení podélné síly přímým plněním pro podvariantní řešení.

Tento výpočet je pro variantu A v případě, kdy vzpěrná vrata v horním ohlavi jsou nahrazena Čábelkovými vraty a dochází k přímému plnění úzké plavební komory.

Z obrázku 23 je možné po zavedení zjednodušujících předpokladů odvodit následující vztah

$$P_3 = W * i = \frac{W}{g(f_k - f_{\check{c}})} \left(\frac{dQ}{dt} \right)_{\max}$$

W celkový výtlak plavidla lodní soupravy (kN),

f_k plocha příčného řezu náležící vodnímu elementu (m^2),

$f_{\check{c}}$ plocha ponořeného plavidla v příčném řezu (m^2),

$(dQ/dt)_{\max}$ maximální přírůstek přítoku v čase.

Výtlak je počítán pro soupravu remorkéru TR 600 (remorkér s největším výtlakem vyskytující se na českých tocích) a plně naloženého tlačného člunu Evropa II.

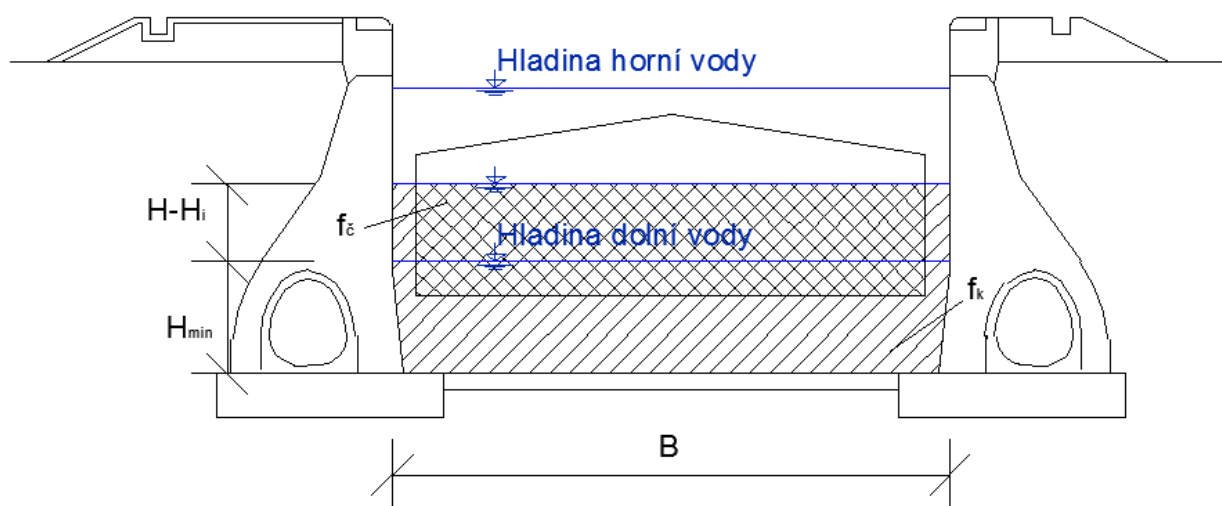
Výtlač remorkéru činí 250 t. Pro získání výtlačku člunu je nutné použít vzorce vycházejícího z Archimedova zákona. Těleso se ponoří do takové hloubky, při které je výtlač (hmotnost vody vytlačena ponořeným plavidlem) roven hmotnosti plavidla s nákladem.

$$W = W_{remorkér} + W_{člun} = 250 + 2\,200 = 2\,450\text{ t}$$

g tíhové zrychlení ($9,81\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$)

V objem tělesa člunu (m^3)

ρ hustota vody ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)



Obrázek 25 Příčný řez komorou s vyznačenými plochami.

Výpočet pro úzkou komoru při přímém plnění:

$$f_k = B (H_{min} + (H - H_i)) = 12 (2,5 + 3,2 - 1,45) = 51\text{ m}^2$$

H_i spád náležící okamžiku, kdy hodnota (dQ/dt) je nejvyšší

$$P = \frac{2\,450\,000}{9,81 (51 - 11,4 * 2,5)} 7,1 = 78\text{ kN}$$

Podélné síly jsou zachyceny pomocí lan. Lana jsou uvázána pod úhlem α_i , který svírají s podélnou osou komory. Lana jsou prověšena, pokud je plavidlo v klidu po dobu plnění komory, pokud dojde k naklonění hladiny, dojde i k napnutí lana. V napnutém lanu vzniká špičkové napětí, to lze získat empiricky zvětšením síly, anebo výpočtem.

$$P_{max} = \frac{1,35 * P}{\cos \alpha} \cong 1,75 * P = 133 \text{ kN}$$

P_{max} maximální působící síla

Největší síla v lanu musí být posouzena s pevností lana R (t)

$$R = m * k * N = 0,92 * 0,65 * 230 = 138 \text{ kN}$$

m součinitel podmínek působení závislý na konstrukci drátů

k součinitel stejnoměrnosti, závislý na povrchové úpravě

N jmenovitá nosnost lana (kN)

Je zachováno $P_{max} < R$ – Návrh rychlosti plnění vyhovuje. Této podmínce byla podřízena rychlost otevírání Čábelkových vrat.

3.14.4 Potřeba vody na proplavení

Potřeba vody na proplavení vyjadřuje objem vody, který je třeba k naplnění komory a při následném prázdnění komory bude vypuštěn do dolní vody.

$$V = F * H$$

F plocha komory (m^2)

H rozdíl hladin v komoře (m)

Potřeba vody pro velkou komoru:

$$V = F * H = 3063 * 3,2 = 9\,801 \text{ m}^3$$

Potřeba vody pro úzkou komoru:

$$V = F * H = 1978 * 3,2 = 6\,330 \text{ m}^3$$

3.14.5 Dopravní výkonnost

Tento parametr je nejdůležitějším ukazatelem ekonomické výnosnosti plavební komory. Často pak bývá limitujícím prvkem na jednotlivých plavebních cestách. Vyjadřuje maximální kapacitu, která je dána množstvím proplaveného nákladu udávaného v tunách za časové období, zpravidla za jeden rok.

Rovnice pro *teoretickou dopravní výkonnost* plavební komory

$$K_t = 365 * 24 \frac{2 * M}{t_n}$$

K_t Teoretická dopravní výkonnost (mil.t/rok),

M Nosnost typového plavidla pro danou plavební třídu (t),

t_n Doba trvání jednoho cyklu proplavení plavební komorou (hod).

Doba trvání jednoho cyklu proplavení plavební komorou je složena z jednotlivých dílčích časových fází, které musejí v daném cyklu proběhnout

$$t_n = 2 * (t_1 + t_2 + t_4 + t_5) + t_3 + t_6$$

t_1 čas, za který plavidlo pluje do komory (platí pro oba směry) (hod),

t_2 čas, za který se otevřou a zavřou dolní vrata plavební komory (cca 1 až 2 min) (hod),

t_3 doba plnění plavební komory (dána výpočtem) (hod),

t_4 čas, za který se otevřou a zavřou horní vrata plavební komory (cca 1 až 2 min) (hod),

t_5 čas, za který plavidlo opustí komoru (hod),

t_6 doba prázdnění plavební komory (hod).

Čas, za který plavidlo vpluje nebo vypluje z plavební komory, je funkcí rychlosti plavidla a vzdálenosti, kterou urazí. Pro vplouvání je možno předpokládat rychlosti od 0,7 až do 0,9 m.s⁻¹ a při vyplouvání může plavidlo dosáhnout větší rychlosti od 1,0 až 1,8 m.s⁻¹. Při vplutí musí plavidlo překonat vzdálenost od místa stání v rejdě až do plavební komory.

Skutečná dopravní výkonnost je snížena o redukční koeficient

$$K = r_1 * r_2 * r_3 * r_4 * r_5 * r_6 * r_7 * r_8 * K_t = r * K_t$$

K_t	skutečná dopravní výkonnost (mil.t/rok),
r	celkový redukční součinitel (0,2 až 0,5)
r_1	část dne, kdy je komora v provozu (1 pro celý den)
r_2	vliv směru plavby (0,91 až 1)
r_3	denní nerovnoměrnost provozu (0,85 až 0,9)
r_4	roční nerovnoměrnost přepravních nároků (0,7 až 0,9)
r_5	využití roční doby (0,9)
r_6	nestejnorodost lodního parku (0,68 až 0,76)
r_7	využití ponoru lodí (0,75 až 0,9)
r_8	směrové nevyrovnanosti přepravních proudů (0,5 až 1)

Výpočet:

Za běžné provozního stavu je možné komoru využívat od 7:00 do 17:00 ve dnech od 1. května do 30. září a od 7:00 do 15:00 ve dnech od 1. října do 30. dubna. Jelikož je možné, pokud to plavební podmínky dovolí, využít komoru po domluvě i mimo tyto termíny, je předpokládáno $r_1 = 1$. Výsledek vycházející pouze z provozní doby by měl třetinovou hodnotu.

Pro úzkou komoru

$$t_n = 2 * (0,03 + 0,03 + 0,03 + 0,03) + 0,16 + 0,16$$

$$K_t = 365 * 24 \frac{2 * M}{t_n} = 365 * 24 \frac{2 * 3000}{0,59} = 90 \frac{mil. t}{rok}$$

$$K = 1 * 0,95 * 0,85 * 1 * 0,9 * 0,75 * 0,8 * 0,9 * 0,9 * 90 = 32 \frac{mil. t}{rok}$$

3.15 Shrnutí varianty A

Výhody této varianty spočívají v minimalizování zásahu do stávající konstrukce a napojení nových prvků na stávající objekty. S minimem konstrukcí se pojí i menší rozsah výkopových prací. Po realizaci tohoto řešení nedojde k žádnému ovlivnění kapacity jezu, nebo k zásahům do manipulace s jezovými tělesy a v případě povodňové aktivity je možné nadále využívat bez změny současný manipulační řád. V případě nutnosti rozšíření této varianty na plavební parametry Vb stačí pouze provést prodloužení délky úzké komory. To by bylo provedeno posunutím vzpěrných vrat a ohlaví komory do horní vody.

Nevýhodou této varianty na rozdíl od varianty A po druhé fázi je absence možnosti využití dvou plavebních komor naráz.

Součástí této varianty je i podvarianta, ve které je možné nahradit v horním ohlaví vzpěrná vrata za Čábelkova vrata.

3.16 Závěr pro variantu A

Jedná se o variantu, která je celkově méně nákladná a rekonstrukce se vztahuje pouze na plavební komoru. Plnění dlouhými obtoky je vhodné řešení způsobu plnění komory. Při plnění dlouhými obtoky nedochází k tak velkým silám na plavidlo jako v případě krátkých obtoků nebo přímého plnění. Při této variantě není nutnost zasahovat do stávajícího jezového tělesa, ani upravovat manipulaci s hradíci prvky. Nijak není ovlivněna ani sportovní propust nebo MVE.

Nevýhodou této varianty je na rozdíl od varianty B, že po výstavbě v daném profilu nebudou dvě komory vedle sebe, které je možno využívat téměř nezávisle na sobě.

Celá varianta je navržena tak, aby dostála všem současným nárokům kladeným na rozvoj infrastruktury vodních cest a umožnila povýšení vodní cesty v dolní Vltavě na třídu Va tak, jak je tomu požadováno v Koncepci vodní dopravy pro období 2016 – 2023.

4 Varianta B – Výstavba nových komor a jezu

Pro variantu B modernizace plavební komory v Miřejovicích bude sloužit již vzniklá studie od firmy Aquatis z března roku 2003. Tato studie vznikla za účelem rozšířit třídu plavební dráhy na úroveň Va s možností výhledového rozšíření až na Vb. Autorem této studie je Ing. Michal Novotný.

V této studii je zvažováno vybudování první nové plavební komory, umožňující proplouvat lodím s rozměry, pro které se navrhuje plavební dráha třídy Va na místě stávající plavební komory a postavení nového klapkového jezu v místě před stávajícím jezem. Nový jez neumožňuje zachování rybího přechodu, a tak součástí projektu je vybudování nového rybího přechodu. V pozdější době je bráno v potaz vystavení druhé plavební komory vedle první nové komory, ta by splňovala parametry pro plavební třídu Vb.

4.1 Plavební komory

Plavební komory jsou navrženy tak, aby odpovídaly všem technickým požadavkům kladeným na vodní cesty třídy Va. Návrh ovšem nezohledňuje v první své etapě požadavek na minimální délku plavidla 137 m vnesený Konceptí vodní dopravy pro období 2016 – 2023.

4.1.1 Návrhové parametry

Jelikož se jedná o studii staršího data, tak všechny parametry kladené v současné době na modernizaci, nejsou splněny. Požadavky na komoru vycházejí z vyhlášky č. 222/1995 Sb.

Komora třídy Va umožňuje proplavení soupravám délky 110 m a komora třídy Vb umožňuje proplavení až 185 m dlouhým plavidlům. U obou komor je umožněna podjezdná výška 7 m. Minimální šířka v komoře třídy Va je 12,0 m a hloubka nad záporníkem je 4,0 m.

Komory jsou navrženy na úroveň provozní hladiny v horní vodě 167,70 m n. m., té je docíleno novým jezem. Úroveň hladiny v dolní vodě je předpokládána 164,50 m n. m. Pro docílení této hodnoty je nutné provést nejprve rekonstrukci VD Vraňany.

4.1.2 Stavební řešení

Stavba bude rozdělena do dvou etap. V první etapě bude postavena komora vyhovující parametrům třídy Va o rozměrech 115 x 12 m s hloubkou nad záporníkem 4,0 m. Kdežto druhá etapa je výhledová a počítá s vystavením plavební komory vyhovující parametrům třídy Vb o rozměrech 190 x 13 m s hloubkou nad záporníkem 4 m.

4.1.3 Horní ohlaví

Horní uzávěr plavební komory budou tvořit Čábelkova vrata o hradící výšce 7,2 m. Součástí ohlaví jsou i drážky pro provizorní hrazení. Vývar pod Čábelkovými vraty je osazen rozražeči tlumícími proud při plnění komory.

4.1.4 Stěny a dno komory

Konstrukce stěn a dna plavební komory je tvořena železobetonovým polorámem dilatovaným na celky po 12 m. Výška stěny je 10,20 m a tloušťka se zmenšuje z 1,4 m na 1,0 m v horní části. Kolem stěn povede kabelový kanál. Na platformě nad stěnami budou rozmístěna pacholata po osmi na každé straně a ve stěně bude umístěno 16 úvazných trnů.

4.1.5 Dolní ohlaví

V dolním ohlaví jsou osazena vzpěrná vrata. Součástí vzpěrných vrat jsou otvory s tabulovými uzávěry umožňujícími prázdnění komory do dolní vody.

4.2 Pohyblivý jez

Současný jez bude zrušený a nahrazený novým jezem. Nový jez bude umístěn v osově vzdálenosti 22,3 m níže po toku. Jako pohyblivé hrazení budou sloužit duté klapky. Klapky jsou navrženy s hradící výškou 3.3 m a budou umístěny na spodní pevné konstrukci ve tvaru Jamborova prahu.

Klapky budou podpírány hydraulickými válci umožňujícími manipulaci s klapkou. Vztyčená klapka bude svojí korunou převyšovat provozní hladinu o 0,3 m na úroveň 168,00 m n. m.

Jez bude mít celkem čtyři pilíře a pět klapek. Jezové pole č.1 bude mít šířku 19.80 m. Jeho dva pilíře budou navazovat na oba pilíře původního jezového pole. Jezové pole č.2 bude šířky 56.06 m a budou v něm umístěny dvě klapky, každá délky 28.03 m. Jezové pole č.3 je navrženo v délce 58.30 m rovněž s dvojicí klapek o délce 29.15 m.

Při výstavbě bude využito současného jezu jako horní jímky a po dokončení výstavby bude demontován a odstraněn. Funkce nového jezu nebude původním jezem ovlivňována.

Vybudováním nového jezu bude zachována současná normální hladina ve zdrži Miřejevici na kótě 167.70 m n. m. s možností navýšení po úpravách ve zdrži na kótu 168.00 m n. m. [2]

Počet hrazených polí	3
Pole č.1	
Světlost pole	19.80 m
Hradící výška klapky	3.30 m
Počet klapek v poli	1
Kóta pevného prahu klapky	164.70 m n. m.
Kóta osy klapky	164.45 m n. m.
Pole č.2	
Světlost pole	56.06 m
Hradící výška klapky	3.30
Počet klapek v poli	2
Kóta pevného prahu klapky	164.70 m n. m.
Kóta osy klapky	164.45 m n. m.
Pole č.3	

Světlost pole	58.30 m
Hradící výška klapky	3.30 m
Počet klapek v poli	2
Kóta pevného prahu klapky	164.70 m n. m.
Kóta osy klapky	164.45 m n. m.

4.2.1 Vorová propust

Současný segment hradící vorovou propust bude nahrazen novým klapkovým uzávěrem. Klapka bude mít výšku 2,0 m a její koruna bude na úrovni 168,00 m n. m.

4.2.2 Vývar

Bude navázán na Jamborův práh netěsnou dilatační spárou. Vývar je navržen o délce 18,0 m a hloubce 1,0 m. Vývar se skládá ze systému desek rozdělených netěsněnou dilatační spárou, povrch vývaru se nalézá na úrovni 161,40 m n. m. Průniků jemných částic zeminy do drenáží bude zabráněno filtrem pod každou drenáží.

4.2.3 Odpadní koryto

Do vzdálenosti 8 m od konce vývaru bude proveden kamenný zához o mocnosti 3 m. Tím bude zabráněno nechtěné erozi dna koryta.

V původní studii se počítalo s rozšířením koryta do ostrova mezi vorovou propustí a jezem přibližně o 50 m. Tento návrh již není aktuální, jelikož mezi léty 2012 – 2015 k podobné úpravě mezilehlého ostrova došlo v přibližně stejném rozsahu.

4.2.4 Jezová chodba + vstup do chodby

Od domku na pravém břehu vedle sportovní propusti prochází pod celou konstrukcí Jamborova prahu chodba, poté prochází pod úrovní plavební komory a vystupuje ve velínu vodního díla. Dno komory je na kótě 161,05 m n. m. V průřezu má chodba tvar pětiúhelníku o maximálních rozměrech 2,5 x 1,8 m. Odvodnění je provedeno jímacím žlabem ve dně chodby, který je vyspádován do jímky pod velínem. Z této jímky je voda čerpána dvěma čerpadly.

4.2.5 Velín

Nový velín bude umístěn do prostoru mezi komorami. Do velínu bude zaústěna jezová chodba. Celá konstrukce velínu bude tvořena ze železobetonu. Do velínu se nainstaluje nový řídicí systém a ovládání jezu i plavební komory. Ve velínu budou rovněž vyvedeny rozvody kamerového systému.

4.3 Rybí přechod

Jelikož návrh jezového tělesa počítá se zrušením rybího přechodu, je nutné vybudování nového RP, aby na VD Miřejovice nevznikla nepřekonatelná migrační překážka pro ryby.

Současný návrh rybího přechodu je nevyhovující svými parametry. Jedná se především o sklon dna, který je v poměru 1 : 10. Tento sklon není vhodný ani pro lososovité ryby, kde je sklon doporučen alespoň 1 : 20. Jelikož se jedná o dolní část toku, je možné předpokládat spíše výskyt kaprovitých druhů. Pro tento druh je doporučen sklon dna 1 : 25. Z tohoto důvodu je v následující kapitole „Hydraulické výpočty“ proveden návrh a početní ověření vhodnějších parametrů pro daný rybí přechod. Ze současného návrhu se dá dispozičně vycházet.

Původní návrh počítá s umístěním RP o délce 70,85 m do jalové propusti MVE. Tento způsob umístění je velice vhodný, protože odpadní voda z elektrárny vytváří lákavý proud navádějící ryby na vstup do RP.

4.4 Hydraulické výpočty

V následujícím odstavci jsou provedeny hydraulické výpočty k ověření jednotlivých vlastností plavební komory. Výpočty je stanoveno:

- Doba plnění a prázdnění
- Průběh plnění a prázdnění
- Síly působící na plavidlo
- Doba proplavení
- Potřeby vody na proplavení
- Dopravní výkonnost

4.4.1 Doba plnění

Plnění je prováděno skrze Čábelkova vrata. Výpočet je prováděn pro přímé plnění otvorem pod vraty. Při otevírání vrat je myšleno na pomalé lineární otevírání po celou dobu plnění.

Za použití základních diferenciálních rovnic (dynamické a kontinuity) získáme nekonečně malý element změny objemu dV .

Dynamická diferenciální rovnice

$$dV = \mu * f \sqrt{2 * g * y} dt$$

Diferenciální rovnice kontinuity

$$dV = -F dy$$

Při porovnání obou rovnic získáme tvar

$$-F dy = \mu * f \sqrt{2 * g * y} dt$$

Tento tvar lze následně integrovat podle zvolených mezí

$$\int_0^T dt = \frac{-F}{\mu * f \sqrt{2 * g}} \int_H^0 y^{-1/2} dy$$

A získat celkovou dobu plnění

$$T = \frac{2 * F}{\mu * f \sqrt{2 * g}} \sqrt{H}$$

Tento vzorec je vhodný, vychází-li se ze situace, kdy otevření plochy uzávěru bude okamžité. Pro reálné použití se předpokládá otevření uzávěru lineární po celou dobu plnění. Můžeme tak vycházet z toho, že v průměru je uzávěr otevřen na polovinu.

$$T = \frac{4 * F}{\mu * f \sqrt{2 * g}} \sqrt{H}$$

μ	součinitel plnění (též součinitel ztrát) (-)
f	plocha otvoru (m ²)
g	tíhové zrychlení (9,18 m.s ⁻²)
y	výška mezi hladinou a elementem změny objemu (m)
F	plocha komory (m ²)
T	celkový čas nutný pro plnění (s)
H	rozdíl hladin v komoře (m)
dV	nárůst elementu objemu
dy	nárůst výšky hladiny
dt	čas, za který přibude element objemu

Součinitel ztrát byl použit $\mu = 0,74$ dle tabulky 4

Výpočet pro komoru třídy Va

$$T = \frac{4 * 1597}{0,74 * 18 \sqrt{2 * 9,18}} \sqrt{3,2} = 193 \text{ s} = 3,3 \text{ min}$$

Výpočet pro komoru třídy Vb

$$T = \frac{4 * 2701}{0,74 * 21,45 \sqrt{2 * 9,81}} \sqrt{3,2} = 274 \text{ s} = 4,6 \text{ min}$$

4.4.2 Průběh plnění a prázdnění

Cílem tohoto výpočtu je získat hladký průběh změny hladiny v průběhu plnění a prázdnění značený $h = \varphi(t)$ a průběh průtoků $Q = \varphi(t)$. Výpočet je možné provádět pro případ, kdy voda vytéká nad počáteční hladinou, anebo výtokové otvory jsou umístěny u dna, jako je tomu v tomto případě.

Výpočet vychází z diferenční rovnice

$$\Delta t = \frac{1}{\mu_s * f_i \sqrt{2 * g}} (\sqrt{H_{i-1}} - \sqrt{H})$$

Z rovnice lze vyjádřit spád v jednotlivém i-tém čase

$$H_i = \left(\sqrt{H_{i-1}} - \frac{\mu_s \sqrt{2 * g}}{2 * F} f_i * \Delta t \right)^2$$

Za pomoci takto získaného spádu je možné vyčíslit h_i (měnící se výšku hladiny v komoře). Hladina je rovna rozdílu jednotlivých spádů v čase a celkového spádu komory.

$$h_i = H - H_i$$

Za pomoci jednotlivých spádů je možné odvodit i průtok.

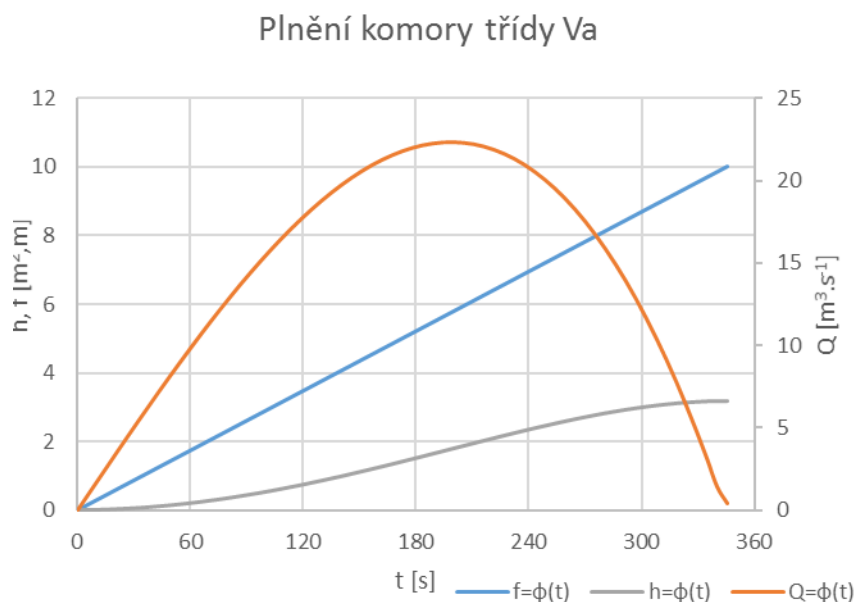
$$Q_i = \mu_s * f_i \sqrt{2 * g * H_i}$$

Δt	časový krok (s)
μ_s	součinitel plnění (též součinitel ztrát) (-)
g	tíhové zrychlení (9,81 m.s ⁻²)
F	plocha komory (m ²)
H	rozdíl hladin v komoře (m)
H_i	rozdíl hladiny v komoře za časový úsek (m)
f_i	plocha otvoru, v průběhu času proměnná (m ²)

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

Průběh plnění pro komoru třídy Va

Pro výpočet je předpokládáno lineární otevírání po celou dobu plnění komory a komora se naplní za 3,3 minuty.

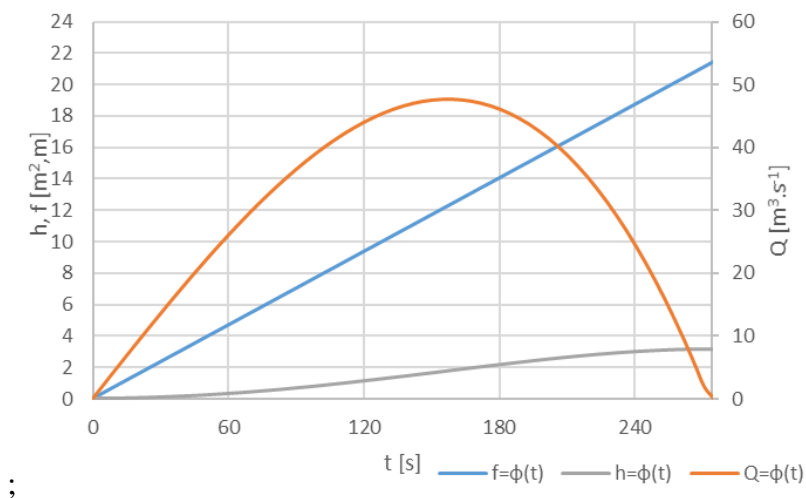


Obrázek 26 Graf - Průběh plnění pro komoru třídy Va

Průběh plnění pro komoru třídy Vb

Pro výpočet je předpokládáno lineární otevírání po celou dobu plnění komory a komora se naplní za 4 minuty.

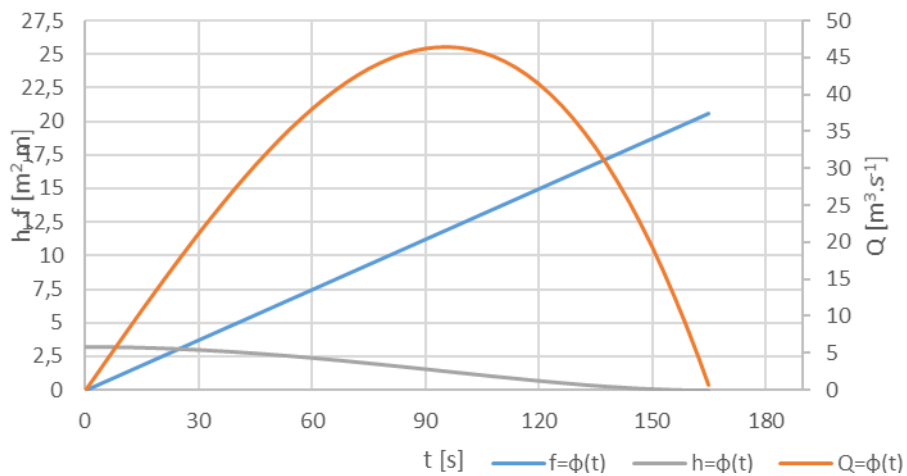
Plnění komory třídy Vb



Obrázek 27 Graf - Průběh plnění pro komoru třídy Vb

Průběh prázdnění pro komoru třídy Va

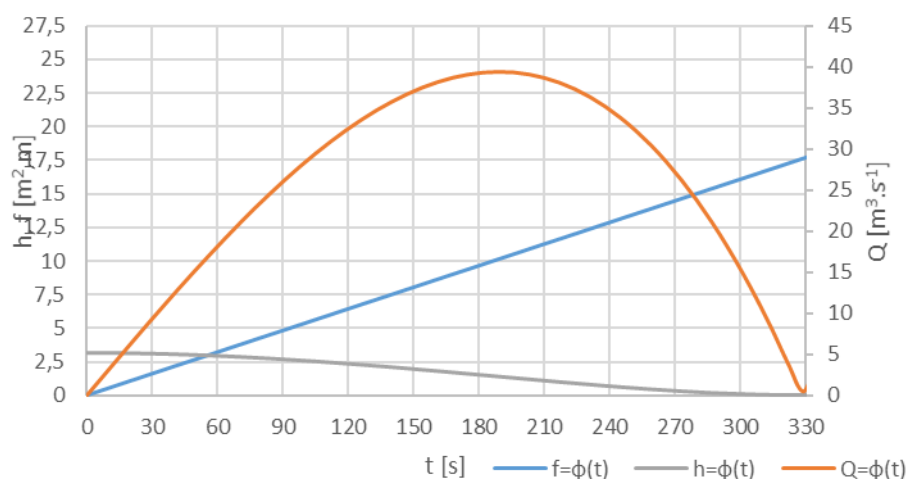
Prázdnění komory třídy Va



Obrázek 28 Graf - Průběh prázdnění pro komoru třídy Va

Průběh prázdnění pro komoru třídy Vb

Prázdňení komory třídy Vb



Obrázek 29 Graf - Průběh prázdňení pro komoru třídy Vb

4.4.3 Síly působící na plavidlo

Plavidlo je pro proplavování komorou namáháno silami horizontálními a vertikálními.

Vertikální síly jsou vyrušeny vlastní tíhou plavidla, a je tedy možné je při výpočtech zanedbat.

Horizontální síly ovlivňují plavidlo jak v příčném, tak i v podélném směru. Příčné síly jsou zanedbatelné a jejich působení se zachytí o zdi komory.

Výpočet sil působících na plavidlo je prováděn na síly podélné, ty ohrožují proplavované plavidlo nejvíce. Hrozí zde riziko nekontrolovatelného rozpořívování plavidla v podélném směru a následné kolizi s vraty plavební komory. V takovém případě by mohlo dojít k poškození plavidla, nebo i k poškození vrat. Aby se tomu zabránilo, je nutné proplouvající plavidlo vyvázat vždy dvěma protisměrnými lany, aby plavidlo bylo schopné odporovat podélné síle měnící směr v průběhu plnění a prázdňení.

Podélná síla se skládá ze tří složek:

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

P podélná síla (kN),

P₁ proudový odpor plavidla, způsobený obtékáním (zahrnuje odpor třením a tvarový odpor) (kN),

P_2 síla vznikající sklonem hladiny vody při změně kinetické energie vodního proudu na energii potenciální (kN),

P_3 síla vznikající vlněním hladiny od měnícího se přítoku do komory (kN).

Složky P_1 a P_2 působí proti sobě a z celkové síly tvoří max 15%, proto je možné je v předběžném výpočtu zanedbat. Nejnebezpečnější je tedy složka P_3 , a to u komor, které jsou plněny a prázdněny přímo, případně krátkými obtoky.

Z obrázku 26 je možné po zavedení zjednodušujících předpokladů odvodit následující vztah

$$P_3 = W * i = \frac{W}{g(f_k - f_{\check{c}})} \left(\frac{dQ}{dt} \right)_{max}$$

W celkový výtlač plavidla lodní soupravy (kN),

f_k plocha příčného řezu náležící vodnímu elementu (m^2),

$f_{\check{c}}$ plocha ponořeného plavidla v příčném řezu (m^2),

$(dQ/dt)_{max}$ maximální přírůstek přítoku v čase.

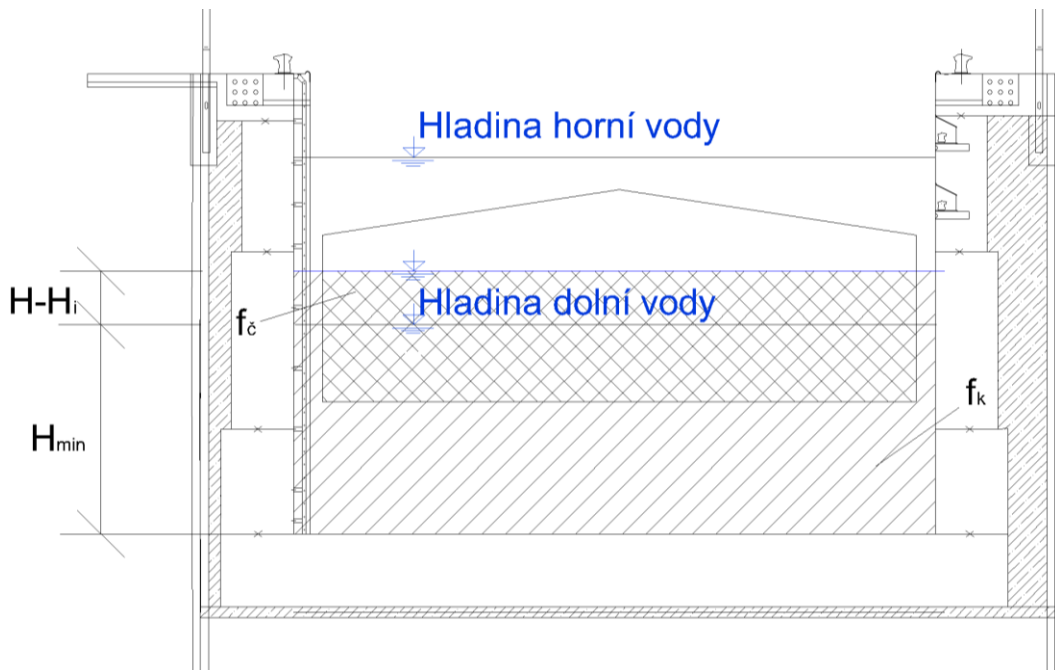
Výtlač počítán pro soupravu remorkéru TR 600 (remorkér s největším výtlačem vyskytující se na českých tocích) a plně naloženého tlačného člunu Evropa II.

Výtlač člunu činí 250 t. Pro získání výtlaču člunu je nutné použít vzorce vycházejícího z Archimedova zákona. Těleso se ponoří do takové hloubky, při jaké je výtlač (hmotnost vody vytlačena ponořeným plavidlem) roven hmotnosti plavidla s nákladem.

$$W = W_{remorkér} + W_{\check{c}lun} = 250 + 2\,200 = 2\,450\,t$$

V objem tělesa člunu (m^3)

ρ hustota vody ($kg \cdot m^{-3}$)



Obrázek 30 Příčný řez komorou s vyznačenými plochami.

Výpočet pro komoru třídy Va:

$$f_k = B (H_{min} + (H - H_i)) = 12 (2,5 + 3,2 - 1,5) = 50,4 \text{ m}^2$$

H_i spád náležící okamžiku, kdy hodnota (dQ/dt) je nejvyšší

$$P = \frac{2\,450\,000}{9,81 (50,4 - 11,4 * 2,5)} 7,0 = 79 \text{ kN}$$

Podélné síly jsou zachyceny pomocí lan. Lana jsou uvázána pod úhlem α_i , který svírají s podélnou osou komory. Lana jsou prověšena, pokud je plavidlo v klidu po dobu plnění komory, pokud dojde k naklonění hladiny, dojde i k napnutí lana. V napnutém lanu vzniká špičkové napětí, to lze získat empiricky zvětšením síly, anebo výpočtem.

$$P_{max} = \frac{1,35 * P}{\cos \alpha} \cong 1,75 * P = 135 \text{ kN}$$

P_{max} maximální působící síla

Největší síla v lanu musí být posouzena s pevností lana R (t)

$$R = m * k * N = 0,92 * 0,65 * 230 = 138 \text{ kN}$$

- m součinitel podmínek působení závislý na konstrukci drátů
k součinitel stejnoměrnosti, závislý na povrchové úpravě
N jmenovitá nosnost lana (kN)

Je zachováno $P_{\max} < R$ – Návrh rychlosti plnění vyhovuje

4.4.4 Potřeba vody na proplavení

Potřeba vody na proplavení vyjadřuje objem vody, který je třeba k naplnění komory a při následném prázdnění komory bude vypuštěn do dolní vody.

$$V = F * H$$

- F plocha komory (m^2)
H rozdíl hladin v komoře (m)

Potřeba vody pro komoru třídy Va

$$V = F * H = 1597 * 3,2 = 5\,110\, m^3$$

Potřeba vody pro komoru třídy Vb

$$V = F * H = 2701 * 3,2 = 8\,643\, m^3$$

4.4.5 Dopravní výkonnost

Tento parametr je nejdůležitějším ukazatelem ekonomické výnosnosti plavební komory. Často pak bývá limitujícím prvkem na jednotlivých plavebních cestách. Vyjadřuje maximální kapacitu, která je dána množstvím proplaveného nákladu udávaného v tunách za časové období, zpravidla za jeden rok.

Rovnice pro *teoretickou dopravní výkonnost* plavební komory

$$K_t = 365 * 24 \frac{2 * M}{t_n}$$

- K_t Teoretická dopravní výkonnost (mil.t/rok),
 M Nosnost typového plavidla pro danou plavební třídu (t),
 t_n Doba trvání jednoho cyklu proplavení plavební komorou (hod).

Doba trvání jednoho cyklu proplavení plavební komorou je složena z jednotlivých dílčích časových fází, které musejí v daném cyklu proběhnout

$$t_n = 2 * (t_1 + t_2 + t_4 + t_5) + t_3 + t_6$$

- t_1 čas, za který plavidlo pluje do komory (platí pro oba směry) (hod),
 t_2 čas, za který se otevřou a zavřou dolní vrata plavební komory (cca 1 až 2 min) (hod),
 t_3 doba plnění plavební komory (dána výpočtem) (hod),
 t_4 čas, za který se otevřou a zavřou horní vrata plavební komory (cca 1 až 2 min) (hod),
 t_5 čas, za který plavidlo opustí komoru (hod),
 t_6 doba prázdnění plavební komory (hod).

Čas, za který plavidlo vpluje nebo vypluje z plavební komory, je funkcí rychlosti plavidla a vzdálenosti, kterou urazí. Pro vplouvání je možno předpokládat rychlosti od 0,7 až do 0,9 m.s⁻¹ a při vyplouvání může plavidlo dosáhnout větší rychlosti od 1,0 až 1,8 m.s⁻¹. Při vplutí musí plavidlo překonat vzdálenost od místa stání v rejdě až do plavební komory.

Skutečná dopravní výkonnost je snížena o redukční koeficient

$$K = r_1 * r_2 * r_3 * r_4 * r_5 * r_6 * r_7 * r_8 * K_t = r * K_t$$

- K_t skutečná dopravní výkonnost (mil.t/rok),
 r celkový redukční součinitel (0,2 až 0,5)
 r_1 část dne, kdy je komora v provozu (1 pro celý den)
 r_2 vliv směru plavby (0,91 až 1)

- r₃ denní nerovnoměrnost provozu (0,85 až 0,9)
- r₄ roční nerovnoměrnost přepravních nároků (0,7 až 0,9)
- r₅ využití roční doby (0,9)
- r₆ nestejnoročnost lodního parku (0,68 až 0,76)
- r₇ využití ponoru lodí (0,75 až 0,9)
- r₈ směrové nevyrovnanosti přepravních proudů (0,5 až 1)

Výpočet:

Pro komoru třídy Va

$$t_n = 2 * (0,03 + 0,03 + 0,03 + 0,03) + 0,16 + 0,16$$

$$K_t = 365 * 24 \frac{2 * M}{t_n} = 365 * 24 \frac{2 * 3000}{0,59} = 90 \frac{mil. t}{rok}$$

$$K = 1 * 0,95 * 0,85 * 1 * 0,9 * 0,75 * 0,8 * 0,9 * 0,9 * 90 = 40 \frac{mil. t}{rok}$$

Jelikož lze po domluvě proplouvat kdykoli během dne, dovolují-li to plavební podmínky, je uvažováno r₁ jako neovlivňující faktor.

4.4.6 Rybí přechod

Návrh, který obsahuje tato varianta, je vysoce nevyhovující už jen z důvodu sklonu celého rybiho přechodu, který je 1 : 10. Doporučený největší sklon pro kaprovité ryby je 1 : 25. Z tohoto důvodu je proveden nový výpočet (Tabulka 5 Výpočet nového návrhu RP) parametrů rybiho přechodu dle manuálu AOPK.

Případ se sklonem 1 : 10 by musel být doložen hydraulickým modelem s potvrzením, že splňuje všechna kritéria pro umožnění migrace ryb.

krok	Štěrbínový RP - kaprovité vody					
	veličina	označení	hodnota	jednotka	požadavek	posouzení
vstupní data	celkový spád	dH	3,200	m		
	návrhový průtok	Q	0,330	m ³ .s ⁻¹		
	maximální dovolená rychlost	v_dovol	1,000	m.s ⁻¹	dle doporučení	
1	výtokový součinitel	φ	0,710	-	0.7-0.8	
	výpočtový spád na štěrbině	dh_dovol	0,101	m		
2	minimální počet přepážek	n_min	31,6	ks		
	počet přepážek	n	32,0	ks		
3	spád na štěrbině	dh	0,100	m		
4	maximální rychlost ve štěrbině	v_max	0,995	m.s ⁻¹	< 1	Vyhovuje
5	minimální hloubka vody v tůňce	h_min	0,600	m	dle doporučení	
	maximální hloubka vody v tůňce	h_max	0,700	m		
6	výpočtová šířka štěrbin	B_štěrbin	0,553	m		
	návrhová šířka štěrbin	B_štěrbin	0,560	m	dle doporučení	
7 a)	průtok - výtok spodem	Qa	0,334	m ³ .s ⁻¹	> 0,33	Vyhovuje
7b	součinitel zatopení	σ_z	0,545	-		
	součinitel přepadu	μ	0,710	-	0.7 - 0.8	
	průtok - zatopený přepad	Qb	0,375	m ³ .s ⁻¹		
8	šíře RP	B_rp	2,000	m		
	rychlost vody na vtoku	v_o	0,236	m.s ⁻¹		
	redukováno energetická výška	h_e	0,597	m		
	kapacita vtoku	Q_kap vtok	0,618	m ³ .s ⁻¹	> 0,33	Vyhovuje
9	Froudovo číslo	Fr_štěrbin^2	0,168	-	< 1	Vyhovuje
10	doporučený podélný sklon	i_dopor.	4	%	1 : 25 (4%)	
	tloušťka přepážky	tl	0,150	m		
	doporučená délka tůňky	L_dop	2,350	m		
	délka tůňky	L_tůň	2,450	m	> 2,35	Vyhovuje
	podélný sklon	i_rp	3,968	%	< 4	Vyhovuje
	délka žlabu RP	L_rp	80,600	m		
11	disipovaný výkon na přepážce	P	323,7	W		
	objem tůňky	V_tůň	2,94	m ³ .s ⁻¹		
	maximální disipovaný výkon	P_spec_max	125	W.m ⁻³	dle doporučení	
	specifický disipovaný výkon	P_spec	110,1	W.m ⁻³	< 125	Vyhovuje

Tabulka 5 Výpočet nového návrhu RP

Postup výpočtu:

1. Výpočet maximálního dovoleného rozdílu hladin mezi jednotlivými přepážkami na základě maximální dovolené rychlosti vody.

$$\Delta h_{dovolené} = \frac{v_{dovolené}^2}{2 g \varphi^2}$$

2. Získání minimálního počtu přepážek

$$n_{min} = \frac{\Delta H}{\Delta h_{dovolené}}$$

Výsledné číslo je nutné zaokrouhlit nahoru.

3. Získání reálného spádu na přepážce

$$\Delta h = \frac{dH}{n}$$

4. Výpočet maximální rychlosti na štěrbině

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

5. Navrhnutí minimální hloubky vody v části mezi překážkami RP - h_{min}

6. Výpočet šíře štěrby (pro případ, kdy je štěrbin více v jedné přepážce, počítá se s jejich sumou)

$$B_{štěrbyny} = \frac{Q_{požadované}}{\varphi h_{min} \sqrt{2 g \Delta h}}$$

7. Výpočet průtoků v RP

a) Výpočet průtoků pro případ, kdy dna sousedních tůňek na sebe navazují (tato varianta je uplatněna ve výpočtech).

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

b) Výpočet průtoků pro případ, že štěrba má zvýšený práh. Vychází z rovnice nedokonalého přepadu (tento způsob není použit ve výpočtech).

$$Q = \frac{2}{3} \mu \sigma_z B_{štěrbyny} \sqrt{2 g}$$

Součinitel zatopení

$$\sigma_z = \left[1 - \left(1 - \frac{\Delta h}{h_{max}} \right)^{1,5} \right]^{0,385}$$

8. Výpočet hodnot na vtoku do RP pomocí rovnice přepadu. Zohledňuje se ztráta na vtoku a snížení hladiny při nárůstu rychlostní výšky.

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

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

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

9. Pomocí Froudova čísla se zjistí, zda se v RP vyskytuje říční nebo bystrinné proudění. Pokud $Fr < 1$, jedná se o říční proudění a návrh je v pořádku.

$$Fr_{štěrbyny}^2 = \frac{v_{max}^2}{g h_{min}}$$

10. Výpočet minimální délky bazénku a její návrh

$$L_{doporučené} = \frac{100 \Delta h - i_{doporučené} tl}{i_{doporučené}}$$

$$L_{bazénku} \geq L_{doporučené}$$

Výpočet délky RP

$$L_{RP} = (n - 1)(L_{bazénku} + tl)$$

11. Kontrola disipované energie v jednom bazénku

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

$$V_{bazénku} = h_{min} B_{RP} L_{bazénku}$$

$$P_{měr} = \frac{P}{V_{bazénku}}$$

$$P_{měr} < P_{měr_dovol}$$

Δh	rozdíl hladin nad a pod štěrbinou (m)
v	rychlost proudění ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
g	tíhové zrychlení ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)
φ	výtokový součinitel (-)
n	počet přepážek (-)
ΔH	celkový spád (m)
$B_{\text{štěrbin}}y$	šířka štěrbin (m)
Q	průtok ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)
h_{min}	minimální hloubka hladiny (m)
σ_z	součinitel zatopení (-)
B_{RP}	šířka rybího přechodu (m)
h_{max}	maximální hloubka hladiny (m)
Fr	Froudovo číslo (-)
h_e	energetická výška (m)
$L_{\text{Bazénku}}$	délka bazénku (tůňky) (m)
L_{RP}	délka bazénku (m)
i	podélný sklon dna (%)
tl	tloušťka překážky (m)
ρ	měrná hmotnost vody ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
P	disipovaný výkon v jedné tůňce (W)
$P_{\text{měr}}$	měrný disipovaný výkon ($\text{W}\cdot\text{m}^{-3}$)

4.5 Závěr pro variantu B

Výše popsané řešení je vhodné jak pro modernizaci plavební komory, tak i pro úpravu jezových polí. Jedná se o dražší variantu, která by mohla kolidovat s představami památkové péče o zachování vzhledu jezu.

Výhodou této varianty je rozdělení celé plánované stavby do dvou etap, kdy druhá etapa je pouze výhledová a nemusí její provedení nutně následovat po ukončení první. Tím je připraveno řešení pro problém nedostatku kapacit, který by mohl vzniknout v případě zvýšeného zájmu o používání vltavské plavební cesty. Druhá plavební komora je též připravena pro umožnění plavby lodím Vb třídy. V první etapě dojde k výstavbě plavební komory s parametry pro plavidla třídy Va.

Součástí této varianty je i modernizace jezových polí. Modernizace jezových polí ovšem sebou nese i zrušení stávajícího rybiho přechodu. Ten je navržen nový v místě jalové propusti MVE. Dále je také součástí varianty vytvoření nového velínu.

5 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout vhodné řešení modernizace plavební komory Mířejovice tak, aby splňovala parametry vodní cesty třídy Va. Pro tento účel byl vytvořen projekt úpravy stávající plavební komory, aby splňovala všechny zadané parametry a umožnila bezpečnou plavbu. Součástí této práce bylo i zhodnocení již existující studie modernizace plavebního stupně Mířejovice od firmy Aquatis (2003) a porovnání obou variant. Druhá varianta obsahuje mimo výstavby dvou nových komor i kompletní rekonstrukci jezu.

Obě tyto varianty splňují cíl této práce. Varianta A je oproti variantě B levnější. Hlavním důvodem je investiční nákladnost na zbourání současné plavební komory a vybudování jedné až dvou nových komor. S touto výstavbou se pojí i celková výměna a přemístění jezu, velínu a rybího přechodu. Z těchto důvodů lze doporučit modernizaci popisovanou v první variantě. Jedná se o rekonstrukci, která v minimální míře klade nároky na přesouvání již stávajících konstrukcí nebo jejich bourání a maximálně využije jejich potenciál pro rekonstrukci. Tudíž nedojde ani k narušení žádné z technických památek, které se zde nalézají. Sama první varianta je kapacitně dostačující a plně vyhovuje nárokům na povýšení úseku vltavské vodní cesty do Prahy na parametry třídy Va.

Obrázky

Obrázek 1 Mapa okolních obcí plavební komory Miřejovice.....	14
Obrázek 2 Pohled na plavební stupeň Miřejovice.....	15
Obrázek 3 Historická mapa Veltrus z 19.století.....	18
Obrázek 4 Plavební komory	21
Obrázek 5 Pohled na jezová pole s vyznačeným číslováním.....	22
Obrázek 6 Jez	24
Obrázek 7 Malá vodní elektrárna	27
Obrázek 8 Sportovní propust.....	28
Obrázek 9 Rybí přechod.....	28
Obrázek 10 Ocelový most.....	29
Obrázek 11 VD Vraňany.....	30
Obrázek 12 Parametry pro návrh plavební komory [8].....	32
Obrázek 13 Plavební mapa – VD Miřejovice	34
Obrázek 14 Řez obtokovým kanálem	37
Obrázek 15 Podvarianta varianty A s Čábelkovými vraty v horním ohlaví	40
Obrázek 16 Síly působící na těleso	45
Obrázek 17 Výslednice R.....	47
Obrázek 18 Graf - Plnění velké komory	54
Obrázek 19 Graf - Plnění úzké komory	55
Obrázek 20 Graf - Plnění úzké komory Čábelkovými vraty.....	55
Obrázek 21 Graf - Prázdňení velké komory obtoky	56
Obrázek 22 Graf - Prázdňení velké komory otvory ve vratech.....	56
Obrázek 23 Graf - Prázdňení úzké komory obtoky.....	57
Obrázek 24 Graf - Prázdňení úzké komory otvory ve vratech.....	57
Obrázek 25 Příčný řez komorou s vyznačenými plochami	60
Obrázek 26 Graf - Průběh plnění pro komoru třídy Va	73
Obrázek 27 Graf - Průběh plnění pro komoru třídy Vb	74
Obrázek 28 Graf - Průběh prázdňení pro komoru třídy Va.....	74
Obrázek 29 Graf - Průběh prázdňení pro komoru třídy Vb	75
Obrázek 30 Příčný řez komorou s vyznačenými plochami.....	77

Tabulky

Tabulka 1 M-denní průtoky na Vltavě	16
Tabulka 2 N-leté průtoky na Vltavě	16
Tabulka 3 Návrhové parametry PK Mířejovice	33
Tabulka 4 Střední hodnoty součinitele plnění μ	52
Tabulka 5 Výpočet nového návrhu RP	81

Bibliografie

- [1] „Vltava,“ wikipedia, [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Vltava>. [Přístup získán 3 3 2018].
- [2] I. M. Novotný, *Studie modernizace vodního díla - Souhrnná technická zpráva*, Brno: Aquatis, 2003.
- [3] „Nelahozeves,“ Wikipedia, [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Nelahozeves>. [Přístup získán 19 3 2018].
- [4] N. p. ústav, „Veltrusy - oficiální webová prezentace státního zámku,“ Národní památkový ústav, [Online]. Available: <https://www.zamek-veltrusy.cz/cs/o-zamku/historie>. [Přístup získán 12 Březen 2018].
- [5] Vodohospodářský dispečink útvar inženýrských činností, *Manipulační řád pro vodní dílo Miřejovice na Vltavě*, Praha: Povodí Vltavy Praha s.p., 1994, revize 2004.
- [6] E. Urbanová, *Možnosti omezení vlivu výpadků MVE Miřejovice na průtokový režim*, Praha: ČVUT, 2013.
- [7] *Koncepce vodní dopravy*, 2016.
- [8] Evropský účetní dvůr: od roku 2001 se výrazně nezvýšil podíl tohoto způsobu dopravy ani se nezlepšila splavnost, *Vnitrozemská vodní doprava v Evropě*, Lucemburg, 2015.
- [9] *Vyhláška č. 67/2015 Sb., o pravidlech plavebního provozu (pravidla plavebního provozu)*.
- [10] *Vyhláška č. 222/1995 Sb., Vyhláška Ministerstva dopravy o vodních cestách, plavebním provozu v přístavech, společné havárii a dopravě nebezpečných věcí*.
- [11] C. Doc. Ing. Vladimír Medřický a C. Doc. Ing. Petr Valenta, *VODNÍ CESTY Navrhování plavebních komor*, Praha: České vysoké učení technické, 2009.

- [12] C. Doc. Ing. Vladimír Medřický, HYDROTECHNICKÉ STAVBY 30 Navrhování plavebních stupňů, Praha: České vysoké učení technické, 2000.
- [13] C. Doc. Ing. Vladimír Medřický, HYDROTECHNICKÉ STAVBY 2 Vodní cesty, Praha: České vysoké učení technické, 2006.
- [14] D. Prof. Ing. Dr. Jaroslav Čábelka, *Vodní cesty a plavba*, Praha: ČVUT, 1976.
- [15] „Parametry vodních cest v Česku,“ Wikipedia, 5 3 2018. [Online]. Available: https://cs.wikipedia.org/wiki/Parametry_vodn%C3%ADch_cest_v_%C4%8Cesku.
- [16] TV-ADams, „Vltavská vodní cesta,“ [Online]. Available: http://www.tv-adams.wz.cz/vodni_cesty/vltava.html. [Přístup získán 2018 3 12].

6 Přílohy

Současný stav - Plavební komora Miřejovice - Situace, půdorys a řezy

Varianta A - Plavební komora Miřejovice - Situace, půdorys a řezy

Varianta B - I. etapa - Plavební komora, rybí přechod a jez - Situace, řezy a detail

Varianta B - II. etapa - Plavební komora a jez – Půdorys

Vázací zařízení - Detaily