

**České vysoké učení technické v Praze**

Fakulta stavební

Katedra hydrotechniky



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Ověření možnosti přímého plnění a prázdnění  
plavební komory Děčín**

Verification of the possibility of direct filling and  
emptying of the Děčín lock

Autor:  
Vedoucí práce:

Jakub Hajdina  
doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur

Praha 2018



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Hajdina

Jméno: Jakub

Osobní číslo: 437988

Zadávací katedra: Katedra hydrotechniky

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Ověření možnosti přímého plnění a prázdnění plavební komory Děčín

Název bakalářské práce anglicky: Verification of the possibility of direct filling and emptying of the Děčín lock

Pokyny pro vypracování:

Bakalářská práce se zaměří na ověření možností přímého plnění a prázdnění plánované plavební komory Děčín. Hlavním plnicím a prázdnícím systémem jsou dlouhé obtoky a možnost přímého plnění je zařazena z důvodu zajištění provozní spolehlivosti plavební komory při havárii a revizích dlouhých obtoků. Bakalářská práce popíše základní parametry a funkci plavební komory a ověří doby přímého plnění a prázdnění plavební komory pomocí fyzikálního modelu v měřítku 1:20, který je umístěn v laboratoři Fakulty stavební ČVUT v Praze. Výsledky budou porovnány s klasickým hydraulickým výpočtem.

Seznam doporučené literatury:

Medřický, V., Valenta, P.: Vodní cesty. Navrhování plavebních komor. Vydalo: ČVUT v Praze, 2009.

Čábelka, J., Gabriel, P.: Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice. Academia Praha, 1987.

Čábelka, J.: Vodní cesty a plavba. SNTL/ALFA, Praha, 1976.

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur

Datum zadání bakalářské práce: 21.2.2018

Termín odevzdání bakalářské práce: 27.5.2018

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

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

21.2.2018

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## **PROHLÁŠENÍ**

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

V Praze dne 26. 05. 2018

---

Jakub Hajdina

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji touto cestou doc. Dr. Ing. Pavlovi Fošumpaurovi za vynikající spolupráci, trpělivost a profesionalitu při vedení mé bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Tomášovi Kašparovi, Ing. Milanovi Zukalovi, Ph.D. a Ing. Martinovi Králíkovi, Ph.D. za přátelskou atmosféru a praktické konzultace při stavbě modelu a měření.

## **ABSTRAKT**

Výsledkem mé bakalářské práce je ověření možností přímého plnění a prázdnění plavební komory Děčín. V teoretické části vás uvádím do problematiky popisem technického řešení vodního díla, základních parametrů a funkcí plavební komory. V úvodu praktické části popisuji výstavbu a postup prací na hydraulickém fyzikálním modelu. Následně jsem na modelu naměřil hodnoty veličin, které charakterizují hydraulické vlastnosti vody uvnitř plavební komory. Nakonec posuzuji vhodnost přímého plnění a prázdnění plavební komory s ohledem na proplavovaná plavidla. Naměřené hodnoty porovnávám s hodnotami vypočtenými klasickým hydraulickým výpočtem.

## **ABSTRACT**

The result of my bachelor thesis is a verification of possibilities of direct filling and emptying of the Děčín navigation lock. The theoretical part consists of the introduction into the problem by describing the technical solution of the hydraulic structure, the basic parameters and functions of the lock etc. The practical part firstly describes the construction of the hydraulic physical model and the progress of works. Secondly, the measured values of the quantities that characterize the hydraulic behaviour of the water inside the lock are shown. Finally, the suitability of the direct filling and emptying of the lock was assessed with respect to the vessels situated in the lock. Measured values are compared with values calculated by a standard hydraulic calculation.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

plavební stupeň Děčín, fyzikální model, plavební komora, přímé plnění a prázdnění plavební komory

## **KEY WORDS**

Děčín barrage, physical model, lock chamber, direct filling and emptying of the lock chamber

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>SPECIFIKACE CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>PLAVEBNÍ STUPEŇ DĚČÍN</b>	<b>9</b>
3.1	Účel výstavby	9
3.1.1	<i>Historie vodní cesty</i>	9
3.1.2	<i>Splavnost úseku</i>	9
3.2	Technický popis plavebního stupně Děčín	11
3.2.1	<i>Jez</i>	12
3.2.2	<i>Plavební komora</i>	12
3.2.3	<i>Malá vodní elektrárna</i>	12
3.2.4	<i>Migrační biokoridor a rybí přechody</i>	12
<b>4</b>	<b>PLAVEBNÍ KOMORA DĚČÍN</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>MĚŘENÍ NA HYDRAULICKÉM MODELU</b>	<b>16</b>
5.1	Popis hydraulického modelu	16
5.1.1	<i>Modelová podobnost a měřítko modelu</i>	16
5.1.2	<i>Realizace modelu</i>	17
5.1.3	<i>Proběhlé výzkumy na modelu</i>	18
5.2	Postup přestavby hydraulického modelu	19
5.2.1	<i>Horní ohlavi</i>	19
5.2.2	<i>Střední a dolní ohlavi</i>	19
5.2.3	<i>Dolní okrajová podmínka</i>	21
5.3	Příprava měření	21
5.4	Měření	22
5.5	Výsledky měření	23
<b>6</b>	<b>HYDRAULICKÉ VÝPOČTY</b>	<b>25</b>
6.1	Vstupní data	25
6.2	Postup výpočtu	26
6.3	Přímé plnění a prázdnění malé plavební komory	29
6.3.1	<i>Vstupní hodnoty</i>	29
6.3.2	<i>Rychlé plnění – výsledky</i>	29
6.3.3	<i>Pomalé plnění – výsledky</i>	29
6.3.4	<i>Rychlé prázdnění – výsledky</i>	30
6.3.5	<i>Pomalé prázdnění – výsledky</i>	31
6.4	Přímé plnění a prázdnění velké plavební komory	32
6.4.1	<i>Vstupní hodnoty</i>	32
6.4.2	<i>Rychlé plnění – výsledky</i>	32
6.4.3	<i>Pomalé plnění – výsledky</i>	32
6.4.4	<i>Rychlé prázdnění – výsledky</i>	33
6.4.5	<i>Pomalé prázdnění – výsledky</i>	34
6.5	Přímé plnění a prázdnění celé plavební komory	35
6.5.1	<i>Vstupní hodnoty</i>	35
6.5.2	<i>Plnění – výsledky</i>	35
6.5.3	<i>Prázdnění – výsledky</i>	36
<b>7</b>	<b>ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ</b>	<b>37</b>
7.1	Zhodnocení výsledků přímého plnění celé plavební komory	37
7.2	Zhodnocení výsledků přímého prázdnění celé plavební komory	38
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>40</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b>	<b>41</b>
	<b>SEZNAM TABULEK</b>	<b>42</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>	<b>43</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>44</b>

## 1 ÚVOD

Vodní doprava je důležitou součástí národního hospodářství. Její předností je hospodárnost a vysoká produktivita. Umožňuje přepravu objemných zásilek velkých hmotností a rozměrů s nízkou energetickou náročností.

V České republice je délka splavných vodních cest s mezinárodním významem poměrně krátká. Z celkových 304 km vodních cest zaujímají řeky Labe (211 km) a Vltava (92 km). Hlavním problémem těchto splavných vodních cest je úsek labské vodní cesty od Masarykova zdymadla v Ústí nad Labem po státní hranice s Německem, který je dosud splavněn pouze regulačními úpravami, které nedokáží spolehlivě zajistit celoročně minimální ponor plavidel Va třídy. Regulační úpravy jsou totiž ovlivněny zcela hydrologickými podmínkami a tím se v suchých obdobích vytváří bariéra mezi vnitrostátními a mezinárodními vodními cestami. [1][2]

Řešení problematického úseku nabízely tři varianty. Hlavními kritérii při výběru a posuzování variant byla především ekonomická a ekologická stránka. První variantou byla varianta bezjezová, která spočívala pouze ve zlepšení regulačních úprav. Druhou variantou byl návrh dvou plavebních stupňů. PS Malé Březno (ř. km 754,40), PS Prostřední žleb (ř. km 737,00) a drobné regulační úpravy byly z hlediska vodní dopravy nejlepším řešením, avšak ekonomicky, a především ekologicky nevyhovovaly. Proto byla vybrána třetí varianta – PS Děčín (ř. km 737,12), která byla kompromisem pro všechny zúčastněné. [3]

V současnosti vrcholí přípravy projektové dokumentace PS Děčín a pomocí detailního modelového výzkumu se řeší jednotlivé části. Ve Výzkumném ústavu vodohospodářském, T.G.M., v.v.i. se nachází fyzikální model, na kterém byla ověřena například vhodnost řešení z hlediska požadovaných plavebních podmínek, stability koryta a uvažovaných regulačních staveb při průchodu povodní. Ve Vodohospodářském experimentálním centru Fakulty stavební ČVUT v Praze byl vybudován objektový fyzikální hydraulický model plavební komory Děčín. Model byl využit nejen k optimalizaci systému nepřímého plnění a prázdnění plavební komory. Další výzkum byl realizován za účelem ověření možnosti přímého plnění a prázdnění v případě havárie nebo revizi dlouhých obtoků. Možností spolupracovat na tomto výzkumu jsem získal své první zkušenosti s hydraulickým měřením. Výsledky měření a vyhodnocení výzkumu jsou cílem této bakalářské práce.

## **2 SPECIFIKACE CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Hlavním cílem této bakalářské práce je ověření přímého plnění a prázdnění plavební komory Děčín na objektový fyzikálním hydraulickém modelu v měřítku 1:20 umístěném ve Vodohospodářském experimentálním centru Fakulty ČVUT v Praze. Výsledky měření budou porovnány s klasickým hydraulickým výpočtem. Porovnávanými hodnotami jsou: doba plnění a prázdnění, průběh plnění a prázdnění, síly působící na úvazná lana plavidel.

Účelem této práce je ověření zajištění provozní spolehlivosti plavební komory při havárii a revizích dlouhých obtoků.

Díličními cíli bakalářské práce je popis základních parametrů a funkce plavební komory Děčín a dokumentace příprav a měření na fyzikálním hydraulickém modelu.



## 3 PLAVEBNÍ STUPEŇ DĚČÍN

### 3.1 Účel výstavby

#### 3.1.1 Historie vodní cesty

Již za vlády Karla IV. se objevují první zmínky na úpravy a zlepšení plavebních podmínek na Labské a Vltavské plavební cestě. Karel IV. vydal nařízení zřídit v jezích vorové a lodní propusti a odstranit z koryta toků velké balvany, které překážely plavbě.

Po nástupu Habsburků na český trůn v 16. a 17. století nastaly větší úpravy Vltavy a Labe. Důvodem těchto úprav byla levnější doprava soli ze solných dolů v Solnohradech.

Výstavbou loděnic v jižních Čechách začala lodní doprava na začátku 19. století nabývat charakteru pravidelné dopravy zboží. To bylo především umožněno systematictějšími úpravami koryta. Vývozním zbožím byly např. zemědělské výrobky, dříví, kámen, obilí, sůl, ale i samotné lodě. Proto většina plaveb byla po proudu z jižních Čech do Prahy, severních Čech a do Německa.

Kapitalistická průmyslová revoluce způsobila prudký růst přepravních nároků. V té době levnější, rychlejší a výkonnější provoz oproti lodní dopravě s malými loděmi nabízela železnice, která ukončila první etapu rozvoje vodních cest a plavby v Evropě. Na přelomu 20. století se v přístavech začala zavádět mechanizace v podobě jeřábů. Dále dřevěné čluny nahrazovaly až 10x únosnější ocelové lodě, které poháněl parní stroj.

Touto modernizací byla znovu lodní doprava hospodárnější než současná železniční doprava. Růst průmyslu v tomto období měl za následek výstavbu přepravních center právě na březích velkých splavných toků. Ty zajišťovaly zásobování jak obyvatel, tak průmyslových podniků. Proto se na přelomu 20. století stalo v Evropě aktuální zlepšování a rozšiřování plavební sítě.

Důležitým rokem pro Labskou a Vltavskou vodní cestu byl rok 1896. V tomto roce byla vládou tehdejšího Rakouska Uherska zřízena „Komise pro kanalizování Vltavy a Labe“. Tato komise projektovala a budovala všechny splavnovací stavby, přístavy a překladiště z Prahy do Hřenska. Na základě Říšského vodocestního zákona vzniklo také „Ředitelství pro stavbu vodních cest“, který měl realizaci staveb urychlit. Budování splavnovacích staveb však přerušila první světová válka.

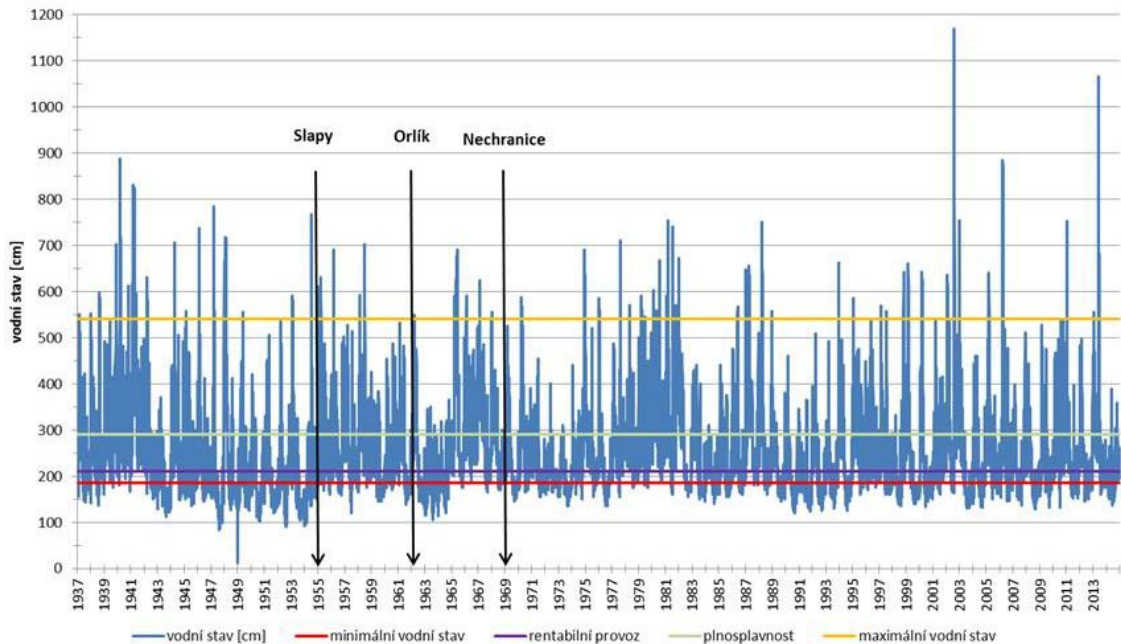
Po první světové válce a vzniku ČSR pokračovalo Ředitelství pro stavbu vodních cest ve výstavbě dalších plavebních stupňů. Zákon z roku 1931 o státním fondu pro splavnění řek, budování přístavů, výstavbu údolních přehrad a pro využití vodní energie výrazně pomohl v tomto pokračování, protože byl reálnější než vodocestný zákon z roku 1901, např. stanovil typový člun o nosnosti 1000 t.

V roce 1936 byla Labská vodní cesta prodloužena téměř o 20 km vybudováním zdymadla Střekov, které je po proudu poslední vzdouvací stavbou na Labi. Zdymadlo Střekov bylo vybudováno jako poslední ze zdymadel na dolním Labi. [1]

#### 3.1.2 Splavnost úseku

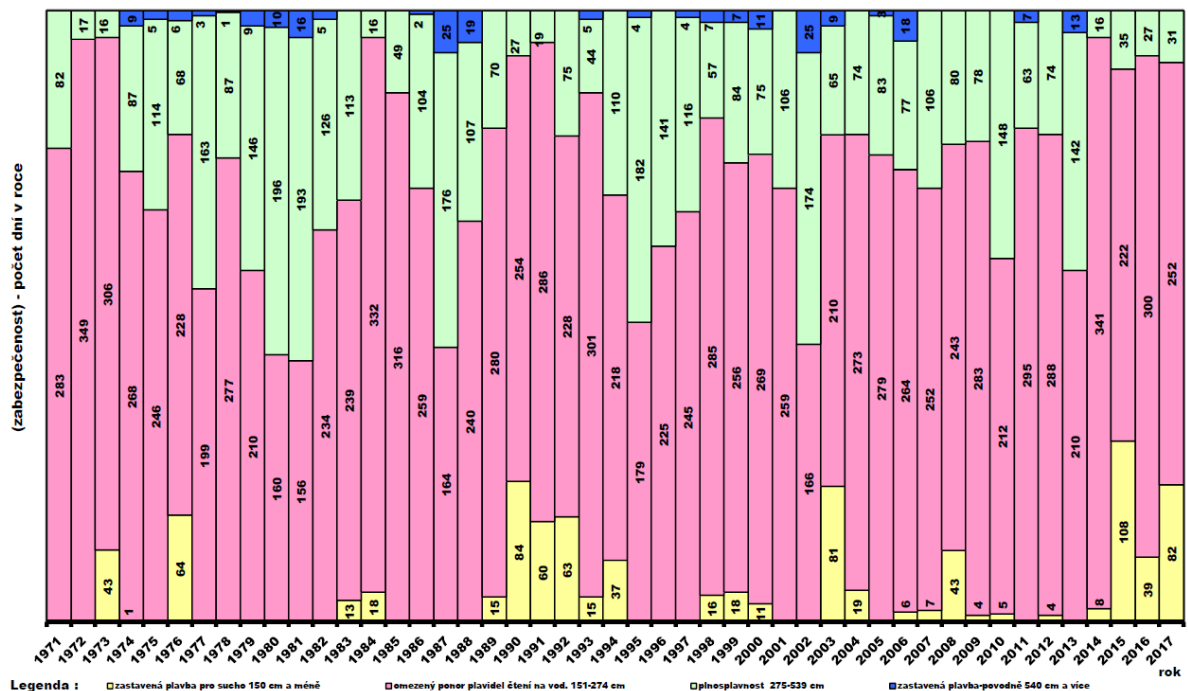
Z historie vodních cest vyplývá, že bylo věnováno spoustu finančních prostředků a úsilí na zajištění celoročního splavnění Labe i Vltavy. Bohužel toto snažení nebylo dotaženo do konce. Úsek od Střekovského zdymadla po státní hranice s Německem je doposud splavněn pouze regulačními úpravami. Vysokou rozkolísanost hladin v tomto skoro 40 km dlouhém úseku regulační úpravy neřeší. Rozkolísanost způsobují nevyrovnané průtoky a vysoký spád,

kteřý je oproti Labi na německém území až dvojnásobný. Při nízkých průtocích musí být plavba výrazně omezena. Tím se snižuje ekonomická rentabilita plavby. Na obr. 3.1, kde je vyneseno průběh vodních stavů v profilu Ústí nad Labem mezi lety 1937 až 2013, jsou vyneseny pro nás 2 důležité čáry. Je to čára rentabilního provozu a plnosplavnosti. Nadlepšení vodních stavů třemi největšími vodními díly je očividné. I přes toto nadlepšení je však nepřiměřeně mnoho vodních stavů na nižších hodnotách, než je rentabilní provoz.



obr. 3.1 Vodní stavy v profilu Ústí nad Labem v letech 1937 až 2013 [6]

Další zajímavé statistické údaje ukazuje obr. 3.2. Od roku 1971 do roku 2017 je zde v závislosti na vodním stavu vyjádřen počet dní vhodných pro plavbu. Veškeré dny v růžových a žlutých sloupcích jsou pro plavbu nevyhovující. Dohromady je to 69 % dní za 47 let, které nejsou plnosplavné neboli není zajištěna plnosplavná hloubka 275 cm.



obr. 3.2 Vyhodnocení plavebních podmínek na regulovaném úseku Labe Střekov – Hřensko za období 1971–2017 [8]

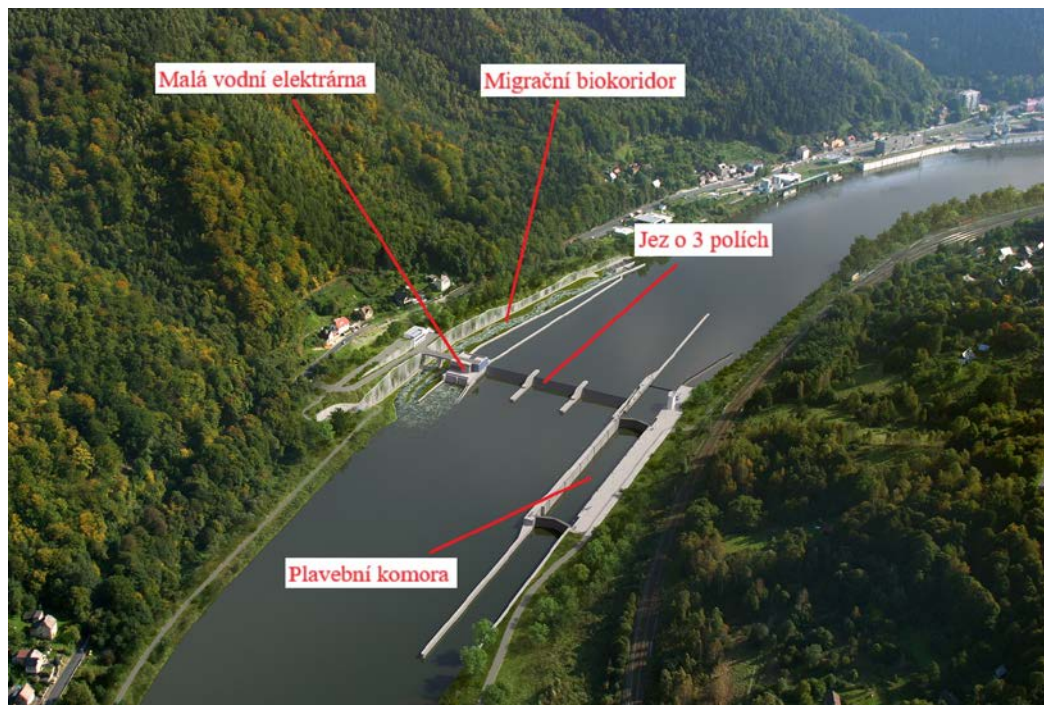
Trvalé zlepšení současného stavu našeho regulačně splavněného úseku Labe je možné pouze vzdouvací stavbou nebo stavbami. Nabízené částečné řešení má v budoucnu přinést plavební stupeň Děčín.

### 3.2 Technický popis plavebního stupně Děčín

Od roku 2005 probíhala spousta jednání o navrhovaných úpravách zabezpečení plavebních podmínek v úseku Labe od státní hranice ČR/SRN v ř. km 727,00 po ř. km 746,20 u Boletic, ze kterých vyšel nespočet variant. Všechny však musely splňovat následující podmínky:

- minimální ponor 140 cm při průtoku  $Q_{345d}$ , tj. při  $110 \text{ m}^3/\text{s}$  ve vodočetném profilu Ústí nad Labem (při marži 50 cm plavební hloubka 190 cm),
- dosažení ponoru 220 cm při průtoku  $Q_{180a}$ , tj. při  $236 \text{ m}^3/\text{s}$  ve vodočetném profilu Ústí nad Labem (při marži 50 cm plavební hloubka 270 cm),
- minimální šířka plavební dráhy v přímé trati v úrovni maximálního ponoru lodí 50 m,
- minimální podjezdná výška mostů nad hladinou maximálního plavebního průtoku 7 m,
- návrhové plavidlo délky 137 m, šířky 11,50 m odpovídající současným parametrům dle vyhlášky č. 67/2015 Sb. o pravidlech plavebního provozu (pravidla plavebního provozu).

Konečná varianta „PS Děčín se zmírňujícími a revitalizačními opatřeními“ se nachází na ř. km 737,12 s nominálním vzduším na kótě 124,50 m n.m. Ovlivnění hladiny jezem při  $Q_{345d}$  dosahuje cca do ř. km 746,13 a z hlediska dosažení potřebné plavební hloubky umožní neprovádět žádné zásahy do stávajícího dna řeky od plavebního stupně po tento profil. Součástí navrhovaného plavebního stupně je ovladatelný jez, plavební komora, malá vodní elektrárna, dva rybí přechody a široký migrační biokoridor. Na obr. 3.3 je popsána vizualizace PS Děčín. [6]



obr. 3.3 Vizualizace PS Děčín s popsanými objekty [6]

### 3.2.1 Jez

Jez je tvořen třemi poli, každý o šířce 40 metrů. Dělicími prvky jsou 4 metry široké pilíře s půlkružnicovým zhlavím o minimální výšce, která převyšuje nominální hladinu pouze o metr. Pohyblivým uzávěrem je hydrostatický sektor ovládaný pomocí tlačné komory v tělese jezu. Poté, co se voda dostane přes uzávěr, utlumí svou kinetickou energii v přílehlém prohloubeném vývařišti. [3]

### 3.2.2 Plavební komora

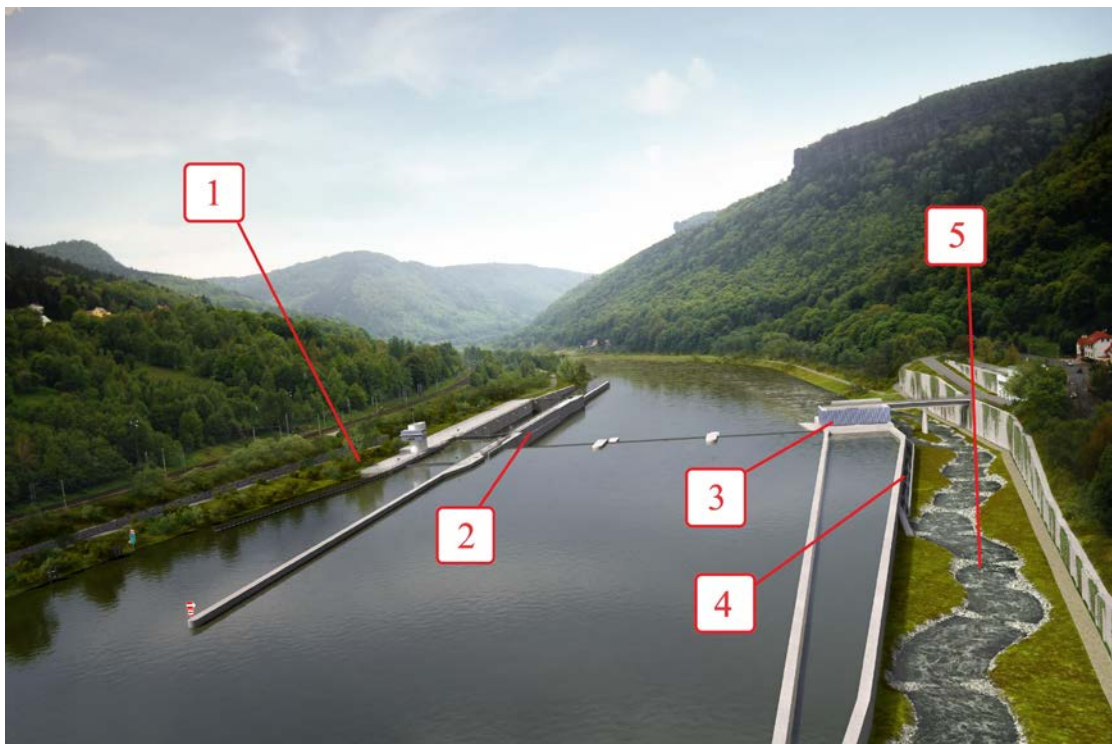
Navrhovaná plavební komora je blíže popsána v kapitole 4 Plavební komora Děčín.

### 3.2.3 Malá vodní elektrárna

Energetické využití vzdutí řeky zajišťují dvě Kaplanovy turbíny. V průměrně vodném roce dokáže elektrárna vyprodukovat až 47 GWh, což představuje spotřebu poloviny děčínských domácností. Elektrárna je situována mezi jezovým polem a migračním biokoridorem na pravém břehu Labe. [3]

### 3.2.4 Migrační biokoridor a rybí přechody

Pro jednoduchost migrace všech druhů živočichů je na plavebním stupni Děčín navrženo několik různých migračních staveb, viz. obr. 3.4. Na levém břehu se nachází suchá migrační stavba tvořená vhodnou výsadbou a napojení terénu dolní rejdy na horní. Technický štěrbinový rybí přechod levobřežní najdeme ve zdi mezi plavební komorou a levým jezovým polem. Pro úhoře říční je navržen bypass MVE v dělicí zdi mezi pravým jezovým polem a MVE. Další technický štěrbinový rybí přechod tentokrát pravobřežní ústí do vývaru jezu. Poslední migrační stavbou je migrační biokoridor o délce 455 m a šířce 30 m. V tomto pásmu se nachází složené balvanité koryto s bermami a se střídáním stabilizovaných skokových úseků a tůň v kynetě. [6]



obr. 3.4 Vizualizace s popisem migračních staveb [6]

1 – suchá migrační stavba, 2 – technický štěrbinový rybí přechod, 3 – Bypass MVE pro úhoře říční, 4 - technický štěrbinový rybí přechod, 5 – migrační biokoridor

## 4 PLAVEBNÍ KOMORA DĚČÍN

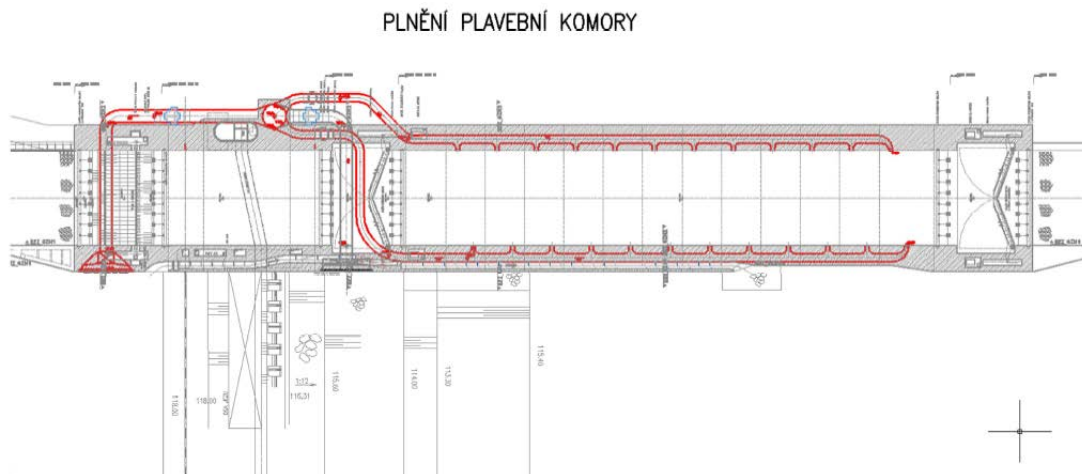
Plavební komory jsou nejčastěji používaná plavební zařízení umožňující plavidlům překonat spád vytvořený na vodní cestě vzdouvací stavbou. Přestože se na dolním Labi na každém z vodních děl nacházejí dvě plavební komory, tak na PS Děčín je navržena pouze jedna plavební komora. To je způsobeno převážně kvůli ústupkům ekologům a následnému snížení prostoru pro další plavební zařízení. Dvě plavební komory mají hlavní výhodu v době, kdy je jedna z nich mimo provoz. Mimo provoz bývají plavební komory z různých provozních důvodů, plánované odstávky (např. mimořádné prohlídky trvale zatopených částí plavební komory) a při haváriích. Plánované odstávky na plavební komoře Děčín musí být provedeny tak, aby plavební provoz přes plavební komoru byl pouze omezen.

V tab. 4.1 jsou uvedeny provozní hladiny v závislosti na vodním stavu.

tab. 4.1 Hladinové poměry provozu plavební komory [6]

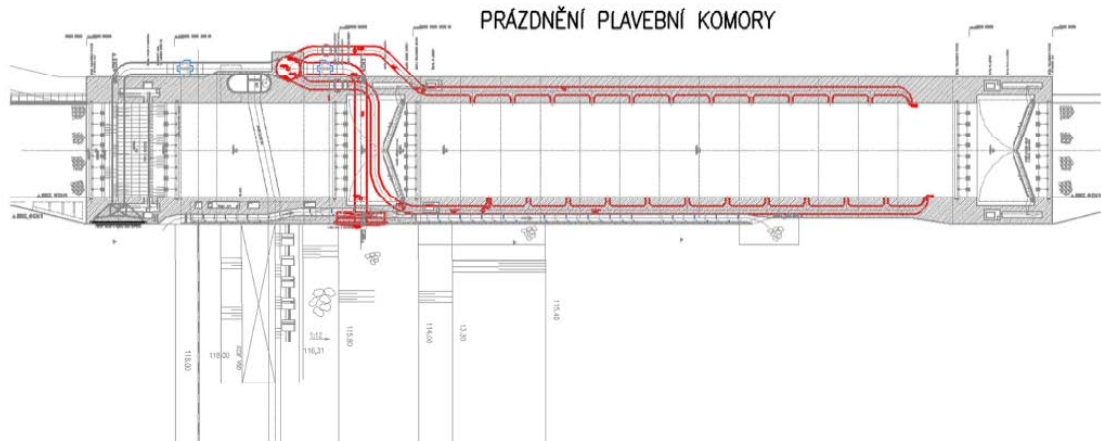
Průtok	Kóta horní hladiny	Kóta dolní hladiny	Rozdíl hladin
$Q_{345d}$	125,00 – 124,50 m n.m.	119,44 m n.m.	5,06 – 5,56 m
$Q_{180d}$		120,50 m n.m.	4,50 – 4,00 m
$Q_{\text{plavební max}}$		123,67 m n.m.	0,83 – 1,33 m

Primárním systémem plnění a prázdnění je systém dlouhých obtoků s rozdělovacím objektem znázorněným na obr. 4.1 a obr. 4.2. Rozdělovací objekt je válec s podstavou o průměru 6 metrů s přívodními a odvodními potrubími obdélníkového průřezu.



obr. 4.1 Schéma primárního systému plnění plavební komory Děčín [5]

Při plnění se voda dostává štěrbinou umístěnou v nadjezí do rozdělovacího objektu a dále do dlouhých obtoků. Prázdnění probíhá opačným směrem, kdy se voda vrací dlouhými obtoky zpět do rozdělovacího objektu a ven ze systému do podjezí.



obr. 4.2 Schéma primárního systému prázdnění plavební komory Děčín [5]

Navrhovaný systém je odlišný od stávajících systémů na dolním Labi. Je zde navržen z důvodu nestrhávání vody z horní rejdové a neovlivňování hladiny spodní rejdové při prázdnění. Systémy plnění a prázdnění jsou porovnány s ostatními plavebními komorami na dolním Labi v tab. 4.2. Dále je v tabulce uvedeno porovnání časů proplavení za přirozených spádů s ostatními plavebními komorami na dolním Labi. Doba proplavení na stávajících PK byla změřena pracovníky Povodí Labe, státní podnik. Doby proplavení uvedené v tab. 4.2 byly změřeny tak, že plavební komora byla připravena (hladina v PK byla na úrovni horní nebo dolní vody) pro konkrétní plavidlo. To znamená, že doba proplavení je časově stanovená z doby vplutí a vyplutí plavidla a z doby plnění nebo prázdnění PK. Odhadovaná doba pro vplutí a vyplutí je 10 minut. Z proběhlých výzkumů plavební komory Děčín byly stanoveny doby plnění (cca 18 min) a prázdnění (cca 22 min).

tab. 4.2 Přehled systémů plnění a prázdnění plavebních komor na dolním Labi [5][8]

Vodní dílo	Plav. zařízení	Systém plnění	Systém prázdnění	Spád	Doba proplavení
Děčín	Celá PK		DO	2,5 m	28–32 min*
Střekov	Velká PK Malá PK		DO	7,5 m	30 min 30 min
Lovosice	Velká PK Malá PK	DO DO + P	DO DO + KO	2,2 m	25 min 15 min
České Kopy	Velká PK Malá PK	DO DO + P	DO	2,7 m	20 min 15 min
Roudnice nad Labem	Velká PK Malá PK	DO DO + P	DO	2,9 m	20 min 15 min
Štětí	Velká PK Malá PK		DO	2,8 m	22 min 15 min
Dolní Bečkovice	Velká PK Malá PK	P DO + P	KO DO	2,4 m	20 min 15 min

DO Nepřímé plnění a prázdnění – Dlouhé obtoky

KO Nepřímé plnění a prázdnění – Krátké obtoky

P Přímé plnění a prázdnění – Přepad

\* Odhadovaná doba proplavení

K zajištění provozuschopnosti plavební komory při haváriích a revizích dlouhých obtoků má umožnit přímé plnění a prázdnění. V horním ohlaví je to otvorem, který vzniká mezi ozubem záporníku a konstrukcí segmentových vrat v plnicí poloze. Ve středním a dolním ohlaví probíhá plnění a prázdnění otvory ve vzpěrných vratech. Nevýhodou přímého plnění je vysoká kinetická energie vody, která negativně ovlivňuje hladinu v plavební komoře. Tlumení kinetické energie pod segmentovými vraty je provedeno vývarem s rozražeči. Ve

středním ohlavi je navrženo tlumení pouze rozražeči, avšak tento návrh musí ověřit výzkum na fyzikálním modelu.

Užitné rozměry plavební komory Děčín jsou v tab. 4.3, kde je porovnávám s ostatními plavebními komorami na dolním Labi.

tab. 4.3 Přehled užitných rozměrů plavebních komor na dolním Labi [7]

Vodní dílo	Plavební zařízení	Užitná délka	Užitná šířka
Děčín	Plavební komora (horní)	140 m	24 m
	Plavební komora (dolní)	41,5 m	24 m
Střekov	Velká plavební komora	170 m	24 m
	Malá plav. komora (horní)	81,5 m	13 m
	Malá plav. komora (dolní)	82,2 m	13 m
Lovosice	Velká plavební komora	155 m	22 m
	Malá plavební komora	110 m	12 m
České Kopisty	Velká plavební komora	155 m	22 m
	Malá plavební komora	85 m	11 m
Roudnice nad Labem	Velká plavební komora	155 m	22 m
	Malá plavební komora	85 m	11 m
Štětí	Velká plavební komora	155 m	22 m
	Malá plavební komora	86 m	11 m
Dolní Beřkovice	Velká plavební komora	200 m	22 m
	Malá plavební komora	85 m	11 m

Součástí plavebního zařízení PS Děčín je horní rejda (délky 160 m) a dolní rejda (délky 150 m). Velín, z kterého se ovládá plavební komora, je umístěn na levém břehu prostorově v horní části plavební komory. Manipulační plato je na kótě 126,00 m n.m. V pravé zdi plavební komory je umístěn technický rybí přechod.

## 5 MĚŘENÍ NA HYDRAULICKÉM MODELU

### 5.1 Popis hydraulického modelu

#### 5.1.1 Modelová podobnost a měřítko modelu

Základní podmínky podobnosti byly odvozeny za předpokladu platnosti Froudova zákona mechanické podobnosti. To znamená, že kinematicky podobné pohybové jevy, které ovlivňuje gravitační síla, jsou i dynamicky podobné, pokud u obou těchto jevů jsou stejná Froudova čísla. U zmenšeného modelu platí, že:

$$Fr = \frac{v_s^2}{g \cdot l_s} = \frac{v_m^2}{g \cdot l_m} = \text{idem} \quad (5.1)$$

$$M_l = M_h = M_B = \text{idem} \quad (5.2)$$

Pro model bylo zvoleno měřítko 1:20. Z dříve proběhlých hydraulických modelů plavebních komor bylo usouzeno, že měřítko 1:20 je nejvhodnější, a to jak z hlediska možností laboratoře, tak podmínek reprezentativního výzkumu. Následující rovnice 5.3 až 5.9 uvádějí základní podmínky odvozené z platnosti Froudova zákona:

- pro měřítko podobnosti průtoků

$$M_Q = M_B \cdot M_h^{3/2} \quad (5.3)$$

- pro měřítko podobnosti odporových součinitelů

$$M_f = M_{Ie} \quad (5.4)$$

- pro měřítko podobnosti sklonů

$$M_{Ie} = M_{Id} = M_h / M_l \quad (5.5)$$

- pro měřítko podobnosti středních průměrů zrn

$$M_d = (M_h \cdot M_{Ie}) / M_{\gamma s'} \quad (5.6)$$

- pro měřítko podobnosti rychlostí

$$M_v = M_h^{1/2} \quad (5.7)$$

- pro měřítko podobnosti časů při proudění vody

$$M_t = M_l / M_h^{1/2} \quad (5.8)$$

- pro měřítko podobnosti Reynoldsových čísel (při stejné teplotě vody)

$$M_{Re} = M_h^{3/2} \quad (5.9)$$

Kde:

$M_Q$ ...	poměr průtoků	$M_f$ ...	poměr odporových součinitelů
$M_h$ ...	poměr hloubek	$M_{Ie}$ ...	poměr sklonů čar energie
$M_l$ ...	poměr délek	$M_d$ ...	poměr středních průměrů zrn
$M_B$ ...	poměr šířek	$M_{\gamma s'}$ ...	poměr spec. hmotností splav. materiálu pod vodou
$M_v$ ...	poměr rychlostí	$M_t$ ...	poměr časů při proudění vody
$M_{Id}$ ...	poměr sklonů dna	$M_{Re}$ ...	Poměr Reynoldsových čísel

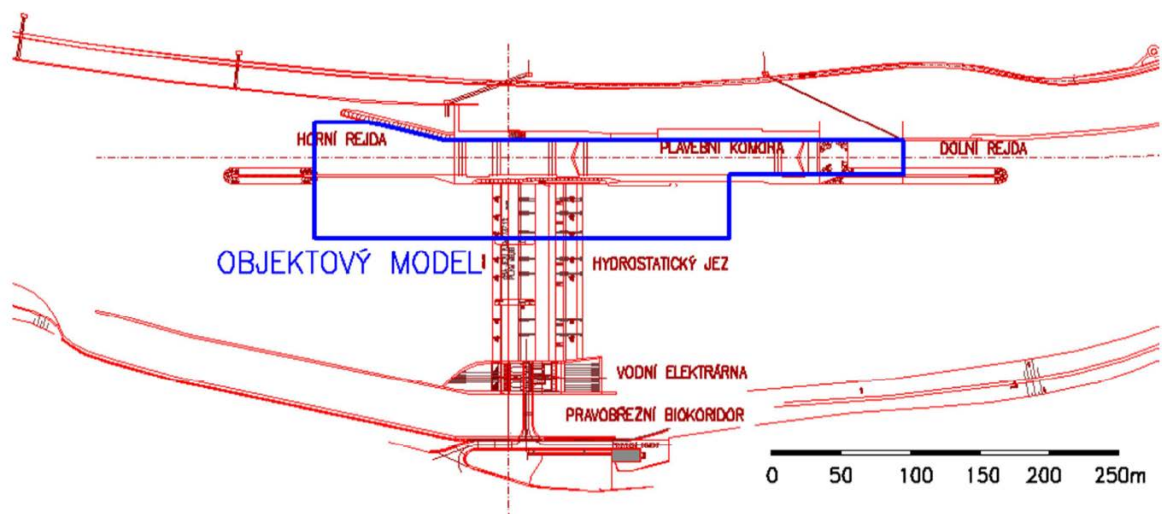


### 5.1.2 Realizace modelu

Realizace modelu plavebního stupně Děčín, na kterém nyní probíhá měření plnění a prázdnění plavební komory, začala v srpnu 2014. Byl sestaven model s následujícími podstatnými částmi:

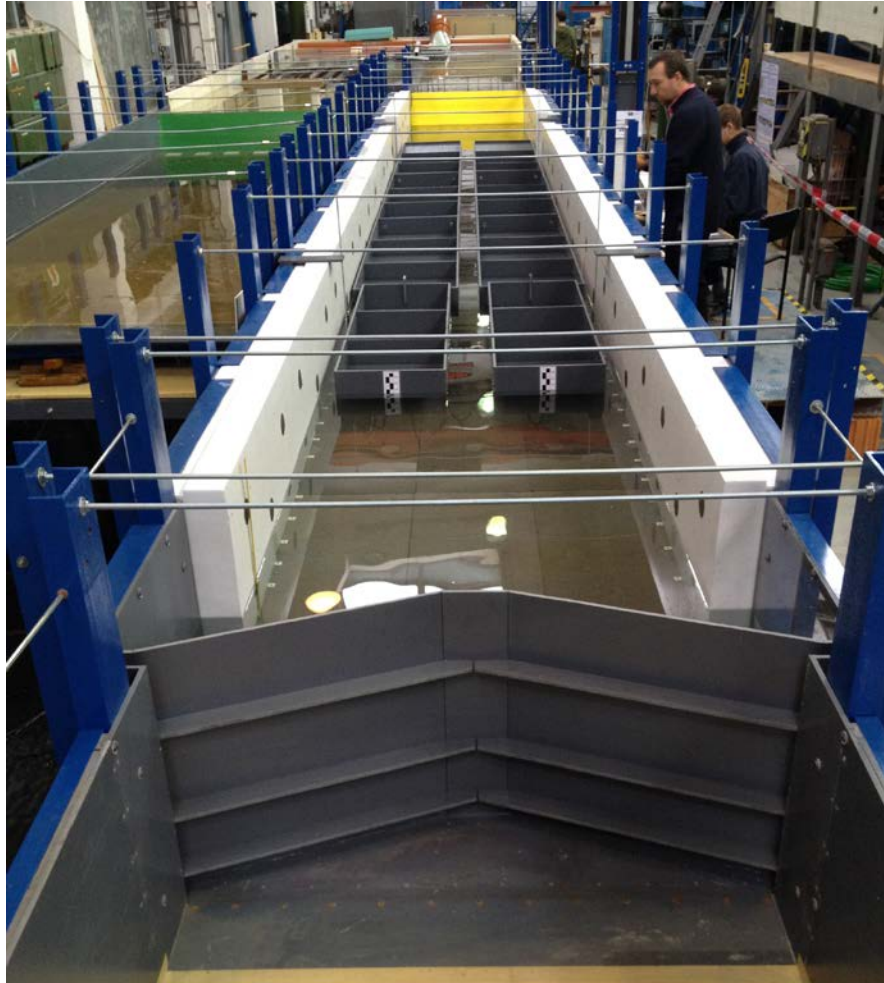
- horní ohlavi plavební komory včetně horních vrat,
- systém plnění a prázdnění plavební komory pomocí dlouhých obtoků včetně konstrukce rozdělovacího objektu,
- střední a dolní vrata plavební komory,
- vlastní objekt plavební komory užitných rozměrů 24 x 200 m,
- přilehlou část horní rejdy v rozsahu 100 m,
- přilehlou část dolní rejdy v rozsahu 60 m.

Rozsah objektového modelu v geometrické podobnosti 1:20 je znázorněn na obr. 5.1.



obr. 5.1 Rozsah objektového modelu plavebního stupně Děčín [5]

Objektový model plavební komory je umístěn ve vodohospodářské laboratoři fakulty stavební ČVUT v Praze o rozměrech 5 m x 30 m. Přívod vody je řešen dvěma troubami DN300 s celkovou kapacitou 250 l/s. K zaručení rovnoměrné a proudově klidné podmínky na počátku modelu slouží uklidňovací nádrž, tvořena propustnou šterkovou stěnou. Labyrintový přeliv umístěný v nadjezí má zajistit ustálenou hladinovou podmínku během pokusů plnění plavební komory. Horní segmentová vrata plavební komory jsou usazena do ložisek a umožňují simulovat různé polohy. V přilehlém (levém) jezovém poli je osazen hydrostatický sektorový uzávěr s možností plynulé manipulace. Dolní okrajovou podmínku pod jezem zajišťuje provizorní klapkový uzávěr a pod dolní rejdu plavební komory zajišťuje konstrukce, která je koncipována jako hradlový jez. Mezi hlavní výzkumné práce patřila optimalizace nepřímého plnění a prázdnění plavební komory dlouhými obtoky. Hlavními prvky je vtokový a výtokový objekt, rozdělovací objekt, systém dlouhých obtoků a uzávěry plnění a prázdnění, které jsou poháněny počítačem řízenými lineárními motory. Na obr. 5.2 je vyfocen model pohledem proti vodě.



obr. 5.2 Fotografie hydraulického modelu plavebního stupně Děčín [zdroj: ČVUT Fsv]

Z hlediska únosnosti musí konstrukce v některých místech odolávat zatížení až  $700 \text{ kg/m}^2$ . S ohledem na přesnost byly nosné konstrukce navrženy tak, aby deformace ve svislém směru byly maximálně 1 mm. Celková přesnost modelu ve svislém směru je zajištěna na 1 mm, což je ve skutečnosti 20 mm. Dalším kritériem jsou průsaky, které při výzkumných pracích dosahovaly zanedbatelných hodnot. Model je postaven tak, aby v případě změn v projektové dokumentaci bylo možno přestavět zkoumané části. [5]

### 5.1.3 Proběhlé výzkumy na modelu

Objektový model plavební komory a přilehlých částí byl navržen tak, aby mohly být provedeny experimenty, které probíhaly v letech 2014–2016. V rámci výzkumu na modelu patřila pozornost těmto tématům:

- Optimalizace rozdělovacího objektu v systému plnění a prázdnění kombinací matematického a fyzikálního modelování
- Optimalizace plnicího a prázdního systému plavební komory v celém průběhu proplavovacího cyklu pro různé provozní hladiny a pro odpovídající ponory plavidel
- Vyšetření možností převádění ledů plavební komorou
- Vyšetření možností převádění velkých vod a kapacity plavební komory při hladině v nadjezí na úrovni plata plavební komory
- Vyšetření interakce proudění přes jezové pole a vyústění výtoku z obtoků plavební komory [5]

## 5.2 Postup přestavby hydraulického modelu

Při stavbě modelu se počítalo s možností přestavby a variability většiny částí. Pro náš výzkum přímého plnění a prázdnění jsme museli připravit horní, střední i dolní ohlaví a dolní okrajovou podmínku.

### 5.2.1 Horní ohlaví

Horní ohlaví bylo již v předešlých výzkumech využíváno. Otevírání a uzavírání segmentu však umožňovalo jen hrubou nelineární manipulaci (ruční ovládání). Výstavbou nosné ocelové konstrukce pro lineární motor a jeho uchycení k segmentu jsme docílili potřebné lineární počítačem ovládané manipulace.

### 5.2.2 Střední a dolní ohlaví

Větší práce byla s vraty dolního ohlaví, které byly v předešlém výzkumu připevněny na pevně bez prázdnících otvorů a s vraty středního ohlaví, které se teprve musely vytvořit. Tvorba středních vrat proběhla podle předlohy dolních vrat, protože jsou obě totožné. Na obr. 5.3 je vyfocena zadní strana vrat s žebry.



obr. 5.3 Fotografie zadní strany vrat s žebry [zdroj: autor]

V prvních krocích jsme museli rozměřit a vyřezat otvory pro plnění a prázdnění. Otvory, které mají ve skutečnosti rozměry 1 x 4,5 m, jsme udělali variabilní, aby se daly po 0,5 m podle potřeby posouvat nahoru a dolů. Variabilitu otvorů zajišťují pásy vysoké 0,5 m a 1 m. Na obr. 5.4 jsou na vratech přidělané vodící lišty a dosedací práh pro stavítka.



obr. 5.4 Fotografie přední strany vrat s otvorem, vodicími lištami a dosedacím prahem [zdroj: autor]

Dalšími kroky bylo spřažit stavítka. Výstavbou nosné ocelové konstrukce pro lineární motor a jeho uchycení k spřaženým stavítkům jsme docílili stejného efektu jako u horních vrat. Na obr. 5.5 a obr. 5.6 je vyfocena konstrukce stavítek.

Na měření máme však k dispozici pouze 2 lineární motory ovládané počítačem. Z tohoto důvodu lze výzkum dělat pouze u dvou vrat. Z důvodu krátkého termínu pro výzkum jsme zvolili měření na horních vratech a dolních vratech, tedy plnění a prázdnění celé plavební komory.



obr. 5.5 Fotografie konečné verze dosedací lišty a stavítka [zdroj: autor]



obr. 5.6 Fotografie konečné podoby stavítek [zdroj: autor]

### 5.2.3 Dolní okrajová podmínka

Součástí přestavby byla také konstrukce, která zajišťuje dolní okrajovou podmínku. Potřebnou hladinu zajišťuje labyrintový přeliv s velmi dlouhou přelivnou hranou. Konstrukci jsme na místo usadili rámovým jeřábem, který je v laboratoři k dispozici. Na obr. 5.7 je vyfocen labyrintový přeliv s pohledem proti vodě na dolní vrata.



obr. 5.7 Fotografie labyrintového přelivu zajišťujícího hladinu dolní vody [zdroj: autor]

## 5.3 Příprava měření

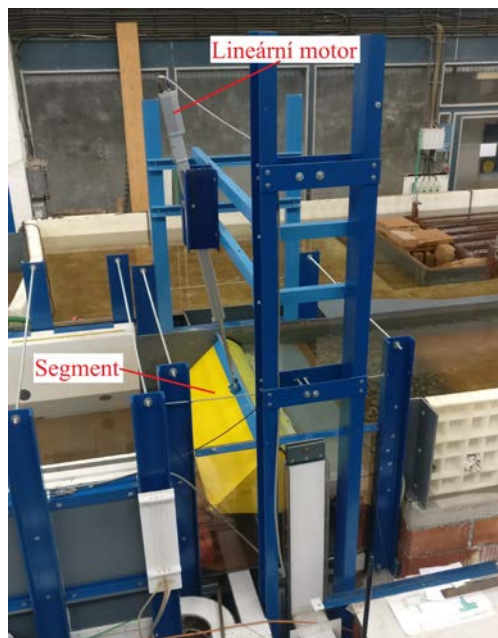
Před zahájením samotného měření bylo nutno provést na modelu poslední úpravy. V první řadě jsme digitálním nivelačním přístrojem přeměřili konstrukci plata plavební komory, záporníky vrat a rysky hladin. Pomocí stavěcích šroubů jsme nastavili oba labyrintové přelivy.

Po kontrole a přeměření bylo zahájeno napouštění modelu vodou. Na obr. 5.8. je zobrazena horní rejdá po naplnění vodou. Prvně zvolený přítok vody do modelu byl menší než návrhový. Po zklidnění hladiny v modelu, byl přítok upraven tak, aby hladina v horní rejdě byla ustálena na kótě 125,00 m n. m.

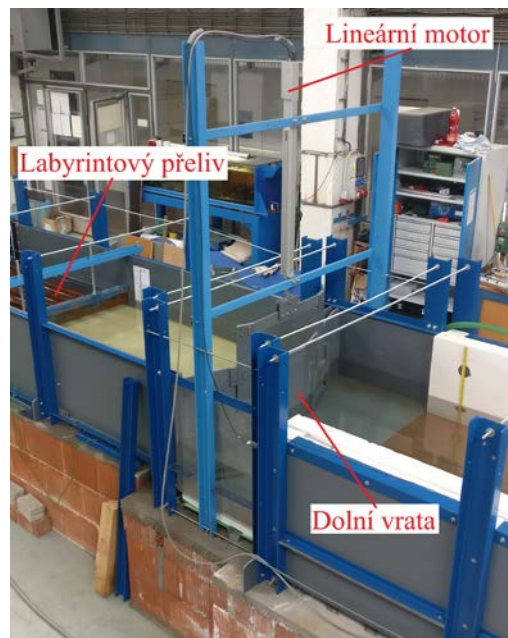


obr. 5.8 Fotografie horní rejdy s popisem [zdroj: autor]

V okamžiku naplnění horní rejdy byla zjištěna drobná netěsnost v okolí segmentu v horním ohlavi (horní vrata PK) (obr. 5.9), malý únik vody byl utěsněn. Následovalo seřízení lineárního motoru do správné polohy otevírání a uzavírání segmentu. Otevřením segmentu bylo zahájeno plnění plavební komory. Nastavení druhého lineárního motoru pro ovládání dolních vrat proběhlo po naplnění plavební komory. Na obr. 5.10. je zobrazeno dolní ohlaví. Po vypuštění plavební komory, kdy voda naplnila dolní rejdu, jsme přeměřili hladiny v horní rejdě, v plavební komoře a v dolní rejdě. Dále byly napuštěny vodou modely plavidel tak, aby byl zajištěn jejich návrhový ponor.



obr. 5.9 Fotografie horního ohlaví s popisem  
[zdroj: autor]



obr. 5.10 Fotografie dolního ohlaví s popisem  
[zdroj: autor]

## 5.4 Měření

Jak již bylo zmíněno v odstavci 5.2.2 Střední a dolní ohlaví, z důvodu krátkého termínu pro výzkum je v bakalářské práci popsán pouze průběh přímého plnění a prázdnění celé plavební komory na hydraulickém modelu.

Doba plnění a prázdnění je měřena standardně pomocí stopek. Polohy hladin jsou odčítány od rysek, které byly znivelované již v přípravě měření. Dále nám polohu hladin snímají tlakové sondy rovnoměrně rozmístěné v plavební komoře. Tyto sondy mají vysokou přesnost a možnost kontinuálního nahrávání dat do PC. Tímto způsobem jsou zajištěna spolehlivá data, z nichž jsem spočítal maximální sklon hladin. Síly v úvazných lanech plavidel jsou odvozovány nepřímou metodou na základě maximálního sklonu hladin a vztlaku plavidla (viz. rovnice 6.7). Na obr. 5.11 je vyfoceno pracoviště, odkud se spouští lineární motory a nahrávání dat z tlakových sond.



obr. 5.11 Fotografie pracoviště [zdroj: autor]

## 5.5 Výsledky měření

V tab. 5.1 jsou shrnuty vstupní údaje k měření. Rychlost otevírání uzávěru – segmentu odpovídá vypočtené hodnotě 55 s a stavidel v dolních vratech hodnotě 68 s.

tab. 5.1 Vstupní údaje k měření na hydraulickém fyzikálním modelu

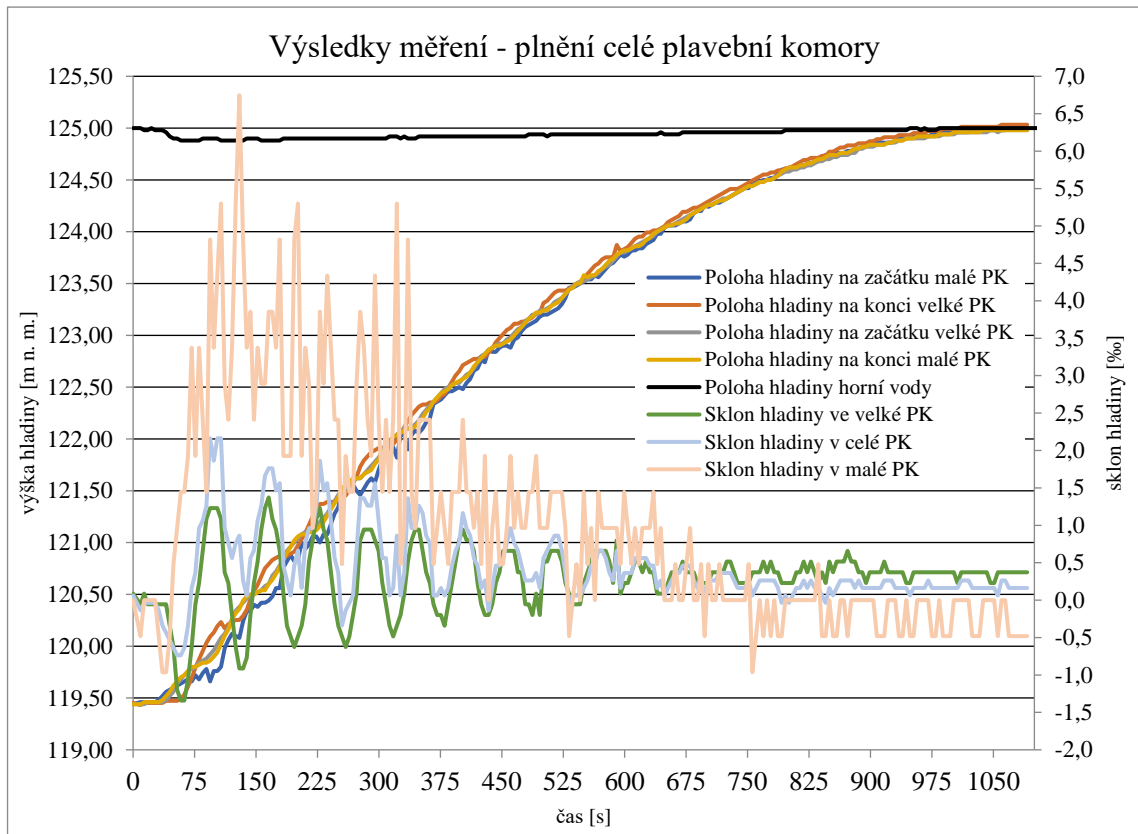
Ozn.	Hodnota s jednotkou	Popis
H	5,56 m	Počáteční spád
-	119,44 m n.m.	Poloha dolní hladiny
-	125,00 m n.m.	Poloha horní hladiny
$t_{zd}$	68 s	Doba otevírání stavidel
$t_{zh}$	55 s	Doba otevírání segmentu
W	2427 t	Výtlak plavidla

V tab. 5.2 jsou shrnuty výsledky prvního měření. Maximální síla v úvazných lanech je odvozena nepřímou metodou (viz. rovnice 6.7).

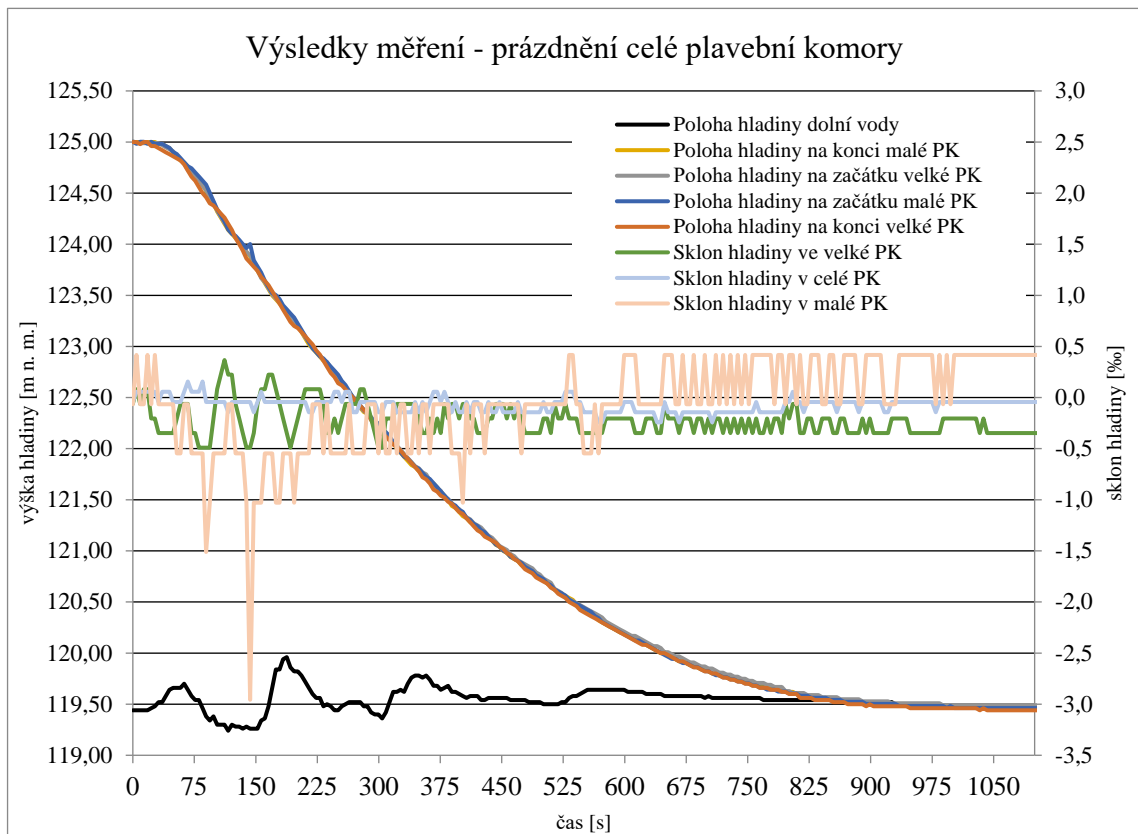
tab. 5.2 Výstupní údaje z měření na hydraulickém fyzikálním modelu

Ozn.	Naměřená hodnota na modelu	Skutečná hodnota	Popis
Plnění celé plavební komory			
$T_{pl}$	213 s	953 s	Doba plnění plavební komory
$i_{max}$	1,37 ‰	1,37 ‰	Maximální sklon hladiny při plnění PK
$P_{max}$	-	58,30 kN	Maximální síla v úvazných lanech
Prázdnění celé plavební komory			
$T_{pr}$	224 s	1002 s	Doba prázdnění plavební komory
$i_{max}$	0,49 ‰	0,49 ‰	Maximální sklon hladiny při prázdnění PK
$P_{max}$	-	20,83 kN	Maximální síla v úvazných lanech

Výsledky přímého plnění a prázdnění celé plavební komory jsou v grafické podobě zobrazeny na obr. 5.12 a obr. 5.13. Výsledky z dalších měření jsou v příloze 11 až 16.



obr. 5.12 Graf s výsledky měření plnění celé plavební komory



obr. 5.13 Graf s výsledky měření prázdnění celé plavební komory



## 6 HYDRAULICKÉ VÝPOČTY

V následujících krocích popíši výpočty pro přímé plnění plavební komory mezerou pod horními vraty a středními vraty a výpočty pro přímé prázdnění středními a dolními vraty. K výpočtu jsem využil možností programu Microsoft Excel 365.

### 6.1 Vstupní data

I přes možný pohyb dolní vody při plavebním provozu počítám s nejmenší plavební hladinou 119,44 m n.m., což odpovídá hodnotě 345dennímu průtoku. V horní rejdě počítám s maximální hladinou 125,00 m n.m. Veškeré výpočty jsou tedy provedeny na maximální spád 5,56 m, neboť při něm vznikají největší síly, které působí na proplavované loď. Minimální hloubka vody v komoře se pak pohybuje na kótě 114,53 m n.m.

Důležitým údajem ve výpočtech jsou také půdorysné plochy částí plavební komory, které jsou shrnuty v tab. 6.1. Plavební komora Děčín se dělí na dvě části, které rozdělují střední vzpěrná vrata. Horní část je označována jako malá plavební komora a dolní část jako velká plavební komora. Pro usnadnění výpočtu počítáme s délkou, která neuvažuje tvar středních a dolních vrat. To znamená, že u malé plavební komory s užitnou délkou 41,5 m počítám s celkovou délkou 72,5 m a u velké plavební komory s užitnou délkou 140 m počítám s celkovou délkou 158,5 m. Celá plavební komora má konstantní šířku 24 m.

tab. 6.1 Rozměry částí plavební komory

Plavební komora Děčín	Délka	Šířka	Půdorysná plocha
Horní část	72,5 m	24 m	1740 m <sup>2</sup>
Dolní část	158,5 m	24 m	3804 m <sup>2</sup>
Celá plavební komora	231 m	24 m	5544 m <sup>2</sup>

Dalšími rozhodujícími údaji jsou geometrické rozměry otvorů uzávěrů. V horním ohlaví jsou osazeny segmentové vrata. Pokud jsou segmentové vrata v plnicí poloze, vzniká mezi ozubem záporníku a konstrukcí segmentových vrat podélný plnicí otvor obdélníkového tvaru na celou šířku plavební komory. Ve středním a dolním ohlaví se nacházejí vzpěrná vrata, která jsou totožná. Vzpěrná vrata mají dva otvory, každý se stavidlovým uzávěrem, který se otvírá souběžně s druhým. Rozměry otvorů jsou shrnuty v tab. 6.2.

tab. 6.2 Souhrn plnicích a prázdnících otvorů

	Výška plnicího otvoru	Šířka plnicího otvoru	Plocha plnicího otvoru
Horní ohlaví	0,3 m	24 m	7,2 m <sup>2</sup>
Střední ohlaví	2x 1 m	2x 4,5 m	2x 4,5 m <sup>2</sup>
Dolní ohlaví	2x 1 m	2x 4,5 m	2x 4,5 m <sup>2</sup>

Neméně důležitým parametrem ve výpočtech je součinitel plnění  $\mu$ . Ten vyjadřuje souhrn hydraulických ztrát v systému, které výrazně ovlivňují rychlost plnění nebo prázdnění. Jeho hodnoty se však v průběhu plnění mění, proto se zavádí střední hodnota součinitele plnění  $\mu_s$ , jejíž hodnoty jsou v tab. 6.3.

tab. 6.3 Hodnoty součinitele  $\mu_s$  [4]

Způsob přímého plnění		$\mu_s$	Zvolené $\mu_s$
Přímé plnění pod vraty	Spád $H > 5$ m	0,80 – 0,85	0,82
Přímé prázdnění otvory ve vratech	Spád $H < 12$ m	0,80 – 0,85	0,80

V případě přímého plnění plavební komory Děčín uvažuji  $\mu_s = 0,82$  a přímého prázdnění uvažuji  $\mu_s = 0,80$ . [4]

Posledním vstupním údajem jsou rozměry plavidel. Z důvodu podobnosti výpočtů a modelového výzkumu musím zvolit stejná plavidla, která jsou použita ve výzkumu na

modelu. V tab. 6.4 je přehled dvou lodí, které se využili a dále využívají při modelování proplavování plavební komorou. Jedná se o návrhové plavidlo pro I. třídu vodní cesty, jehož základní parametry byly převzaty z výzkumu ČVUT hornovltavské vodní cesty a tlačná souprava tvořena z tlačného remorkéru TR610 a dvou tlačných člunů TČ1150 a TČ500.

tab. 6.4 Rozměry plavidel použitých při výpočtu a modelování

Návrhové plavidlo	Šířka	Ponor
Plavidlo pro I. třídu vodní cesty	5,05 m	2,20 m
Tlačná souprava	10,45 m	2,20 m

Z důvodu bezpečnosti proplavovaného plavidla ve výpočtech uvažuji maximální ponor 2,2 m, ačkoliv při minimální dolní hladině 119,44 m n.m. pod PS Děčín je dle současných studií garantován ponor pouze 1,4 m.

## 6.2 Postup výpočtu

tab. 6.5 Přehled počítaných problematik

Část plavební komory	Rychlost plnění a prázdnění
Horní část plavební komory (malá PK)	Rychlé plnění a prázdnění
	Pomalé plnění a prázdnění
Dolní část plavební komory (velká PK)	Rychlé plnění a prázdnění
	Pomalé plnění a prázdnění
Celá plavební komora	Rychlé plnění a prázdnění
	Pomalé plnění a prázdnění

V tab. 6.5 je přehled počítaných problematik.

Pro výpočet průběhu plnění a prázdnění plavební komory, jak v horním ohlaví se segmentovými vraty, tak i ve středním a dolním ohlaví se vzpěrnými vraty, používám stejný postup i vzorce. Časový interval jsem zvolil  $\Delta t = 1$  s.

Prvním krokem je zvolení rychlosti neboli doby otevírání plnicího nebo prázdnícího otvoru  $t_z$ . Na době otevírání závisí pro nás limitní síly v úvazných lanech a sklon hladiny v komoře. Doba lineárního otevírání uzávěru je zvolena variantně v intervalu 0 až T, kde T je celková doba plnění nebo prázdnění plavební komory dána vztahem:

$$T = \frac{t_z}{2} + \frac{2F}{\mu_s f \sqrt{2g}} \sqrt{H} \quad (6.1)$$

Kde: F... půdorysná plocha plavební komory [m<sup>2</sup>]

H... počáteční spád plavební komory [m]

$\mu_s$ ... střední hodnota součinitele ztrát [-]

f... plocha výtokového otvoru [m<sup>2</sup>]

Úpravou diferenční rovnice:

$$\Delta t = \frac{2F}{\mu_s f_t \sqrt{2g}} \left( \sqrt{H_{i-1}} - \sqrt{H_i} \right) \quad (6.2)$$

Kde:  $f_t$ ... průměrná průtočná plocha v daném časovém intervalu  $\Delta t$

Lze získat okamžitý spád  $H_i$  na konci každého časového intervalu:

$$H_i = \left( \sqrt{H_{i-1}} - \frac{\mu_s f_t \sqrt{2g}}{2F} \Delta t \right)^2 \quad (6.3)$$

Ze získaných okamžitých spádů vypočteme novou hodnotu spádu  $h_i$ :

$$h_i = H - H_i \quad (6.4)$$

Získané hodnoty spádů použijeme k určení časového průběhu průtoků komorou:

$$Q_i = \mu_s f_i \sqrt{2g H_i} \quad (6.5)$$

Kde:  $H_i$ ,  $f_i$  a  $Q_i$  jsou hodnoty na konci intervalu  $t_i = t_{i-1} + \Delta t$ .

V další části výpočtu získáme pro nás limitní síly v úvazných lanech a sklon hladiny v komoře. Při proplavování plavební komorou působí na plavidlo horizontální a vertikální síly. Vertikální síly můžeme zanedbat, protože jsou eliminovány vlastní tíhou plavidla. Horizontální síly se dělí na příčné horizontální síly, které též zanedbám v důsledku utlumení v bočních zdech komory, a na podélné horizontální síly.

Horizontální podélné síly jsou nejnebezpečnějšími silami. Při neuvázání plavidla a přímém plnění může dojít k pohybu plavidla rovnoběžně s osou komory a nárazu do vrat komory. Vyvážení musí být vždy provedeno protisměrně na bočních zdech komory, protože podélná síla mění během proplavování svůj směr. Podélná síla působící na loď proplavovanou komorou se skládá ze tří složek:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (6.6)$$

Kde:  $P_1$ ... způsobena obtékáním plavidla vodním proudem

$P_2$ ... způsobena podélným sklonem hladiny v komoře při změně kinetické energie vodního proudu v energii potenciální

$P_3$ ... způsobena vlněním hladiny vody v komoře, při měnícím se přítoku do komory

Složky  $P_1$  a  $P_2$  tvoří přibližně 12 až 15 % celkové síly, a navíc působí proti sobě. Proto je v tomto výpočtu zanedbám. Třetí složka  $P_3$  vzniká při soustředěném plnění nebo prázdnění na jednom konci komory. Výpočet největší ze složek:

$$P_3 = W \cdot i_{\max} = \frac{W}{g(f_k - f_\xi)} \left( \frac{dQ}{dt} \right)_{\max} \quad (6.7)$$

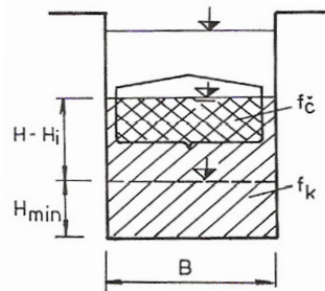
Kde:  $W$ ... celkový výtlač plavidla lodní soupravy [kN]

$f_k$ ... příčná plocha vodní náplně komory [m<sup>2</sup>]

$f_\xi$ ... příčná plocha hlavního žebra ponořené části plavidla [m<sup>2</sup>]

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

Význam členů  $f_k$  a  $f_\xi$  je uveden na obr. 6.1. Příčná plocha hlavního žebra ponořené části plavidla  $f_\xi$  vychází ze šířky a ponoru plavidla.



obr. 6.1 Určení ploch  $f_{\check{c}}$  a  $f_k$  [4]

Příčnou plochu vodní náplně komory  $f_k$  stanovím ze vztahu:

$$f_k = B (H_{\min} - (H - H_i)) \quad (6.8)$$

Kde:  $H_i$ ... okamžitý spád odpovídající hodnotě  $(dQ/dt)_{\max}$

Úvazná lana se většinou napínají pouze ruční silou, která není dostatečná k úplnému napnutí. V důsledku neúplného napnutí lana se může loď pohybovat. Vlivem setrvačnosti tohoto pohybu loď vzrůstá tah v úvazném lanu nad hodnotu původní podélné síly působící na loď. Podle měření na vybudovaných plavebních komorách se zvýší vypočtená podélná síla až o 35 %. Úvazné lano vždy svírá s podélnou osou komory určitý úhel, který nabývá hodnot až  $40^\circ$ . Při zanedbání složek  $P_1$  a  $P_2$  bude tedy maximální podélná síla:

$$P_{\max} = \frac{1,35 P}{\cos 40^\circ} = \frac{1,35 P}{0,77} = 1,75 P \quad (6.9)$$

Kde:  $P$ ... podélná síla působící na plavidlo [kN]

Tuto maximální vzniklou podélnou sílu je však z hlediska bezpečnosti nutno porovnat s mezní pevností lana  $R$ . Vztah, který lze použít při předběžných výpočtech mezní pevnosti lana:

$$R = \frac{1}{20} W^{\frac{3}{5}} \quad (6.10)$$

Kde:  $W$ ... celkový výtlač plavidla lodní soupravy [kN]

Tvar bezpečnosti podmínky, která porovnává maximální podélnou sílu a maximální únosnost lana:

$$P_{\max} \leq R \quad (6.11)$$

Dalším způsobem je porovnání maximálních sklonů hladiny v komoře. Mezinárodní plavební asociace PIANC formuluje maximální dovolené sklony hladiny v závislosti na třídě vodní cesty. V tab. 6.6 jsou vypsány hodnoty limitních sklonů.

tab. 6.6 Maximální dovolené podélné sklony hladiny podle PIANC [5]

Třída	Rozměry plavidla	Plnění (pevné úvazné prvky)	Plnění (plovoucí úvazné prvky) Prázdnění
IV	80 x 9,45 x 2,8 m	1,10 ‰	1,50 ‰
Va	135 x 11,4 x 3,5 m	0,85 ‰	1,15 ‰
Vb	190 x 11,4 x 3,5 m	0,75 ‰	0,75 ‰
Rekreační plavidla		3,00 ‰	3,00 ‰

### 6.3 Přímé plnění a prázdnění malé plavební komory

#### 6.3.1 Vstupní hodnoty

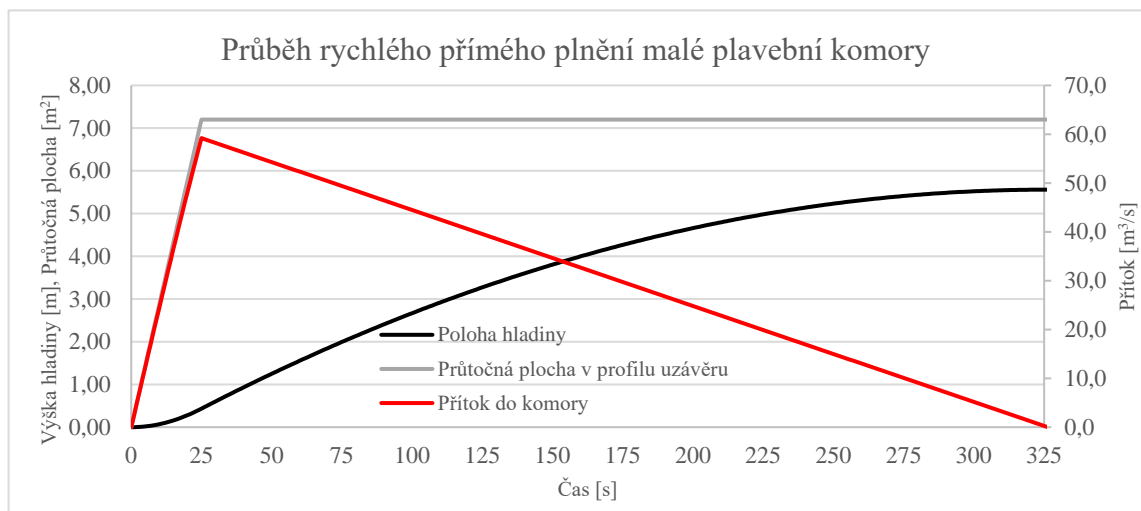
Souhrn vstupních hodnot do výpočtu všech veličin přímého plnění a prázdnění jsou shrnuty v tab. 6.7. Jako návrhové plavidlo je využito plavidlo pro I. třídu vodní cesty.

tab. 6.7 Souhrn vstupních hodnot přímého plnění a prázdnění malé plavební komory

Ozn.	Hodnota s jednotkou	Popis
H	5,56 m	Počáteční spád
F	1740 m <sup>2</sup>	Půdorysná plocha malé PK
B	24 m	Šířka PK
f <sub>in</sub>	7,2 m <sup>2</sup>	Průtočná plocha plnicího otvoru
f <sub>out</sub>	9 m <sup>2</sup>	Průtočná plocha prázdnicího otvoru
H <sub>min</sub>	4,91 m	Minimální hloubka vody v komoře
f <sub>č</sub>	11,11 m <sup>2</sup>	Plocha hlavního žebra
W	400 t	Výtlač plavidla

#### 6.3.2 Rychlé plnění – výsledky

Pro rychlé přímé plnění malé plavební komory volím dobu otevírání uzávěru  $t_z = 25$  s. Limitem v tomto výpočtu je maximální síla v úvazném laně typového plavidla I. třídy vodní cesty.



obr. 6.2 Graf průběhu rychlého přímého plnění malé plavební komory

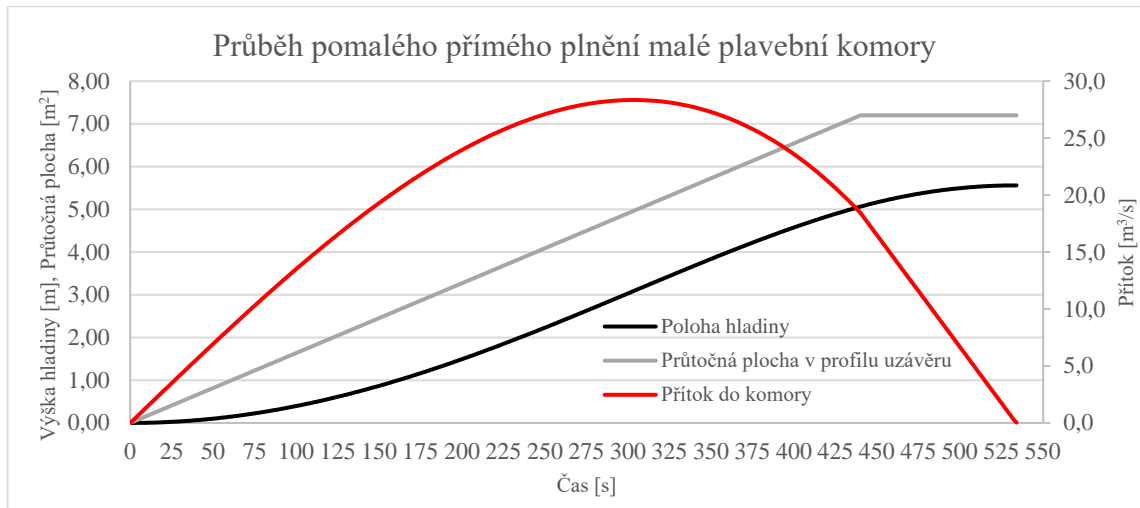
Na obr. 6.2 je vyneseno průběh polohy hladiny, průtočné plochy a přítoku v závislosti na čase. V tab. 6.8 jsou shrnuty nejdůležitější výstupní hodnoty.

tab. 6.8 Souhrn výstupních hodnot rychlého přímého plnění malé plavební komory

Ozn.	Hodnota s jednotkou	Popis
$t_z$	25 s	Doba otevírání uzávěru
T	327 s	Doba plnění komory
Q	59,2 m <sup>3</sup> /s	Maximální přítok
v	2,04 m/min	Maximální rychlost stoupaní hladiny
i <sub>max</sub>	2,36 ‰	Maximální sklon hladiny
P <sub>max</sub>	16,49 kN	Maximální síla namáhající lano
R	18,21 kN	Mezní pevnost lana

#### 6.3.3 Pomalé plnění – výsledky

Pro pomalé přímé plnění malé plavební komory volím dobu otevírání uzávěru  $t_z = 440$  s. Limitem v tomto výpočtu je maximální rychlost stoupaní hladiny 1 m/s.



obr. 6.3 Graf průběhu pomalého přímého plnění malé plavební komory

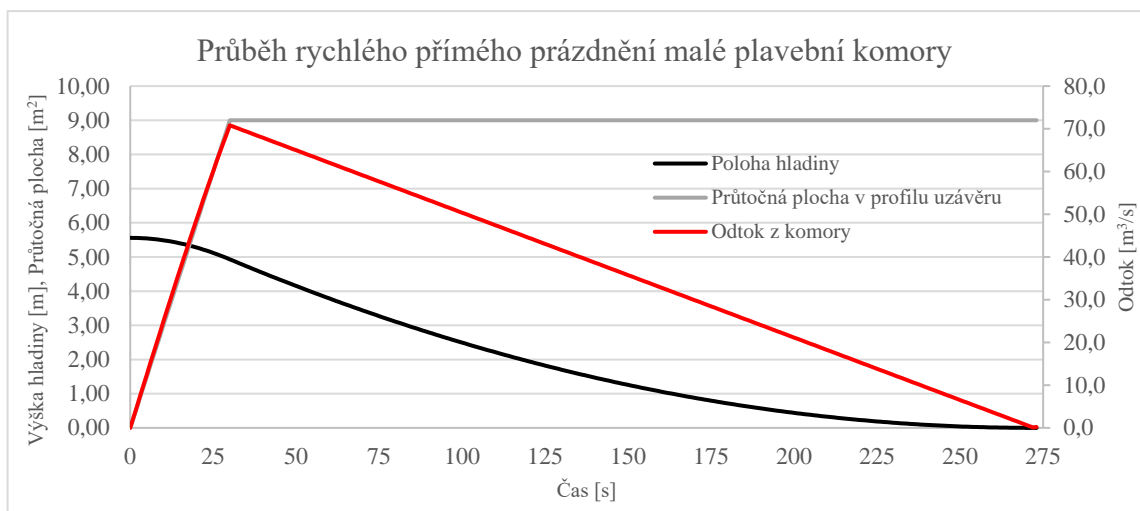
Na obr. 6.3 je vyneseno průběh polohy hladiny, průtočné plochy a přítoku v závislosti na čase. V tab. 6.9 jsou shrnuty nejdůležitější výstupní hodnoty.

tab. 6.9 Souhrn výstupních hodnot pomalého přímého plnění malé plavební komory

Ozn.	Hodnota s jednotkou	Popis
$t_z$	440 s	Doba otevírání uzávěru
T	534 s	Doba plnění komory
Q	28,3 m <sup>3</sup> /s	Maximální přítok
v	0,98 m/min	Maximální rychlost stoupaní hladiny
$i_{\max}$	0,13 ‰	Maximální sklon hladiny
$P_{\max}$	0,94 kN	Maximální síla namáhající lano
R	18,21 kN	Mezní pevnost lana

#### 6.3.4 Rychlé prázdnění – výsledky

Pro rychlé přímé prázdnění malé plavební komory volím dobu otevírání uzávěru  $t_z = 30$  s. Limitem v tomto výpočtu je maximální síla v úvazném laně typového plavidla I. třídy vodní cesty.



obr. 6.4 Graf průběhu rychlého přímého prázdnění malé plavební komory

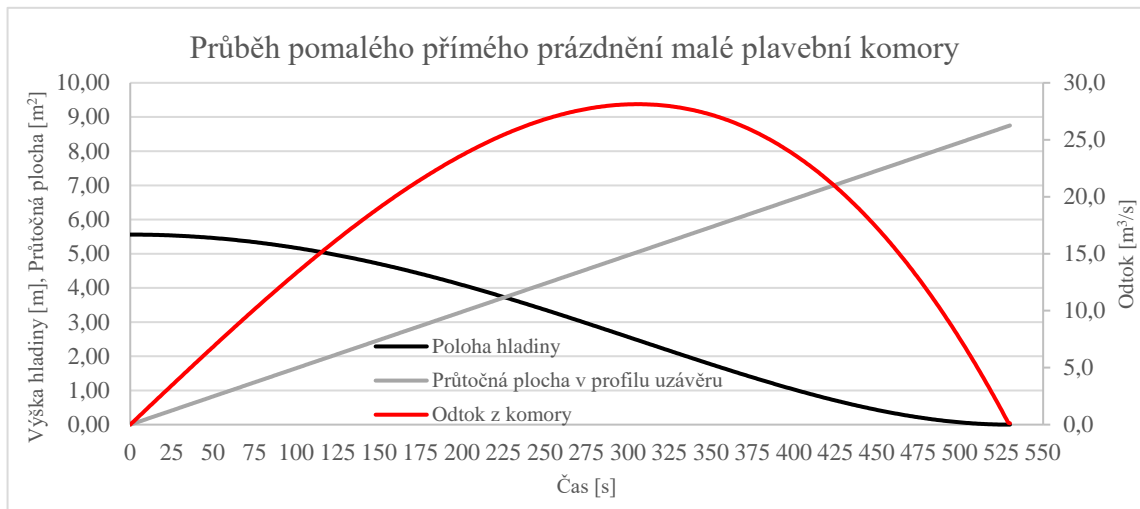
Na obr. 6.4 je vyneseno průběh polohy hladiny, průtočné plochy a přítoku v závislosti na čase. V tab. 6.10 jsou shrnuty nejdůležitější výstupní hodnoty.

tab. 6.10 Souhrn výstupních hodnot rychlého přímého prázdnění malé plavební komory

Ozn.	Hodnota s jednotkou	Popis
$t_z$	30 s	Doba otevírání uzávěru
T	273 s	Doba prázdnění komory
Q	70,8 m <sup>3</sup> /s	Maximální odtok
v	2,44 m/min	Maximální rychlost klesání hladiny
$i_{max}$	2,39 ‰	Maximální sklon hladiny
$P_{max}$	16,75 kN	Maximální síla namáhající lano
R	18,21 kN	Mezní pevnost lana

### 6.3.5 Pomalé prázdnění – výsledky

Pro pomalé přímé prázdnění malé plavební komory volím dobu otevírání uzávěru  $t_z = 545$  s. Limitem v tomto výpočtu je maximální rychlost klesání hladiny 1 m/s.



obr. 6.5 Graf průběhu pomalého přímého prázdnění malé plavební komory

Na obr. 6.5 je vyneseno průběh polohy hladiny, průtočné plochy a přítoku v závislosti na čase. V tab. 6.11 jsou shrnuty nejdůležitější výstupní hodnoty.

tab. 6.11 Souhrn výstupních hodnot pomalého přímého prázdnění malé plavební komory

Ozn.	Hodnota s jednotkou	Popis
$t_z$	545 s	Doba otevírání uzávěru
T	530 s	Doba prázdnění komory
Q	28,1 m <sup>3</sup> /s	Maximální odtok
v	0,97 m/min	Maximální rychlost klesání hladiny
$i_{max}$	0,13 ‰	Maximální sklon hladiny
$P_{max}$	0,92 kN	Maximální síla namáhající lano
R	18,21 kN	Mezní pevnost lana

## 6.4 Přímé plnění a prázdnění velké plavební komory

### 6.4.1 Vstupní hodnoty

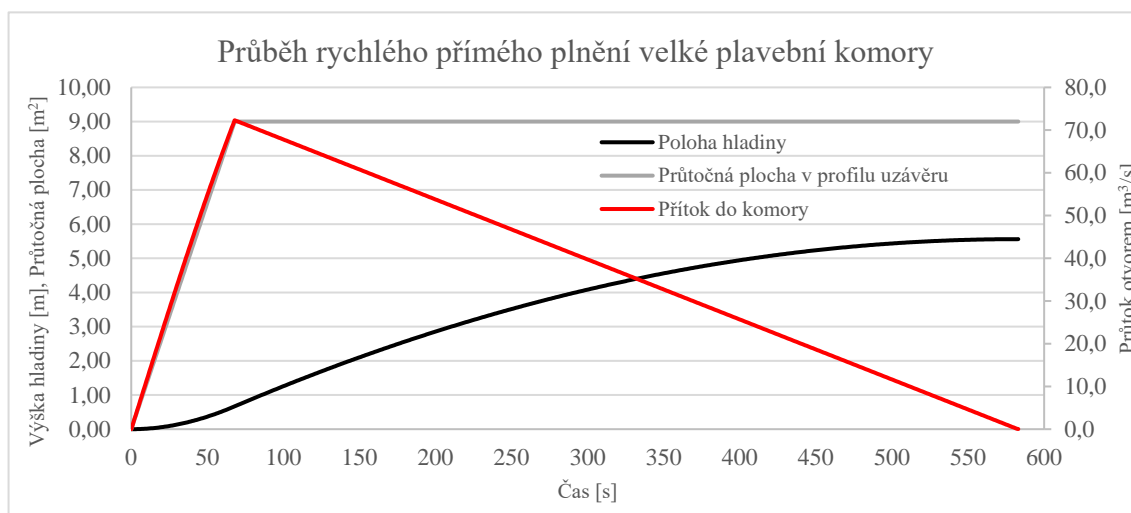
Souhrn vstupních hodnot do výpočtu všech veličin přímého plnění a prázdnění jsou shrnuty v tab. 6.12. Jako návrhové plavidlo je využita tlačná souprava.

tab. 6.12 Souhrn vstupních hodnot přímého plnění a prázdnění velké plavební komory

Ozn.	Hodnota s jednotkou	Popis
H	5,56 m	Počáteční spád
F	3804 m <sup>2</sup>	Půdorysná plocha velké PK
B	24 m	Šířka PK
f <sub>in</sub>	9 m <sup>2</sup>	Průtočná plocha plnicího otvoru
f <sub>out</sub>	9 m <sup>2</sup>	Průtočná plocha prázdnícího otvoru
H <sub>min</sub>	4,91 m	Minimální hloubka vody v komoře
f <sub>č</sub>	22,99 m <sup>2</sup>	Plocha hlavního žebra
W	2427 t	Výtlač plavidla

### 6.4.2 Rychlé plnění – výsledky

Pro rychlé přímé plnění a prázdnění velké plavební komory volím dobu otevírání uzávěru  $t_z = 68$  s. Limitem v tomto výpočtu je maximální síla v úvazném laně typového plavidla tlačné soupravy.



obr. 6.6 Graf průběhu rychlého přímého plnění velké plavební komory

Na obr. 6.6 je vyneseno průběh polohy hladiny, průtočné plochy a přítoku v závislosti na čase. V tab. 6.13 jsou shrnuty nejdůležitější výstupní hodnoty.

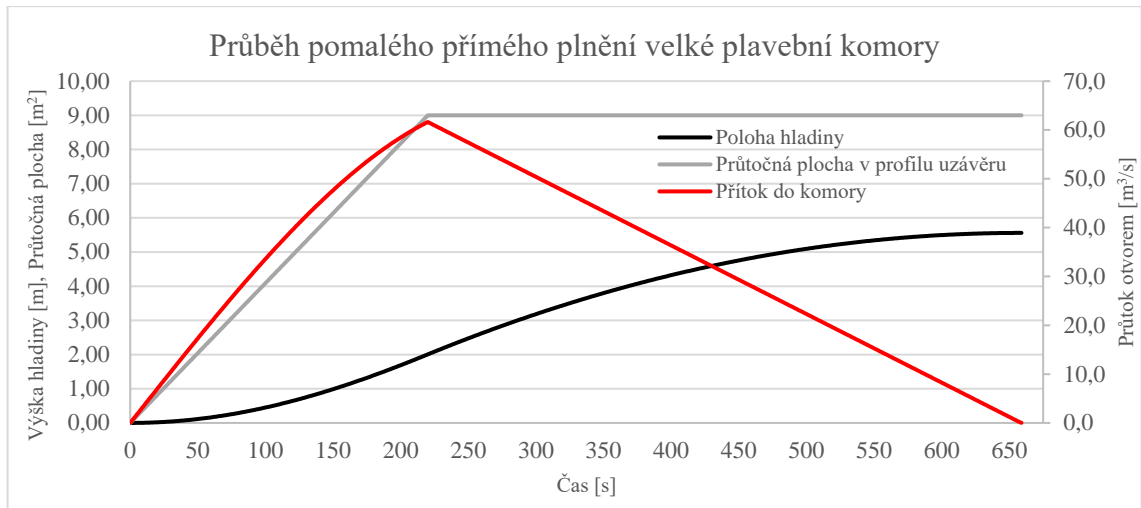
tab. 6.13 Souhrn výstupních hodnot rychlého přímého plnění velké plavební komory

Ozn.	Hodnota s jednotkou	Popis
$t_z$	68 s	Doba otevírání uzávěru
T	583 s	Doba plnění / prázdnění komory
Q	72,3 m <sup>3</sup> /s	Maximální přítok / odtok
v	1,14 m/min	Maximální rychlost stoupání / klesání hladiny
i <sub>max</sub>	1,22 ‰	Maximální sklon hladiny
P <sub>max</sub>	51,74 kN	Maximální síla namáhající lano
R	53,70 kN	Mezní pevnost lana

### 6.4.3 Pomalé plnění – výsledky

Pro pomalé přímé plnění a prázdnění velké plavební komory volím dobu otevírání uzávěru  $t_z = 220$  s. Limitem v tomto výpočtu je maximální rychlost stoupání hladiny 1 m/s.





obr. 6.7 Graf průběhu pomalého přímého plnění velké plavební komory

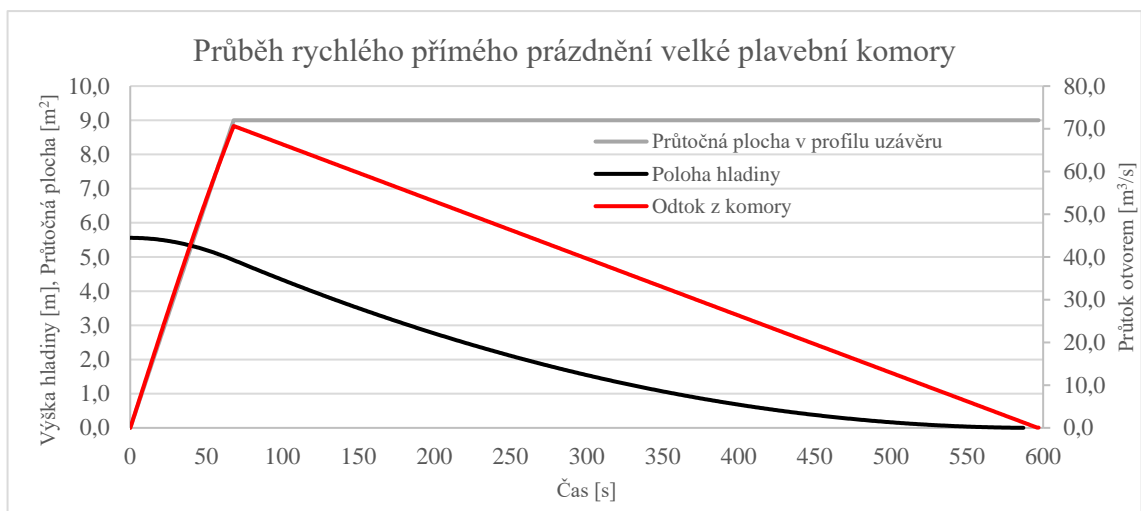
Na obr. 6.7 je vyneseno průběh polohy hladiny, průtočné plochy a přítoku v závislosti na čase. V tab. 6.14 jsou shrnuty nejdůležitější výstupní hodnoty.

tab. 6.14 Souhrn výstupních hodnot pomalého přímého plnění velké plavební komory

Ozn.	Hodnota s jednotkou	Popis
$t_z$	220 s	Doba otevírání uzávěru
T	659 s	Doba plnění / prázdnění komory
Q	61,6 m <sup>3</sup> /s	Maximální přítok / odtok
v	0,97 m/min	Maximální rychlost stoupání / klesání hladiny
$i_{max}$	0,38 ‰	Maximální sklon hladiny
$P_{max}$	15,99 kN	Maximální síla namáhající lano
R	53,70 kN	Mezní pevnost lana

#### 6.4.4 Rychlé prázdnění – výsledky

Pro rychlé přímé prázdnění velké plavební komory volím dobu otevírání uzávěru  $t_z = 68$  s. Limitem v tomto výpočtu je maximální síla v úvazném laně typového plavidla I. třídy vodní cesty.



obr. 6.8 Graf průběhu rychlého přímého prázdnění velké plavební komory

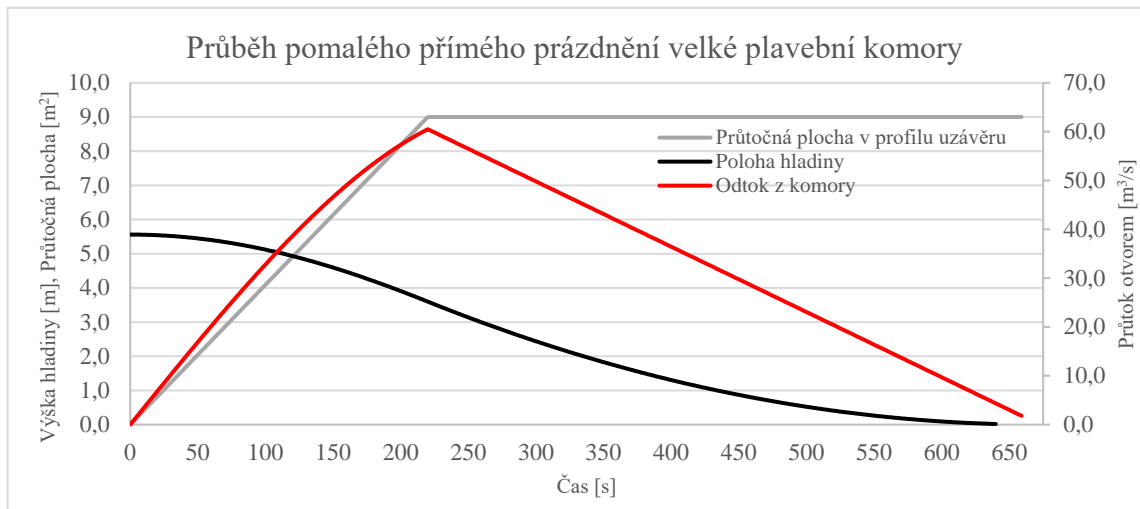
Na obr. 6.4 je vyneseno průběh polohy hladiny, průtočné plochy a přítoku v závislosti na čase. V tab. 6.10 jsou shrnuty nejdůležitější výstupní hodnoty.

tab. 6.15 Souhrn výstupních hodnot rychlého přímého prázdnění velké plavební komory

Ozn.	Hodnota s jednotkou	Popis
$t_z$	68 s	Doba otevírání uzávěru
T	597 s	Doba prázdnění komory
Q	70,7 m <sup>3</sup> /s	Maximální odtok
v	1,11 m/min	Maximální rychlost klesání hladiny
$i_{\max}$	1,19 ‰	Maximální sklon hladiny
$P_{\max}$	50,48 kN	Maximální síla namáhající lano
R	53,70 kN	Mezní pevnost lana

#### 6.4.5 Pomalé prázdnění – výsledky

Pro pomalé přímé prázdnění velké plavební komory volím dobu otevírání uzávěru  $t_z = 220$  s. Limitem v tomto výpočtu je maximální rychlost klesání hladiny 1 m/s.



obr. 6.9 Graf průběhu pomalého přímého prázdnění velké plavební komory

Na obr. 6.5 je vyneseno průběh polohy hladiny, průtočné plochy a přítoku v závislosti na čase. V tab. 6.11 jsou shrnuty nejdůležitější výstupní hodnoty.

tab. 6.16 Souhrn výstupních hodnot pomalého přímého prázdnění velké plavební komory

Ozn.	Hodnota s jednotkou	Popis
$t_z$	220 s	Doba otevírání uzávěru
T	673 s	Doba prázdnění komory
Q	60,5 m <sup>3</sup> /s	Maximální odtok
v	0,95 m/min	Maximální rychlost klesání hladiny
$i_{\max}$	0,37 ‰	Maximální sklon hladiny
$P_{\max}$	15,60 kN	Maximální síla namáhající lano
R	53,70 kN	Mezní pevnost lana

## 6.5 Přímé plnění a prázdnění celé plavební komory

### 6.5.1 Vstupní hodnoty

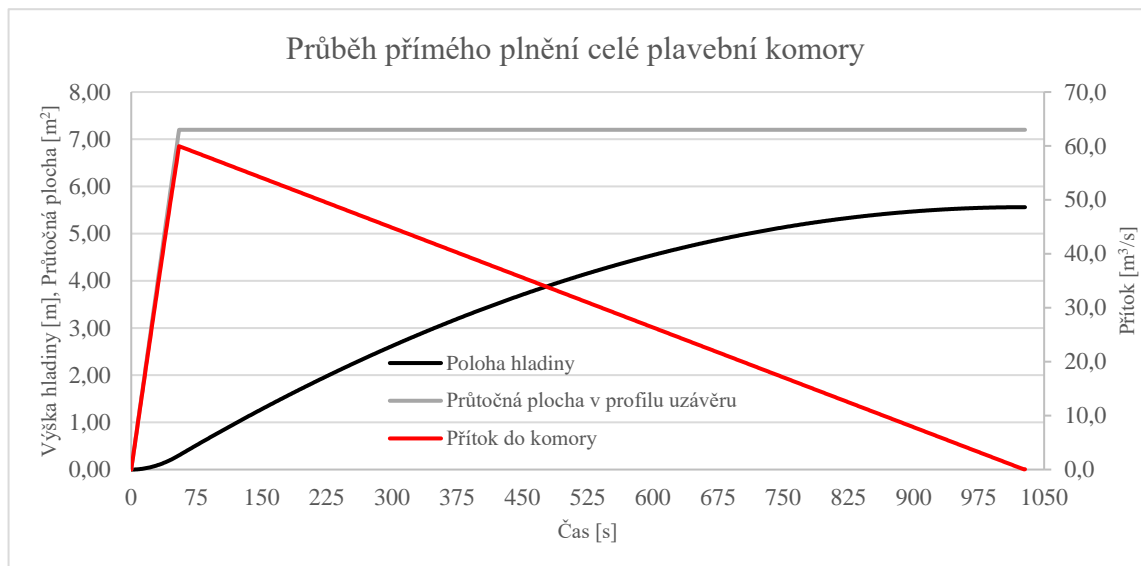
Souhrn vstupních hodnot do výpočtu všech veličin přímého plnění a prázdnění jsou shrnuty v tab. 6.17. Jako návrhové plavidlo je využita tlačná souprava.

tab. 6.17 Souhrn vstupních hodnot přímého plnění a prázdnění celé plavební komory

Ozn.	Hodnota s jednotkou	Popis
H	5,56 m	Počáteční spád
F	5544 m <sup>2</sup>	Půdorysná plocha celé PK
B	24 m	Šířka PK
f <sub>in</sub>	7,2 m <sup>2</sup>	Průtočná plocha plnicího otvoru
f <sub>out</sub>	9 m <sup>2</sup>	Průtočná plocha prázdnícího otvoru
H <sub>min</sub>	4,91 m	Minimální hloubka vody v komoře
f <sub>č</sub>	22,99 m <sup>2</sup>	Plocha hlavního žebra
W	2427 t	Výtlak plavidla

### 6.5.2 Plnění – výsledky

V důsledku velké půdorysné plochy „rychlé“ plnění nepřekročí maximální stoupání hladiny 1 m/s, proto zde nerozdělují plnění na rychlé a pomalé. Pro přímé plnění celé plavební komory volím dobu otevírání uzávěru  $t_z = 55$  s. Limitem v tomto výpočtu je maximální síla v úvazném laně typového plavidla tlačné soupravy.



obr. 6.10 Graf průběhu přímého plnění celé plavební komory

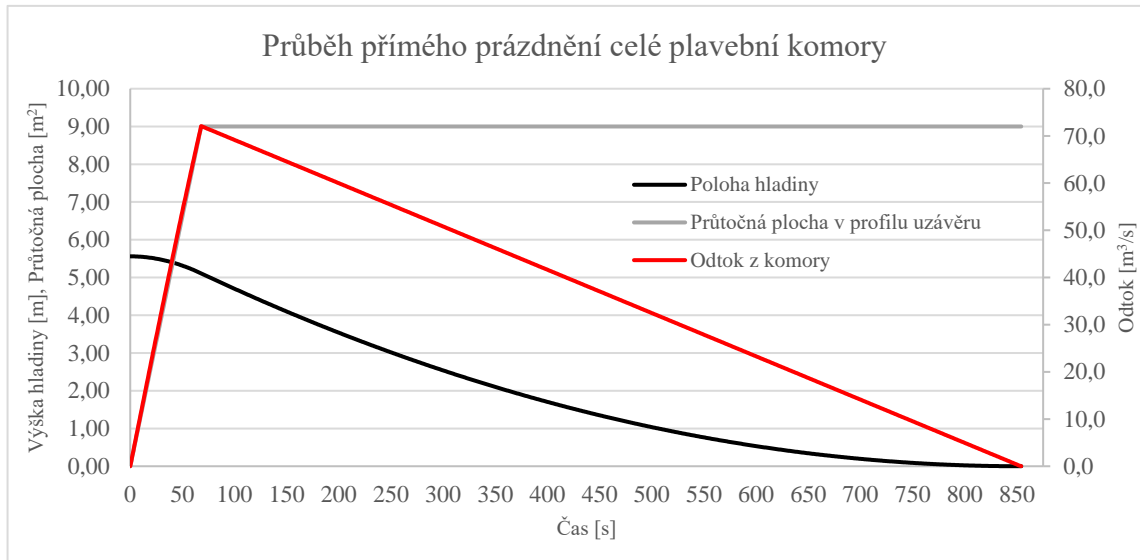
Na obr. 6.10 je vyneseno průběh polohy hladiny, průtočné plochy a přítoku v závislosti na čase. V tab. 6.18 jsou shrnuty nejdůležitější výstupní hodnoty.

tab. 6.18 Souhrn výstupních hodnot přímého plnění celé plavební komory

Ozn.	Hodnota s jednotkou	Popis
$t_z$	55 s	Doba otevírání uzávěru
T	1028 s	Doba plnění komory
Q	60,0 m <sup>3</sup> /s	Maximální přítok
v	0,65 m/min	Maximální rychlost stoupání hladiny
i <sub>max</sub>	1,20 ‰	Maximální sklon hladiny
P <sub>max</sub>	51,17 kN	Maximální síla namáhající lano
R	53,70 kN	Mezní pevnost lana

### 6.5.3 Prázdňení – výsledky

V důsledku velké půdorysné plochy „rychlé“ prázdnění nepřekročí maximální klesání hladiny 1 m/s, proto zde nerozdělují prázdnění na rychlé a pomalé. Pro přímé prázdnění celé plavební komory volím dobu otevírání uzávěru  $t_z = 68$  s. Limitem v tomto výpočtu je maximální síla v úvazném laně typového plavidla tlačné soupravy.



obr. 6.11 Graf průběhu přímého prázdnění celé plavební komory

Na obr. 6.11 je vyneseno průběh polohy hladiny, průtočné plochy a přítoku v závislosti na čase. V tab. 6.19 jsou shrnuty nejdůležitější výstupní hodnoty.

tab. 6.19 Souhrn výstupních hodnot přímého prázdnění celé plavební komory

Ozn.	Hodnota s jednotkou	Popis
$t_z$	68 s	Doba otevírání uzávěru
T	854 s	Doba prázdnění komory
Q	72,1 m <sup>3</sup> /s	Maximální přítok
v	0,78 m/min	Maximální rychlost klesání hladiny
$i_{\max}$	1,19 ‰	Maximální sklon hladiny
$P_{\max}$	50,48 kN	Maximální síla namáhající lano
R	53,70 kN	Mezní pevnost lana

## 7 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

### 7.1 Zhodnocení výsledků přímého plnění celé plavební komory

tab. 7.1 Porovnání výsledků hydraulického výpočtu a modelového měření plnění PK

Popis	Matematický výpočet	Hydraulické měření	Rozdíl	
Doba plnění PK	1028 s	953 s	+ 75 s	+7,9 %
Max. sklon hladiny	1,20 ‰	1,37 ‰	- 0,17 ‰	- 12,2 %
Max. síla v lanech	51,17 kN	58,30 kN	- 7,13 kN	- 12,2 %

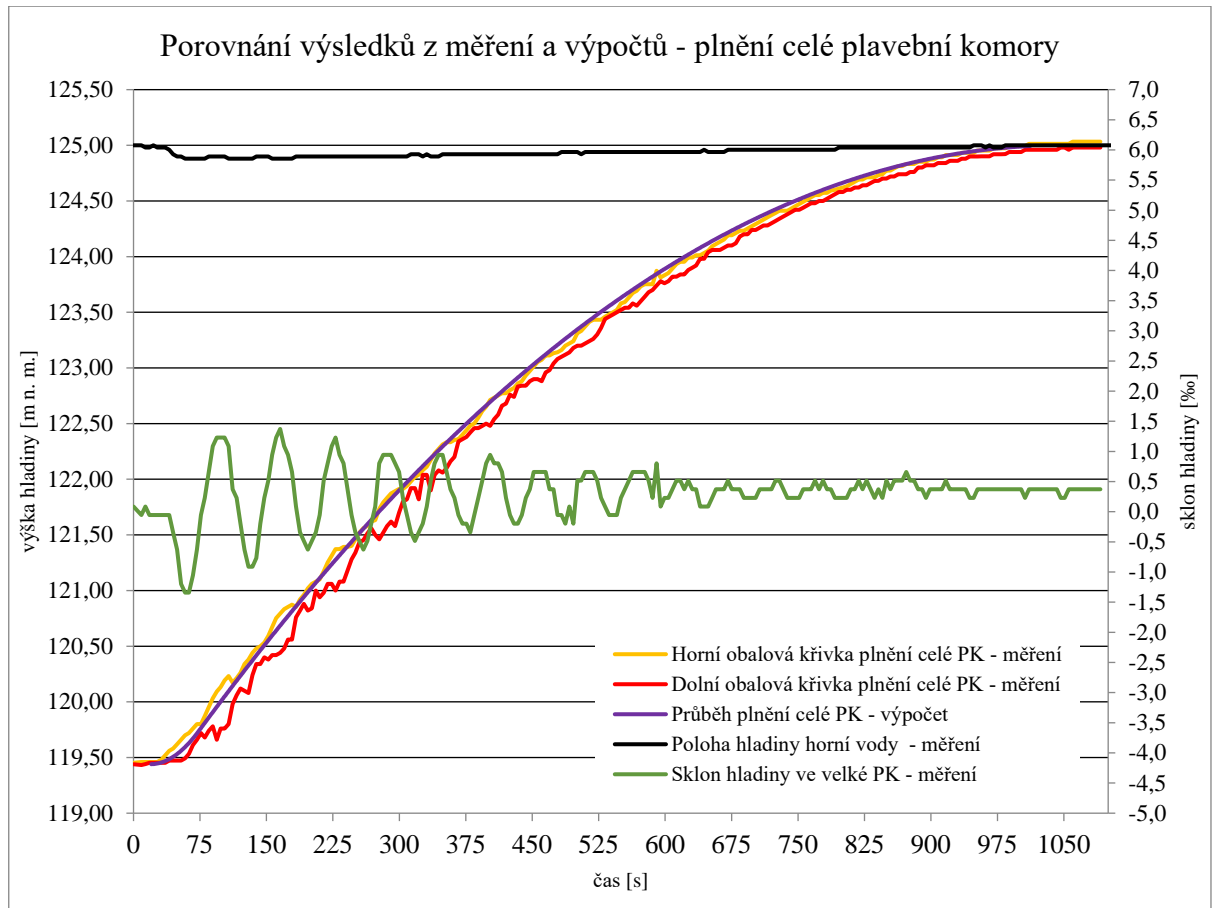
Pro nejjednodušší porovnání výsledků nám poslouží tab. 7.1. Z této tabulky lze vyčíst, že doby plnění jsou podobné. Drobné odchylky časů jsou způsobeny pohybem hladiny v horní vodě. Ty jsou patrné z obr. 7.1, kde je hladina horní vody znázorněna černou křivkou. Kvůli velkému objemu vody, kterým se plní plavební komora, hladina v horní vodě kolísá, resp. se snižuje. Toto kolísání má vliv na celkový spád a ovlivňuje dobu plnění. V matematickém výpočtu snížení horní hladiny neuvažují.

Dalším faktorem rozdílu měření a výpočtu je kolísání hladiny v plavební komoře. Při otevření segmentu proud vody vytvoří vlnu, která proudí přes celou komoru až se odrazí od dolních vrat a vrací se zpět. Tento efekt rozkolísá hladinu a lze vypočítat i na obr. 7.1, kde je znázorněn obalovou křivkou tlaků po celé délce plavební komory při plnění.

Pohyby hladiny způsobují různé sklony, které jsou nebezpečné pro proplavovaná plavidla. Maximální sklony vznikají při otevírání segmentu, kdy velká masa vody narazí do klidné hladiny v plavební komoře. Po rozkmitání se hladina harmonicky uklidňuje. Toto zklidnění může trvat hodiny a může vytvářet při měření superponování pohybu hladiny. Pro eliminaci tohoto jevu se musí měření opakovat minimálně jednou.

V příloze 12 a 13 uvádím výsledky z dalších měření. Při porovnání těchto měření si potvrdíme typické plnění plavební komory s harmonickou změnou sklonů hladiny. Rozdíly mezi jednotlivými křivkami měření jsou dány náhodnou složkou, která je způsobena určitým pohybem masy vody v plavební komoře v důsledku předchozího proplavení. Časovými mezerami mezi měřeními se omezí tato náhodná složka.

Z obr. 7.1 byly pro lepší přehlednost odebrány nepodstatné informace. Sklony hladiny v plavební komoře lépe demonstruje sklon ve velké plavební komoře nežli sklon v celé komoře, který je více ovlivněn vtokem z horní vody.



obr. 7.1 Grafické porovnání výsledků z měření a výpočtů – plnění celé plavební komory

## 7.2 Zhodnocení výsledků přímého prázdnění celé plavební komory

Před zhodnocením výsledků přímého prázdnění si musíme uvědomit, že je pro nás kritické přímé plnění, jelikož při plnění vzniká větší namáhání proplavovaných plavidel.

tab. 7.2 Porovnání výsledků hydraulického výpočtu a modelového měření prázdnění PK

Popis	Matematický výpočet	Hydraulické měření	Rozdíl	
Doba prázdnění PK	854 s	1002 s	- 148 s	- 14,7 %
Max. sklon hladiny	1,19 ‰	0,49 ‰	+ 0,70 ‰	+ 142,4 %
Max. síla v lanech	50,48 kN	20,83 kN	+ 29,65 kN	+ 142,4 %

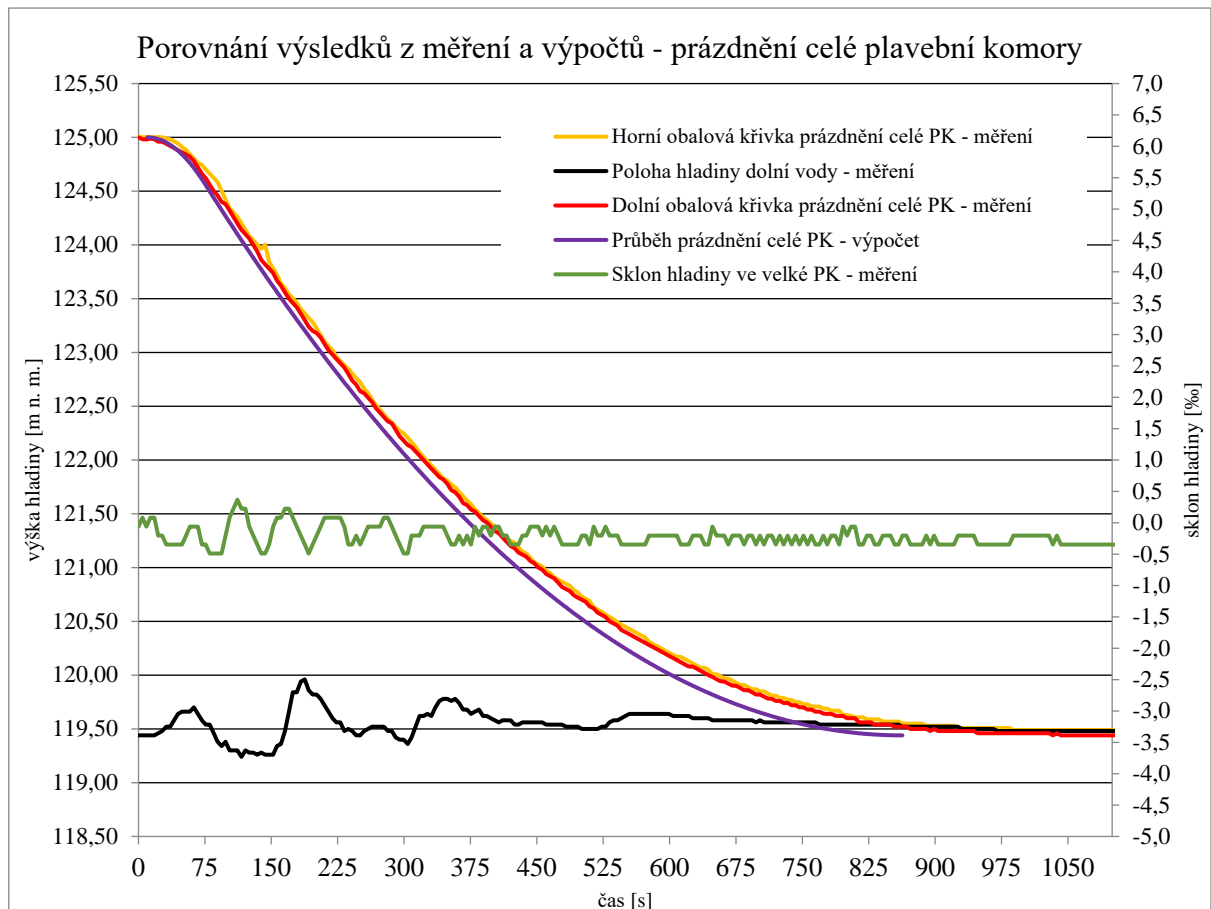
V tab. 7.2 vyčteme větší rozptyl hodnot doby prázdnění. Tento rozptyl způsobuje především vzduťí dolní hladiny, které je zobrazeno na obr. 7.2 černou křivkou. Do dolní rejdy při vypouštění proudí  $72 \text{ m}^3/\text{s}$  vody, což v úzké dolní rejdě vzduje hladinu dostatečně na to, aby se ovlivnila doba prázdnění. Vzduťí dolní hladiny je významnější, než je snížení horní hladiny při plnění. Vzduťí dolní hladiny dosahuje přes 50 cm. V matematickém výpočtu vzduťí dolní hladiny neuvažují.

Oproti průběhu plnění se prázdnění liší ve velikosti sklonů hladiny v plavební komoře. Zde se totiž nevytvářejí vlny, které by rozpochovaly hladinu v plavební komoře. Při prázdnění, kdy dochází k otevření prázdního otvoru, pouze sníží hladina a následný kmit je zanedbatelný.

Z těchto poznatků lze usoudit, že použitý matematický výpočet sklonů hladin a působících sil na proplavované plavidlo (rovnice 6.7) vychází především z empirií s plněním plavebních komor a není uzpůsoben na prázdnění.

Na obr. 7.2 je zřejmý rozdíl časových průběhů mezi výpočtem a obalovou křivkou naměřeného průběhu prázdnění PK.

V příloze 15 a v příloze 16 jsou výsledky z druhého a třetího měření. Při porovnání těchto měření si potvrdíme klidný průběh prázdnění plavební komory.



obr. 7.2 Grafické porovnání výsledků z měření a výpočtů – prázdnění celé plavební komory

## 8 ZÁVĚR

Lodní doprava je nejstarší způsob dopravy na světě. Řeka Labe tvořila již v historii významný potenciál pro dopravní napojení území České republiky zejména na námořní vodní cesty a jejich přístavy. Labská vodní cesta je součástí evropské dopravní sítě. Regulovaná část Labe v úseku od VD Střekov po státní hranice se SRN má díky výrazné rozkolísanosti průtoků limitující význam pro splavnost a tím i efektivní využití celé labské vodní cesty z pohledu naší země.

Bohužel v českých médiích se občas objeví řada zavádějících informací, které poškozují v očích široké veřejnosti plánovanou vzdouvací stavbu. Diskuze kolem tohoto tématu by však měla vycházet z pravdivých údajů a podložených a objektivních dat, jež se opírají o korektní odborné zdroje či nezávislé studie.

Výstavbou plavebního stupně Děčín významně naroste objem přepravovaného zboží vodní dopravou, která má velký potenciál. Dalším efektem vodní cesty je rekreace, které brání nízké a nestabilní vodní stavy. V letním období budou možné nerušené plavby nejen českých a zahraničních kabinových lodí, ale také dojde k rozvoji pravidelných lodních linek. Dokončením stavby plavebního stupně Děčín se otevře cesta k efektivní plavbě po řece Labi směrem k mořím i do vnitrozemí.

Odborná vodohospodářská společnost se již řadu let zabývá hledáním a ověřováním příznivých variantních řešení plavebního stupně Děčín. Jednotlivé možnosti variant byly ověřovány na různých modelech.

Bakalářská práce poskytuje ucelený pohled na připravovaný plavební stupeň Děčín především z hlediska ověření možností přímého plnění a prázdnění PK Děčín v případě plánované revize a havárie a tím znemožnění nepřímého plnění a prázdnění plavební komory dlouhými obtoky.

Výsledkem ověřování hodnot na modelu a porovnáním s klasickými hydraulickými výpočty je dobrá shoda při plnění plavební komory. Bez úvahy snížení horní hladiny a superponování sklonů hladiny v plavební komoře jsme došli k téměř shodným výsledkům.

Naopak při prázdnění plavební komory jsme zjistili nedostatky výpočtu, který neuvažuje významné hydrodynamické vzduť hladiny v dolní rejdě, které ovlivňuje průběh spádu během prázdnění a celkovou dobu prázdnění. Proto je nutno v dalších výzkumných krocích s tímto jevem uvažovat. Dále bylo experimentálně ověřeno, že standardní poloempirický výpočet sklonů hladin a sil na proplavované plavidlo přináší dobré výsledky v případě přímého plnění, zatímco v případě přímého prázdnění byly zjištěny výraznější odchylky od měřených dat.

Systém přímého plnění a prázdnění PK lze použít vždy, avšak musí se zodpovědět spousta dalších otázek. V předešlých výzkumech se již řešil problém s tlumením kinetické energie pod segmentem. Tlumení kinetické energie pod dolními a středními vraty plavební komory se bude optimalizovat při následném modelovém výzkumu.

Tato bakalářská práce ověřila vhodnost přímého plnění a prázdnění plavební komory Děčín. Doby proplavení jsou s primárním systémem plnění a prázdnění dlouhými obtoky srovnatelné, a to i s přihlédnutím na bezpečnost proplavovaného plavidla. V době havárií a plánovaných revizí dlouhých obtoků bude proplavení pouze časově ovlivněno.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Čábelka, J. *Vodní cesty a plavba*. Praha, 1976.
- [2] Časopis stavebnictví, *Stavby vodního hospodářství*. Praha, 12/2017.
- [3] Internetová stránka Ředitelství vodních cest České republiky. *Konference Vodní doprava na Labi* [online]. Česká republika, 14. 05. 2015 [cit. 09. 04. 2018]. Dostupné z: <http://www.rvccr.cz/informacni-servis/aktuality/konference-vodni-doprava-na-labi>
- [4] Medřický, V. a Valenta, P. *Vodní cesty: Navrhování plavebních komor*. Praha, 2009.
- [5] ČVUT, Fakulta stavební, katedra hydrotechniky. *Fyzikální hydraulický modelový výzkum plavební komory Děčín: Závěrečná zpráva*. Praha, 2016.
- [6] Internetová stránka Informační systém EIA: *Záměry na území ČR – Plavební stupeň Děčín* [online]. Česká republika, 11. 03. 2016 [cit. 23. 04. 2018]. Dostupné z: [http://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA\\_MZP102](http://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_MZP102)
- [7] Internetová stránka *Povodí Labe – státní podnik* [online]. Česká republika, 2009 [cit. 29. 04. 2018]. Dostupné z: <http://www.pla.cz/planet/webportal/internet/default.aspx>
- [8] Interní materiál *Povodí Labe – státní podnik*, závod Roudnice nad Labem
- [9] Čábelka, J., Gabriel, P. *Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice*. Academia Praha, 1987.

## SEZNAM TABULEK

tab. 4.1 Hladinové poměry provozu plavební komory [6].....	13
tab. 4.2 Přehled systémů plnění a prázdnění plavebních komor na dolním Labi [5][8].....	14
tab. 4.3 Přehled užitečných rozměrů plavebních komor na dolním Labi [7] .....	15
tab. 5.1 Vstupní údaje k měření na hydraulickém fyzikálním modelu .....	23
tab. 5.2 Výstupní údaje z měření na hydraulickém fyzikálním modelu .....	23
tab. 6.1 Rozměry částí plavební komory .....	25
tab. 6.2 Souhrn plnicích a prázdnících otvorů .....	25
tab. 6.3 Hodnoty součinitele $\mu_s$ [4] .....	25
tab. 6.4 Rozměry plavidel použitých při výpočtu a modelování .....	26
tab. 6.5 Přehled počítaných problematik .....	26
tab. 6.6 Maximální dovolené podélné sklony hladiny podle PIANC [5] .....	28
tab. 6.7 Souhrn vstupních hodnot přímého plnění a prázdnění malé plavební komory .....	29
tab. 6.8 Souhrn výstupních hodnot rychlého přímého plnění malé plavební komory .....	29
tab. 6.9 Souhrn výstupních hodnot pomalého přímého plnění malé plavební komory .....	30
tab. 6.10 Souhrn výstupních hodnot rychlého přímého prázdnění malé plavební komory .....	31
tab. 6.11 Souhrn výstupních hodnot pomalého přímého prázdnění malé plavební komory .....	31
tab. 6.12 Souhrn vstupních hodnot přímého plnění a prázdnění velké plavební komory.....	32
tab. 6.13 Souhrn výstupních hodnot rychlého přímého plnění velké plavební komory .....	32
tab. 6.14 Souhrn výstupních hodnot pomalého přímého plnění velké plavební komory ....	33
tab. 6.15 Souhrn výstupních hodnot rychlého přímého prázdnění velké plavební komory .....	34
tab. 6.16 Souhrn výstupních hodnot pomalého přímého prázdnění velké plavební komory .....	34
tab. 6.17 Souhrn vstupních hodnot přímého plnění a prázdnění celé plavební komory.....	35
tab. 6.18 Souhrn výstupních hodnot přímého plnění celé plavební komory .....	35
tab. 6.19 Souhrn výstupních hodnot přímého prázdnění celé plavební komory.....	36
tab. 7.1 Porovnání výsledků hydraulického výpočtu a modelového měření plnění PK .....	37
tab. 7.2 Porovnání výsledků hydraulického výpočtu a modelového měření prázdnění PK .....	38

## SEZNAM OBRÁZKŮ

obr. 3.1 Vodní stavy v profilu Ústí nad Labem v letech 1937 až 2013 [6] .....	10
obr. 3.2 Vyhodnocení plavebních podmínek na regulovaném úseku Labe Střekov – Hřensko za období 1971–2017 [8] .....	10
obr. 3.3 Vizualizace PS Děčín s popsány objekty [6] .....	11
obr. 3.4 Vizualizace s popisem migračních staveb [6] .....	12
obr. 4.1 Schéma primárního systému plnění plavební komory Děčín [5] .....	13
obr. 4.2 Schéma primárního systému prázdnění plavební komory Děčín [5] .....	14
obr. 5.1 Rozsah objektového modelu plavebního stupně Děčín [5] .....	17
obr. 5.2 Fotografie hydraulického modelu plavebního stupně Děčín [zdroj: ČVUT Fsv] ..	18
obr. 5.3 Fotografie zadní strany vrat s žebry [zdroj: autor] .....	19
obr. 5.4 Fotografie přední strany vrat s otvorem, vodícími lištami a dosedacím prahem [zdroj: autor] .....	20
obr. 5.5 Fotografie konečné verze dosedací lišty a stavítka [zdroj: autor] .....	20
obr. 5.6 Fotografie konečné podoby stavítek [zdroj: autor] .....	20
obr. 5.7 Fotografie labyrintového přelivu zajišťujícího hladinu dolní vody [zdroj: autor] .	21
obr. 5.8 Fotografie horní rejdy s popisem [zdroj: autor] .....	22
obr. 5.9 Fotografie horního ohlaví s popisem .....	22
obr. 5.10 Fotografie dolního ohlaví s popisem .....	22
obr. 5.11 Fotografie pracoviště [zdroj: autor] .....	23
obr. 5.12 Graf s výsledky měření plnění celé plavební komory .....	24
obr. 5.13 Graf s výsledky měření prázdnění celé plavební komory .....	24
obr. 6.1 Určení ploch $f_e$ a $f_k$ [4] .....	28
obr. 6.2 Graf průběhu rychlého přímého plnění malé plavební komory .....	29
obr. 6.3 Graf průběhu pomalého přímého plnění malé plavební komory .....	30
obr. 6.4 Graf průběhu rychlého přímého prázdnění malé plavební komory .....	30
obr. 6.5 Graf průběhu pomalého přímého prázdnění malé plavební komory .....	31
obr. 6.6 Graf průběhu rychlého přímého plnění velké plavební komory .....	32
obr. 6.7 Graf průběhu pomalého přímého plnění velké plavební komory .....	33
obr. 6.8 Graf průběhu rychlého přímého prázdnění velké plavební komory .....	33
obr. 6.9 Graf průběhu pomalého přímého prázdnění velké plavební komory .....	34
obr. 6.10 Graf průběhu přímého plnění celé plavební komory .....	35

obr. 6.11 Graf průběhu přímého prázdnění celé plavební komory.....	36
obr. 7.1 Grafické porovnání výsledků z měření a výpočtů – plnění celé plavební komory	38
obr. 7.2 Grafické porovnání výsledků z měření a výpočtů – prázdnění celé plavební komory .....	39

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 01	Výsledky výpočtů – Rychlé plnění malé plavební komory
Příloha 02	Výsledky výpočtů – Pomalé plnění malé plavební komory
Příloha 03	Výsledky výpočtů – Rychlé prázdnění malé plavební komory
Příloha 04	Výsledky výpočtů – Pomalé prázdnění malé plavební komory
Příloha 05	Výsledky výpočtů – Rychlé plnění velké plavební komory
Příloha 06	Výsledky výpočtů – Pomalé plnění velké plavební komory
Příloha 07	Výsledky výpočtů – Rychlé prázdnění velké plavební komory
Příloha 08	Výsledky výpočtů – Pomalé prázdnění velké plavební komory
Příloha 09	Výsledky výpočtů – Plnění celé plavební komory
Příloha 10	Výsledky výpočtů – Prázdnění celé plavební komory
Příloha 11	Výsledky prvního měření – Plnění celé plavební komory
Příloha 12	Výsledky druhého měření – Plnění celé plavební komory
Příloha 13	Výsledky třetího měření – Plnění celé plavební komory
Příloha 14	Výsledky prvního měření – Prázdnění celé plavební komory
Příloha 15	Výsledky druhého měření – Prázdnění celé plavební komory
Příloha 16	Výsledky třetího měření – Prázdnění celé plavební komory
Příloha 17	Porovnání výsledků výpočtů a měření – Plnění celé plavební komory
Příloha 18	Porovnání výsledků výpočtů a měření – Prázdnění celé plavební komory

## Příloha 01

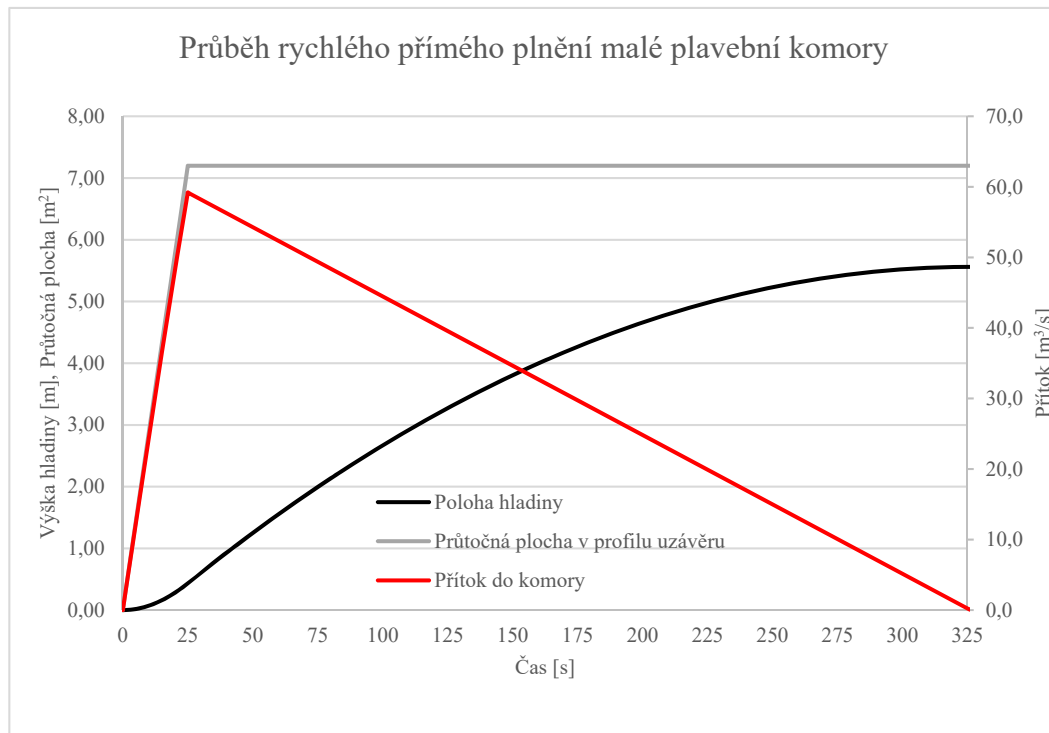
### Výsledky výpočtů Rychlé plnění malé plavební komory

#### Vstupní hodnoty:

Horní hladina		125,00 m n. m.
Dolní hladina		119,44 m n. m.
Max. spád	H =	5,56 m
Šířka plavební komory	B =	24 m
Plocha malé PK	F =	1740 m <sup>2</sup>
Výška otvoru v plnicí poloze	a =	0,3 m
Plocha plnicího otvoru	f =	7,2 m <sup>2</sup>
Střední hodnota součinitele ztrát	$\mu_s$ =	0,82 -
Výtlak plavidel v malé PK	W =	400 t
Plocha hlavního žebra	$f_{\xi}$ =	11,11 m <sup>2</sup>
Mínimální hloubka v PK	H <sub>min</sub> =	4,91 m

#### Výstupní hodnoty:

Doba otevírání uzávěru	$t_z$ =	25 s
Doba plnění komory	T =	327 s
Maximální přítok do komory	Q =	59,2 m <sup>3</sup> /s
Maximální rychlost stoupaní hladiny	$v_{\max}$ =	2,04 m/min
Maximální sklon hladiny	$i_{\max}$ =	2,36 ‰
Maximální síla namáhající lano	P <sub>max</sub> =	16,49 kN
Mezní pevnost lana	R =	18,21 kN



## Příloha 02

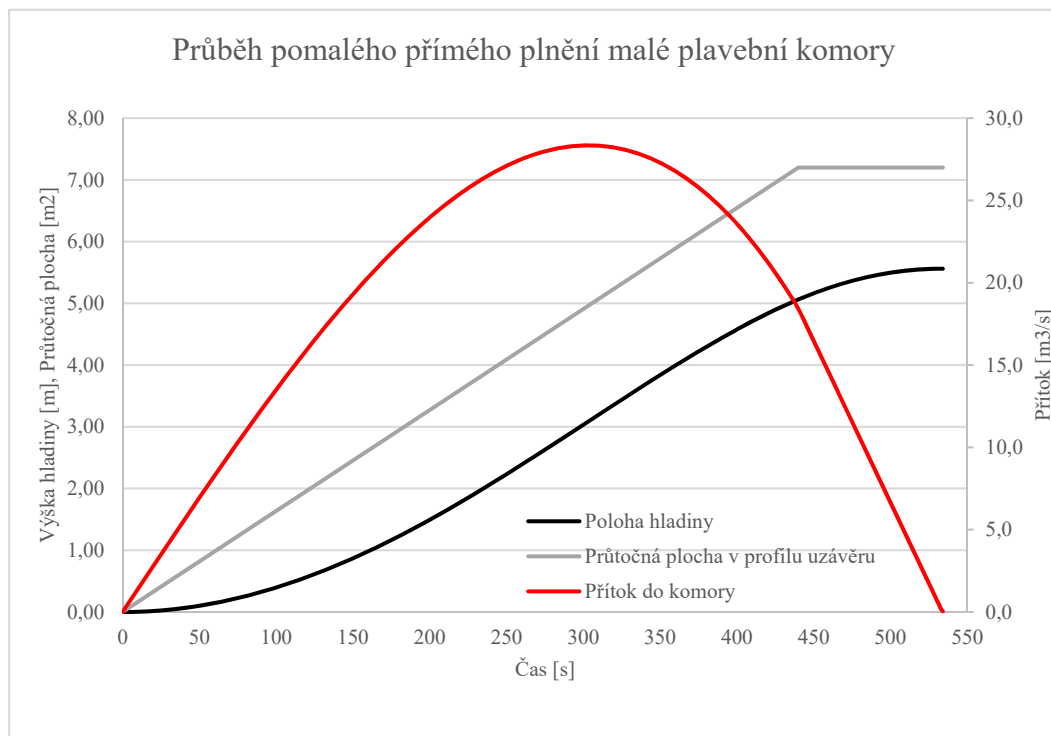
### Výsledky výpočtů Pomalé plnění malé plavební komory

#### Vstupní hodnoty:

Horní hladina		125,00 m n. m.
Dolní hladina		119,44 m n. m.
Max. spád	H =	5,56 m
Šířka plavební komory	B =	24 m
Plocha malé PK	F =	1740 m <sup>2</sup>
Výška otvoru v plnicí poloze	a =	0,3 m
Plocha plnicího otvoru	f =	7,2 m <sup>2</sup>
Střední hodnota součinitele ztrát	$\mu_s$ =	0,82 -
Výtlak plavidel v malé PK	W =	400 t
Plocha hlavního žebra	$f_{\xi}$ =	11,11 m <sup>2</sup>
Mínimální hloubka v PK	H <sub>min</sub> =	4,91 m

#### Výstupní hodnoty:

Doba otevírání uzávěru	$t_z$ =	440 s
Doba plnění komory	T =	534 s
Maximální přítok do komory	Q =	28,3 m <sup>3</sup> /s
Maximální rychlost stoupaní hladiny	$v_{\max}$ =	0,98 m/min
Maximální sklon hladiny	$i_{\max}$ =	0,13 ‰
Maximální síla namáhající lano	P <sub>max</sub> =	0,94 kN
Mezní pevnost lana	R =	18,21 kN



## Příloha 03

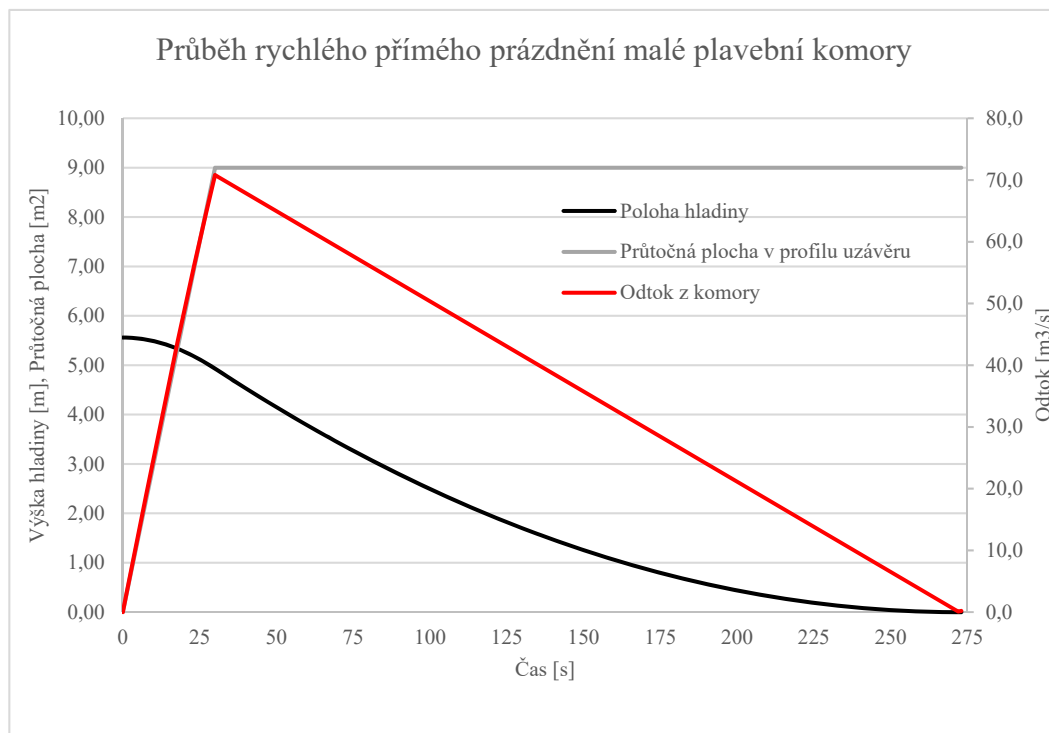
## Výsledky výpočtů Rychlé prázdnění malé plavební komory

### Vstupní hodnoty:

Horní hladina		125,00 m n. m.
Dolní hladina		119,44 m n. m.
Max. spád	H =	5,56 m
Šířka plavební komory	B =	24 m
Plocha malé PK	F =	1740 m <sup>2</sup>
Výška otvoru v prázdnící poloze	a =	1 m
Plocha prázdnícího otvoru	f =	9 m <sup>2</sup>
Střední hodnota součinitele ztrát	$\mu_s$ =	0,80 -
Výtlak plavidel v malé PK	W =	400 t
Plocha hlavního žebra	$f_{\xi}$ =	11,11 m <sup>2</sup>
Mínimální hloubka v PK	H <sub>min</sub> =	4,91 m

### Výstupní hodnoty:

Doba otevírání uzávěru	$t_z$ =	30 s
Doba prázdnění komory	T =	273 s
Maximální odtok z komory	Q =	70,8 m <sup>3</sup> /s
Maximální rychlost klesání hladiny	$v_{\max}$ =	2,44 m/min
Maximální sklon hladiny	$i_{\max}$ =	2,39 ‰
Maximální síla namáhající lano	P <sub>max</sub> =	16,75 kN
Mezní pevnost lana	R =	18,21 kN



## Příloha 04

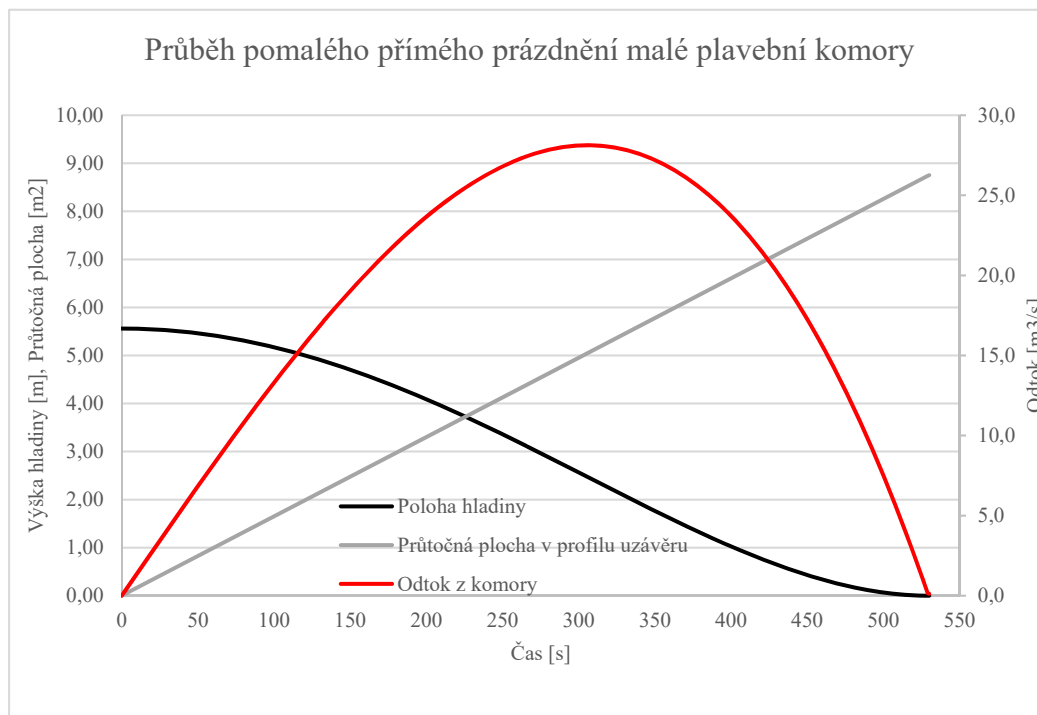
### Výsledky výpočtů Pomalé prázdnění malé plavební komory

#### Vstupní hodnoty:

Horní hladina		125,00 m n. m.
Dolní hladina		119,44 m n. m.
Max. spád	H =	5,56 m
Šířka plavební komory	B =	24 m
Plocha malé PK	F =	1740 m <sup>2</sup>
Výška otvoru v prázdnící poloze	a =	1 m
Plocha prázdnícího otvoru	f =	9 m <sup>2</sup>
Střední hodnota součinitele ztrát	$\mu_s$ =	0,80 -
Výtlak plavidel v malé PK	W =	400 t
Plocha hlavního žebra	$f_{\xi}$ =	11,11 m <sup>2</sup>
Mínimální hloubka v PK	H <sub>min</sub> =	4,91 m

#### Výstupní hodnoty:

Doba otevírání uzávěru	$t_z$ =	545 s
Doba prázdnění komory	T =	530 s
Maximální odtok z komory	Q =	28,1 m <sup>3</sup> /s
Maximální rychlost klesání hladiny	$v_{\max}$ =	0,97 m/min
Maximální sklon hladiny	$i_{\max}$ =	0,13 ‰
Maximální síla namáhající lana	P <sub>max</sub> =	0,92 kN
Mezní pevnost lana	R =	18,21 kN





## Příloha 05

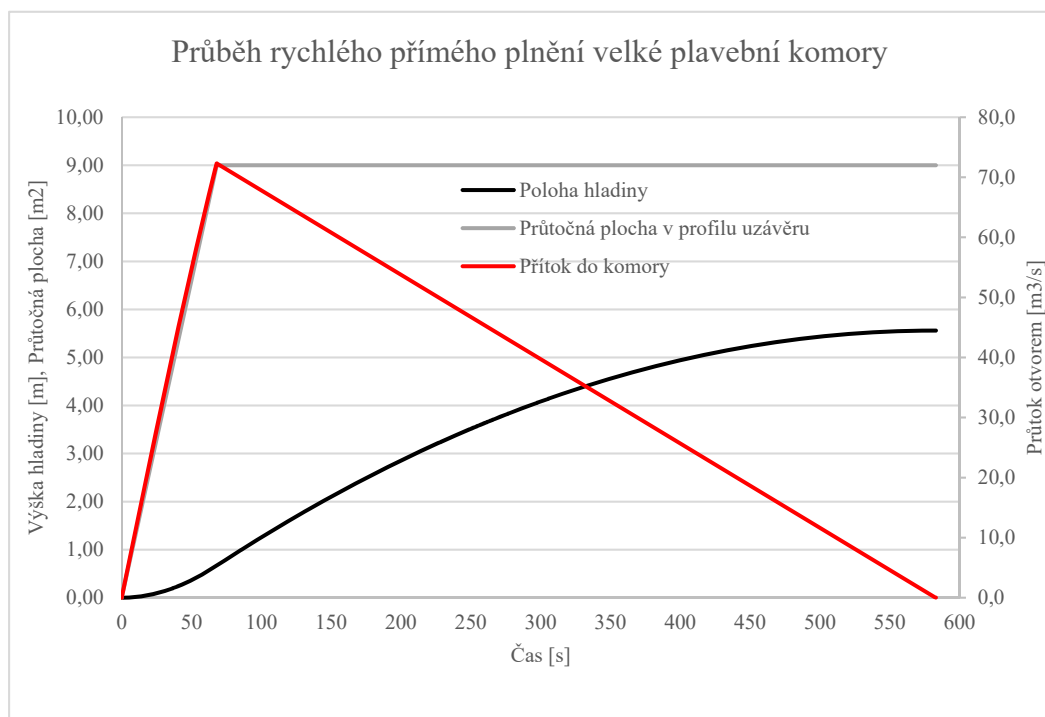
### Výsledky výpočtů Rychlé plnění velké plavební komory

#### Vstupní hodnoty:

Horní hladina		125,00 m n. m.
Dolní hladina		119,44 m n. m.
Max. spád	H =	5,56 m
Šířka plavební komory	B =	24 m
Plocha velké PK	F =	3804 m <sup>2</sup>
Výška otvoru v otevřené poloze	a =	1 m
Plocha otvoru	f =	9 m <sup>2</sup>
Střední hodnota součinitele ztrát	$\mu_s$ =	0,82 -
Výtlak plavidel ve velké PK	W =	2427 t
Plocha hlavního žebra	$f_{\xi}$ =	22,99 m <sup>2</sup>
Minimální hloubka v PK	H <sub>min</sub> =	4,91 m

#### Výstupní hodnoty:

Doba otevírání uzávěru	$t_z$ =	68 s
Doba plnění komory	T =	583 s
Maximální přítok do komory	Q =	72,3 m <sup>3</sup> /s
Maximální rychlost stoupaní hladiny	$v_{max}$ =	1,14 m/min
Maximální sklon hladiny	$i_{max}$ =	1,22 ‰
Maximální síla namáhající lano	P <sub>max</sub> =	51,74 kN
Mezní pevnost lana	R =	53,70 kN



## Příloha 06

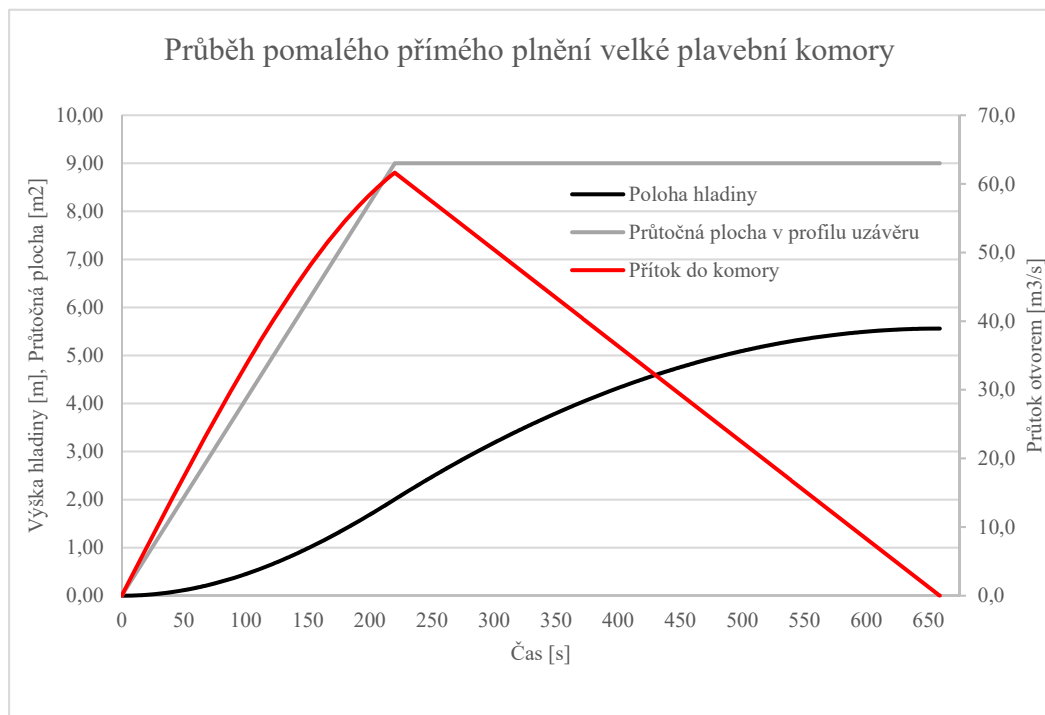
### Výsledky výpočtů Pomalé plnění velké plavební komory

#### Vstupní hodnoty:

Horní hladina		125,00 m n. m.
Dolní hladina		119,44 m n. m.
Max. spád	H =	5,56 m
Šířka plavební komory	B =	24 m
Plocha velké PK	F =	3804 m <sup>2</sup>
Výška otvoru v otevřené poloze	a =	1 m
Plocha otvoru	f =	9 m <sup>2</sup>
Střední hodnota součinitele ztrát	$\mu_s$ =	0,82 -
Výtlak plavidel ve velké PK	W =	2427 t
Plocha hlavního žebra	$f_{\xi}$ =	22,99 m <sup>2</sup>
Minimální hloubka v PK	H <sub>min</sub> =	4,91 m

#### Výstupní hodnoty:

Doba otevírání uzávěru	$t_z$ =	220 s
Doba plnění komory	T =	659 s
Maximální průtok do komory	Q =	61,6 m <sup>3</sup> /s
Maximální rychlost stoupaní hladiny	$v_{\max}$ =	0,97 m/min
Maximální sklon hladiny	$i_{\max}$ =	0,38 ‰
Maximální síla namáhající lano	P <sub>max</sub> =	15,99 kN
Mezní pevnost lana	R =	53,70 kN



## Příloha 07

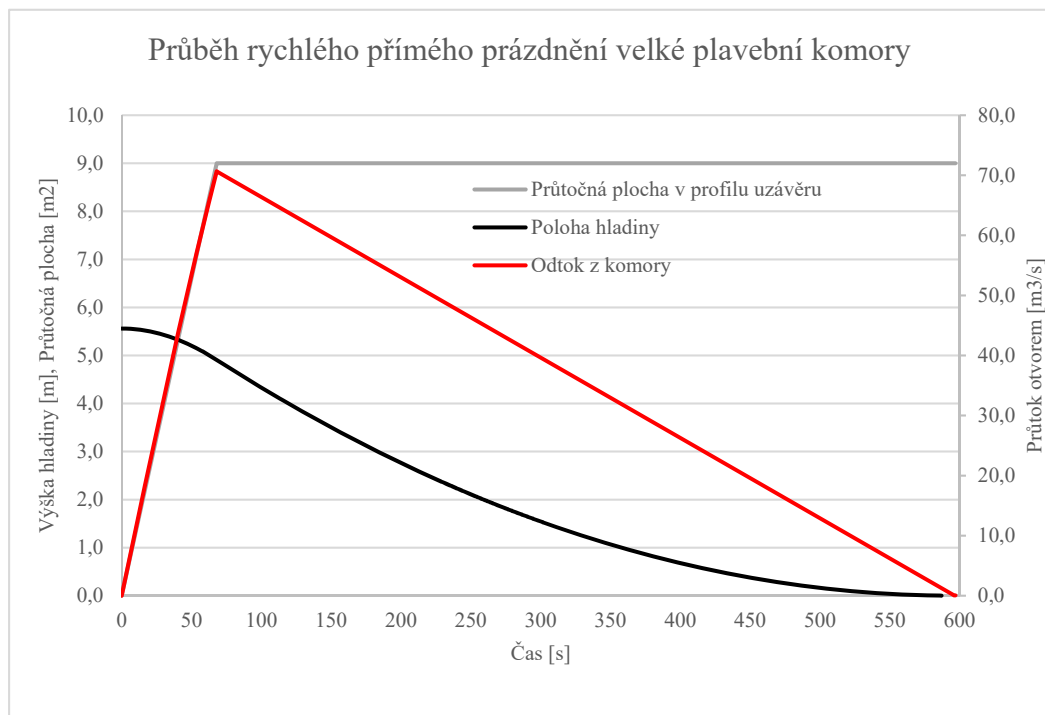
### Výsledky výpočtů Rychlé prázdnění velké plavební komory

#### Vstupní hodnoty:

Horní hladina		125,00 m n. m.
Dolní hladina		119,44 m n. m.
Max. spád	H =	5,56 m
Šířka plavební komory	B =	24 m
Plocha velké PK	F =	3804 m <sup>2</sup>
Výška otvoru v otevřené poloze	a =	1 m
Plocha otvoru	f =	9 m <sup>2</sup>
Střední hodnota součinitele ztrát	$\mu_s$ =	0,80 -
Výtlak plavidel ve velké PK	W =	2427 t
Plocha hlavního žebra	$f_{\xi}$ =	22,99 m <sup>2</sup>
Mínimální hloubka v PK	H <sub>min</sub> =	4,91 m

#### Výstupní hodnoty:

Doba otevírání uzávěru	$t_z$ =	68 s
Doba prázdnění komory	T =	597 s
Maximální odtok z komory	Q =	70,7 m <sup>3</sup> /s
Maximální rychlost klesání hladiny	$v_{\max}$ =	1,11 m/min
Maximální sklon hladiny	$i_{\max}$ =	1,19 ‰
Maximální síla namáhající lano	P <sub>max</sub> =	50,48 kN
Mezní pevnost lana	R =	53,70 kN



## Příloha 08

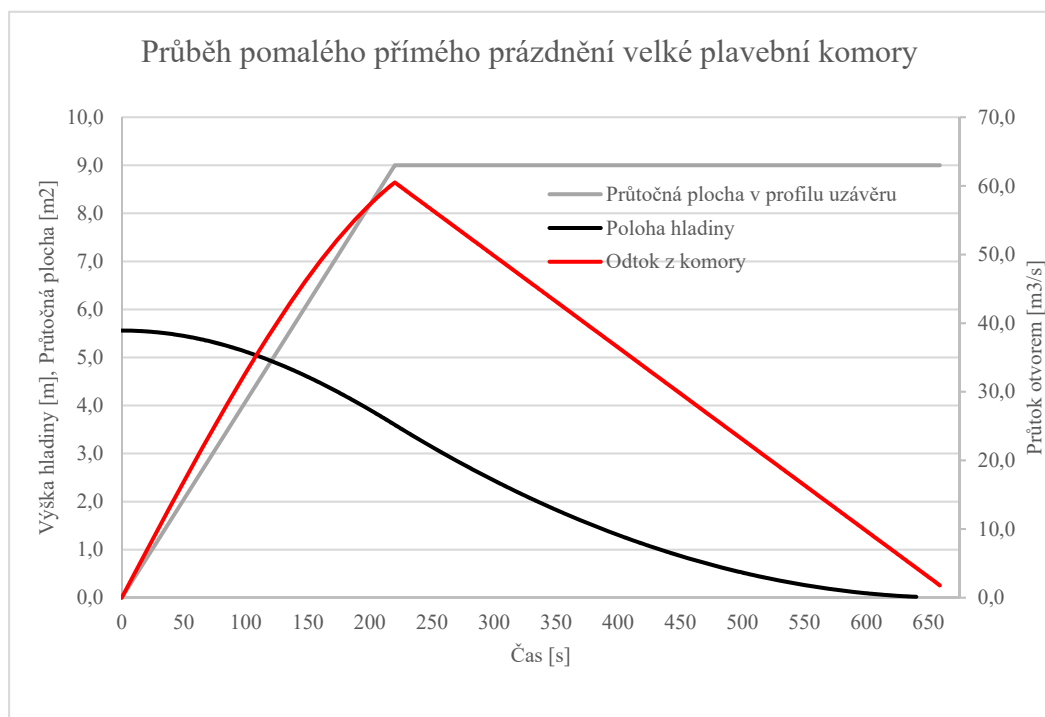
### Výsledky výpočtů Pomalé prázdnění velké plavební komory

#### Vstupní hodnoty:

Horní hladina		125,00 m n. m.
Dolní hladina		119,44 m n. m.
Max. spád	H =	5,56 m
Šířka plavební komory	B =	24 m
Plocha velké PK	F =	3804 m <sup>2</sup>
Výška otvoru v otevřené poloze	a =	1 m
Plocha otvoru	f =	9 m <sup>2</sup>
Střední hodnota součinitele ztrát	$\mu_s$ =	0,80 -
Výtlak plavidel ve velké PK	W =	2427 t
Plocha hlavního žebra	$f_{\xi}$ =	22,99 m <sup>2</sup>
Minimální hloubka v PK	H <sub>min</sub> =	4,91 m

#### Výstupní hodnoty:

Doba otevírání uzávěru	$t_z$ =	220 s
Doba prázdnění komory	T =	673 s
Maximální odtok z komory	Q =	60,5 m <sup>3</sup> /s
Maximální rychlost klesání hladiny	$v_{\max}$ =	0,95 m/min
Maximální sklon hladiny	$i_{\max}$ =	0,37 ‰
Maximální síla namáhající lano	P <sub>max</sub> =	15,60 kN
Mezní pevnost lana	R =	53,70 kN



## Příloha 09

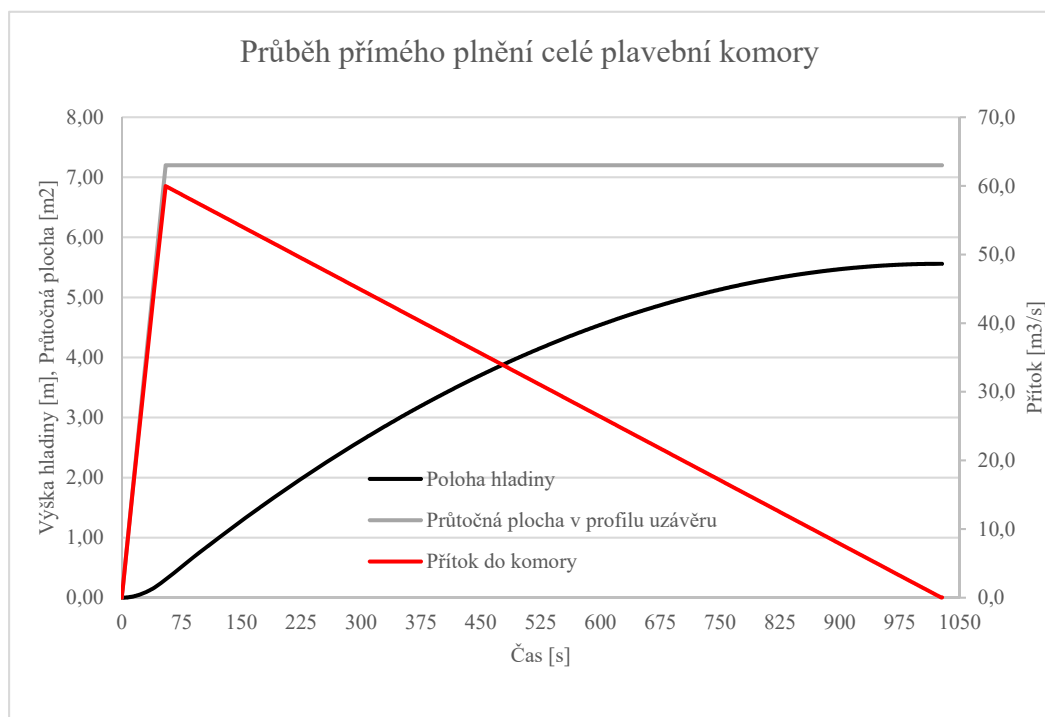
### Výsledky výpočtů Plnění celé plavební komory

#### Vstupní hodnoty:

Horní hladina		125,00 m n. m.
Dolní hladina		119,44 m n. m.
Max. spád	H =	5,56 m
Šířka plavební komory	B =	24 m
Plocha celé PK	F =	5544 m <sup>2</sup>
Výška otvoru v plnicí poloze	a =	0,3 m
Plocha plnicího otvoru	f =	7,2 m <sup>2</sup>
Střední hodnota součinitele ztrát	$\mu_s$ =	0,82 -
Výtlak plavidel v celé PK	W =	2427 t
Plocha hlavního žebra	$f_{\xi}$ =	22,99 m <sup>2</sup>
Minimální hloubka v PK	H <sub>min</sub> =	4,91 m

#### Výstupní hodnoty:

Doba otevírání uzávěru	$t_z$ =	55 s
Doba plnění komory	T =	1028 s
Maximální přítok do komory	Q =	60,0 m <sup>3</sup> /s
Maximální rychlost stoupaní hladiny	$v_{\max}$ =	0,65 m/min
Maximální sklon hladiny	$i_{\max}$ =	1,20 ‰
Maximální síla namáhající lano	P <sub>max</sub> =	51,17 kN
Mezní pevnost lana	R =	53,70 kN



## Příloha 10

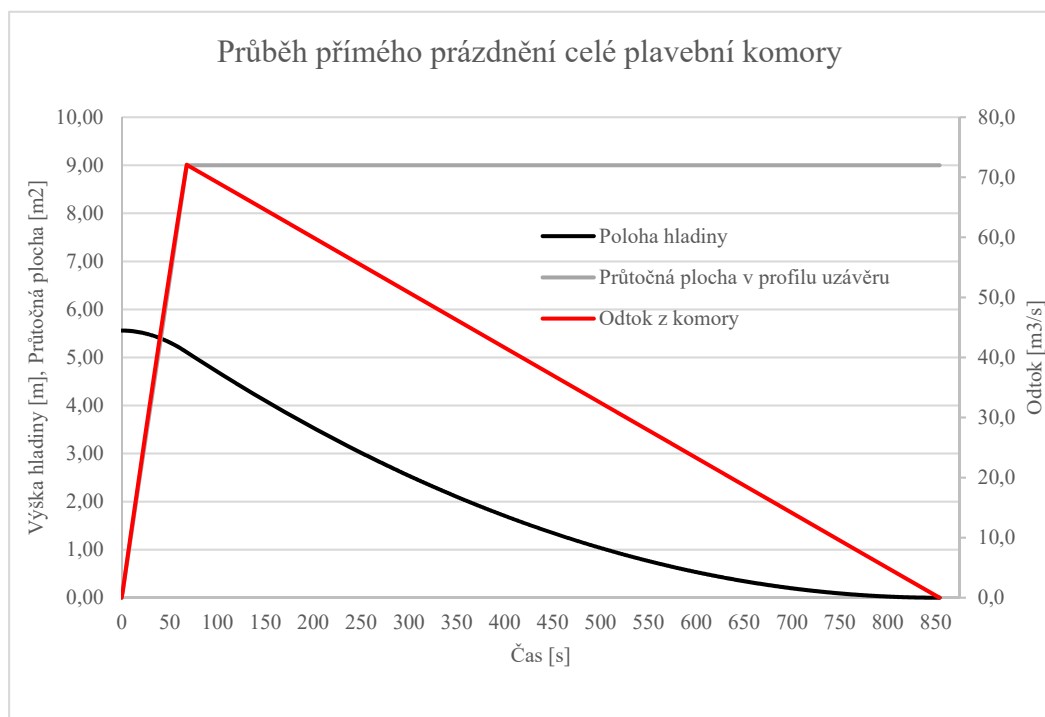
### Výsledky výpočtů Prázdňení celé plavební komory

#### Vstupní hodnoty:

Horní hladina		125,00 m n. m.
Dolní hladina		119,44 m n. m.
Max. spád	H =	5,56 m
Šířka plavební komory	B =	24 m
Plocha celé PK	F =	5544 m <sup>2</sup>
Výška otvoru v prázdňící poloze	a =	1 m
Plocha prázdňícího otvoru	f =	9 m <sup>2</sup>
Střední hodnota součinitele ztrát	$\mu_s$ =	0,80 -
Výtlak plavidel v celé PK	W =	2427 t
Plocha hlavního žebra	$f_{\xi}$ =	22,99 m <sup>2</sup>
Mínimální hloubka v PK	H <sub>min</sub> =	4,91 m

#### Výstupní hodnoty:

Doba otevírání uzávěru	$t_z$ =	68 s
Doba prázdňení komory	T =	854 s
Maximální odtok z komory	Q =	72,1 m <sup>3</sup> /s
Maximální rychlost klesání hladiny	$v_{\max}$ =	0,78 m/min
Maximální sklon hladiny	$i_{\max}$ =	1,19 ‰
Maximální síla namáhající lano	P <sub>max</sub> =	50,48 kN
Mezní pevnost lana	R =	53,70 kN



## Příloha 11

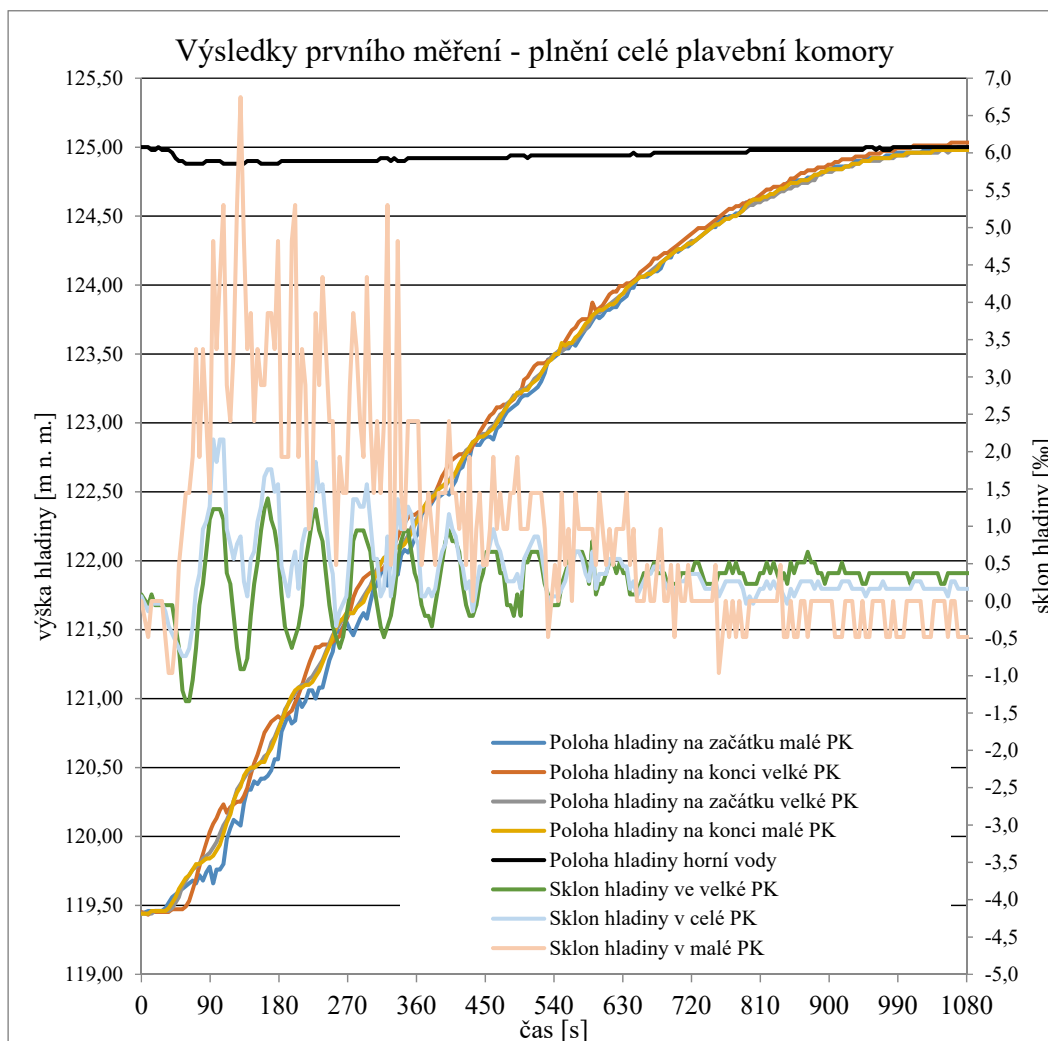
### Výsledky prvního měření Plnění celé plavební komory

#### Vstupní hodnoty:

Horní hladina	125,00 m n. m.
Dolní hladina	119,44 m n. m.
Max. spád	H = 5,56 m
Plocha celé PK	F = 5544 m <sup>2</sup>
Plocha plnicího otvoru	f = 7,2 m <sup>2</sup>
Výtlak plavidel v celé PK	W = 2427 t

#### Výstupní hodnoty:

Doba otevírání uzávěru	$t_z =$ 55 s
Změřená doba plnění komory	T = 213 s
Skutečná doba plnění komory	T = 953 s
Maximální sklon hladiny	$i_{\max} =$ 1,37 ‰
Minimální sklon hladiny	$i_{\min} =$ -1,34 ‰
Maximální síla namáhající lano	$P_{\max} =$ 58,30 kN



## Příloha 12

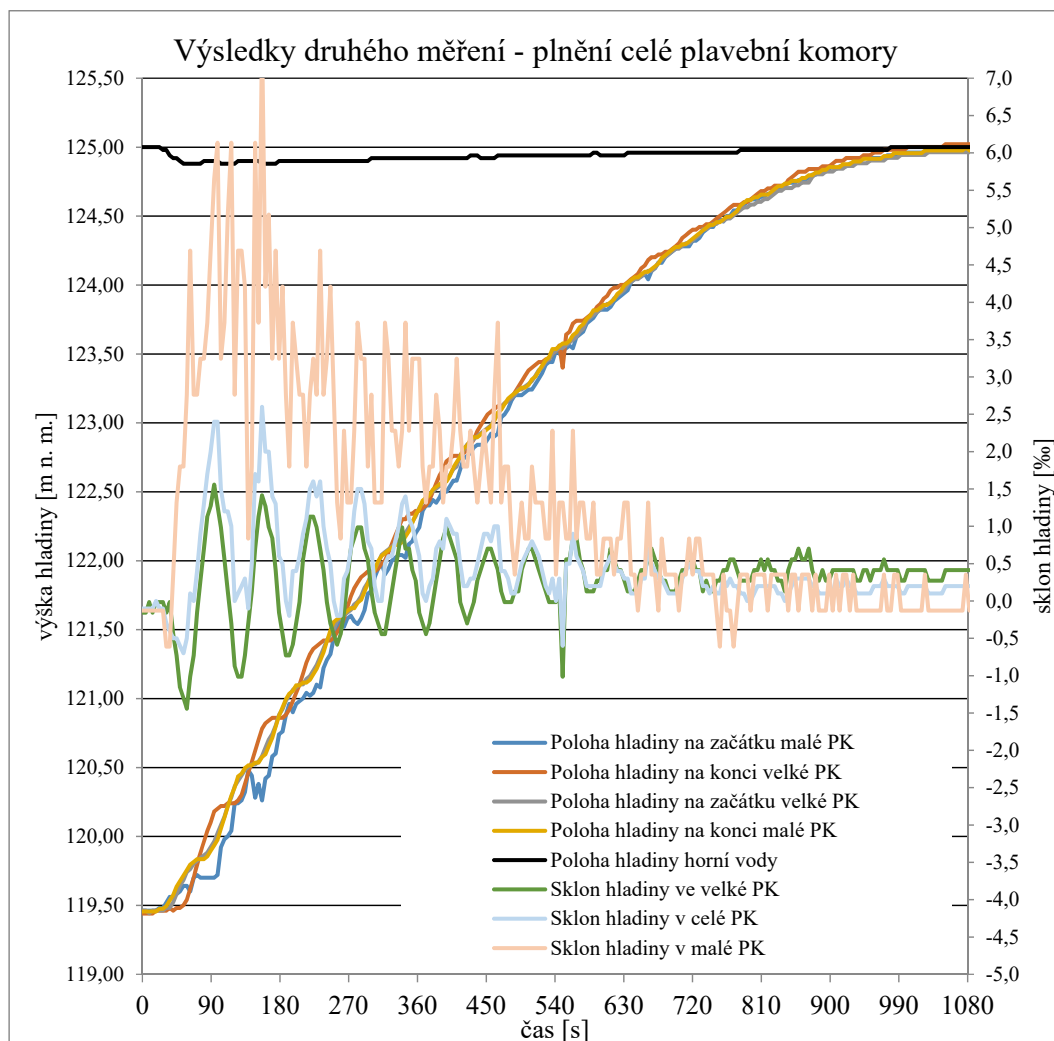
## Výsledky druhého měření Plnění celé plavební komory

### Vstupní hodnoty:

Horní hladina	125,00 m n. m.
Dolní hladina	119,44 m n. m.
Max. spád	H = 5,56 m
Plocha celé PK	F = 5544 m <sup>2</sup>
Plocha plnicího otvoru	f = 7,2 m <sup>2</sup>
Výtlak plavidel v celé PK	W = 2427 t

### Výstupní hodnoty:

Doba otevírání uzávěru	$t_z =$ 55 s
Odhadnutá doba plnění komory	T = 975 s
Maximální sklon hladiny	$i_{\max} =$ 1,56 ‰
Minimální sklon hladiny	$i_{\min} =$ -1,44 ‰
Maximální síla namáhající lano	$P_{\max} =$ 66,14 kN





## Příloha 13

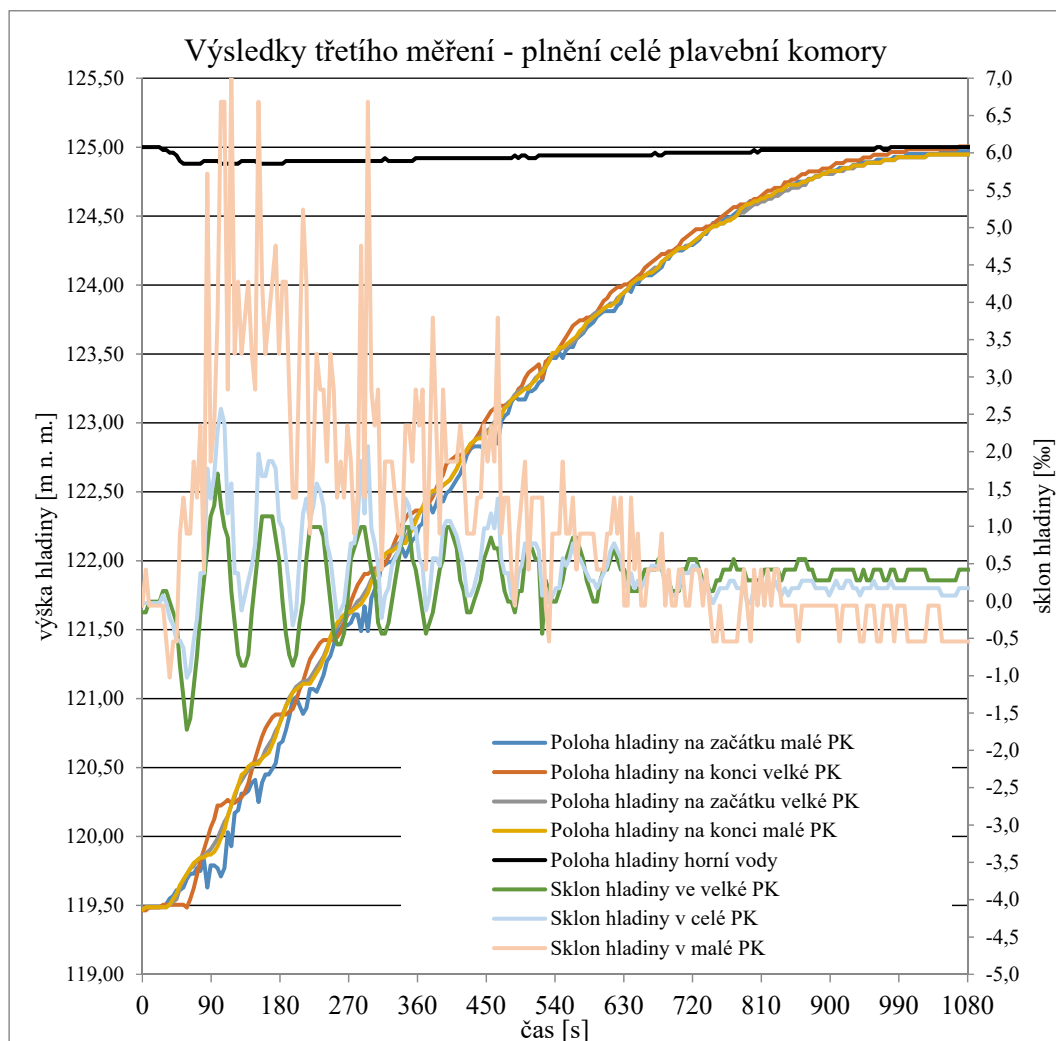
## Výsledky třetího měření Plnění celé plavební komory

### Vstupní hodnoty:

Horní hladina	125,00 m n. m.
Dolní hladina	119,44 m n. m.
Max. spád	H = 5,56 m
Plocha celé PK	F = 5544 m <sup>2</sup>
Plocha plnicího otvoru	f = 7,2 m <sup>2</sup>
Výtlak plavidel v celé PK	W = 2427 t

### Výstupní hodnoty:

Doba otevírání uzávěru	$t_z = 55$ s
Odhadnutá doba plnění komory	T = 983 s
Maximální sklon hladiny	$i_{\max} = 1,71$ ‰
Minimální sklon hladiny	$i_{\min} = -1,72$ ‰
Maximální síla namáhající lano	$P_{\max} = 73,20$ kN



## Příloha 14

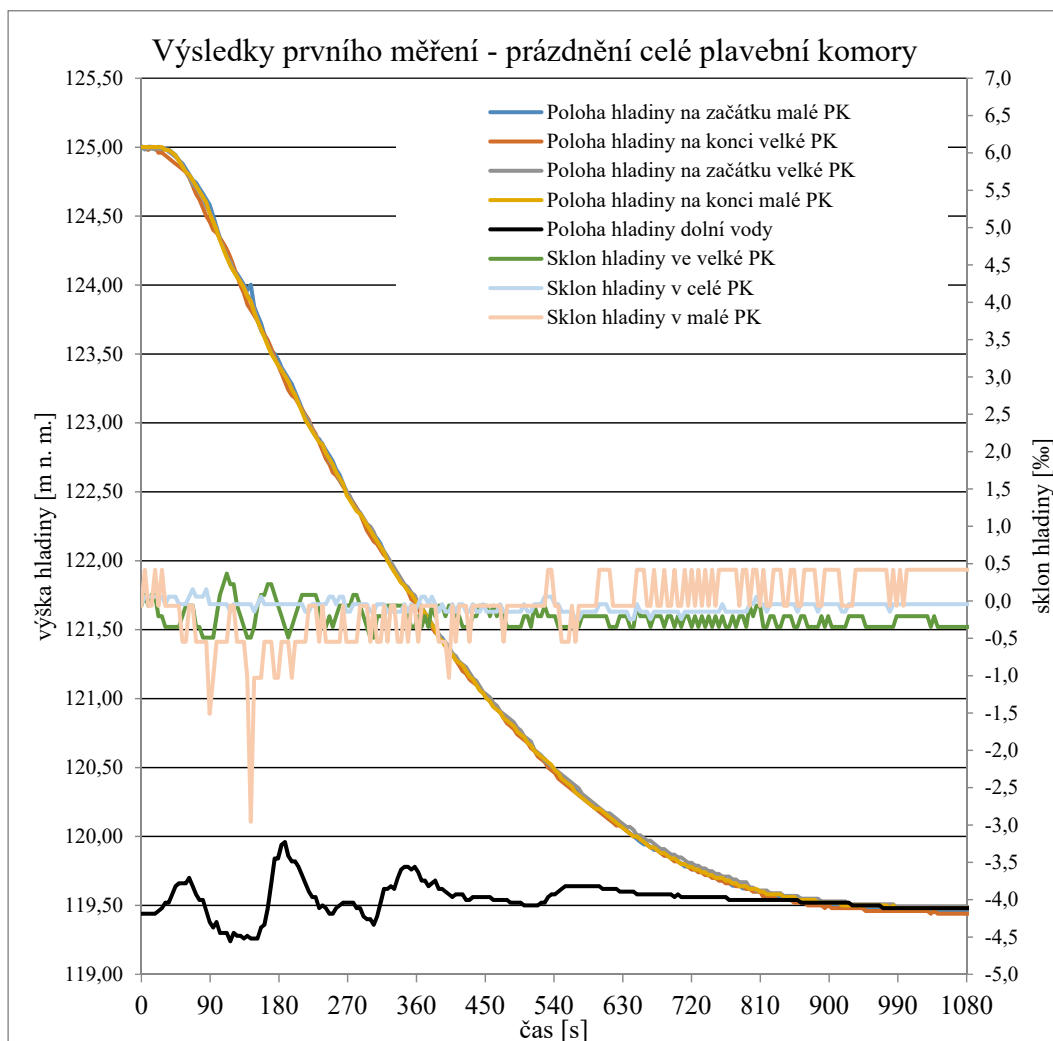
### Výsledky prvního měření Prázdňení celé plavební komory

#### Vstupní hodnoty:

Horní hladina	125,00 m n. m.
Dolní hladina	119,44 m n. m.
Max. spád	H = 5,56 m
Plocha celé PK	F = 5544 m <sup>2</sup>
Plocha plnicího otvoru	f = 9 m <sup>2</sup>
Výtlak plavidel v celé PK	W = 2427 t

#### Výstupní hodnoty:

Doba otevírání uzávěru	$t_z =$ 68 s
Změřená doba plnění komory	T = 224 s
Skutečná doba plnění komory	T = 1002 s
Maximální sklon hladiny	$i_{\max} =$ 0,37 ‰
Minimální sklon hladiny	$i_{\min} =$ -0,49 ‰
Maximální síla namáhající lano	$P_{\max} =$ 20,83 kN



## Příloha 15

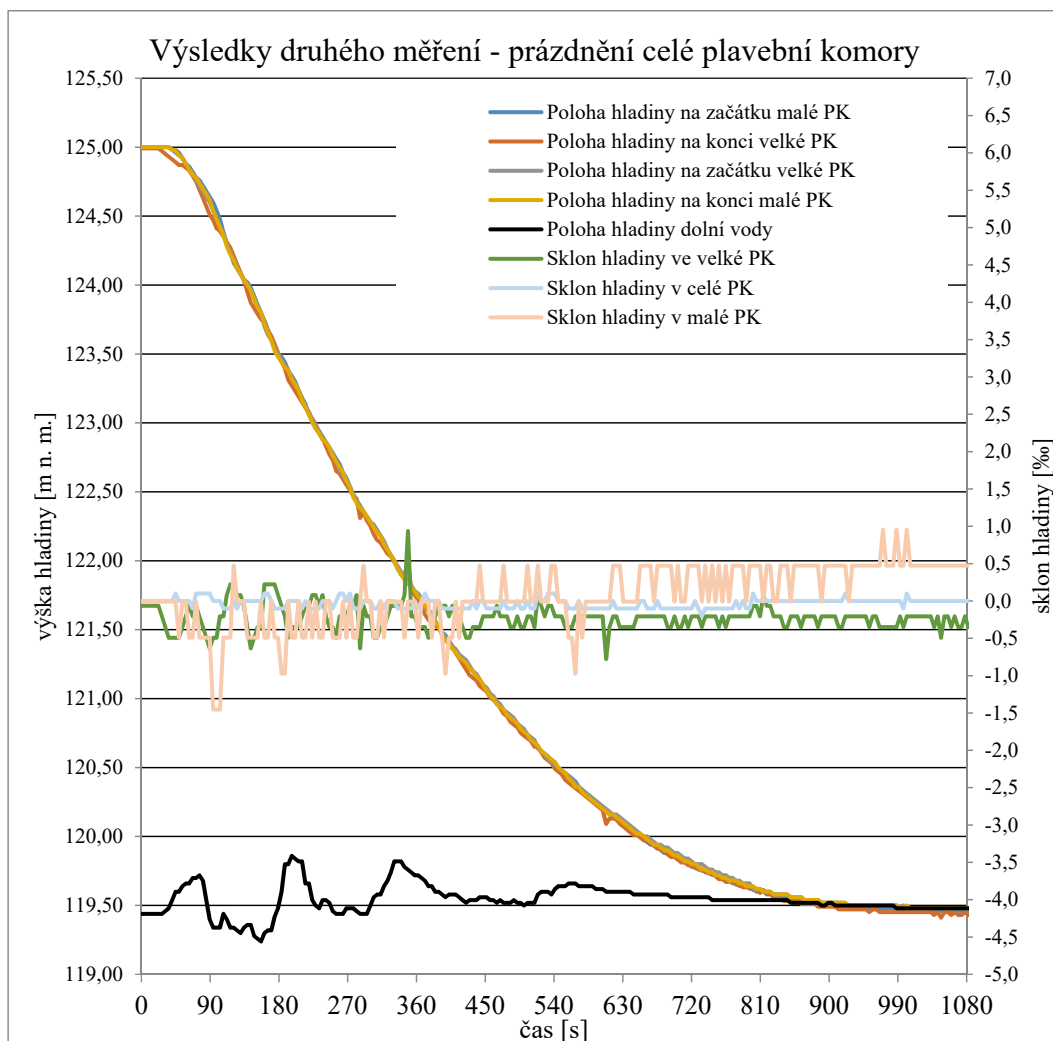
### Výsledky druhého měření Prázdňení celé plavební komory

#### Vstupní hodnoty:

Horní hladina	125,00 m n. m.
Dolní hladina	119,44 m n. m.
Max. spád	H = 5,56 m
Plocha celé PK	F = 5544 m <sup>2</sup>
Plocha plnicího otvoru	f = 9 m <sup>2</sup>
Výtlak plavidel v celé PK	W = 2427 t

#### Výstupní hodnoty:

Doba otevírání uzávěru	$t_z = 68$ s
Odhadnutá doba plnění komory	T = 930 s
Maximální sklon hladiny	$i_{\max} = 0,94$ ‰
Minimální sklon hladiny	$i_{\min} = -1,21$ ‰
Maximální síla namáhající lano	$P_{\max} = 51,25$ kN



## Příloha 16

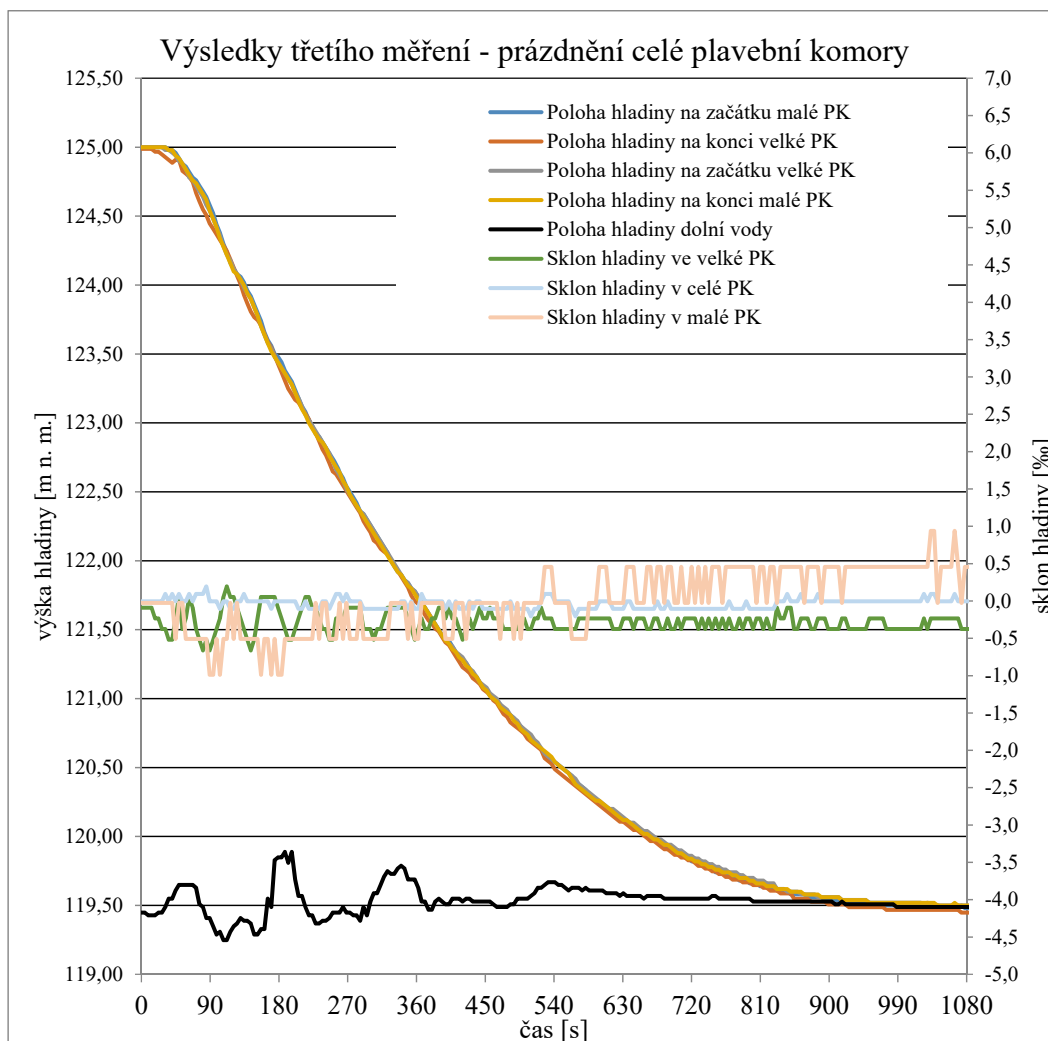
## Výsledky třetího měření Prázdňení celé plavební komory

### Vstupní hodnoty:

Horní hladina	125,00 m n. m.
Dolní hladina	119,44 m n. m.
Max. spád	H = 5,56 m
Plocha celé PK	F = 5544 m <sup>2</sup>
Plocha plnicího otvoru	f = 9 m <sup>2</sup>
Výtlak plavidel v celé PK	W = 2427 t

### Výstupní hodnoty:

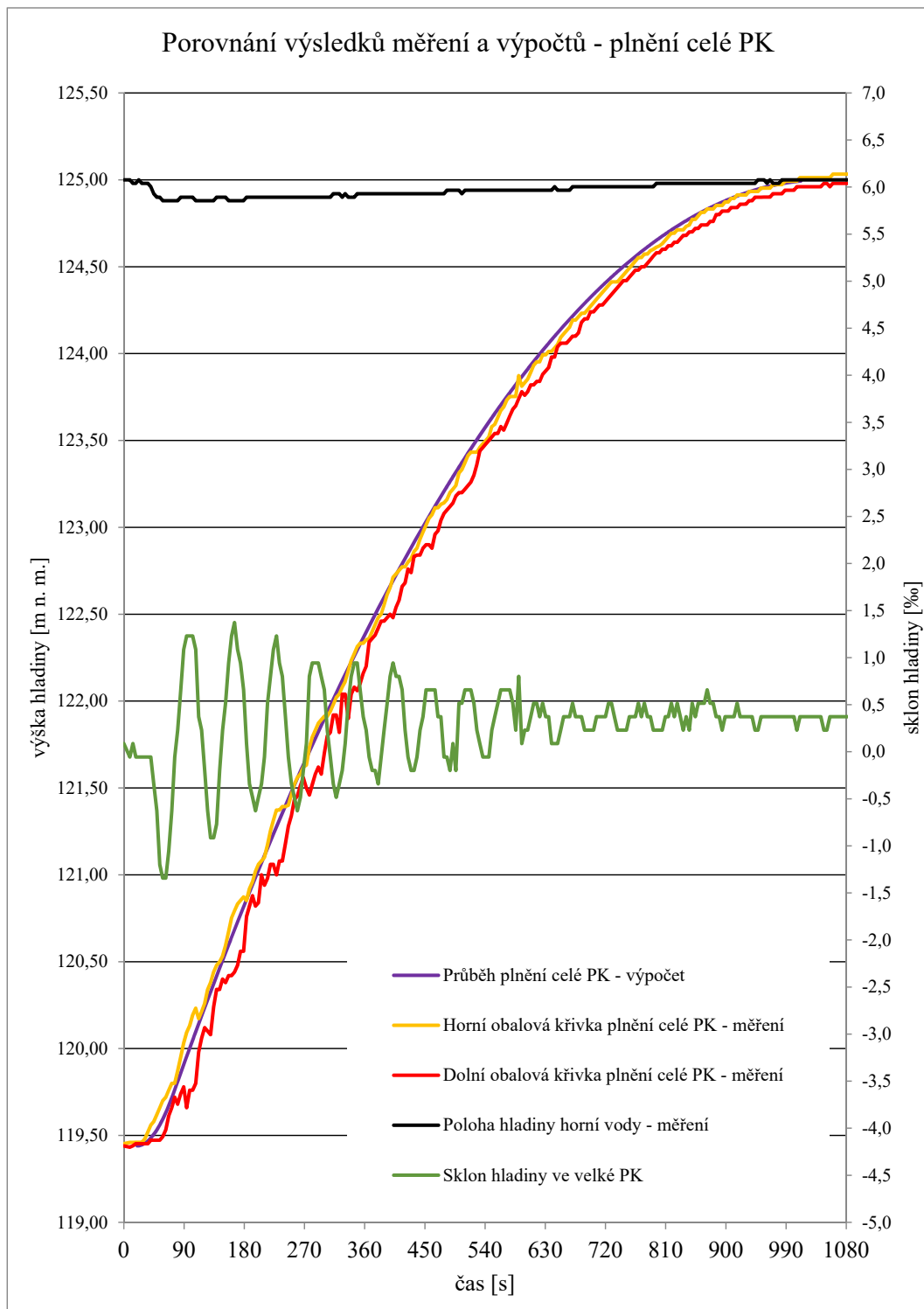
Doba otevírání uzávěru	$t_z = 68$ s
Odhadnutá doba plnění komory	T = 1003 s
Maximální sklon hladiny	$i_{\max} = 0,94$ ‰
Minimální sklon hladiny	$i_{\min} = -1,21$ ‰
Maximální síla namáhající lano	$P_{\max} = 51,25$ kN



## Příloha 17

### Porovnání výsledků výpočtu a měření Plnění celé plavební komory

Popis	Matematický výpočet	Hydraulické měření	Rozdíl	
Doba plnění PK	1028 s	953 s	75 s	7,9%
Max. sklon hladiny	1,20 ‰	1,37 ‰	-0,17 ‰	-12,2%
Max. síla v lanech	51,17 kN	58,30 kN	-7,13 kN	-12,2%



## Příloha 18

### Porovnání výsledků výpočtu a měření Prázdňení celé plavební komory

Popis	Matematický výpočet	Hydraulické měření	Rozdíl	
Doba prázdňení PK	854 s	1002 s	-148 s	-14,7%
Max. sklon hladiny	1,19 ‰	0,49 ‰	0,70 ‰	142,4%
Max. síla v lanech	50,48 kN	20,83 kN	29,65 kN	142,4%

