



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

**POSOUZENÍ VYBRANÉHO ČERPACÍHO
SYSTÉMU**

PUMPING SYSTÉM ASSESMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lucie Hladíková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ KUČERA, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Lucie Hladíková
Název	Posouzení vybraného čerpacího systému
Vedoucí práce	Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

[1] MELICHAR, Jan a Jaroslav BLÁHA. Problematika soudobé čerpací techniky: vybrané partie. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03719-5.

[2] MELICHAR, Jan. Úvod do čerpací techniky. V Praze: České vysoké učení technické, 2012. ISBN 978-80-01-05056-9.

[3] BRADA, Karel a Petr HLAVÍNEK. Čerpadla ve vodním hospodářství. Brno: NOEL 2000, 2004, 195 s. ISBN 80-860-2043-6.

[4] TUHOVČÁK, Ladislav, Pavel ADLER, Tomáš KUČERA a Jaroslav RACLAVSKÝ. Vodárenství: Studijní opora pro studijní programy s kombinovanou formou studia [online]. Brno: VUT v Brně, 2006 [cit. 2012-03-26].

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce bude posouzení stávajícího složitého čerpacího systému vybraného dle pokynů vedoucího práce. Na základě provedeného posouzení budou navržena opatření vedoucí ke zlepšení práce čerpacího systému. Součástí práce bude rešerše ohledně teorie čerpání vody (charakteristiky čerpadel, pracovní bod, ...).

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

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

ABSTRAKTY A KLÍČOVÁ SLOVA

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce je hydraulické posouzení čerpacího systému. V teoretické části se práce zabývá rozdělením čerpadel a jejich hydraulickým návrhem. Dále se také zabývá problematikou čerpání odpadních vod. V praktické části je řešen konkrétní čerpací systém, zahrnující dvě samostatné čerpací stanice a dva výtlačné řady v obci Písečná.

KLÍČOVÁ SLOVA

Čerpadlo, čerpací stanice, odpadní voda, výtlačné potrubí, pracovní bod.

ABSTRACT

The subject of the bachelor thesis is the hydraulic assessment of the pumping system. The theoretical part deals with the distribution of pumps and their hydraulic design. It also deals with the issue of waste water pumping. The practical part deals with a specific pumping system, comprising two separate pumping stations and two discharge lines in the village of Písečná.

KEY WORDS

Pump, pump station, waste water, pressure pipeline, operating point.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Lucie Hladíková *Posouzení vybraného čerpacího systému*. Brno, 2018. 63 s., 4 s. příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního
hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 20. 5. 2018

Lucie Hladíková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala Ing. Tomáši Kučerovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce. Dále děkuji Robertovi Černému a Petrovi Hoškovi ze společnosti Vak - vodovody a kanalizace Jesenicka a.s. za poskytnuté podklady.

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	ZÁKLADNÍ POJMY	11
2.1	Hydraulické stroje	11
3	ČERPADLA.....	12
3.1	Rozdělení čerpadel.....	12
3.2	Hydrostatická čerpadla	12
3.2.1	Dělení hydrostatických čerpadel.....	12
3.3	Hydrodynamická čerpadla.....	13
3.3.1	Odstředivá čerpadla	13
3.3.2	Axiální čerpadla.....	13
3.1	Kalová čerpadla	14
3.1.1	Oběžná kola	14
3.1.1	Hydrostatická kalová čerpadla.....	17
4	HYDRAULICKÝ NÁVRH ČERPADEL	19
4.1	návrhové parametry čerpadla	19
4.1.1	Hlavní parametry	19
4.1.2	Přidružené parametry čerpadla	22
4.1.3	Návrhové charakteristiky.....	24
4.2	Výpočtové charakteristiky	25
4.2.1	Charakteristika potrubí	25
4.3	Stanovení pracovního bodu čerpacího systému	26
4.3.1	Grafické řešení.....	26
4.3.2	Početní řešení.....	26
4.4	Zapojení čerpadel	27
4.4.1	Sériové zapojení	27
4.4.2	Paralelní zapojení	28
4.5	Provozní pole.....	28
4.5.1	Možnosti regulace hydraulického systému.....	29
5	POTRUBÍ.....	30
5.1.1	Jednoduché potrubí.....	30
5.1.2	Složené potrubí.....	30
6	HYDRAULICKÉ SYSTÉMY.....	33
6.1	Jednoduchý hydraulický systém.....	33

6.2	Složité hydraulický systém.....	33
6.2.1	Systém s jedním zdrojem a složeným potrubím:	33
6.2.2	Systém s více zdroji a složeným potrubím	33
7	ČERPÁNÍ ODPADNÍCH VOD	34
7.1	Vliv viskozity a hustoty při čerpání vody	34
7.2	Čerpání suspenze voda - pevná fáze.....	34
7.2.1	Pádová rychlost částice.....	35
7.2.2	Vliv pevné fáze na charakteristiku čerpadla a pracovní bod	35
7.2.3	Vliv pevné fáze na charakteristiku potrubí	36
7.3	Čerpání vláknitých suspenzí.....	36
8	ČERPACÍ STANICE PRO ODPADNÍ VODU	37
8.1	Vybavení čerpací stanice:.....	37
8.1.1	Sací potrubí.....	37
8.1.2	Výtlačné potrubí	37
8.1.3	Separace pevných látek	38
9	PŘÍPADOVÁ STUDIE	39
9.1	Současný stav	40
	Počet napojených obyvatel v obci	40
9.1.1	Odpadní vody vypouštěné do kanalizace:	40
9.2	Výtlačky.....	41
9.2.1	Šachty na výtlačky	41
	- šachty výtlačky V2 – 2 ks.....	41
9.3	Čerpací stanice.....	42
9.3.1	Čerpací stanice ČS1.....	42
9.3.2	Čerpací stanice ČS2.....	43
9.4	Výústní objekt	45
10	HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY	46
10.1	stanovení tlakových ztrát na v1.....	46
10.2	Pracovní bod a tlakové poměry na V1.....	49
10.3	Stanovení tlakových ztrát na V2	50
10.4	pracovní bod a tlakové poměry na v2.....	51
10.5	Simulace čerpacího systému v programu EPANET 2.0.....	52
10.5.1	Výtlačný řad V1	52
10.5.2	Výtlačný řad V2	52
11	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A NÁVRH OPATŘENÍ.....	53

12	ZÁVĚR.....	54
13	POUŽITÁ LITERATURA	56
	SEZNAM TABULEK	58
	SEZNAM OBRÁZKŮ	59
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	60
	SEZNAM PŘÍLOH	62
	SUMMARY.....	63

1 ÚVOD

Tématem bakalářské práce je posouzení čerpacího systému v obci Písečná. Obec Písečná se nachází v Olomouckém kraji v okrese Jeseník. Leží na řece Bělé a její katastrální území o rozloze 844 ha je součástí chráněné krajinné oblasti Jeseníky. Místními částmi obce jsou Písečná, Studený Zejf, Chebží.

V roce 2015 zde byla uvedena do provozu nová splašková kanalizace. Součástí kanalizace jsou dva výtlačné řady a dvě čerpací stanice. Pracovníci společnosti Vak registrují určité provozní problémy zejména na výtlačném řadu V1.

Výtlačný řad V1 pravděpodobně funguje jako násoska, čímž je myšleno, že v potrubí vzniká podtlak. Dalším problémem je, že zpětná armatura na výtlačném řadu V1 je neobvykle hlučná.

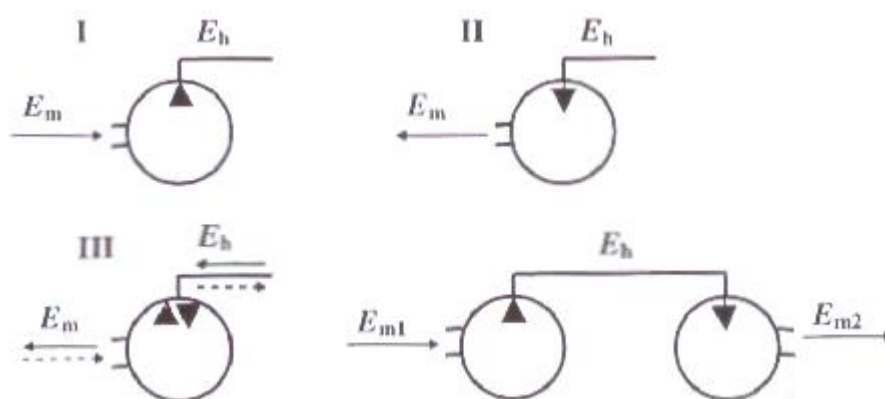
Cílem práce je posouzení návrhu výtlačného potrubí. Vyšetření pracovního bodu, tlakových poměrů a celková optimalizace práce čerpacího systému.

Bakalářská práce je členěna na dvě části. V teoretické části jsou popsána čerpadla, která jsou používána k dopravě vody, jejich hydraulický návrh a seznamujeme se zde s problematikou čerpání odpadních vod. V praktické části je provedeno posouzení zájmové lokality v programu Microsoft Office Excel a v programu Epanet 2.0.

2 ZÁKLADNÍ POJMY

Čerpadla jsou v hydraulickém systému zdrojem měrné energie kapaliny. Jsou to hydraulické stroje, které dodávají energii čerpané kapalině. Čerpadla přeměňují energii mechanickou na energii hydraulickou. Tato energie může být kinetická, polohová nebo tlaková. [2]

2.1 HYDRAULICKÉ STROJE



Obr. 2.1: Rozdělení hydraulických strojů podle přeměny energie[1]

Vlastnosti hydraulických strojů:

- čerpadla mění mechanickou energii E_m na hydraulickou energii E_h
- turbíny mění hydraulickou energii E_h na mechanickou energii E_m
- reverzibilní stroje umí měnit energii mechanickou E_m na energii hydraulickou E_h a opačně tzn. energii hydraulickou E_h na mechanickou E_m
- složená soustrojí přenáší mechanickou energii hydraulickou cestou [1]

3 ČERPADLA

3.1 ROZDĚLENÍ ČERPADEL

Podle způsobu přeměny energie se čerpadla dělí na hydrodynamická, hydrostatická a speciální. [1]

Hydrodynamická čerpadla přeměňují mechanickou energii na hydraulickou nepřímo, přes kinetickou energii kapaliny. Pracovním prvkem těchto čerpadel je oběžné kolo, které představuje rotující lopatkovou mříž. [2]

Hydrostatická čerpadla přeměňují mechanickou energii na hydraulickou přímo. Pracovním prvkem tohoto typu čerpadel je píst, který se pohybuje přímočaře vratně nebo rotuje. [1]

3.2 HYDROSTATICÁ ČERPADLA

Hydrostatická čerpadla se používají tam, kde při čerpání kapalin potřebujeme dosáhnout velké dopravní výšky, k dopravě koncentrovaných kalů, odpadních vod, suspenzí a jako dávkovací čerpadla. Nejběžnějším pracovním prvkem hydrostatických čerpadel je píst, zub či lamela. U hydrostatických čerpadel je průtok nezávislý na dopravní výšce. Tlak čerpadla je závislý na odporu potrubního systému. Na průtok nemá tlak téměř žádný vliv, ovlivňují ho jen netěsnosti a průsak mezi pístem a skříní. [1]

3.2.1 Dělení hydrostatických čerpadel

- Rotační
 - zubová
 - vřetenová
 - lamelová
 - s rotujícími písty
 - s oddalujícím pístem
- S kmitavým pohybem
 - křídová
 - pístová
 - plunžrová
 - vlnovcová
 - membránová
- Peristaltická čerpadla
 - hadicová
- Kombinovaná
 - [14]

3.3 HYDRODYNAMICKÁ ČERPADLA

K základním atributům hydrostatických čerpadel patří:

- Poloha hřídele - vertikální, horizontální
- Typ elektromotoru - suchý v ponorném čerpadle
- zapouzdřený s mokrým motorem
- Počet stupňů - jednostupňové, vícestupňové
- Počet proudů v oběžném kole - jednoproudé, dvouproudé

[1]

Dělení hydrodynamických čerpadel:

- Odstředivá - radiální, diagonální
- Axiální
- Obvodová
- Labyrintová
- Kombinovaná

[1]

3.3.1 Odstředivá čerpadla

Radiální

Kapalina vstupuje do oběžného kola rovnoběžně s osou, tj. axiálně a vystupuje radiálně, tj. kolmo k ose otáčení. [5]

Diagonální

U diagonálních čerpadel vstupuje kapalina do oběžného kola axiálně a vystupuje diagonálně, tj. šikmo. Diagonální čerpadla jsou přechodem mezi čerpadly radiálními a axiálními. [5]

3.3.2 Axiální čerpadla

Jsou to vrtulová čerpadla, u kterých voda vstupuje na oběžné kolo axiálně a vystupuje opět axiálně. Kapalina v nich tedy proudí ve směru jedné osy. Jsou vhodná pro čerpání velkého množství vody do malých výšek. [5]



Obr. 3.1: Oběžná kola čerpadel pro čistou vodu [1]

3.1 KALOVÁ ČERPADLA

Značně znečištěné vody nemůžeme čerpat běžnými čerpadly na čistou vodu. Vlivem nečistot v dopravované vodě by docházelo k poškození oběžného kola a ucpání čerpadla. Proto se používají tzv. kalová čerpadla. Vyznačují se menším počtem lopatek oběžného kola. [1]

3.1.1 Oběžná kola

Správná volba oběžného kola čerpadla je důležitá pro výslednou účinnost čerpadla a snížení rizika ucpání.

Vírové oběžné kolo typu TURO

Tato oběžná kola jsou používána k čerpání kapalin s hrubými pevnými částicemi. Nejsou citlivé na plyny. Oběžné kolo vytváří vířivý pohyb kapaliny zásluhou, kterého

pevné částice míjejí kanály kola. Je zde ale možnost vytváření rušivých vírů kolem kola, které ovlivňují proudění. A tím snižují účinnost a dopravní výšku čerpadla. [3]

Vírové oběžné kolo typu VORTEX

Otevřené oběžné kolo s tvarovanými lopatkami. Používá se pro čerpání suspenzí s hrubými pevnými částicemi. [3]

S tube

Oběžné kolo používané pro ponorná čerpadla, které má tvar tuby. Vyznačuje se menší hlučností, vibracemi a ucpáváním i při malém množství dopravované kapaliny. Účinnost dosahuje až 84 %. [12]

Šroubové oběžné kolo

Používané pro čerpání vody a kalů obsahující větší nebo vláknité příměsi. Šroubové čerpadlo kombinuje vlastnosti hydrostatického a hydrodynamického čerpadla. Vstupní část kola zlepšuje sací schopnost čerpadla a ve výstupní části šroubové kolo vytváří odstředivý efekt. [3]

Jednolopátkové diagonální kolo

Jedná se o otevřené oběžné kolo používané pro čerpání předčištěných neproplynělých vod a kalů obsahující pevné částice. [3]

Jednolopátkové kolo uzavřené

Jednokanálová oběžná kola jsou odolná proti ucpání, a proto jsou vhodná pro čerpání vod obsahující velké tuhé částice. Vstupní hrana je zaoblena a vyhlazena. [3]

Jednolopátkové kolo otevřené

Je vhodné pro čerpání vody obsahující pevné látky, dlouhá vlákna nebo hrubší pevné látky. Je možné čerpat i proplynělé suspenze. [3]

Dvoulopatkové kolo uzavřené

Vhodná pro čerpání vody s obsahem menších příměsí bez vláknitých materiálů. [3]

Dvoulopatkové kolo otevřené

Používané pro čerpání suspenzí voda-písek a kalů. [3]

Vícepatkové otevřené kolo

Používá se pro čerpání kašovitých suspenzí s vysoce abrazivními částicemi. [3]

Kolo s rozšiřujícími se kanály

Uzavřené oběžné kolo, které má kanály v osové směru ve tvaru difuzoru. Používá se k čerpání značně proplyněných suspenzí. [3]

Oběžná kola s řezacím zařízením

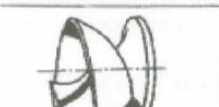
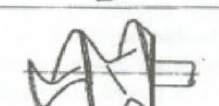
Některá čerpadla jsou vybavena řezacím zařízením, které je umístěno před oběžným kolem. Rozřeže dlouhá vlákna příměsí a nedojde tak k ucpání čerpadla. Tato čerpadla jsou vhodná pro čerpací systémy s malými dimenzemi potrubí. [11]

Oběžná kola s mělnicím zařízením

Čerpadla s drtičem mají tu výhodu, že drtič nečistoty obsažené v čerpané kapalině rozmělní a z čerpadla pak vychází jen kaše. Oproti řezacímu zařízení je dražší. [11]

Samočistící úprava

Samočistící úprava se u otevřených oběžných kol provede úpravou kola a vložením kroužku s drážkou. [11]

OBĚŽNÉ KOLO	GEOMETRIE ŘEŠENÍ
jednolopátkové kolo	
dvoulopátkové kolo	
kolo s rozširujícími se kanály	
vicelopátkové kolo otevřené	
TURO	
VORTEX	
jednolopátkové diagonální kolo	
jednolopátkové šroubové kolo	

Obr. 3.2: Oběžná kola kalových čerpadel [3]

3.1.1 Hydrostatická kalová čerpadla

Archimedův šroub (šnekové čerpadlo)

Používají se k čerpání vody, která obsahuje pevné částice. Dopravní výška těchto čerpadel je malá, používají se například na čistírnách odpadních vod. Konstrukčně jsou provedena jako šroub uložený ve žlabu. [9]

Pístová čerpadla

Využívají se k čerpání vod s obsahem suspenzí do $d=0,15$ mm, jsou také schopna čerpat pastovité suspenze. Pístová čerpadla jsou poháněna mechanicky přes klikovou hřídel nebo hydraulicky. Vyrábějí se v provedení vertikálním i horizontálním. [9]

Membránová čerpadla

Jsou vyráběna jako pístovo-membránová čerpadla. Jsou vhodná pro čerpání vody s obsahem pevných částic do průměru 0,15 mm. K regulaci otáček se využívá frekvenční měnič. Suspenze je zde od vody oddělena membránou. Díky tomu čerpadlo čerpá pouze vodu. [9]

Hadicová čerpadla

Vhodná například pro čerpání betonu. Mají velmi jednoduchou konstrukci. Na hadici v čerpadle působí dvě kladky, které ji stlačují a tím to způsobem dopravují suspenzi do potrubí. [9]

4 HYDRAULICKÝ NÁVRH ČERPADEL

Správný hydraulický návrh čerpadla je důležitý pro optimální funkci čerpacího systému.

4.1 NÁVRHOVÉ PARAMETRY ČERPADLA

4.1.1 Hlavní parametry

- **průtok Q [l/s, m³/s]** - užitečný objem dopravované kapaliny na výtlačném hrdle za časovou jednotku. Spolu s otáčkami určuje rozměry čerpadla.
- **dopravní výška H [m]** - výška, na kterou se má kapalina dopravit. Definovaná jako užitečná energie předaná každému kilogramu dopravované kapaliny.
- **otáčky n [min⁻¹]** - charakterizují pohon čerpadla. Tento parametr ovlivňuje rozměry čerpadel.

[1]

Průtok

Jedná se o okamžitý objem kapaliny na výtlačném hrdle, který má spotřebitel k dispozici. Není do něj započítán objem kapaliny ztracený při práci čerpadla mezi sacím a výtlačným hrdlem. [5]

- **Q_{opt} [l/s, m³/s]** - optimální průtok čerpadla v bodě optimální účinnosti při otáčkách „ n “

[1]

Dopravní výška (měrná energie)

Bernoulliho rovnice

$$Y = g \cdot H_g + \frac{p'' - p'}{\rho} + \frac{v''^2 - v'^2}{2} + \sum Y_z \quad [J \cdot Kg^{-1}] \quad (4.1.1)$$

Rovnice (4.1.1) představuje měrnou energii Y , vztaženou na 1 kg kapaliny, kterou musí být čerpadlo schopno dodat kapalině. Člen vyjadřující podíl kinetické energie můžeme zanedbat, protože rychlosti hladiny kapaliny v nádržích jsou malé. Parametr měrné energie se používá ve vědeckých výpočtech. V praxi a starší literatuře se používá dopravní výška H . [3]

$$H = H_g + \frac{p'' - p'}{\rho \cdot g} + \frac{v''^2 - v'^2}{2g} + \sum H_z \quad [m] \quad (4.1.2)$$

kde:

- **H_g Geodetická dopravní výška [m]** - rozdíl výšky mezi dolní hladinou v sací nádrži a horní hladinou ve výtlačné nádrži.
- **$\frac{p''-p'}{\rho \cdot g}$ Tlaková výška [m]** - rozdíl tlaků nad hladinami sací a výtlačné nádrže
- **$\frac{v''-v'}{2g}$ Rychlostní výška [m]** - rozdíl rychlostních výšek v nádrži
- **ΣH_z Ztrátová výška [m]** - při proudění reálné kapaliny potrubím vznikají hydraulické ztráty, se kterými musíme v Bernoulliho rovnici počítat.

Geodetickou dopravní výšku rozděluje osa čerpadla na sací geodetickou výšku a výtlačnou geodetickou dopravní výšku. Celkovou geodetickou dopravní výšku vypočítáme podle vztahu:

$$H_g = H_{gs} + H_{gv} \quad [m] \quad (4.1.3)$$

kde:

H_g - geodetická dopravní výška [m]

H_{gs} - sací geodetická dopravní výška [m]

H_{gv} - výtlačná geodetická dopravní výška [m]

Dopravní výška je měrná energie, která je vztažena na jednotku tíhového zrychlení. [3]

$$H = \frac{Y}{g} \quad [m] \quad (4.1.4)$$

kde:

g - tíhové zrychlení [m/s²]

H - dopravní výška [m]

Y - měrná energie [J.Kg⁻¹]

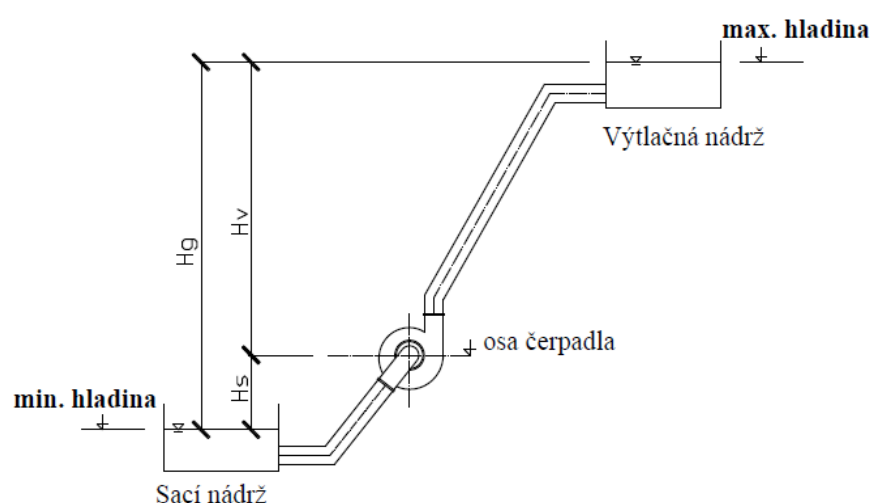
V praxi se využívají různé způsoby spojení čerpadla s nádrží. Což nám přináší různé možnosti zjednodušení výpočtu. [1]

V případě zanedbání členu rychlostních výšek, vypadá rovnice pro výpočet dopravní výšky následovně:

$$H = H_g + \frac{p'' - p'}{\rho \cdot g} + \sum H_z \quad [m] \quad (4.1.5)$$

V případě dalšího zjednodušení ($p'' = p' = p_b$):

$$H = H_g + \sum H_z \quad [m] \quad (4.1.6)$$



Obr. 4.1: Schéma dopravních výšek [8]

Otáčky čerpadla

Otáčky popisují pohon čerpadla. Ten je realizován asynchronním motorem, který je přímo spojený s čerpadlem nebo nepřímo spojený s čerpadlem převodem nebo převodovkou. [3]

Pro regulaci otáček můžeme použít frekvenční měnič. Ten reguluje otáčky motoru a tím mění parametry čerpadla. Při regulaci otáček se výrazně mění dopravní výška a příkon čerpadla. Použitím vyšších otáček čerpadla docílíme snížení hmotnosti, velikosti a ceny čerpadla a elektromotoru. Vždy je nutné posoudit vhodnost regulace pro danou situaci. [3]

Tab. 4.1 Vztažné otáčky čerpadel s asynchronními elektropohony [1]

počet pólů	2	4	6	8	10	12	14
frekvence	vztažné otáčky, které jsou udány v charakteristikách výrobce [min^{-1}]						
50 Hz	2900	1450	960	725	580	480	415
60 Hz	3500	1750	1160	875	700	580	500

4.1.2 Přidružené parametry čerpadla

- **Účinnost η** představuje ekonomičnost čerpadla. Účinnost je nejvíce ovlivněna ztrátami, ke kterým při chodu čerpadla dochází. V čerpadlech dochází ke třem druhům ztrát. Ztráty hydraulické, objemové a mechanické. [4]

$$\eta = \frac{P_h}{P} \quad (4.1.7)$$

kde:

η - celková účinnost čerpadla [%]

P - mechanický příkon čerpadla [W]

P_h - hydraulický výkon [W]

- **výkon čerpadla P [W]**- výkon přenesený hnacím zařízením na hřídel čerpadla
- **NPSH** - sací schopnost čerpacího systému [1]

NPSH

Popisuje sací stranu čerpacího systému. Udává tlakovou výšku na sání čerpadla.

4.1.2.1.1 NPSH_A

Je to parametr představující měrnou energii definovanou hydraulickou ztrátou sacího řádu. K určení hydraulických ztrát je nutné znát geodetická, geometrická a hydraulická data sacího řádu a fyzikální vlastnosti čerpané kapaliny. [1]

Při sacím režimu, kdy je čerpadlo umístěno nad hladinou v sací nádrži se NPSH_A vypočítá:

$$NPSH_A = \frac{p' - p_t}{\rho \cdot g} + \frac{c'}{2g} - H_{zs} - H_{gs} \pm s' \quad [m] \quad (4.1.8)$$

kde:

H_{gs} - sací geodetická dopravní výška [m]

H_{zs} - ztráty na sacím potrubí [m]

c' - rychlost klesající hladiny sací nádrže [m/s]

s' - svislá vzdálenost sacího hrdla od vstupu [m]

g - gravitační zrychlení [m/s²]

Při nátokovém režimu, kdy je čerpadlo umístěno pod hladinou v sací nádrži se $NPSH_A$ vypočítá :

$$NPSH_A = \frac{p' - p_t}{\rho \cdot g} + \frac{v_s^2}{2g} - H_{zs} + H_{gn} \pm s' \quad [m] \quad (4.1.9)$$

4.1.2.1.2 $NPSH_R$

Parametr vyjadřující sací schopnost čerpadla. Je nejdůležitějším přidruženým parametrem. Vyjadřuje energii, kterou kapalina ztratí mezi hrdlem čerpadla a oběžným kolem. Při poklesu tlaku dojde k tvorbě kavitačních dutin. Ty zabraňují správnému průtoku kapaliny. Průtok se snižuje. Z ekonomického hlediska je kavitace problémová, když jejím vlivem klesne dopravní výška o 3%. $NPSH_R$ charakteristika je dodávána výrobcem čerpadel. [1]

Pro návrh vhodného čerpadla musí být $NPSH_A$ větší než $NPSH_R$. [1]

4.1.2.1.3 Kavitace

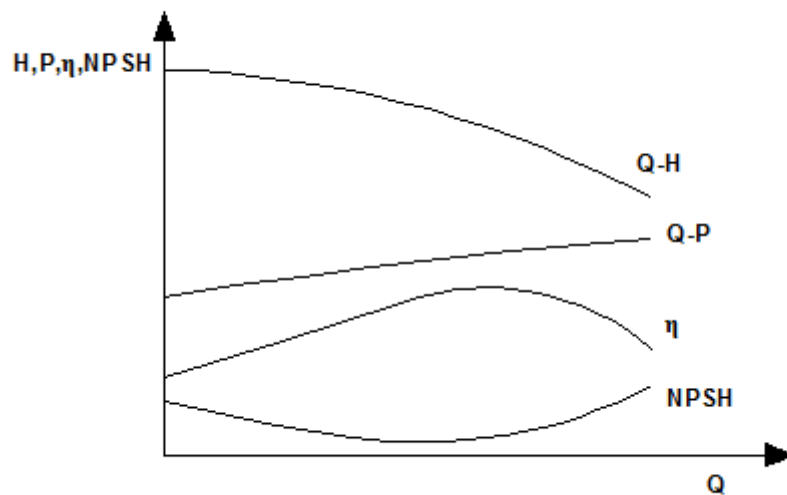
Kavitace je jev, při kterém vlivem odpařování vznikají v kapalině dutiny, které se plní parou. Vzniká v oblastech poklesu tlaku na tlak nasycených par p_t . Zánik dutin je rychlý a je doprovázený hydraulickými rázem, vibracemi a porušením proudového pole. Pokud dojde k výraznému narušení proudového pole, oběžné kolo není schopno pracovat správně vlivem většího množství kavitačních dutin a dochází k poklesu dopravní výšky a účinnosti. S ohledem na kavitační erozi materiálu je zánik dutiny rizikový zejména u stěn. Tlaky vzniklé zánikem dutin mohou být tak velké, že jim stěna neodolá. Kavítace nejčastěji vzniká na oběžném kole nebo ve vstupní části čerpadla. Vznik kavitace je také spjat s výškovým rozdílem hladiny v sací jímce a oběžným kolem. Musíme proto čerpadlo osadit tak nízko, abychom zamezili vzniku kavitace. Pokud je hydraulický systém špatně navržen a čerpadlo pracuje v kavitačním režimu, pak je jeho úprava velmi nákladná. Úpravu lze provést například osazením výtlačné nádrže do vyšší polohy, výměnou sacího potrubí za potrubí větší dimenze. [3]

V letech 2009-2012 proběhl výzkum a vývoj rychloběžných čerpadel s potlačenou kavítací, který se zabýval čerpadly se specifickými otáčkami (300- 350). Na základě výsledků CFD analýzy bylo navrženo spirálové čerpadlo s upraveným pěti-lopatkovým oběžným kolem. Na základě provedené frekvenční analýzy lze předpokládat zmírnění hluku a vibrací. [10]

4.1.3 Návrhové charakteristiky

Pro výběr vhodného čerpadla je nutné znát návrhové charakteristiky čerpadla. Ty jsou uvedeny v katalogu výrobce. Vyjadřují vzájemnou závislost hlavních a přidružených parametrů.

- **Q-H**- vyjadřuje závislost průtoku na dopravní výšce, do které je čerpadlo schopno čerpat kapalinu při konstantních otáčkách n
- **Q-NPSH_R** - informuje o tlakových poměrech v přívodu do čerpadla s ohledem na možnost vzniku kavitace.
- **Q- η** - popisuje hospodárnost provozu čerpadla
- **Q-P** - křivka zobrazuje závislost průtoku na příkonu [1]



Obr. 4.2: Charakteristiky radiálního odstředivého čerpadla [8]

4.2 VÝPOČTOVÉ CHARAKTERISTIKY

4.2.1 Charakteristika potrubí

Charakteristika potrubí je závislost průtoku na tlakových ztrátách.

$$h_z = \chi \cdot Q^2 \quad [\text{m}] \quad (4.2.1)$$

kde:

χ - odporový součinitel

Q – průtok [m^3/s]

Tlakové ztráty

V podstatě známe dva druhy ztrát:

- Ztráty třením

$$H_{zt} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad [\text{m}] \quad (4.2.2)$$

kde:

λ - součinitel třecích ztrát [-]

l - délka úseku potrubí [m]

d - průměr potrubí [m]

v - střední rychlost [m/s]

g - gravitační zrychlení [m/s^2]

Místní ztráty

$$H_{zm} = \xi \frac{v^2}{2g} \quad [\text{m}] \quad (4.2.3)$$

kde:

ξ - odporový součinitel [-]

v - střední rychlost [m/s]

g - gravitační zrychlení [m/s^2]

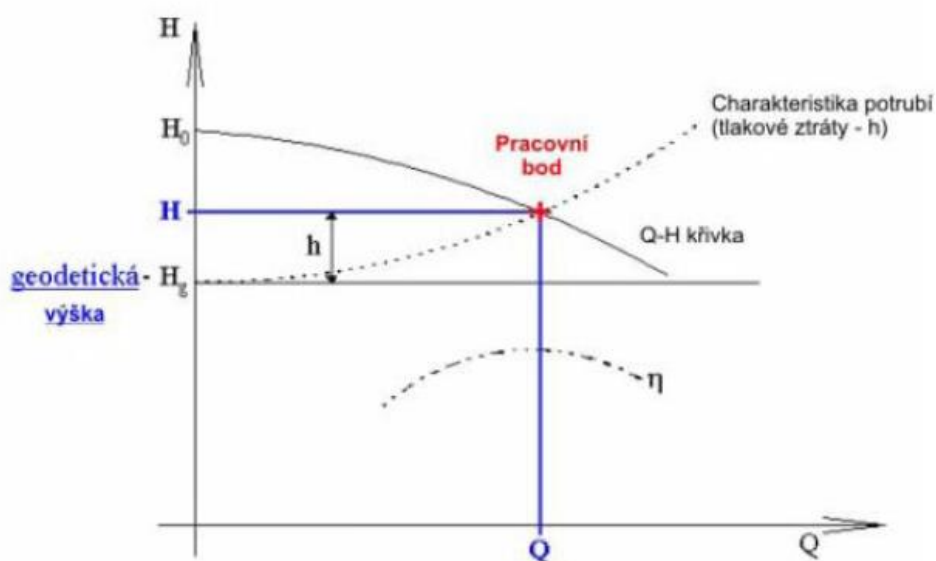
[8]

4.3 STANOVENÍ PRACOVNÍHO BODU ČERPACÍHO SYSTÉMU

Pro správný návrh čerpadla v čerpacím systému je nezbytné znát charakteristiku potrubí a čerpadla.

4.3.1 Grafické řešení

Při grafickém řešení vyneseme Q-H charakteristiku čerpadla, charakteristiku potrubí a křivku účinnosti čerpadla do jednoho grafu. Průsečík charakteristik je pracovní bod čerpadla. Z ekonomického hlediska je důležité, aby pracovní bod byl v oblasti optimální účinnosti čerpadla. [8]



Obr. 4.3: Grafické stanovení pracovního bodu [8]

4.3.2 Početní řešení

$$Q = \sqrt{\frac{H_0 - H_g}{\chi + \rho}} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (4.3.1)$$

kde:

H_0 – závěrný bod čerpadla [m]

Q – průtok [m^3/s]

ρ – součinitel [-]

H_g – geodetická dopravní výška [m]

$$H_0 = \frac{\sum H_i \cdot \sum Q_i^4 - \sum (H_i \cdot Q_i) \cdot \sum Q_i^2}{3 \cdot \sum Q_i^4 - (\sum Q_i^2)^2} \quad (4.3.2)$$

$$\rho = \frac{\sum H_i \cdot \sum Q_i^2 - 3 \cdot \sum (H_i \cdot Q_i)}{3 \cdot \sum Q_i^4 - (\sum Q_i^2)^2} \quad (4.3.3)$$

kde:

H_i – dopravní výška čerpadla v i-tém bodě [m]

Q_i – průtok čerpadla v i-tém bodě [m]

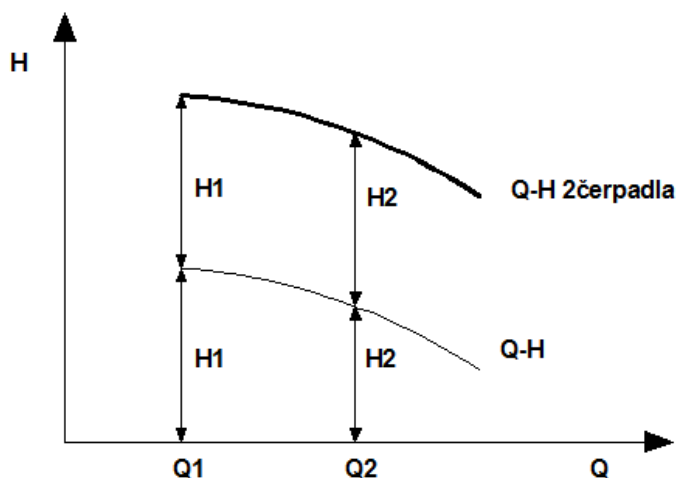
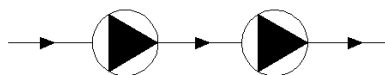
4.4 ZAPOJENÍ ČERPADEL

4.4.1 Sériové zapojení

U čerpadel, která jsou zapojena sériově, se sčítají jejich dopravní výšky při stejném průtoku Q . Musíme vzít v úvahu, že následující čerpadlo má na sání tlak, který je stejný jako výtlačný tlak předchozího čerpadla. U tohoto čerpadla musí být na tento tlak dimenzována ucpávka hřídele a skříň čerpadla. [1]

Sériově můžeme řadit čerpadla:

- Se stejnými charakteristikami
- S různými charakteristikami



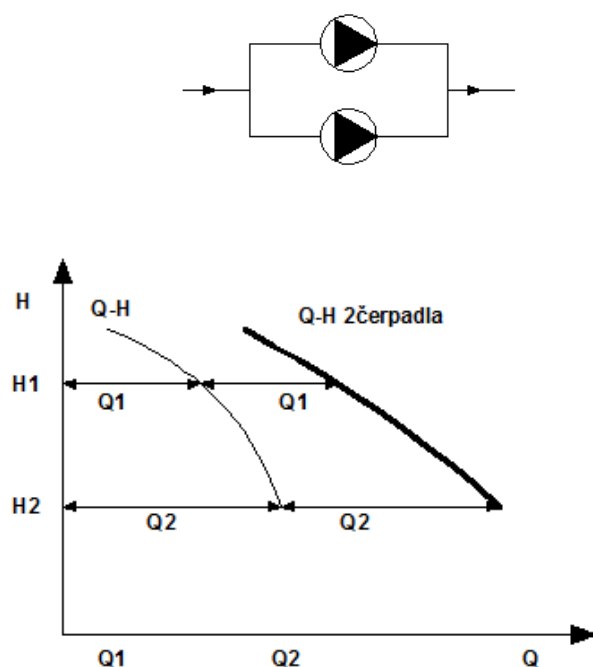
Obr. 4.4: Sériové zapojení čerpadel se stejnými charakteristikami

4.4.2 Paralelní zapojení

Při paralelním zapojení čerpadel se sčítají jednotlivé průtoky při stejné dopravní výšce. Musíme si však uvědomit, že se zvyšujícím se průtokem roste odpor potrubí. Skutečný pracovní bod leží na vyšší úrovni dopravní výšky. To způsobí menší nárůst průtoku, než bychom mohli očekávat. [1]

Paralelně můžeme řadit čerpadla:

- Se stejnými charakteristikami
- S různými charakteristikami



Obr. 4.5: Paralelní zapojení čerpadel se stejnými charakteristikami [8]

4.5 PROVOZNÍ POLE

Meze provozního pole jsou dány minimálním a maximálním průtokem, při kterých jsme pořád v přijatelné oblasti účinnosti čerpadla. Mezi další faktory vymezující provozní pole čerpadla patří: přijatelná hodnota kavitace, vibrací, přípustné přetížení pohonu a možná regulace čerpadla. [3]

Aby nedocházelo k nepřijatelné kavitaci musí být hodnota $NPSH_A$ vždy větší než hodnota $NPSH_R$. Případná úprava špatně naprojektovaného systému je velmi drahá.

U radiálních čerpadel vzniká při maximálním průtoku riziko přetížení pohonu. U axiálních čerpadel nastává tento problém naopak při minimálních průtocích. [3]

4.5.1 Možnosti regulace hydraulického systému

Změna charakteristiky potrubí

Charakteristiku potrubí můžeme změnit několika způsoby:

- Obtokem, který napojíme na výtláčny řad
 - jsou to v podstatě paralelně řazená potrubí s regulační armaturou, vhodná pro čerpadla, která jsou určena k čerpání malého průtoku a malé dopravní výšky. Nevýhodou této regulace je vyšší spotřeba energie.
- Změnou geodetické výšky
- Škracením na výtlaku
 - Regulace se provádí přivíráním armatury, což má za následek nárůst odporu potrubí, který způsobuje zmenšení průtočného množství. Škracení má však řadu nevýhod, mezi které patří například: nutná regulační armatura, vysoký provozní tlak, malý podíl příkonu je využit k čerpání, nižší účinnost [3]

Regulace charakteristiky čerpadla

Q-H charakteristiku můžeme regulovat několika způsoby:

- Regulací otáček čerpadla
- Úpravou lopatek oběžného kola
- Změnou rotace čerpané tekutiny v sání [3]

4.5.1.1.1 Regulace otáček

Regulace otáček může být provedena převodovkou, která je vložena mezi motor a čerpadlo, regulací elektromotoru nebo také frekvenčním měničem, který je velmi vhodný pro čerpadla se strmými charakteristikami. Vždy by se mělo jednat o plynulou úpravu otáček. Pak je tato regulace velmi ekonomická. Jako výhodu lze označit fakt, že nedochází k přebytku dopravní výšky, sníží se příkon čerpadla a dochází k úsporám energie. Přepočty parametrů se provádí podle vztahu: [1]

$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{n_2}{n_1} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (4.5.1)$$

$$H_2 = H_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \quad [\text{m}] \quad (4.5.2)$$

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \quad [\text{W}] \quad (4.5.3)$$

5 POTRUBÍ

Potrubí je část hydraulického systému, která slouží k dopravě kapaliny.

Druhy potrubí:

- Jednoduché
- Složené

5.1.1 Jednoduché potrubí

Jednoduché potrubí je takové potrubí, které má po celé své délce stejný průměr a nejsou na něm umístěny odbočky. Charakteristika potrubí znázorňuje minimální výšku, která je třeba pro převedení daného průtoku. [5]

5.1.2 Složené potrubí

Složené potrubí je takové potrubí, které je složené z různých navzájem spojených trubních úseků. [5]

Potrubí můžeme spojovat následovně:

- Sériové řazení úseků
- Paralelní řazení potrubních úseků
- Kombinované řazení potrubí (spojené sériově a paralelně)

Sériově spojené potrubí

Sériově řazeným potrubím protéká stále stejné množství kapaliny. V dílčích úsecích je potřeba k překonání ztrát část měrné energie kapaliny. Celkové ztráty v sériově řazeném potrubí se vypočítají jako součet ztrát v dílčích úsecích. [2]

$$\sum h_z = \sum h_{z1} + \sum h_{z2} + \dots + \sum h_{zm} \quad (5.1.1)$$

kde:

$\sum h_{z1}$ – suma ztrát (ztráty třením+ztráty místní) v úseku 1

$\sum h_{z2}$ – suma ztrát (ztráty třením+ztráty místní) v úseku 2

Charakteristiku potrubí získáme grafickým sečtením dílčích charakteristik potrubních úseků při zvoleném průtoku. [2]

Charakteristiku lze získat i početně:

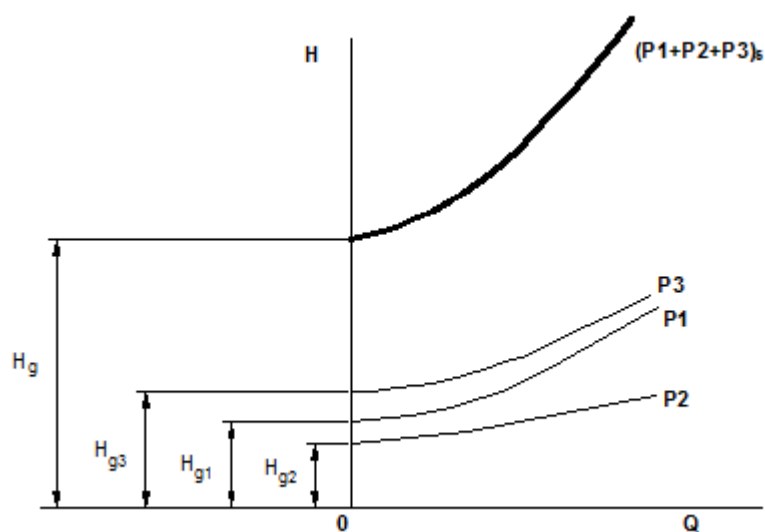
$$h = h_g + \chi \cdot Q^2 \quad (5.1.2)$$

kde:

χ – odporový součinitel [-]

Q – průtok [m^3/s]

h_g – celková geodetická výška [m]



Obr. 5.1: Sériově spojená potrubí [2]

Paralelně spojená potrubí

Často se při paralelním řazení hlavní potrubí rozděluje v rozdělovacím uzlu na určitý počet trubních úseků. [2]

$$h_{z1} = h_{z2} \quad (5.1.3)$$

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (5.1.4)$$

Celkový průtok v paralelně řazeném potrubí získáme sečtením dílčích průtoků z jednotlivých úseků. Při paralelním řazení výsledný odpor zůstává stejný, sčítají se pouze průtoky. [2]

V případě čerpání do nádrží o různé výšce hladin, na které působí atmosférický tlak, musí kapalina překonat pouze geodetickou výšku $h_{st}=h_g$ [5]

Pokud je tlak různý od atmosférického, kapalina musí překonat i tlakovou výšku. [2]

$$h_{st} = h_g + \frac{p}{\rho \cdot g} \quad [\text{m}] \quad (5.1.5)$$

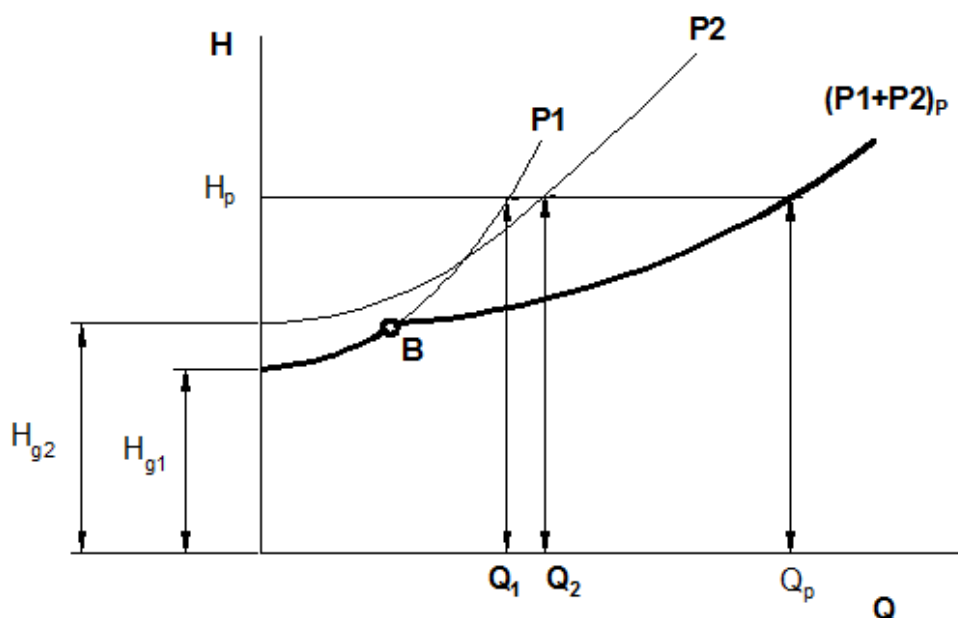
kde:

h_g - geodetická dopravní výška [m]

p - tlak v nádrži [Pa]

ρ - objemová hmotnost čerpaného média [kg/m^3]

g - tíhové zrychlení [m/s^2]



Obr. 5.2: Paralelně spojená potrubí [2]

Kombinované (sériové - paralelní) spojení potrubí

Takto se potrubí spojuje celkem běžně. Kombinovaně spojené potrubí se řeší tím způsobem, že klasicky složíme paralelní úseky. Výslednou charakteristiku získáme sériovým složením s 3. úsekem.

$$[(Qh_2 + Qh_3) + Qh_1]_s \quad (5.1.6)$$

[2]

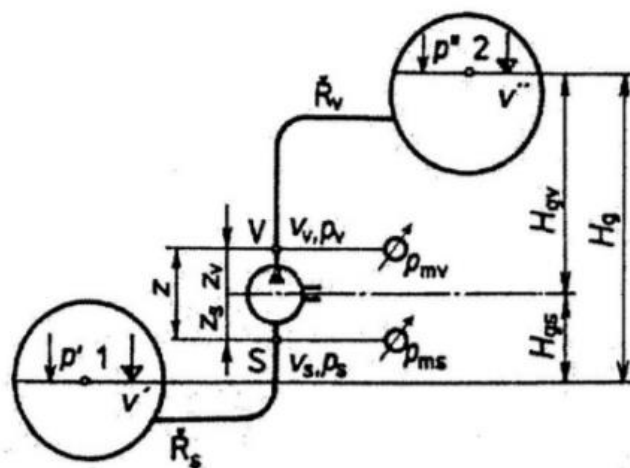
6 HYDRAULICKÉ SYSTÉMY

Hydraulický systém představuje soustavu prvků, které jsou spojené do funkčního celku. Systém může být jednoduchý nebo složitý. Hlavní prvky hydraulického systému jsou:

- Potrubí
 - Čerpadlo
 - Armatury
- [2]

6.1 JEDNODUCHÝ HYDRAULICKÝ SYSTÉM

Jednoduchý systém tvoří jeden zdroj (čerpadlo) a jednoduché potrubí.



Obr. 6.1: Schéma jednoduchého hydraulického systému [2]

6.2 SLOŽITÝ HYDRAULICKÝ SYSTÉM

Polohu pracovního bodu složitého systému řešíme graficky. [2]

6.2.1 Systém s jedním zdrojem a složeným potrubím:

- Jeden zdroj a potrubí spojeno za sebou
 - Jeden zdroj a potrubí spojeno vedle sebe
 - Jeden zdroj a potrubí spojeno kombinovaně
- [5]

6.2.2 Systém s více zdroji a složeným potrubím

- Systém se sériovým řazením čerpadel
- Systém s paralelním řazením čerpadel [5]

7 ČERPÁNÍ ODPADNÍCH VOD

Při čerpání znečištěných vod je největším problémem možné ucpání potrubních úseků, převážně těch vertikálních. Při vysoké koncentraci sušiny je použití hydrodynamických čerpadel omezeno, a proto se v těchto případech využívají čerpadla hydrostatická. [1]

Už při malé koncentraci nečistot se pro čerpání odpadní vody používají speciální tvary oběžných kol a skříní čerpadel. [1]

Rizika při čerpání odpadní vody:

- Průchodnost průtočných kanálů oběžných kol a jejich ucpání
- Namotání vláken a plastů na lopatkách oběžných kol
- Erozní poškození oběžných kol

Výše uvedené problémy lze řešit speciální konstrukcí čerpadel. [3]

7.1 VLIV VISKOZITY A HUSTOTY PŘI ČERPÁNÍ VODY

Hydrodynamická čerpadla jsou citlivá na viskozitu. Největší vliv na charakteristiky čerpadla má při laminárním proudění. [3]

Při čerpání newtonských kapalin, které mají jinou viskozitu než voda, se charakteristiky čerpadel stanoví přepočtem pomocí opravných faktorů.

Hustota má také vliv na Q-P charakteristiku. Se zvyšující se hustotou se zvyšuje příkon motoru. [1], [3]

7.2 ČERPÁNÍ SUSPENZE VODA - PEVNÁ FÁZE

Při čerpání hydrosměsí se setkáváme s problémy s usazováním v sacích jímkách, zachytáváním na lopatkách čerpadla, ucpávání čerpadla i potrubí. Na potrubních trasách pro čerpání hydrosměsí nenajdeme regulační armatury, a to z důvodu možného opotřebení. [3]

Pevná fáze může být tvořena:

- Substráty, které jsou tvořeny zrny různého tvaru, velikosti, hustoty a koncentrace
- Vlákninou, textiliemi, hygienickými potřebami apod.
- Plasty

[3]

Pro čerpání takto znečištěných vod se používají kalová čerpadla. Mohou být doplněna zařízením, které rozmělní pevnou fázi. [3]

7.2.1 Pádová rychlost částice

Proudění hydrosměsí s pevnými látkami je ovlivněno mnoha faktory. Výpočet proto provádíme pouze za idealizovaných předpokladů. Čerpání je tím snazší, čím je pádová rychlost částic v dopravované hydrosměsi menší. [3]

$$w = \sqrt{\frac{4g \cdot d}{3c_{x0}} \cdot \frac{\rho_s - \rho_v}{\rho_v}} \quad (7.2.1)$$

kde:

w - pádová rychlost idealizované kruhové částice [m/s]

g - tíhové zrychlení [m/s²]

d - průměr částice [m]

c_{x0} - součinitel hydraulického odporu částice (odporová síla působící proti částici) [-]

ρ_s - hustota pevné fáze [kg/m³]

ρ_v - hustota kapaliny [kg/m³]

V praxi používáme jako velikost zrn částice, které odpovídají 50% hmotnostního podílu. Označuje se jako d₅₀. Pádovou rychlost také ovlivňuje velikost potrubí a vzájemné ovlivňování částic. Kvůli těmto zjednodušením nelze s jistotou určit vliv pevné fáze na proudění a charakteristiku potrubí a čerpadla. [1]

7.2.2 Vliv pevné fáze na charakteristiku čerpadla a pracovní bod

V potenciálním silovém poli oběžného kola se pevné částice chovají jinak než voda. Narušují proudová vlákna vody, odrážejí se od stěn kanálů a vzájemně od sebe. To způsobuje snížení dopravní výšky čerpadla. Pro odhad snížení dopravní výšky lze využít vztah:

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{C_T}{\psi} \cdot \sqrt[3]{Re} \cdot \left(\frac{11.8}{n_q}\right)^3 \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho_v} - 1\right) \quad (7.1.2)$$

kde:

ψ - tlakové číslo

n_q - měrné otáčky [min⁻¹]

C_T - objemová dopravní koncentrace za pohybu

ρ_s - hustota pevné fáze [kg/m³]

ρ_v - hustota kapaliny [kg/m³]

Re - Reynoldsovo kritérium [-]

H - dopravní výška při dopravě vody [m]

ΔH - snížení dopravní výšky při dopravě suspenze [m]

Přírůstek tlaku při čerpání suspenze:

$$\Delta p = \rho_m \cdot g \cdot (H - \Delta H) \quad [\text{Pa}] \quad (7.1.3)$$

kde:

H - dopravní výška při dopravě vody [m]

ΔH - snížení dopravní výšky při dopravě suspenze [m]

ρ_m - střední hodnota hydrosměsi [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Δp - přírůstek tlaku [Pa]

g - tíhové zrychlení [m/s^2]

Střední hodnota suspenze a snížená dopravní výška určuje přírůstek tlaku čerpadla. Tyto vlivy se při zvyšující se koncentraci chovají opačně. Proto nelze říci, zda bude tlaková charakteristika pod nebo nad charakteristikou čisté vody. [3]

V důsledku nárůstu hydraulických ztrát se Q-H charakteristika posouvá pod Q-H charakteristiku čisté vody. [3]

7.2.3 Vliv pevné fáze na charakteristiku potrubí

Při čerpání pevné fáze dochází k nárůstu hydraulických ztrát, což má vliv na charakteristiku potrubí. S klesajícím průtokem a tím i klesající rychlostí dochází k usazování částic. V jejímž důsledku dochází k nárůstu hydraulických ztrát. [3], [1]

7.3 ČERPÁNÍ VLÁKNITÝCH SUSPENZÍ

V odpadní vodě se mohou nacházet zbytky textilií. Ty mohou tvořit kompaktní provazce a způsobit ucpání čerpadel. K čerpání těchto suspenzí se používají odstředivá čerpadla s jednolopatkovými a dvoulopatkovými uzavřenými oběžnými koly nebo vírovými koly, která mohou být opatřena mělnicím zařízením. [3]

Možné je i použití šroubového oběžného kola. K čerpání odpadních vod obsahujících vláknité příměsi, můžeme použít i axiální čerpadla, u kterých je provedeno zaoblení vstupních hran lopatek oběžných kol.

[3]

8 ČERPACÍ STANICE PRO ODPADNÍ VODU

Čerpací stanice se na stokové síti stavějí, pokud není možné odpadní vodu na čistírnu odpadních vod dovést gravitačně. Mohou také sloužit k lokálnímu přečerpávání vod, pokud potřebujeme překonat překážky na stokové síti. [7]

Vzhledem k časté změně průtoku se v čerpacích stanicích umísťuje více menších čerpadel. U kterých je žádoucí jejich střídavý provoz. Čerpadla musí být osazena se 100 procentní rezervou. Hladina pro spínání dalšího čerpadla je pod maximální provozní hladinou. [6]

V čerpací stanici se mohou nacházet dva druhy jímek. Jímka suchá, ve které je osazeno čerpadlo a část potrubí a sací jímka (mokrá).

Pokud použijeme ponorná čerpadla, odpadá nutnost vybudování suché jímky a v ČS se nachází pouze jímka mokrá.

8.1 VYBAVENÍ ČERPACÍ STANICE:

- Zařízení k zvedání čerpadel
- Ovládací prvky a armatury
- Sací a výtlačné potrubí

8.1.1 Sací potrubí

Sací potrubí se navrhuje co nejkratší, jak je to jen možné a mírně stoupající směrem k čerpadlu. Vtok do sacího potrubí musí být neustále pod vodou v takové hloubce, při které nedojde ke vzniku vírů a jejich nasátí čerpadlem. Často se setkáváme s válcovými nádržemi s tangenciálním vtokem. Při nedostatečném ponoření vtoku dochází ke snížení výkonu čerpadla a k vibracím. [6]

8.1.2 Výtlačné potrubí

Rychlosti v potrubí by se měly pohybovat mezi 0,7-1,8 m/s. U více souběžných výtlaků se navrhuje propojení, aby se při poruše na jednom úseku výtlaku nemusel vyřadit celý výtlačný řad.

[6],[7]

8.1.3 Separace pevných látek

Systémy se separací pevných látek pracují na následujícím principu: Z přitékající odpadní vody jsou v separátoru odděleny pevné látky a odtéká pouze tekutá část. Předčištěná odpadní voda protéká přes čerpadla do provozní nádrže. Při naplnění provozní nádrže, dojde současně k nárůstu hladiny v separátoru, což automaticky uzavře nátok. Při dosažení spínací hladiny, čerpadlo čerpá předčištěnou odpadní vodu přes separátor a vyplaví tak nečistoty do výtlaku. Při dosažení minimální hladiny v provozní nádrži dojde k vypnutí čerpadla a uzavěr se otevře. Poté následuje nový cyklus plnění. [21]

Příklady systémů:

STRATE Awalift

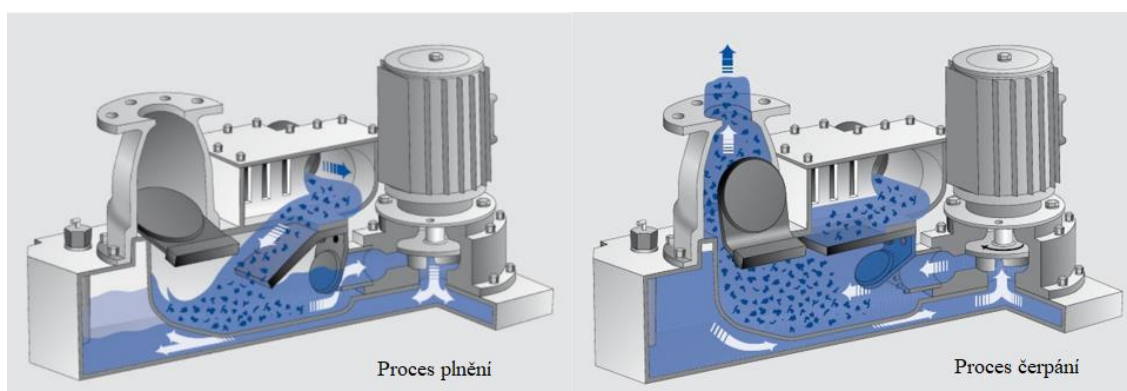
Výkon systému se pohybuje v rozmezí 0,26(0,4) – 800 m³/h. Dopravní výška až 150 m. Minimální průměr šachty pro instalaci je 1800 mm. Sběrná nádrž je plynotěsná a vodotěsná. Vyrobená je ze speciální litiny. Povrch nádrže je odolný proti účinkům odpadní vody. [15]

Wilo-EMUport FTS

Výkony se pohybují u zařízení s PE-HD šachtou v rozmezí 6-410 m³/h a u zařízení bez šachty pro instalaci v objektu nebo betonové šachtě mezi 1-600 m³/h. Materiálové provedení systému je z PE-HD. Sběrná nádrž je plynotěsná a vodotěsná. Možnost montáže v šachtách od 1500 mm. Dopravní výška až 70 m [16]

KSB AmaDS³

Výkony systému se pohybují v rozmezí 6-200 m³/h. Dopravní výška až 85 m. Minimální průměr šachty pro instalaci je 1800 mm. [17]



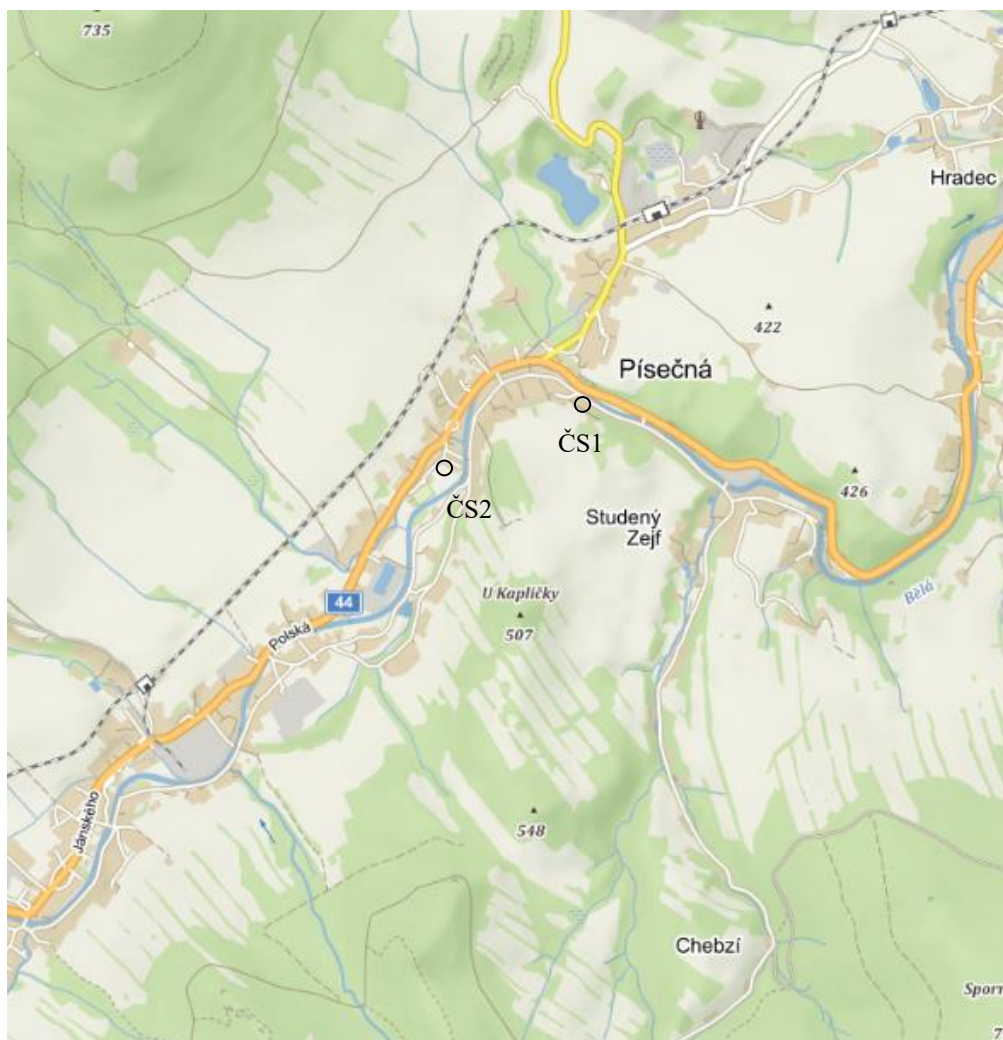
Obr. 8.1: Princip čerpání čerpací stanice STRATE AWALIFT [15]

9 PŘÍPADOVÁ STUDIE

Předmětem práce je posouzení fungování výtlaků na nově vybudované splaškové kanalizaci v obci Písečná u Jeseníku, jejíž součástí jsou dvě čerpací stanice. Umístění řadů a čerpacích stanic viz příloha č. 2 Situace výtlaků.

Obec Písečná se nachází v Olomouckém kraji v okrese Jeseník. Leží na řece Bělé a její katastrální území o rozloze 844 ha je součástí chráněné krajinné oblasti Jeseníky. V současné době v obci žije 1 207 obyvatel. [22]

V obci se nachází řada menších firem, základní a mateřská škola, zdravotní středisko, knihovna, kulturní dům, travnaté fotbalové hřiště, multifunkční sportovní hřiště s dětským hřištěm, víceúčelový areál, holičství a kadeřnictví, 3 pohostinství, 3 prodejny potravin a smíšeného zboží, 3 ubytování. Obec je plynofikována, elektrifikována a byl v ní vybudován vodovod a splašková kanalizace. [22]



Obr. 9.1: Mapa obce Písečná

9.1 SOUČASNÝ STAV

V obci Písečná u Jeseníku a částečně také v obci Česká Ves byla v roce 2015 postavena nová splašková kanalizace. Součástí kanalizace jsou dva výtlaky a dvě čerpací stanice. Stoky jsou zaústěny gravitačně nebo výtlakem do stávajících kmenových stok, které vedou splaškové odpadní vody na ČOV Nová Ves.

Pracovníci společnosti Vak registrují určité provozní problémy zejména na výtlačném řadu V1.

Výtlačný řad V1 pravděpodobně funguje jako násoska, čímž je myšleno, že v potrubí vzniká podtlak. Dalším problémem je, že zpětná armatura na výtlačném řadu V1 je neobvykle hlučná.

Počet napojených obyvatel v obci

V obci v současné době žije 1207 obyvatel. Napojených na kanalizaci je 900. Specifická produkce odpadní vody se předpokládá cca 120 l/os/den. [23]

9.1.1 Odpadní vody vypouštěné do kanalizace:

- a) Z bytového fondu
- b) Ze zařízení občansko-technické a státní vybavenosti
- c) Z podnikatelské činnosti

[23]

Odpadní vody z bytového fondu

Jedná se o splaškové odpadní vody z domácností. Odpadní vody se nesmí do kanalizace vypouštět přes septiky a žumpy. Odpadní vody musí být přepojeny mimo jakékoliv před-čistící zařízení. [23]

Odpadní vody z obecní vybavenosti

Jedná se o odpadní vody převážně splaškového charakteru. Kvalita těchto vod se může výrazně měnit podle momentálního stavu používání vody. [23]

Odpadní vody z podnikatelské činnosti

- a) Vody splaškové
- b) Vody technologické

V současné době však v zájmové oblasti nedochází k produkci těchto vod. [23]

9.2 VÝTLAKY

Výtlačky jsou provedeny z tlakové PE 100 D125 x 11,4, SDR 11. Dále je k potrubí uchycen vyhledávací vodič Cu 4mm². Podchody pod toky jsou provedeny z tvárné litiny DN 100. [23]

Tab. 9.1 Délka výtlačných řadů [23]

Výtlačný řad	DN 100 PE	DN 100 TLT	Délka celkem
	[m]	[m]	[m]
V1	1208,50	65,00	1273,50
V2	867,50		867,50
Celkem	2076,00	65,00	2141,00

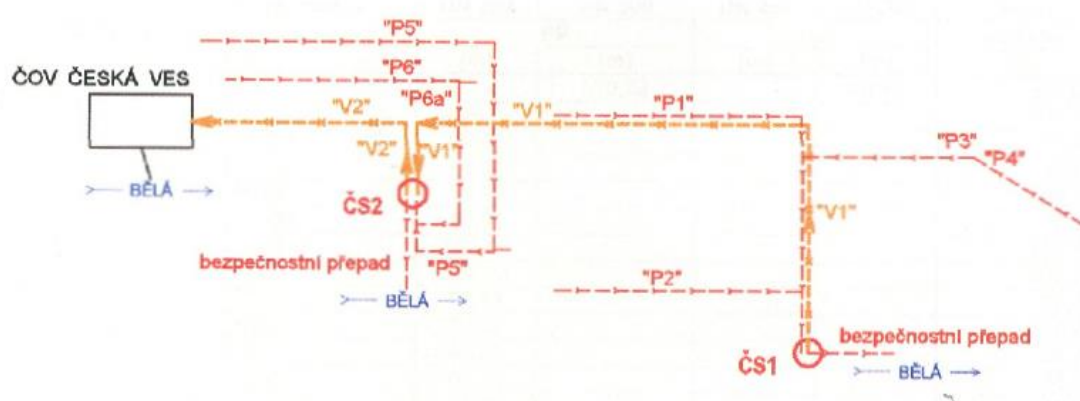
9.2.1 Šachty na výtlačku

Na výtlačích jsou osazeny revizní, čistící betonové prefabrikované šachty s vystrojením.

- šachty výtlačku V1 - 6 ks, šachty 4 a 6 jsou vybaveny manuálním zavzdušňovacím ventilem

- šachty výtlačku V2 – 2 ks

[23]



Obr. 9.2 Schéma výtlačků [23]

9.3 ČERPACÍ STANICE

Čerpací stanice umožňují přečerpávání splaškových odpadních vod.

- ČS1 čerpá odpadní vody ze stoky P1, P2, P3, P4 a jejich odbočných větví výtlakem V1 do ČS2

-ČS2 čerpá odpadní vody ze stoky P5, P6 a jejich odbočných větví výtlakem V2 na ČOV.

Akumulace čerpacích stanic je navržena na 6 - ti hodinové zdržení. Čerpací stanice jsou vybaveny kalovými čerpadly 1+1. Ovládání čerpadel při automatickém provozu je řízeno zapínacími a vypínacími hladinami. Čerpadla jsou blokována proti chodu bez vody od hodnoty vypínací hladiny v čerpací stanici. Množství dopravované vody je měřeno magneticko-indukčním průtokoměrem MIQ 99 compact. [23]

Čerpací stanice jsou vzhledem ke geologickému průzkumu, stísněným podmínkám staveniště a nemožnosti beranění pažnic či štětovic provedeny jako spouštěné studny o průměru 2500 mm. Čerpací stanici tvoří mokrá čerpací jímka a suchá armaturní komora. [23]

9.3.1 Čerpací stanice ČS1

Odpadní voda je do čerpací stanice přiváděna stokou P1 z PP DN 300. Na přítoku je osazen česlicový koš s průlinou 50 mm k zachycení hrubých nečistot. Česlicový koš je osazen na stěny nádrže a je vybaven spouštěcím zařízením. Čerpací stanice je rovněž vybavena havarijním přepadem z PP DN 300. [23]

K čerpání odpadní vody jsou zde umístěna dvě ponorná čerpadla FLYGHT, typ NP 3102.160 SH. Charakteristika je na obr. 9.3. Čerpadla se při provozu střídají a jsou automaticky řízená.

Výtlačné potrubí DN 100 každého čerpadla je na přírubu patkového kolena DN 80 napojeno pomocí příruby DN80 PN 16 a ocelového přechodu tlačného DN 80/DN 100. Výtlačné potrubí je vyvedeno do suché armaturní šachty, ve které je vybaveno zpětným ventilem s koulí DN 100 PN 10 a uzavíracím nožovým šoupátkem DN 100 PN 10. [23]

Výtlačná potrubí obou čerpadel vyústí do společného výtlaku DN 100, na kterém je osazen indukční průtokoměr DN 100 PN 10 a uzavírací nožové šoupátko DN 100 PN 10. Za šoupátkem výtlačné potrubí prostupuje stěnou a vede do čerpací stanice ČS 2.

Na společném výtlačném potrubí je přes ocelový přechod DN 50/100 napojeno vypouštěcí potrubí s uzavíracím nožovým šoupátkem. Toto potrubí umožňuje vypustit část výtlačného řádu zpět do mokré čerpací stanice nebo vypustit potrubí v armaturní šachtě při výměně průtokoměru. [23]

Dále je z výtlačného potrubí provedena odbočka DN 50 s kulovým kohoutem, opatřeným pevnou spojkou pro napojení požární hadice. Takto je umožněno případné vyčerpání mokré jímky mimo čerpací stanici. Odbočku lze také použít na napojení proplachovací vody při čištění výtlačného řadu. [23]

Detailní popis čerpadla

Ponorné kalové čerpadlo Flygt:

Typ	NP 3102.160 SH
Otáčky	2900 ot.min-1

Elektromotor:

Výrobce	Flygt
Příkon	4,2 kW
Napětí	400 V

Hladiny:

Vypínací hladina:	373,00 m.n.m.
Zapínací hladina:	374,00 m.n.m.
Havarijní hladina:	374,40 m.n.m.
Dno čerpací stanice:	372,35 m.n.m.

[23]

9.3.2 Čerpací stanice ČS2

Odpadní voda je do čerpací stanice přiváděna stokou P5 z PP DN 300, dále je do čerpací stanice přiveden výtlak z ČS1 PP DN 100. Na přítoku je osazen česlicový koš s průlinou 50 mm k zachycení hrubých nečistot. Česlicový koš je osazen na stěny nádrže a je vybaven spouštěcím zařízením. Čerpací stanice je rovněž vybavena havarijním přepadem z PP DN 300. [23]

K čerpání odpadní vody jsou zde umístěna dvě ponorná čerpadla FLYGHT, typ NP 3102.160 SH. Charakteristika je na obr. 9.3. Čerpadla se při provozu střídají a jsou automaticky řízená.

Výtlačné potrubí DN 100 každého čerpadla je na přírubu patkového kolena DN 80 napojeno pomocí příruby DN80 PN 16 a ocelového přechodu tlačného DN 80/DN 100.

Výtlačné potrubí je vyvedeno do suché armaturní šachty, ve které je vybaveno zpětným ventilem s koulí DN 100 PN 10 a uzavíracím nožovým šoupátkem DN 100 PN 10.

Výtlačná potrubí obou čerpadel vyúsťují do společného výtlaku DN 100, na kterém je osazen indukční průtokoměr DN 100 PN 10 a uzavírací nožové šoupátko DN 100 PN 10. Za šoupátkem výtlačné potrubí prostupuje stěnou a vede na čistírnu odpadních vod.

Na společném výtlačném potrubí je přes ocelový přechod DN 50/100 napojeno vypouštěcí potrubí s uzavíracím nožovým šoupátkem. Toto potrubí umožňuje vypustit část výtlačného řádu zpět do mokré čerpací stanice nebo vypustit potrubí v armaturní šachtě při výměně průtokoměru. [23]

Dále je z výtlačného potrubí provedena odbočka DN 50 s kulovým kohoutem, opatřeným pevnou spojkou pro napojení požární hadice. Takto je umožněno případné vyčerpání mokré jímky mimo čerpací stanici. Odbočku lze také použít na napojení proplachovací vody při čištění výtlačného řádu. [23]

Detailní popis čerpadla:

Ponorné kalové čerpadlo Flygt:

Typ	NP 3102.160 SH
Otáčky	2900 ot.min-1

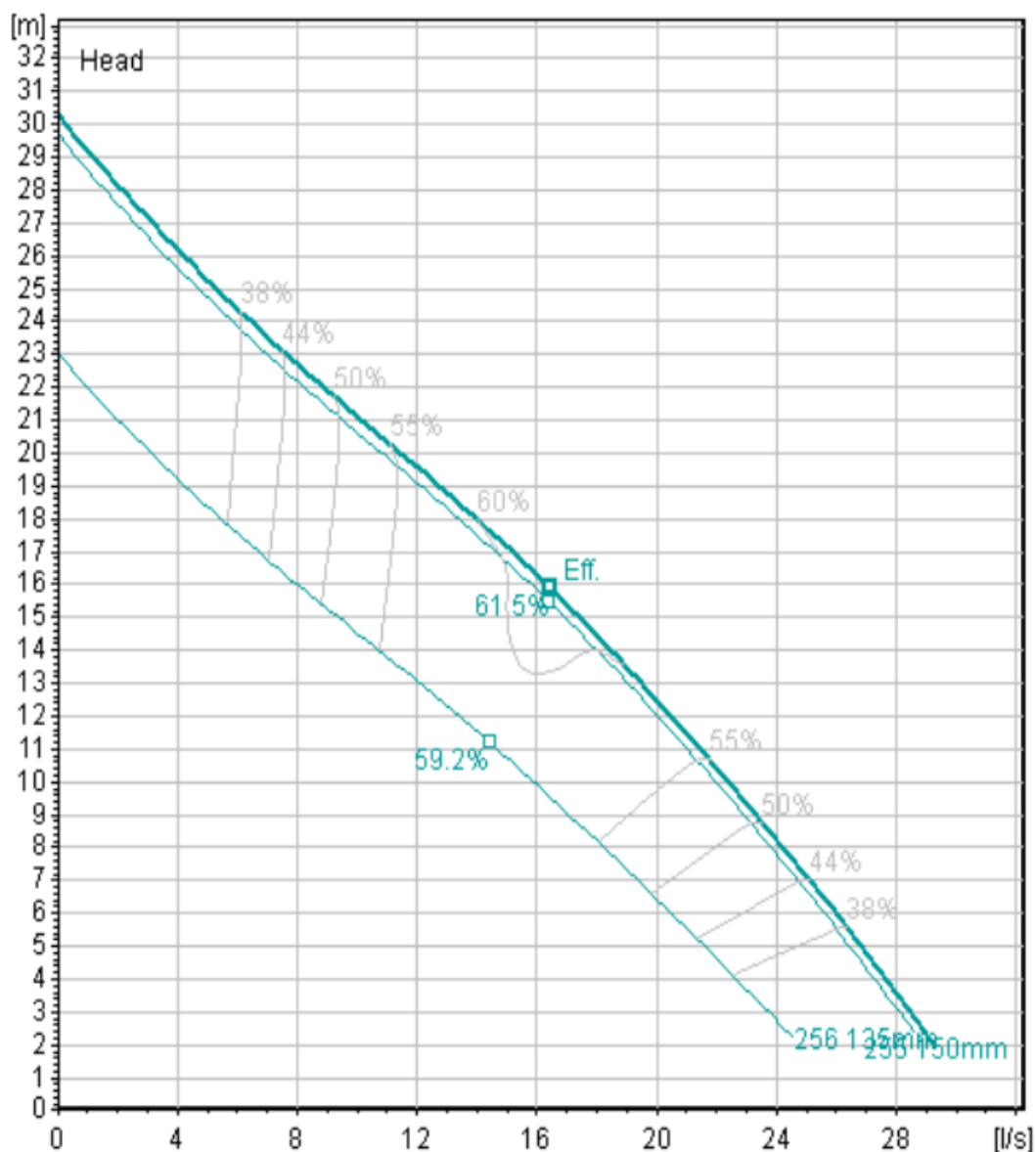
Elektromotor:

Výrobce	Flygt
Příkon	4,2 kW
Napětí	400 V

Hladiny:

Vypínací hladina:	378,55 m.n.m.
Zapínací hladina:	380,55 m.n.m.
Havarijní hladina:	380,90 m.n.m.
Dno čerpací stanice:	377,90 m.n.m.

[23]



Obr. 9.3 Charakteristika čerpadla [18]

9.4 VÝUSTNÍ OBJEKT

Bezpečnostní přelivy jsou zaústěny do řeky Bělá pomocí betonových výustních objektů. Přepady jsou opatřeny koncovou klapkou z PE- HD DN 300. [23]

10 HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY

10.1 STANOVENÍ TLAKOVÝCH ZTRÁT NA V1

Výpočet je proveden dle Darcy - Weisbachovy rovnice. Součinitel tření je stanoven dle White-Colebrooka.

Při výpočtu místních ztrát byla uvažována ztráta 1 m na sání. Ostatní ztráty jsou zahrnuty v koeficientu drsnosti k , ten je velký tak, abychom dosáhli naměřených průtoků.

Tab. 10.1 Vstupní hodnoty

Profil	D	125x11.4	
	DN	100	
	Di	102.2	mm
Hydraulická drsnost	k_{PE}	1.1	mm
	k_{TLT}	1.3	mm
Plocha	s	0.0082	m ²
Kinematická viskozita vody	ν	1.307	*10 ⁻⁶
Zapínací hladina	h	373	m
Vypínací hladina	h	374	m

Součet klesajících úseků na PE potrubí:

$$hg_{L1} = -3.84 \text{ m}$$

$$L_1 = 412.93 \text{ m}$$

Součet stoupajících úseků na PE potrubí:

$$hg_{L2} = 8.66 \text{ m}$$

$$L_2 = 795.57 \text{ m}$$

Součet klesajících úseků na TLT potrubí:

$$hg_{L3} = -1.07 \text{ m}$$

$$L_3 = 19.8 \text{ m}$$

Součet stoupajících úseků na TLT potrubí:

$$hg_{L4} = 2.27 \text{ m}$$

$$L_4 = 45.2 \text{ m}$$

Součet klesajících a stoupajících úseku na PE potrubí:

$$hg_{L} = 7.82 \text{ m}$$

$$L = 1208.5 \text{ m}$$

Součet klesajících a stoupajících úseku na TLT potrubí:

$$hg_{L} = 1.2 \text{ m}$$

$$L = 65 \text{ m}$$

CHARAKTERISTIKA POTRUBÍ PŘI ZAPÍNACÍ HLADINĚ

Tab. 10.2 Výpočet tlakových ztrát na potrubí z PE

v [m/s]	Q[l/s]	Q[m ³ /s]	Re [-]	λ_0 [-]	λ_1 [-]	λ_2 [-]	λ_3 [-]	H _{zt} [m]	H [m]
0.00	0.00	0.000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	8.820
0.25	2.05	0.002	19549	0.0394	0.0417	0.0416	0.0416	1.567	10.387
0.50	4.10	0.004	39097	0.0392	0.0403	0.0403	0.0403	6.071	14.891
0.75	6.15	0.006	58646	0.0391	0.0398	0.0398	0.0398	13.503	22.323
1.00	8.20	0.008	78194	0.0390	0.0396	0.0396	0.0396	23.862	32.682
1.25	10.25	0.010	97743	0.0390	0.0395	0.0394	0.0394	37.150	45.970
1.50	12.31	0.012	117292	0.0390	0.0394	0.0394	0.0394	53.366	62.186
1.75	14.36	0.014	136840	0.0389	0.0393	0.0393	0.0393	72.510	81.330
2.00	16.41	0.016	156389	0.0389	0.0392	0.0392	0.0392	94.581	103.401

Tab. 10.3 Výpočet tlakových ztrát na potrubí z TLT

v [m/s]	Q[l/s]	Q[m ³ /s]	Re [-]	λ_0 [-]	λ_1 [-]	λ_2 [-]	λ_3 [-]	H _{zt} [m]	H [m]
0.00	0.00	0.000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	1.200
0.25	2.05	0.002	19549	0.0417	0.0437	0.0437	0.0437	0.089	1.289
0.50	4.10	0.004	39097	0.0415	0.0425	0.0425	0.0425	0.344	1.544
0.75	6.15	0.006	58646	0.0414	0.0421	0.0421	0.0421	0.767	1.967
1.00	8.20	0.008	78194	0.0413	0.0418	0.0418	0.0418	1.356	2.556
1.25	10.25	0.010	97743	0.0413	0.0417	0.0417	0.0417	2.113	3.313
1.50	12.31	0.012	117292	0.0413	0.0416	0.0416	0.0416	3.036	4.236
1.75	14.36	0.014	136840	0.0413	0.0416	0.0416	0.0416	4.126	5.326
2.00	16.41	0.016	156389	0.0413	0.0415	0.0415	0.0415	5.383	6.583

Tab. 10.4 Součet tlakových ztrát z TLT a PE potrubí

Q[l/s]	Q[m ³ /s]	H [m]
0.00	0.000	10.020
2.05	0.002	11.676
4.10	0.004	16.435
6.15	0.006	24.289
8.20	0.008	35.239
10.25	0.010	49.283
12.31	0.012	66.422
14.36	0.014	86.656
16.41	0.016	109.985

CHARAKTERISTIKA POTRUBÍ PŘI VYPÍNACÍ HLADINĚ

Tab. 10.5 Výpočet tlakových ztrát na potrubí z PE

v [m/s]	Q[l/s]	Q[m³/s]	Re [-]	λ_0 [-]	λ_1 [-]	λ_2 [-]	λ_3 [-]	H _{zt} [m]	H [m]
0.00	0.00	0.000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	7.820
0.25	2.05	0.002	19549	0.0394	0.0417	0.0416	0.0416	1.567	9.387
0.50	4.10	0.004	39097	0.0392	0.0403	0.0403	0.0403	6.071	13.891
0.75	6.15	0.006	58646	0.0391	0.0398	0.0398	0.0398	13.503	21.323
1.00	8.20	0.008	78194	0.0390	0.0396	0.0396	0.0396	23.862	31.682
1.25	10.25	0.010	97743	0.0390	0.0395	0.0394	0.0394	37.150	44.970
1.50	12.31	0.012	117292	0.0390	0.0394	0.0394	0.0394	53.366	61.186
1.75	14.36	0.014	136840	0.0389	0.0393	0.0393	0.0393	72.510	80.330
2.00	16.41	0.016	156389	0.0389	0.0392	0.0392	0.0392	94.581	102.401

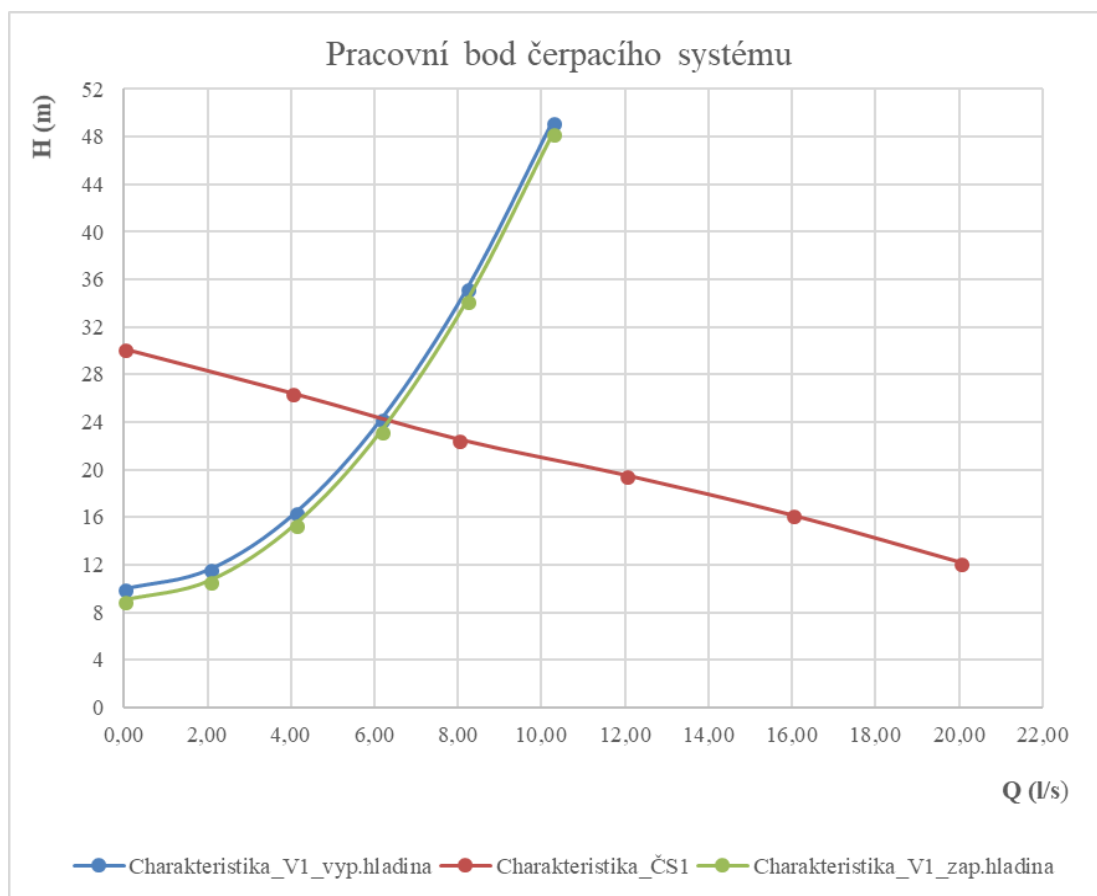
Tab. 10.6 Výpočet tlakových ztrát na potrubí z TLT

v [m/s]	Q[l/s]	Q[m³/s]	Re [-]	λ_0 [-]	λ_1 [-]	λ_2 [-]	λ_3 [-]	H _{zt} [m]	H [m]
0.00	0.00	0.000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	1.200
0.25	2.05	0.002	19549	0.0417	0.0437	0.0437	0.0437	0.089	1.289
0.50	4.10	0.004	39097	0.0415	0.0425	0.0425	0.0425	0.344	1.544
0.75	6.15	0.006	58646	0.0414	0.0421	0.0421	0.0421	0.767	1.967
1.00	8.20	0.008	78194	0.0413	0.0418	0.0418	0.0418	1.356	2.556
1.25	10.25	0.010	97743	0.0413	0.0417	0.0417	0.0417	2.113	3.313
1.50	12.31	0.012	117292	0.0413	0.0416	0.0416	0.0416	3.036	4.236
1.75	14.36	0.014	136840	0.0413	0.0416	0.0416	0.0416	4.126	5.326
2.00	16.41	0.016	156389	0.0413	0.0415	0.0415	0.0415	5.383	6.583

Tab. 10.7 Součet tlakových ztrát z TLT a PE potrubí

Q[l/s]	Q[m³/s]	H [m]
0.00	0.000	9.020
2.05	0.002	10.676
4.10	0.004	15.435
6.15	0.006	23.289
8.20	0.008	34.239
10.25	0.010	48.283
12.31	0.012	65.422
14.36	0.014	85.656
16.41	0.016	108.985

10.2 PRACOVNÍ BOD A TLAKOVÉ POMĚRY NA V1

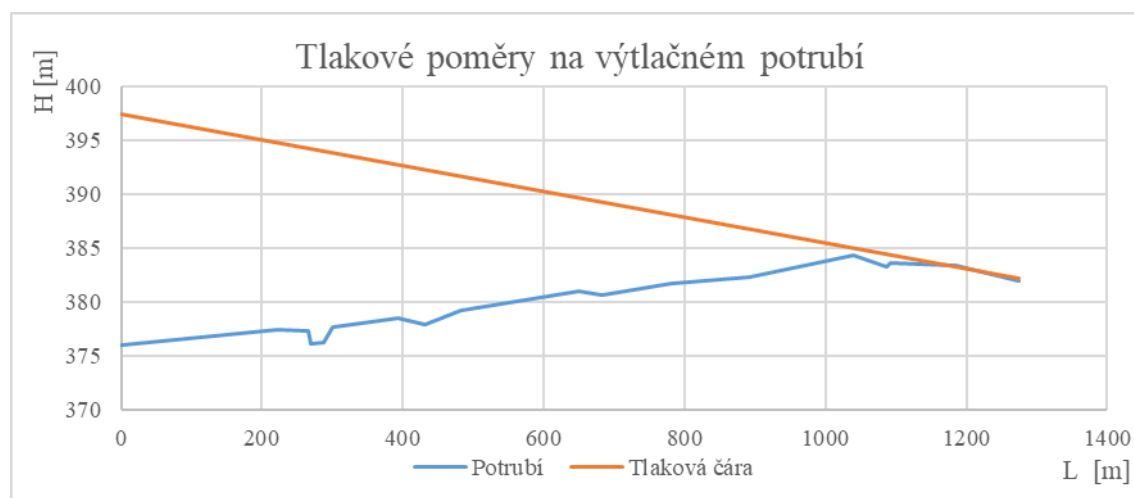


Obr. 10.1 Pracovní bod čerpacího systému ČS1

Pracovní bod

$Q = 6.1 \text{ l/s}$

$H = 24.2 \text{ m}$



Obr. 10.2 Tlakové poměry na výtlačném potrubí V1

10.3 STANOVENÍ TLAKOVÝCH ZTRÁT NA V2

Výpočet je proveden dle Darcy - Weisbachovy rovnice. Součinitel tření je stanoven dle White-Colebrooka.

Při výpočtu místních ztrát byla uvažována ztráta 1 m na sání. Ostatní ztráty jsou zahrnuty v koeficientu drsnosti k , ten je velký tak, abychom dosáhli naměřených průtoků.

Tab. 10.8 Vstupní hodnoty

Profil	D	125x11.4	
	DN	100	
	Di	102.2	mm
Hydraulická drsnost	k_{PE}	1.1	mm
Plocha	s	0.0082	m ²
Geodet. dopr. výška při zap. hladině	$h_{g,L}$	11.1	m
Kinematická viskozita vody	ν	1.307	*10 ⁻⁶
Zapínací hladina	h	378.55	m
Vypínací hladina	h	380.55	m
Délka potrubí	L	867.5	m

CHARAKTERISTIKA POTRUBÍ PŘI ZAPÍNACÍ HLADINĚ

Tab. 10.9 Stanovení tlakových ztrát

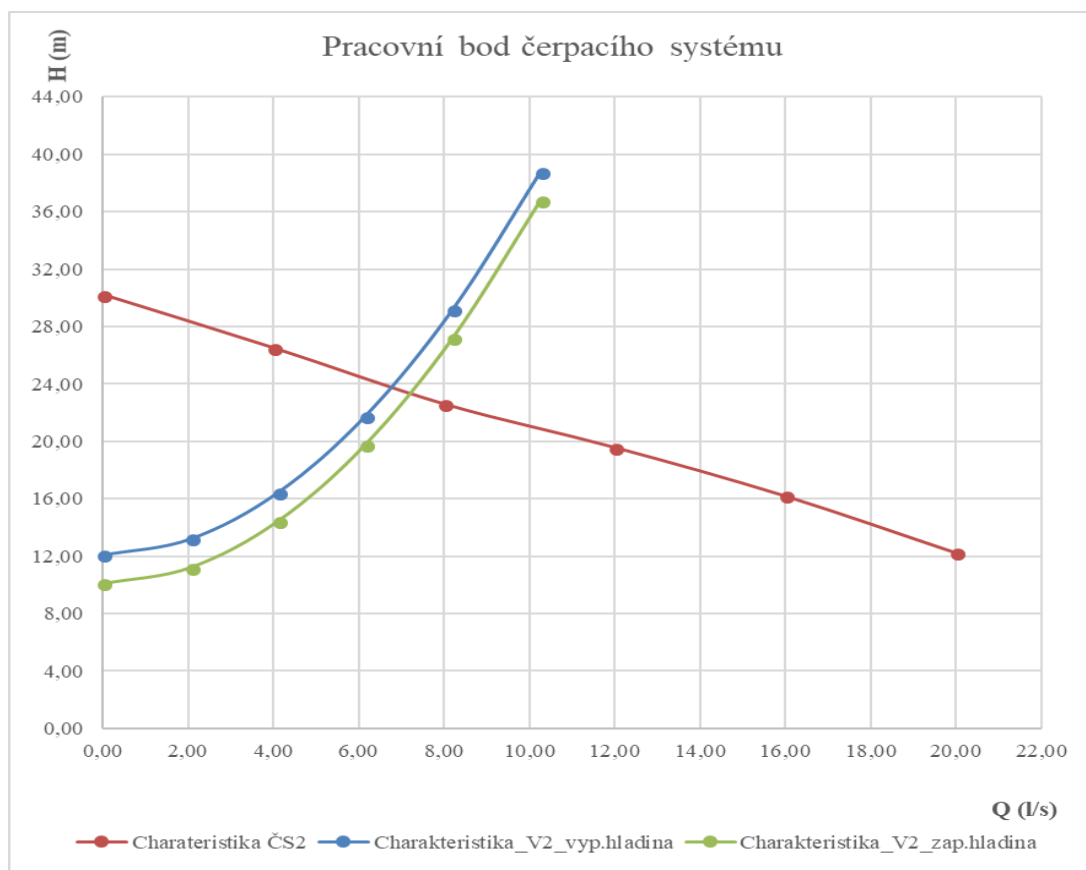
v [m/s]	Q [l/s]	Q [m ³ /s]	Re [-]	λ_0 [-]	λ_1 [-]	λ_2 [-]	λ_3 [-]	H_{zt} [m]	H [m]
0.00	0.00	0.000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	12.100
0.25	2.05	0.002	19549	0.0394	0.0417	0.0416	0.0416	1.125	13.225
0.50	4.10	0.004	39097	0.0392	0.0403	0.0403	0.0403	4.358	16.458
0.75	6.15	0.006	58646	0.0391	0.0398	0.0398	0.0398	9.693	21.793
1.00	8.20	0.008	78194	0.0390	0.0396	0.0396	0.0396	17.129	29.229
1.25	10.25	0.010	97743	0.0390	0.0395	0.0394	0.0394	26.668	38.768
1.50	12.31	0.012	117292	0.0390	0.0394	0.0394	0.0394	38.308	50.408
1.75	14.36	0.014	136840	0.0389	0.0393	0.0393	0.0393	52.050	64.150
2.00	16.41	0.016	156389	0.0389	0.0392	0.0392	0.0392	67.893	79.993

CHARAKTERISTIKA POTRUBÍ PŘI VYPÍNACÍ HLADINĚ

Tab. 10.10 Stanovení tlakových ztrát

v [m/s]	Q [l/s]	Q [m ³ /s]	Re [-]	λ_0 [-]	λ_1 [-]	λ_2 [-]	λ_3 [-]	H_{zt} [m]	H [m]
0.00	0.00	0.000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	10.100
0.25	2.05	0.002	19549	0.0394	0.0417	0.0416	0.0416	1.125	11.225
0.50	4.10	0.004	39097	0.0392	0.0403	0.0403	0.0403	4.358	14.458
0.75	6.15	0.006	58646	0.0391	0.0398	0.0398	0.0398	9.693	19.793
1.00	8.20	0.008	78194	0.0390	0.0396	0.0396	0.0396	17.129	27.229
1.25	10.25	0.010	97743	0.0390	0.0395	0.0394	0.0394	26.668	36.768
1.50	12.31	0.012	117292	0.0390	0.0394	0.0394	0.0394	38.308	48.408
1.75	14.36	0.014	136840	0.0389	0.0393	0.0393	0.0393	52.050	62.150
2.00	16.41	0.016	156389	0.0389	0.0392	0.0392	0.0392	67.893	77.993

10.4 PRACOVNÍ BOD A TLAKOVÉ POMĚRY NA V2

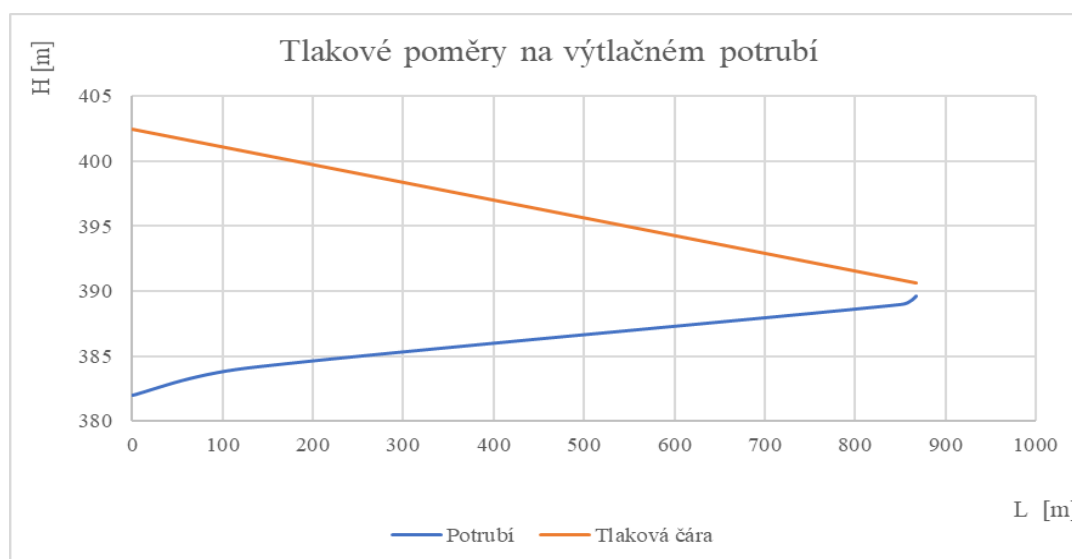


Obr.10.3 Pracovní bod čerpacího systému

Pracovní bod

$Q = 6.7 \text{ l/s}$

$H = 23.9 \text{ m}$



Obr.10.4 Tlakové poměry na výtlačném potrubí V2

11 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A NÁVRH OPATŘENÍ

Z hydrotechnických výpočtů vyplívá:

Čerpadlo v čerpací stanici 1 nepracuje v optimálním bodě účinnosti. Současná účinnost je 38 %. Nejvyšší účinnost čerpadla je 61,5 %. Jeho provoz proto není zcela ekonomický.

Rychlost ve výtlačném potrubí V1 je nevyhovující pro zpětnou armaturu, která se na výtlačném řadu nachází. Zpětný ventil s koulí potřebuje pro optimální funkci rychlost proudění média 3-6 m/s. Rychlost 0,73 m/s je tedy hluboko pod doporučeným intervalem. Právě nedostatečná rychlost je důvodem hlučnosti armatury. Problém by se dal zmírnit snížením profilu na DN 80. Jako alternativu k tomuto ventilu navrhuji zpětnou klapku s diskem, jejíž doporučená minimální rychlost je 1,5 m/s.

Na výtlačném řadu V1 v posledním klesajícím úseku dochází k podtlaku. Program Epanet 2.0 ukazuje mírnou negativní tlakovou výšku. Řešením je potrubí zavzdušnit, aby proudění bylo zcela gravitační a nedocházelo ke vzniku podtlaku.

Čerpadlo v čerpací stanici 2 též nepracuje v optimálním bodě účinnosti. Současná účinnost je 40 %. Nejvyšší účinnost je 61,5 %. Jeho provoz proto není zcela ekonomický.

Rychlost ve výtlačném potrubí V2 je nevyhovující pro zpětnou armaturu. Rychlost 0,85 m/s je sice vyšší než u V1, ale stále se neblíží optimální rychlosti.

Tlakové poměry na výtlačném řadu V2 jsou vyhovující.

12 ZÁVĚR

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku správného návrhu čerpacího systému. Cílem bakalářské práce bylo hydraulické posouzení vybraného čerpacího systému, zahrnujícího dvě samostatné čerpací stanice a dva výtlačné řady ve vybrané lokalitě.

První část rešerše se zabývá rozdělením čerpadel, která jsou v současné době používána k čerpání vod. Detailně jsou zde popsány různé druhy oběžných kol používaných do kalových čerpadel.

Druhá část se zabývá samostatným hydraulickým návrhem čerpadel, přičemž jsou zde popsány hlavní parametry důležité pro návrh. Seznamujeme se také se stanovením trubních charakteristik a výpočtem pracovního bodu celého hydraulického systému.

V další části nás práce seznamuje s problematikou čerpání odpadních vod. Dozvědět se zde můžeme o rizicích spojených s jejich dopravou.

Rešerše je zakončena kapitolou o čerpacích stanicích určených k čerpání odpadní vody. Část této kapitoly je zaměřena na systémy separace pevných látek.

V praktické části bylo řešeno samostatné posouzení. Hlavním úkolem bylo posouzení vhodnosti zvoleného čerpadla, jeho efektivita a vyšetření tlakových poměrů na výtlačných řadech v obci Písečná.

První kapitolou praktické část práce je případová studie. Ta se zabývá popisem obce Písečná, výtlačných řadů a čerpacích stanic. Jsme zde také seznámeni s provozními problémy vznikajícími na kanalizaci. Dalšími kapitolami jsou hydrotechnické výpočty, vyhodnocení a návrh opatření.

Z výsledků hydrotechnických výpočtů vyplývají následující zjištění:

Na výtlačném řadu V1 v posledním klesajícím úseku přechází tlakové proudění do proudění gravitačního. Řešením je potrubí zavzdušnit, aby proudění bylo gravitační a nedocházelo ke vzniku podtlaku.

Dále bylo výpočty zjištěno, že čerpadla v obou čerpacích stanicích nepracují v optimálním bodě účinnosti. Současná účinnost se pohybuje kolem 40 %. Provoz čerpadel tedy není zcela hospodárný. Kdyby pracovaly v optimálním bodě účinnosti, byla by účinnost 61,5 %.

Dalším zjištěním je, že rychlost ve výtlačných potrubích V1 i V2 je nevyhovující pro zpětnou armaturu, která se na výtlačných řadech nachází. Zpětný ventil s koulí potřebuje pro optimální funkci rychlost proudění média 3-6 m/s. Pokud je rychlost nižší, dochází k tomu, že se koule pohybuje částečně v průtoku a vlivem jejího neustáleného pohybu dochází ke zvýšenému opotřebení koule, vibracím a hlučnosti armatury. Tímto se vyruší hlavní výhoda tohoto typu ventilu, což je plný průtok a nízká tlaková ztráta. Proto by měl být doporučený interval povinnou podmínkou pro instalaci. [19], [20]

Jako alternativa k tomuto ventilu byla navržena zpětná klapka s diskem, jejíž doporučená minimální rychlost je 1,5 m/s. Dosažení této rychlosti již není podmínkou pro instalaci armatury. Pokud při tom před zpětnou armaturou snížíme profil na minimální možný, což je DN 80 dosáhne rychlost ve výtlačném potrubí téměř doporučené minimální rychlosti.

13 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BRADA, Karel a Petr HLAVÍNEK. Čerpadla ve vodním hospodářství. Brno: NOEL 2000, 2004. ISBN 80-86020-43-6.
- [2] MELICHAR, Jan. Úvod do čerpací techniky. V Praze: České vysoké učení technické, 2012. ISBN 978-80-01-05056-9.
- [3] BEDNÁŘ, Josef. Čerpadla: (vodárenství a kanalizace). Blansko: Marcela Bednářová, 2015. ISBN 978-80-905437-2-0.
- [4] BLÁHA, Jaroslav a Karel BRADA. Příručka čerpací techniky. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01626-9.
- [5] PACIGA, Alexander. Projektovanie zariadení čerpaczej techniky. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1967. Edícia strojárskkej literatúry.
- [6] PIVODA, Bohuslav. Čerpací stanice. I. díl. 2. přeprac. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1973. Učební texty vysokých škol.
- [7] NOVÁK, Josef. Příručka provozovatele stokové sítě. Líbeznice u Prahy: Medim, c2003. ISBN 80-238-9947-3.
- [8] TUHOVČÁK, L. Vodárenství - doprava vody. Brno: VUT, FAST, ÚVHO, 2008. s. 1-115.
- [9] JANALÍK, Jaroslav. *Kalová čerpadla: studijní opora* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2011 [cit. 2018-02-11]. ISBN 978-80-248-2717-9. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/147/ucebniopory/978-80-248-2717-9.pdf>
- [10] Současné trendy vývoje čerpací techniky: vědecko-technická konference pořádána ke 145. založení firmy [SIGMA] : 1868-2013. Lutín: Sigma Group, 2013. ISBN 978-80-905478-0-3.
- [11] E-čerpadla [online]. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: <https://www.e-čerpadla.cz/kalova-čerpadla-melnici-zarizeni-c-197.html>
- [12] Grundfos [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://cz.grundfos.com/s-tube-by-grundfos.html>
- [13] K+H-čerpací-technika-s.r.o. [online]. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: <http://www.cerpadla-hcp.cz/>
- [14] *Druhy čerpadel* [online]. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: <http://druhy-čerpadel.cz/hydrostaticka/>
- [15] *Euroarmatury* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.euroarmatury.eu/technologie-pro-odpadni-vody/čerpací-stanice-strate-awalift>

- [16] Wilo [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: https://wilo.com/cz/cs/V%C3%BDrobky-a-pou%C5%BEit%C3%AD/Hled%C3%A1n%C3%AD-konstruk%C4%8Dn%C3%AD-%C5%99ady/Wilo-EMUport-FTS_111.html
- [17] KSB [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://products.ksb.com/cs-cz/vyrobky/cerpadla-a-cerpaci-systemy/cerpadla-instalovana-v-mokre-jimce/cerpaci-stance/amads%C2%B3-28560>
- [18] Xylem [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://www.xylem.com/en-us/products-services/pumps-packaged-pump-systems/pumps/submersible-pumps/wastewater-pumps/n-technology-pumps/n-3102/curves/>
- [19] VAG [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.jmahod.cz/cs/novinky/vedeli-jste-ze/vedeli-jste-ze/details/proc-je-pro-zpetne-klapky-dulezita-prutocna-rychlost-pracovniho-media.html>
- [20] VAG [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: http://www.jmahod.cz/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&g=0&t=1526328525&hash=280e029366d11e97430b0e5e62c6787092a803b4&file=fileadmin/Productmanagement/File/KAT-A_6-2449-1_KRV_CS_01.pdf
- [21] DANĚK, Marek a Oldřich PÍREK. Asio [online]. 1.2. 2012 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/75.cerpani-odpadnich-vod-system-separace-pevných-latek>
- [22] Obec Písečná [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.pisecna.cz/zakladni-udaje/ms-1094/p1=1094>
- [23] PILAŘ, Josef. *Provozní řád splaškové kanalizace Písečná*. 2015.

SEZNAM TABULEK

Tab. 4.1 Vztažné otáčky čerpadel s asynchronními elektropohony [1].....	21
Tab. 9.1 Délka výtlačných řadů [23]	41
Tab. 10.1 Vstupní hodnoty	46
Tab. 10.2 Výpočet tlakových ztrát na potrubí z PE	47
Tab. 10.3 Výpočet tlakových ztrát potrubí z TLT	47
Tab. 10.4 Součet tlakových ztrát z TLT a PE potrubí	47
Tab. 10.5 Výpočet tlakových ztrát na potrubí z PE	48
Tab. 10.6 Výpočet tlakových ztrát na potrubí z TLT	48
Tab. 10.7 Součet tlakových ztrát z TLT a PE potrubí	48
Tab. 10.8 Vstupní hodnoty	50
Tab. 10.9 Stanovení tlakových ztrát	50
Tab. 10.10 Stanovení tlakových ztrát	50

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1: Rozdělení hydraulických strojů podle přeměny energie[1].....	11
Obr. 3.1: Oběžná kola čerpadel pro čistou vodu [1]	14
Obr. 3.2: Oběžná kola kalových čerpadel [3]	17
Obr. 4.1: Schéma dopravních výšek [8]	21
Obr. 5.1: Sériově spojená potrubí [2]	31
Obr. 6.1: Schéma jednoduchého hydraulického systému [2]	33
Obr. 8.1: Princip čerpání čerpací stanice STRATE AWALIFT [15]	38
Obr. 9.2 Schéma výtlaků [23].....	41
Obr. 9.3 Charakteristika čerpadla [18].....	45
Obr. 10.1 Pracovní bod čerpacího systému ČS1	49
Obr. 10.2 Tlakové poměry na výtlačném potrubí V1	49
Obr. 10.3 Pracovní bod čerpacího systému	51
Obr. 10.4 Tlakové poměry na výtlačném potrubí V2	51
Obr. 10.5 Modelace výtlačného řadu V1	52
Obr. 10.6 Modelace výtlačného řadu V2	52

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$E_m \dots$	mechanická energie [J]
$E_h \dots$	hydraulická energie [J]
$v_s \dots$	rychlost kapaliny v sacím hrdle čerpadla [$m \cdot s^{-1}$]
$v_v \dots$	rychlost kapaliny ve výtlačném hrdle čerpadla [$m \cdot s^{-1}$]
$v', v'' \dots$	rychlosti změny polohy hladin v nádržích [$m \cdot s^{-1}$]
$p_s \dots$	tlak v sacím hrdle čerpadla [Pa]
$p_v \dots$	tlak ve výtlačném hrdle čerpadla [Pa]
$H_g \dots$	geodetická výška [m]
$H_{gs} \dots$	geodetická výška sací [m]
$H_{gv} \dots$	geodetická výška výtlačná [m]
$Q \dots$	průtok [$m^3 \cdot s^{-1}$, $l \cdot s^{-1}$, $m^3 \cdot h^{-1}$]
$H \dots$	dopravní výška [m sl. k.]
$p \dots$	tlak [Pa]
$\rho \dots$	hustota [$kg \cdot m^{-3}$]
$g \dots$	tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]
$n \dots$	otáčky čerpadla [min^{-1}]
$Y \dots$	měrná energie [$J \cdot kg^{-1}$]
$p' \dots$	tlak nad hladinou v sací nádrži [Pa]
$p'' \dots$	tlak nad hladinou ve výtlačné nádrži [Pa]
$\sum Y_z \dots$	součet dílčích ztrát [$J \cdot kg^{-1}$]
$\sum H_z \dots$	součet dílčích ztrát [m]
$p_z \dots$	tlaková výška při čerpání viskózních kapalin [bar]
$P \dots$	mechanický příkon čerpadla [W]
$P_h \dots$	hydraulický výkon [W]
$c' \dots$	rychlost klesající hladiny sací nádrže [$m \cdot s^{-1}$]
$s' \dots$	svislá vzdálenost sacího hrdla od vstupu [m]
$\chi \dots$	odporový součinitel [-]
$\lambda \dots$	součinitel třecích ztrát [-]
$l \dots$	délka úseku potrubí [m]
$d \dots$	průměr potrubí [m]
$C_{xo} \dots$	součinitel hydraulického odporu částice [-]
$\rho_s \dots$	hustota pevné fáze [kg/m^3]
$\rho_v \dots$	hustota kapaliny [kg/m^3]

$\eta \dots$	celková účinnost čerpadla [%]
$\rho_m \dots$	střední hodnota hydrosměsi [kg.m^{-3}]
$w \dots$	pádová rychlost idealizované kruhové částice [m/s]
$H_0 \dots$	závěrný bod čerpadla [m]
$\xi \dots$	odporový součinitel [-]
$\psi \dots$	tlakové číslo [-]
$n_q \dots$	měrné otáčky [min^{-1}]
$H_{zm} \dots$	místní ztráty [m]
$H_{zt} \dots$	ztráty třením [m]

SEZNAM PŘÍLOH

1. Technický list čerpadla
2. Situace výtlaků

SUMMARY

The bachelor thesis deals with the correct design of the pumping system.

The aim of the bachelor thesis was the hydraulic assessment of the selected pumping system, comprising two separate pumping stations and two discharge lines in the village of Písečná.

The village of Písečná is located in the Olomouc Region in the district of Jeseník. It lies on the Bela River and its cadastral area, with an area of 844 hectares, is part of the protected landscape area of the Jeseníky. The local parts of the village are Písečná, Studený Zejf, Chebzi.

The thesis is divided into two parts, theoretical and practical. The first part of the research deals with the distribution of the pumps currently used for pumping water. There are described in detail various types of impellers used in sludge pumps.

The second part deals with a separate hydraulic design of the pumps, with the main design parameters described here. We are also familiar with the determination of the pipe characteristics and the calculation of the operating point of the entire hydraulic system.

In the next part of our work, we learn about waste water pumping. We can learn here about the risks associated with their transportation.

The search is completed with a chapter on pumping stations intended for pumping waste water. Part of this chapter focuses on solids separation systems.

In the practical part a separate assessment was solved. The main task was to assess the suitability of the selected pump, its efficiency and the pressure conditions on the displacement line.