

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA ZDRAVOTNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ



**STUDIE NOVÉ KONCEPCE ČERPÁNÍ SUROVÉ VODY
NA ÚPRAVNU VODY SOJOVICE**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

KAREL ŘEHÁČEK

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Bohumil Šťastný, Ph.D.

12/2016

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Řeháček** Jméno: **Karel** Osobní číslo: **396417**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra zdravotního a ekologického inženýrství**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Vodní hospodářství a vodní stavby**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Studie nové koncepce čerpání surové vody na úpravnu vody Sojovice

Název diplomové práce anglicky:

A study new concept pumping raw water to the Water Treatment Plant Sojovice

Pokyny pro vypracování:

Cílem diplomové práce je posoudit stávající stav a využitelnost čerpadel M1, M2, M3 a M4, umístěných v čerpací stanici surové vody na umělé infiltraci zdroje pitné vody Káraný a navrhnout opatření pro postupnou rekonstrukci a optimalizaci čerpání surové vody na úpravnu vody Sojovice s ohledem na zvýšení spolehlivosti a snížení provozních nákladů. Součástí Dp je provedení rešerše, obecný popis problému.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Bohumil Šťastný Ph.D., katedra zdravotního inženýrství

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **11.10.2016** Termín odevzdání diplomové práce: **08.01.2017**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, 24. 12. 2016

.....
Bc. Karel Řeháček

Poděkování:

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Bohumilu Šťastnému, Ph.D. za připomínky a pomoc při zpracování této práce.

Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům Vodárny Káraný, a.s. a zvláště pak generálnímu řediteli Mgr. Marku Skalickému, za ochotu a možnost zpracování této diplomové práce na tak unikátním zdroji pitné vody jako je umělá infiltrace v Káraném.

Na závěr bych také rád poděkoval Ing. Ivanu Francovi ze společnosti ERMEX ENGINEERING, spol. s r.o. za odborné konzultace a rady, které mi při vypracování diplomové práce velice pomohly.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá posouzením a návrhem nové koncepce čerpání surové vody z řeky Jizery na úpravnu vody Sojovice, která je součástí umělé infiltrace na zdroji pitné vody Káraný. V teoretické části jsou rozdělena a popsána čerpadla používaná ve vodárenství se zaměřením na nejčastěji používaná hydrodynamická čerpadla a stručně uveden postup a důležité zásady, na které je zapotřebí brát zřetel při návrhu čerpadel. Praktická část vyhodnocuje čerpadla M1, M2, M3 a M4, posuzuje stávající koncepci čerpání surové vody a stav stávajících čerpadel. Dále je v praktické části navržena nová koncepce čerpání surové vody na úpravnu vody Sojovice, s ohledem na snížení nákladů spojených s čerpáním vody, včetně návrhu nových čerpadel, posouzení jejich vzájemného souběhu a návrhu napojení na stávající výtlačné potrubí. V rámci návrhu je provedeno ekonomické posouzení stávající koncepce čerpací stanice oproti nově navrhovaného řešení.

KLÍČOVÁ SLOVA:

čerpací stanice, čerpadla, potrubí, tlakové ztráty

Abstract

This thesis deals with the assessment and design of the new concept of pumping raw water from the river Jizera on Water Treatment Plant Sojovice, which is a part of the artificial infiltration in Káraný water source. In the theoretical part are divided and described pumps used in water supply, with a focus on the most commonly used hydrodynamic pumps and briefly describe the procedure and important principles that need to be taken into account in the design of pumps. The practical part evaluates the pump M1, M2, M3 and M4, assesses the current concept of pumping raw water and the condition of the existing pumps. Further, in practical part designed a new concept of pumping raw water to the water treatment plant Sojovice, with a view to reducing the costs associated with the water, including a proposal for new pumps, an assessment of their mutual concurrence and design integration with existing discharge pipe. As part of the proposal made economic assessment of the existing concept of pumping station opposed to the new proposed solution.

KEYWORDS:

Pumping stations, pumps, pipes, pressure drop

STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE

Cílem teoretické části diplomové práce je seznámit čtenáře s problematikou čerpadel používaných ve vodárenství a naznačit postup výpočtu při návrhu čerpadla.

Cílem praktické části diplomové práce je

- posoudit stávající stav a využitelnost technologie čerpací stanice surové vody a to zejména čerpadel M1, M2, M3 a M4 a potrubního systému čerpací stanice.
- navrhnout opatření pro postupnou rekonstrukci a optimalizaci čerpání surové vody na úpravu vody Sojovice s ohledem na zvýšení spolehlivosti a snížení provozních nákladů.
- Posoudit stávající stav s nově navrženým stavem.

Hlavní snahou nynějšího provozovatele, Vodárna Káraný a.s., je zajistit trvale udržitelný a spolehlivý provoz čerpací stanice surové vody s ohledem na její strategický význam. Čerpací stanice musí být schopna trvalého ekonomického provozu v rozsahu běžných průtoků 400 až 650 l/s a současně musí být schopna v případě potřeby zajistit špičkový průtok až do 1950 l/s, například při výpadku úpravny vody Želivka, což by způsobilo nedostatek pitné vody pro Prahu.

OBSAH

STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE.....	5
1 TEORETICKÁ ČÁST	9
1.1 REŠERŠE	9
1.2 ÚVOD.....	9
1.3 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ ČERPATEL.....	10
1.3.1 OBECNĚ	10
1.3.2 ROZDĚLENÍ ČERPATEL	10
1.3.3 HYDROSTATICKÁ ČERPADLA	10
1.3.4 HYDRODYNAMICKÁ ČERPADLA	11
1.3.5 SPECIÁLNÍ ČERPADLA.....	13
1.4 ZÁKLADNÍ POJMY.....	13
1.5 PRVKY HYDRAULICKÉHO SYSTÉMU.....	14
1.6 CHARAKTERISTIKA POTRUBÍ.....	15
1.7 CHARAKTERISTIKA ČERPADLA.....	17
1.7.1 ÚČINNOST ČERPADLA	19
1.7.2 SACÍ SCHOPNOST ČERPADLA – NPSH	20
1.7.2.1 NPSH _A	21
1.7.2.2 NPSH _R	21
1.7.2.3 POSOUZENÍ NPSH _R a HPSH _A	21
2 PRAKTICKÁ ČÁST	22
2.1 ÚVOD.....	22
2.1.1 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI	22
2.2 STÁVAJÍCÍ STAV.....	23
2.2.1 STAVEBNÍ ŘEŠENÍ ČSSV	25
2.2.2 STRUČNÝ POPIS TECHNOLOGIE	26
2.2.3 STRUČNÝ POPIS ELEKTORINSTALACE	28

2.3	STÁVAJÍCÍ ČERPADLA	29
2.3.1	ČERPADLO M1	29
2.3.2	ČERPADLO M2	32
2.3.3	ČERPADLO M3	34
2.3.4	ČERPADLO M4	36
2.4	POTRUBNÍ SYSTÉM.....	38
2.5	VYHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍCH ČERPADEL	40
2.5.1	ČERPADLO M1	41
2.5.2	ČERPADLO M2	44
2.5.3	ČERPADLO M3	47
2.5.4	ČERPADLO M4	50
2.5.5	CELKOVÉ ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE ČERPÁNÍ.....	53
2.5.6	ENERGETICKÁ NÁROČNOST – stávající stav	54
2.6	NÁVRH NOVÉ KONCEPCE ČERPÁNÍ SUROVÉ VODY	54
2.6.1	ZACHOVÁNÍ STÁVAJÍCÍ KONCEPCE	54
2.6.2	ÚPRAVA KONCEPCE ČERPÁNÍ – NÁVRH NOVÝCH PARAMETRŮ ČERPADEL	55
2.7	NÁVRH ČERPADEL PRO NOVOU KONCEPCI	56
2.7.1	POŽADAVKY NA ČERPADLA	58
2.7.2	ČERPADLO M1 a M2	59
2.7.3	ČERPADLO M4	63
2.7.4	POSOUZENÍ.....	66
2.7.5	ENERGETICKÁ NÁROČNOST – nový stav	67
2.8	NÁVRH ETAPIZACE VÝSTAVBY.....	68
3	VYHODNOCENÍ A ZÁVĚR	68
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	70
	SEZNAM POUŽITÝCH PODKLADŮ	72

SEZNAM PŘÍLOH	72
SEZNAM OBRÁZKŮ	72
SEZNAM TABULEK	74

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 REŠERŠE

Literaturu týkající se návrhu a provozu čerpadel a čerpacích stanic je všeobecně dobře dostupná a je jí nepřehledné množství. Ať už se jedná o vysokoškolská skripta, odbornou literaturu nebo firemní podklady výrobců čerpadel jako jsou např. GRUNDFOS, SIGMA, KSB, WILO atd. V české legislativě se návrhu vodárenských čerpacích stanic věnuje norma ČSN 75 5301 z července 2014. Dále je nutné se při navrhování vodárenských čerpacích stanic držet zásad uvedených v ČSN EN 805 (Požadavky na vnější sítě a jejich součásti) ze srpna 2001. Tyto normy jsou velmi dobrou pomůckou při navrhování nové čerpací stanice, ale při rekonstrukci stávajících čerpacích stanic se často dostáváme kolize a to předem z dispozičních důvodů daného provozu.

Základní principy a fungování čerpadel se ovšem příliš nemění. Vývoj stále účinnějších čerpadel je dosahován především díky „pilování detailů“ samotného čerpadla a jeho pohonu. Naprostou většinu čerpadel pohání elektromotor. Dle dohledaných zahraničních i tuzemských článků se domnívám, že právě vývoj účinnějších elektromotorů má v současné době nejvyšší podíl na zvyšování účinnosti celého systému, a tak efektivně přeměně elektrické energie na energii hydraulickou. Zároveň je kladen čím dál větší důraz na správnost návrhu celého systému a to vč. potrubí a armatur. Právě správným návrhem celku je dle mého názoru možné dosáhnout efektivního a úsporného čerpání vody ve vodárenství. Můžeme to dobře sledovat například v Německu, kde v některých případech osazují potrubí a armatury s keramickou vnitřní vystýlkou tak, aby byla ztráta energie při dopravě vody co nejnižší. Pořizovací náklady jsou ovšem výrazně vyšší a zřejmě proto se v České Republice tyto instalace zatím neobjevují.

1.2 ÚVOD

V teoretické části diplomové práce se věnuji čerpadlům obecně. Uvádím velmi stručné rozdělení čerpadel a dále se podrobněji zabývám nejčastěji využívanými čerpadly ve vodárenství, kterými jsou hydrodynamická odstředivá čerpadla. Uvádím důležité pojmy, princip fungování a návrhu čerpadel, související hydraulické výpočty a zásady pro ekonomický a udržitelný provoz.

1.3 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ ČERPADEL

1.3.1 OBECNĚ

Čerpadla jsou obecně energetické stroje, které dodávají měrnou energii kapalině. Transformuje se v nich mechanická energie přidaná z vnějšího zdroje na energii hydraulickou. [15]

Čerpadlo zvyšuje pomocí statického nebo dynamického prvku energii kapaliny. Zvýšení energie (tlakové, polohové nebo kinetické) se ve vodárenství nejčastěji využívá k dopravě kapaliny z bodu A do bodu B. Čerpaným médiem nemusí být pouze voda res. látka v kapalném skupenství, ale čerpány mohou být i vícefázové směsi kapalin a pevných částic tzv. suspenze, případně i plyny ve formě bublinek obsažených ve směsi. Z důvodů velké rozmanitosti čerpaného média je sortiment vyráběných čerpadel široký, přičemž každé čerpadlo je vhodné na odlišné provozní podmínky. [15] [16]

1.3.2 ROZDĚLENÍ ČERPADEL

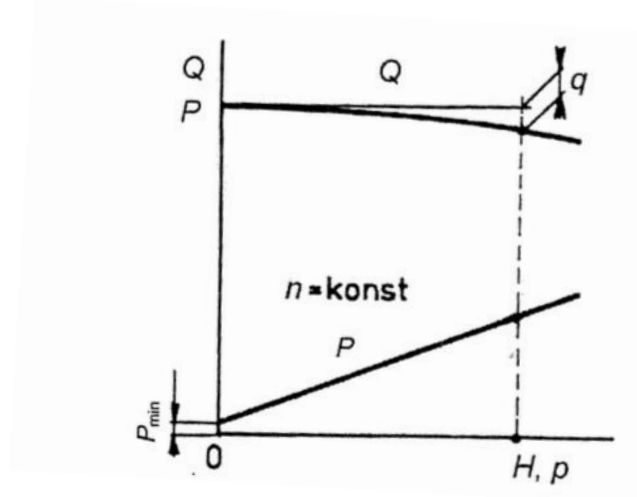
Samotné rozdělení a rozřazení čerpadel je poměrně obtížná problematika. Čerpadla je možné rozdělovat podle velkého množství kritérií, vlastností a charakteristik, které se ale velmi často vzájemně prolínají. [14]

Všechna čerpadla se dělí do tří základních skupin, a to podle způsobu předávání energie čerpanému médiu na: [3]

- 1) Hydrostatická čerpadla
- 2) Hydrodynamická čerpadla
- 3) Speciální čerpadla (ostatní čerpadla)

1.3.3 HYDROSTATICKÁ ČERPADLA

Transformace mechanické energie na hydraulickou vzniká působením pracovního cyklu stroje, nejčastěji pístu, membrány, zubu, vřetena lamely nebo vačky. Často jsou tato čerpadla označována jako objemová. Tlak kapaliny v činném procesu stroje je hydrostatický. Účelem hydrostatických čerpadel je především výrazné zvyšování tlaku kapaliny při malých průtocích. Stroj vytlačuje daný objem kapaliny z pracovního prostoru. Vznikající průtok proto není rovnoměrný a dochází k pulzacím. [16] [3] [2]



Obr. 1 - vzorová charakteristika hydrostatického čerpadla [3]

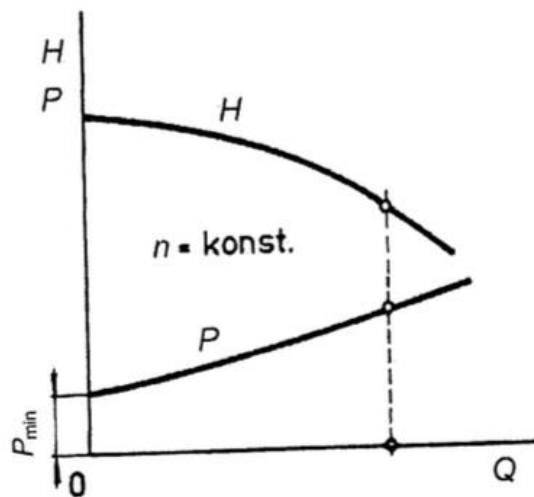
Q – průtok ($m^3 \cdot s^{-1}$), p – tlak (Pa), H – dopravní výška (m), P – příkon (kW),

P_{min} – minimální příkon při $Q=0$ (kW), n – otáčky (min^{-1})

1.3.4 HYDRODYNAMICKÁ ČERPADLA

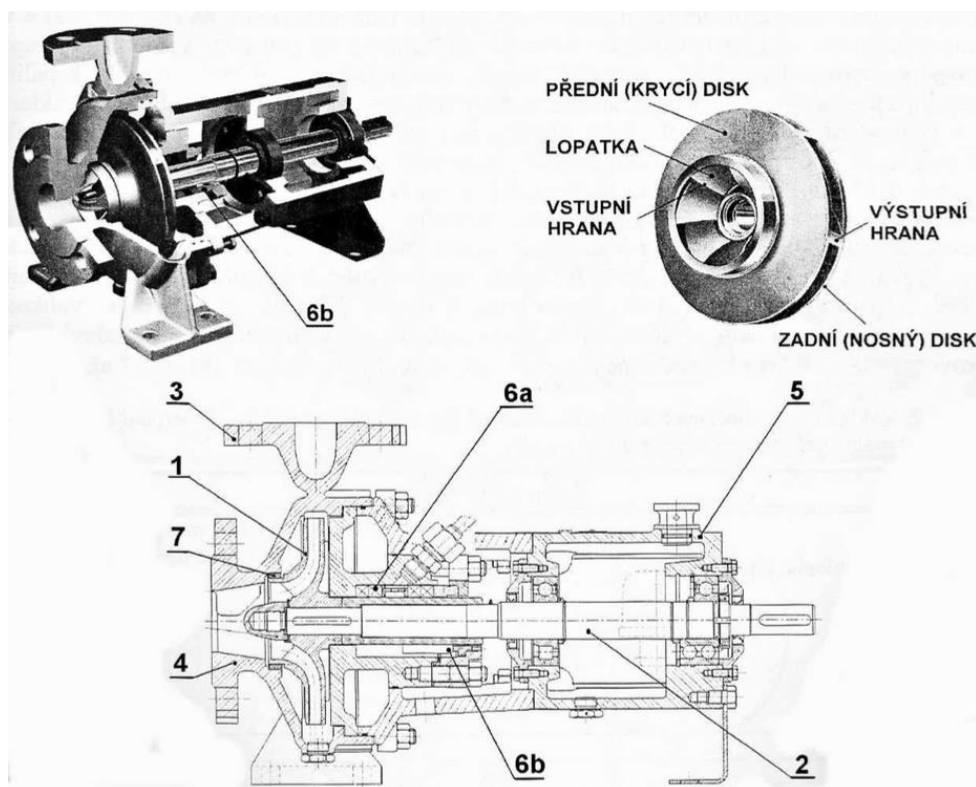
Transformace mechanické energie na hydraulickou probíhá pomocí rotujícího oběžného kola. Oběžné kolo předává kapalině moment hybnosti. Nejvýznamnějšími konstrukčními znaky hydrodynamických čerpadel jsou: [13] [3]

- Počet stupňů (vícestupňové, jednostupňové)
- Počet proudů v oběžném kole (jednoproudové, víceproudové)
- Skříň (radiální, axiální)
- Poloha hřídele (horizontální, vertikální)
- Typ provozu res. typ elektromotoru (suchý, ponorný, ponorný umožňující provoz v suché jímce atd..)



Obr. 2 - vzorová charakteristika hydrodynamického čerpadla [3]

Q – průtok ($m^3 \cdot s^{-1}$), p – tlak (Pa), H – dopravní výška (m), P – příkon (kW),
 P_{min} – minimální příkon při $Q=0$ (kW), n – otáčky (min^{-1})



Obr. 3 - odstředivé čerpadlo [3]

1 – oběžné kolo, 2 – hřídel, 3 – spirální skříň, 4 – sací hrdlo, 5 – ložiskové těleso,
 6a, 6b – ucpávky, 7 – těsnicí kroužek

1.3.5 SPECIÁLNÍ ČERPADLA

Mezi speciální čerpadla se řadí například vodní trkače, čerpadla mamutová, proudová a čerpadla s bočními kanály.

1.4 ZÁKLADNÍ POJMY

Znalost základních pojmů týkající se čerpadel a čerpací techniky výrazně zjednodušuje orientaci v problematice a umožňuje jednoduché a jasné dorozumívání mezi výrobcí projektanty, investory či zhotoviteli.

Definice základních pojmů k problematice čerpadel jsou definována v harmonizovaných normách:

ČSN EN ISO 17769-1 Kapalinová čerpadla a čerpací zařízení – Obecné termíny, definice, veličiny, písemné značky a jednotky – Část 1: Kapalinová čerpadla,

ČSN EN ISO 17769-2 Kapalinová čerpadla a čerpací zařízení – Obecné termíny, definice, veličiny, písemné značky a jednotky – Část 2: Čerpací systém

ČSN 75 0150 Vodní hospodářství – Terminologie vodárenství.

Zde uvádím pouze pár základních pojmů: [6] [7] [5]

- **Čerpadlo** – mechanické zařízení pro dopravu kapalin
- **Čerpací zařízení** – potrubní prvky přenášející kapalinu z a do čerpadla
- **Čerpací systém** (čerpací soustava) – čerpací zařízení ve spojení s jedním či více čerpadly, často i poměrně složitý, účelem je bezpečný a hospodárný přenos kapaliny nebo zvýšení tlaku
- **Čerpací soustrojí** – čerpadlo s hnacím strojem (nejčastěji elektromotorem) a příslušenstvím
- **Automatická tlaková stanice** (ATS) - typ čerpací stanice, ve které jako akumulární prvek slouží tlaková nádoba
- **Vodárenská čerpací stanice** – slouží k zásobování obyvatelstva pitnou vodou, se stávající z čerpacího soustrojí, potrubí s příslušenstvím a zařízení k akumulaci tlakové vody, automatický provoz

1.5 PRVKY HYDRAULICKÉHO SYSTÉMU

Hydraulický systém je sestava zařízení sloužící k přepravě kapaliny. Skládá se z více samostatných prvků, které se ovšem vzájemně ovlivňují. Bez znalosti charakteristik a vlastností jednotlivých prvků systému není možné správně navrhnout nový prvek či upravit stávající. Při komplexním řešení hydraulického systému se vychází z místních podmínek, které většinou definuje provozovatel či investor jako jsou např. jmenovitý tlak, požadovaný průtok, požadovaná statická dopravní výška, spolehlivost atd. Díky tomu je každý systém odlišný je zapotřebí, ke každému hydraulickému systému přistupovat individuálně. [16] [1]

Základními prvky hydraulického systému v čerpací technice mohou být:

Nádrže, jímký, tlakové nádoby atd. – prvky sloužící k akumulaci vody

Potrubí a armatury – slouží k dopravě kapaliny mezi jednotlivými prvky systému a zároveň k usměrnění či úpravě hydraulických podmínek. Mohou to být například:

- trubky, hadice, roury, žlaby, kanály, štoly
- Uzavírací a regulační armatury (šoupata, klapky, ventily, redukční ventily, kohouty atd.)
- Spoje (příruby, svary, hrdlové či lepené spoje, šroubení, spojky, adaptéry atd.)
- Tvarovky (T-kusy, kolena, redukce, odbočky, TT – kusy, patková kolena atd.)
- Zvláštní tvarovky (montážní vložky, kompenzátory atd.)
- Další armatury (odvzdušňovací ventil, pojistné, vypouštěcí či ochranné armatury)

Čerpadla - Dodávají energii celému systému (výjimkou je například gravitační vodovod)

Kontrolní a měřicí přístroje – měření tlaku, průtoku, teploty, vibrací, hluku, příkonu, výkonu atd.

Hydraulický čerpací systém většinou spojuje nádrže s různou potenciální energií. Při navrhování se snažíme dosáhnout co možná nejvíce hospodárného řešení s dlouhou životností a spolehlivostí při co nejnižších pořizovacích nákladech a investic. [15] [3]

1.6 CHARAKTERISTIKA POTRUBÍ

Každý potrubní systém má odlišnou charakteristiku tedy závislost dopravní výšky H na průtoku Q . Tato závislost se může vyjádřit graficky a nazývá se charakteristikou potrubí. Celý výpočet charakteristiky potrubí je založena na Bernoulliho rovnici a rovnici kontinuity. Obě tyto rovnice počítají se stlačitelnými a vazkými kapalinami. Ve většině případů může uvažovat kapalinu jako nestlačitelnou a vazkou, jelikož ve vodním hospodářství nejčastěji čerpáme právě vodu a ta má velice malou stlačitelnost. Výpočtem se snažíme stanovit úbytek měrné energie v potrubí neboli hydraulickou ztrátu. Ztráta energie je způsobena především třením o stěny potrubí (ztráty třením) a ztráty v jednotlivých armaturách (ztráty místní).

Měrná energie se vyjadřuje převážně ve strojírenství. Ve vodním hospodářství se počítá převážně s tlaky. V tomto případě je tlak vyjádřen v metrech vodního sloupce. Převodní vztah mezi měrnou energií ($\text{J}\cdot\text{Kg}^{-1}$) a metry vodního sloupce ($\text{m}\cdot\text{v}\cdot\text{s}$) vypadá následovně: [3] [2] [13]

$$Y = \frac{H}{g}$$

kde: H – vyjádření energie v tlaku vodního sloupce (m)
 g – gravitační zrychlení ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)
 Y – měrná energie ($\text{J}\cdot\text{Kg}^{-1}$)

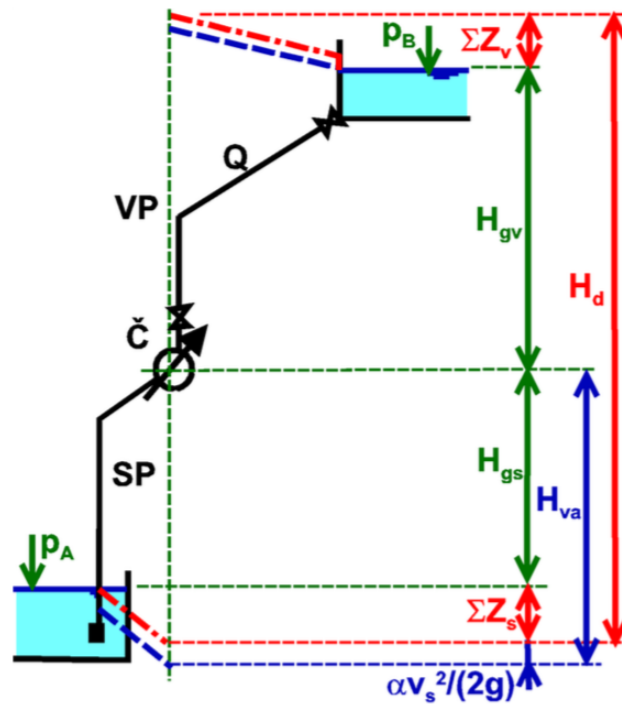
Výchozí rovnice pro výpočet charakteristiky potrubím je Bernoulliho rovnice. Z té určíme hodnotu dopravní výšky pro zvolený průtok Q .

$$H = H_g + \frac{p_B - p_A}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha \cdot v_B^2 - \alpha \cdot v_A^2}{2g} + \sum Z_l + \sum Z_m$$

Kde: H – dopravní výška (m)
 H_g – geodetická výška (rozdíl hladin v sací a výtlačné nádrži) (m)
 p_B, p_A – tlak ve výtlačné, resp. sací nádrži (pa)
 α – Coriolisovo číslo, součinitel kinetické energie (-)
(v běžných technických výpočtech $\alpha=1,0$)
 v_B, v_A – rychlost ve výtlačné, resp. sací nádrži ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
 ρ – objemová hmotnost dopravované kapaliny ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

g – gravitační zrychlení

($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)



Obr. 4 - soustava potrubí – čerpadlo [11]

Q – průtok ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$), p_B, p_A – tlak ve výtlačné, resp. sací nádrži (Pa), H_d – celková dopravní výška (m), H_{gs}, H_{gv} – geodetická sací resp. výtlačná výška (m), SP, VP – sací resp. výtlačné potrubí, \check{C} – čerpadlo, Z_s, Z_v – ztráty na sání resp. výtlačku

V předpokladu dostatečně velkých nádrží můžeme zanedbat pohyb hladiny a tak i rychlost v_B a v_A . po úpravě dostáváme obecný předpis:

$$H = H_g + \frac{p_B - p_A}{\rho \cdot g} + \sum Z$$

H – dopravní výška (m)

H_g – geodetická výška (rozdíl hladin v sací a výtlačné nádrži) (m)

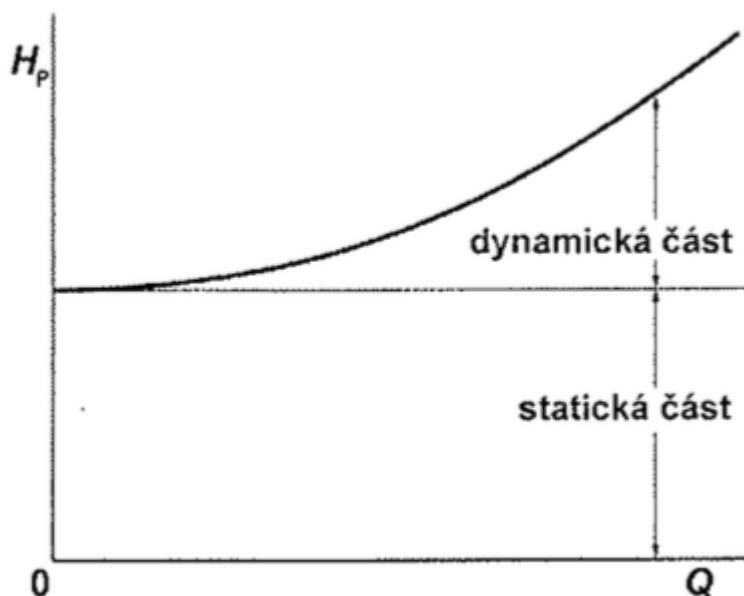
p_B, p_A – tlak ve výtlačné, resp. sací nádrži (pa)

ρ – objemová hmotnost dopravované kapaliny ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

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

Z – ztráty ($\text{m}\cdot\text{v}\cdot\text{s}$)

Na Obr. 5 je znázorněna výsledná charakteristika potrubí. Na vodorovné ose je vynesena průtok potrubním systémem a na horizontální ose statická část dopravní výšky (neboli rozdíl hladin v nádržích a dynamická část dopravní výšky (způsobená ztrátami v potrubí a armaturách). [3] [10]



Obr. 5 - charakteristika potrubního systému [3]

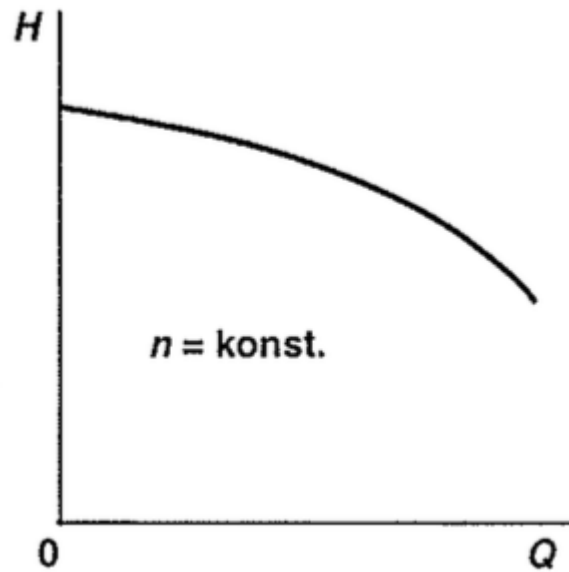
Q – průtok ($m^3 \cdot s^{-1}$), H_p – dopravní výška (m)

1.7 CHARAKTERISTIKA ČERPADLA

Každý typ čerpadla je konstruován na jiné parametry a má tak odlišné vlastnosti a charakteristiku. Hlavní parametry čerpadel jsou:

- Dopravní výška – Označovaná jako „H“, jedná se o energii, který se předá k kapalině je vyjádřena v metrech vodního sloupce.
- Průtok - Označován jako „Q“, je daný objem kapaliny, který je za časovou jednotku vytlačen z výtlačného hrdla čerpadla. Nejčastěji je vyjádřen v m^3/s či l/s .
- Otáčky - Označovány jako „n“, uvádějí počet otáček oběžného kola čerpadla a charakterizují pohon.

Vztah mezi průtokem Q a dopravní výškou H při zachování konstantních otáček čerpadla n se nazývá Q-H charakteristika čerpadla. Na Obr. 6 je znárodněn typický tvar charakteristiky odstředivého čerpadla.



Obr. 6 - charakteristika odstředivého čerpadla [3]

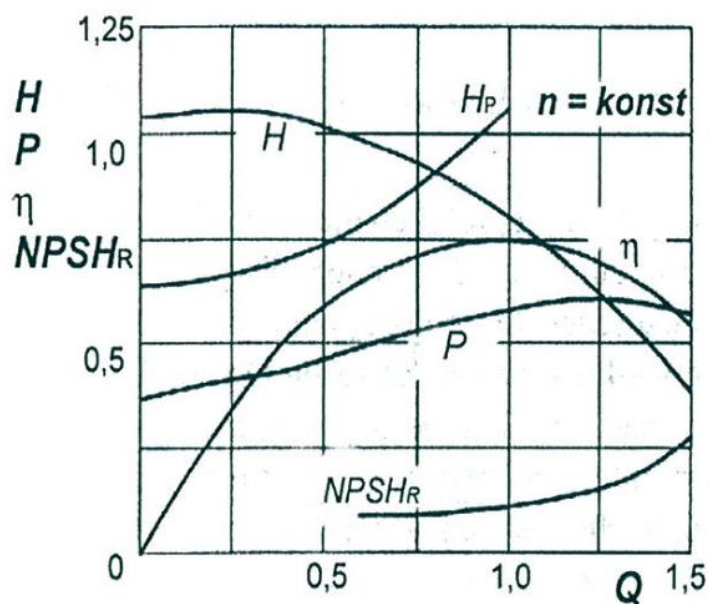
Q – průtok ($m^3 \cdot s^{-1}$), H_p – dopravní výška (m), n – otáčky (min^{-1})

Když vykreslíme charakteristiku čerpadla Obr. 6 a charakteristiku potrubí Obr. 5 do jednoho grafu, tak se v jednom bodě obě křivky protnou. Tento bod se nazývá „pracovní bod“ a je to místo v kterém nastává rovnováha energie dodané čerpadlem a energie spotřebované v potrubním systému.

Kromě základní parametrů čerpadla (Q, H, n) nás zajímají i přidružené parametry čerpadla, které nás informují o provozních vlastnostech, pro dosažení hospodárného a dlouhodobě udržitelného provozu. Jedná se o křivky: [15] [3] [16]

- **Q- η** Která popisuje závislost účinnosti čerpadla na protékaném množství. Účinnost čerpadla má přímý vliv na ekonomiku provozu. Například pořídíme-li levné čerpadlo s nízkou účinností může se stát, že ušetřené finance velice rychle zaplatíme na spotřebované energii. Q- η křivka je tedy jeden z hlavních faktorů ovlivňující budoucí náklady na provoz stroje.
- **Q-NPSH_R** Která nás informuje o tlakových poměrech od sacím hrdle čerpadla k oběžnému kolu. Příliš nízké tlaky na sání čerpadla mohou způsobovat kavitaci, a tak negativně působit na celé čerpadlo a snížit tak jeho životnost.
- **Q-P** Která udává potřebný příkon čerpadla a rozhoduje tak o pohonu čerpadla.

Jednotlivé křivky jsou znázorněny v grafu na Obr. 7



Kde je:

H – dopraní výška čerpadla

H_p – charakteristika potrubí

P – příkon čerpadla

η – celková účinnost

$NPSH_R$ – kritická kavitační deprese

Obr. 7 - charakteristika odstředivého čerpadla s přidruženými parametry [3]

1.7.1 ÚČINNOST ČEPADLA

Při návrhu čerpadla do daného systému nás v zajímá hlavně účinnost čerpadla pro dané pracovní podmínky. Účinnost čerpadla uvádí hospodárnost přeměny dodané energie na energii hydraulickou. Celková účinnost čerpadla se skládá z

- **hydraulické účinnosti** – charakterizuje množství ztrát vzniklé v důsledku místních ztrát a ztrát třením v tělese čerpadla vzniklé díky vazkosti kapaliny.
- **objemové účinnosti** – množství ztrát vzniklé rozdílem teoretického průtoku a skutečného průtoku. Tento rozdíl je způsoben konstrukčními netěsnostmi.
- **mechanické účinnosti** – množství ztrát v mechanikách převodech, ložiskách ucpávkách atd.

Celkovou účinnost můžeme tedy definovat následujícím vzorcem. [16] [3]

$$\eta = \eta_h \cdot \eta_o \cdot \eta_m$$

Kde:	η - celková účinnost	[-]
	η_h – hydraulická účinnost	[-]
	η_o – objemová účinnost	[-]
	η_m – mechanická účinnost	[-]

Obecně se dá účinnost vyjádřit jako poměr hydraulického výkonu k příkonu čerpadla.

$$\eta = \frac{P_u}{P} = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{M \cdot \omega}$$

Kde:	η - celková účinnost	[-]
	P_u – výkon čerpadla, též hydraulický výkon	[W]
	P – mechanický příkon čerpadla	[W]
	ρ – objemová hmotnost dopravované kapaliny	[kg.m ⁻³]
	g – gravitační zrychlení	[m.s ⁻²]
	H – dopravní výška	[m]
	Q – objemový průtok	[m ³ s ⁻¹]
	M – krouticí moment na hřídeli	[N.m]
	ω – úhlová rychlost hřídele	[s ⁻¹]

1.7.2 SACÍ SCHOPNOST ČERPADLA – NPSH

NPSH je zkratka anglického „Net Positive Suction Head“ v češtině „Čistá pozitivní sací výška“. Je to parametr charakterizující sací stranu čerpadla od sacího hrdla k oběžnému kolu. NPSH je důležitý parametr pro zamezení vzniku kavitace v čerpadle.

Kavitace vzniká při poklesu tlaku v kapalině na hodnotu tlaku nasycených par. Při kavitaci vzniká dvoufázové proudění způsobené přeměnou vody do plynného skupenství. Vzniknou malé dutiny (bubliny). Tyto dutiny v místě zvýšeného tlaku zaniknou, a to je doprovázeno hydraulickým rázem spojeným s poruchou proudu. Zánik dutin je doprovázen vibracemi, hlukem a kavitační erozí. To má negativní vliv na čerpadlo, a hlavně na oběžné kolo ve

kterém se můžou díky kavitační erozi vymlátit dutiny a oběžné kolo nenávratně znehodnotit. [3] [13] [1]

1.7.2.1 NPSH_A

NPSH_A je zkratka anglického „Net Positive Suction Head Available“ v češtině „Dostupná čistá pozitivní sací výška“. Je to energetická výška, definována ztrátami sacího řadu od hladiny sací nádrže k ose sacího hrdla čerpadla. NPSH_A je závislá na sacím potrubí a provozních požadavcích (převážně na průtoku Q) a vlastnostech kapaliny (tlaku nasycených par kapaliny) je definována jako. [1] [3]

$$NPSH_A = \frac{P_a - P_w}{\rho g} - Z_{t,s} - Z_{m,s} + h_s$$

Kde:	p_a – absolutní tlak působící na hladinu v sací nádrži	[Pa]
	p_w - tlak nasycených par	[Pa]
	ρ – objemová hmotnost dopravované kapaliny	[kg.m ⁻³]
	g – gravitační zrychlení	[m.s ⁻²]
	$Z_{t,s}$ – třecí ztráty v sacím potrubí	[m]
	$Z_{m,s}$ – místní ztráty v sacím potrubí	[m]
	h_s – převýšení sací nádrže od osy sacího hrdla čerpadla	[m]

1.7.2.2 NPSH_R

NPSH_R je zkratka anglického „Net Positive Suction Head Required“ v češtině „Požadovaná čistá pozitivní sací výška“. Je to parametr, který měří výrobce čerpadla v laboratoři a uvádí sací schopnost čerpadla. Tento parametr charakterizující pokles energie od osy sacího hrdla po oběžné kolo, tedy stanovuje hydraulickou ztrátu energie kapaliny v metrech vodního sloupce při daném průtoku Q.

1.7.2.3 POSOUZENÍ NPSH_R a HPSH_A

Posouzením odstředivých čerpadel třídy II a III se zabývá ČSN EN ISO 5199 Technické požadavky pro odstředivá čerpadla – Třída III, resp. ČSN ISO 9908 Technické požadavky pro odstředivá čerpadla – Třída III musí být bezpečnostní rezerva v rozdílu NPSH_A a NPSH_R minimálně 0,5 m, pro třídu I je v ČSN ISO 9905 Technické požadavky pro odstředivá čerpadla – Třída I požadována rezerva tvořit 10% NPSH_A, minimálně však 0,5 m. [17] [3]

Hodnota $NPSH_R$ roste s přibývajícím průtokem, je definována konstrukcí čerpadla a nejde ovlivňovat. Naproti tomu hodnotu $NPSH_A$ může snadno zvýšit změnou průměru sacího potrubí či usazením čerpadla na nižší výškovou kótu, za předpokladu, že to dovolí dispoziční možnosti. Příliš velká rezerva ale klade vyšší nároky na ucpávku čerpadla, a naopak rezerva příliš malá může vést až k extrémnímu případu, kdy kavitace začne vznikat vlivem kolísání atmosférického tlaku a teploty čerpané vody. [3]

2 PRAKTICKÁ ČÁST

2.1 ÚVOD

V praktické části diplomové práce se zabývám vyhodnocením stávajícího stavu a provozu čerpadel na čerpací stanici surové vody pro úpravnu vody Sojovice. Uvádím popis stávající technologie čerpání a výsledky provozní zkoušky provedené za účelem zjištění hydraulických poměrů v systému. Dále se věnuji návrhu nové koncepce čerpání surové vody na rychlofiltry úpravny vody Sojovice. Součástí nové koncepce čerpání je návrh nových čerpadel, posouzení možnosti souběhu více čerpadel, roční bilance energie ve srovnání se stávajícím stavem a návrh etapizace výstavby.

2.1.1 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cílem této diplomové práce je posoudit stávající stav a využitelnost čerpadel M1, M2, M3 a M4 a navrhnout opatření pro postupnou rekonstrukci a optimalizaci čerpání surové vody na úpravu vody Sojovice s ohledem na zvýšení spolehlivosti a snížení provozních nákladů.

Tato úpravna je spolu s čerpací stanicí surové vody součástí umělé infiltrace zdroje pitné vody Káraný. Umělá infiltrace v Káraném je v provozu již 48 let. Postupně dochází k modernizaci a rekonstrukci starších technologií ve snaze přizpůsobit provoz aktuálním požadavkům na kvalitu a výrobu pitné vody.

Hlavní snahou nynějšího provozovatele, Vodárna Káraný a.s., je zajistit trvale udržitelný a spolehlivý provoz čerpací stanice surové vody s ohledem na její strategický význam (viz úvod kap. 2.2). Čerpací stanice musí být schopna trvalého ekonomického provozu v rozsahu běžných průtoků 400 až 650 l/s a současně musí být schopna v případě potřeby zajistit

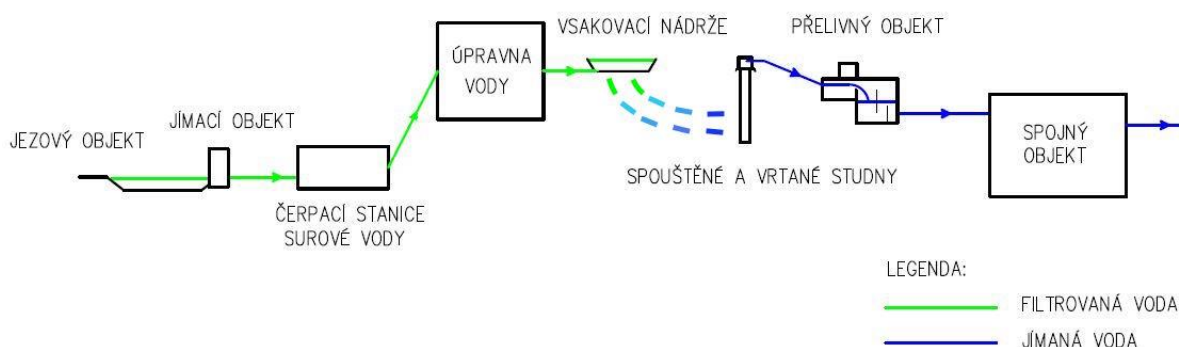
špičkový průtok až do 1950 l/s, například při výpadku úpravně vody Želivka, což by způsobilo nedostatek pitné vody pro Prahu.

2.2 STÁVAJÍCÍ STAV

Praha může být v současné době zásobována pitnou vodou ze tří nezávislých zdrojů a to úpravnou vody Želivka, úpravnou vody Káraný a úpravnou vody Podolí. Úpravná vody Želivka dodává cca 75 % potřebné pitné vody, zbytek dodává úpravná vody Káraný. Úpravná vody Podolí slouží jako rezervní zdroj.

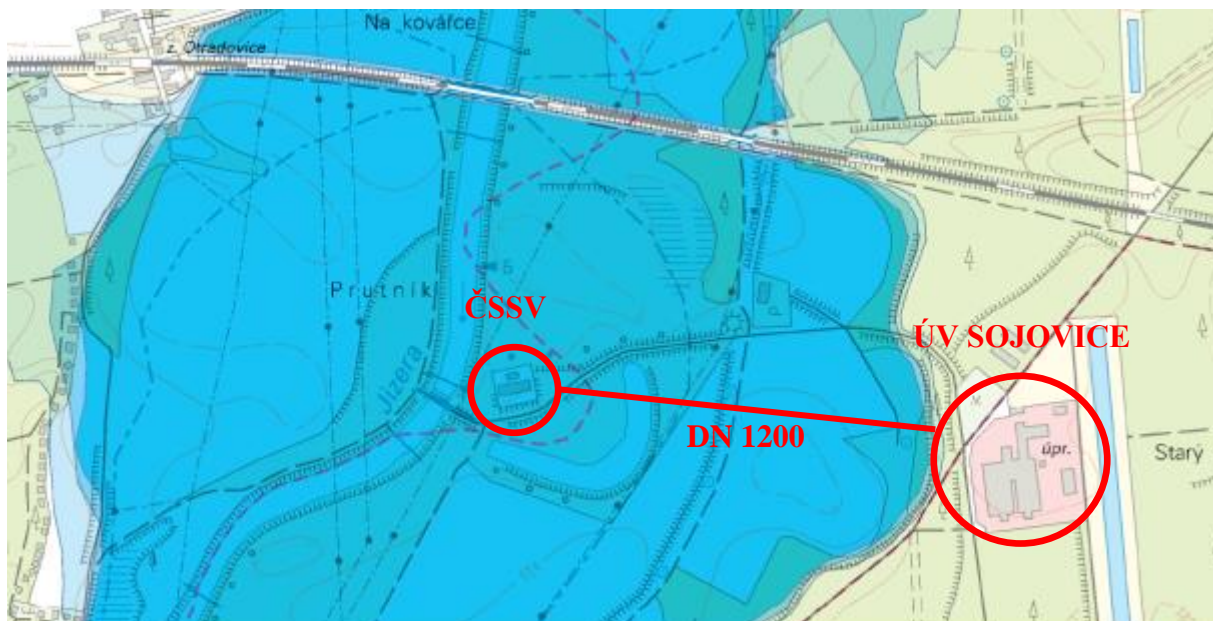
Káranská vodárna je rozdělena do dvou samostatných celků. První celkem je soubor břehové infiltrace, který využívá přirozené infiltrace povrchové vody z řeky Jizery. Voda z řeky infiltruje do štěrkopískových náplavů a čerpá se prostřednictvím systému vrtů podél řeky Jizery. Pomocí čerpacích stanic a gravitačního řadu je voda dopravena do hlavní čerpací stanice v Káraném. Kapacita tohoto systému je cca 900 l/s.

Druhou částí je soubor umělé infiltrace, kterým jsou uměle obohacovány podzemní zdroje vody. Povrchová voda z Jizery je zde po mechanickém přečištění na pískových rychlofiltrech přečerpávána do otevřených vsakovacích van, ve kterých přes vrstvu štěrkopísku zasakuje do horninového prostředí. Zde se zbaví organických látek, je obohacena o minerály a získává tak vlastnosti vody podzemní. Voda je jímána systémem vrtaných studní a studní spouštěných s horizontálními sběrači. Čerpadly osazenými v těchto studních je voda přečerpávána pomocí gravitačního svodného řadu do hlavní čerpací stanice v Káraném. Po hygienickém zabezpečení je tato voda čerpána ke spotřebitelům. Dnes je celková kapacita umělé infiltrace až 900 l/s.



Obr. 8 – schéma umělé infiltrace

Čerpací stanice surové vody (zkratka ČSSV) spolu s objektem protirázové ochrany výtlačného řadu jsou umístěny na oploceném prostranství pozemku parc. č. 297 a st. 95/1 k.ú. Sojovice ve vzdálenosti cca 75 m východním směrem od jezu Sojovice. Dotčené pozemky se nacházejí v ochranném pásmu vodohospodářských zařízení. ČSSV spolu s jezem jsou přístupné po asfaltové komunikaci. Celý objekt vč. přístupové komunikace se nacházejí v záplavovém území Jizery. [17] [12] [8]



Obr. 9 – úroveň hladiny při povodních v roce 2000 (předáno provozovatelem)

Záplavové území odpovídá úrovni hladiny dosažené při povodni dne 10.3.2000 – kóta 176,071 m n.m. Kóta upraveného terénu kolem budovy ČSSV je cca 175,20 m n.m., kóta podlahy strojovny ČSSV je 175,30 m n.m., nejnižší kóta přístupové komunikace je 174,08 m n.m. Hladina stoleté vody dle prováděcí dokumentace stavby z roku 1964 je 175,28 m.n.m, hladina jednoleté vody je 174,00 m.n.m., ustálená hladina podzemní vody je dle této dokumentace 171,32 m n.m. Veškeré výškové údaje jsou uvedeny v systému Bpv. [8]

K zajištění stálé hladiny pro odběr povrchové vody je na řece Jizeře vybudován pohyblivý jez o dvou polích. Na jezu se nachází vtokový objekt s hrubými a jemnými česlemi. Odtud surová voda teče gravitačně dvojicí řadů DN1200 do čerpací stanice surové vody, kde jsou v přítokových jímkách osazeny sítové filtry o velikosti ok 1x1 mm. Odtud voda přitéká do dvojice sacích jímek, severní pro čerpadla M2, M3, jižní pro čerpadla M1, M2. Čerpadla nasávají vodu ze sacích jímek a výtlačným řadem DN1200 ji dopravují do dvojice nátokových jímek pro halu A a halu B úpravny vody Sojovice. Na výstupu řadu z objektu

čerpací stanice surové vody je umístěn objekt protirázové ochrany. Řad DN1200 je před nátokovými jímkami rozdělen na dva řady DN800, na kterých jsou osazeny dálkově ovládané uzavírací klapky a indukční průtokoměry DN800. [8]

Z nátokových jímek je voda gravitačně rozváděna k přelivným hranám jednotlivých filtrů.

Vodárna v Káraném je strategickým zdrojem pitné vody nejen pro hl. město Prahu, ale též pro centrální část Středočeského kraje. V případě nucené odstávky čerpací stanice surové vody trvající déle, jak 4 – 6 týdnů, je systém umělé infiltrace nezpůsobilý k dalšímu zásobování pitnou vodou. Jeho obnovení a znovuuvedení do provozu následně dle provozních zkušeností trvá 3 až 4 měsíce. Podmínkou spolehlivého provozu celého systému je spolehlivý provoz a vzájemná zaměnitelnost jednotlivých čerpadel umístěných v čerpací stanici. [8]

Čerpací stanice a navazující úpravna vody jsou navrženy na následující parametry:

Běžný celoroční provoz:	průtok 400–650 l/s pro jednu halu filtrů
Špičkový provoz:	průtok 900–1000 l/s pro jednu halu filtrů
Havarijní provoz:	průtok max. 1950 l/s pro obě haly filtrů

2.2.1 STAVEBNÍ ŘEŠENÍ ČSSV

Budova čerpací stanice surové vody se skládá ze tří samostatných konstrukčně oddělených objektů – objektu strojovny, rozvodny a trafostanice. Každý objekt je založen na jiné úrovni. Od sebe jsou objekty odděleny dilatačními spárami.

Podzemní část strojovny je zhotovena z vodostavebního betonu V4-B250 (C20/25, XC2). Podlahy v suterénu strojovny jsou z betonové mazaniny s cementovým potěrem provedené ve spádu. Nadzemní část bočních stěn je montovaná – na prefabrikované sloupy s osovou vzdáleností 4,5 m jsou zavěšeny keramické panely uložené do cementové malty. Panely jsou na úrovni střechy ukončeny římsovým prefabrikátem. K podélným stěnám mimo prostor vrat je přizděn cihelný parapet o výšce 1 m. Čelní zeď a plocha u vrat jsou vyzděny z cihel CDm tl. 37,5 cm na vápennou maltu MV4.

V nadzemní části strojovny jsou z vnější i vnitřní části obvodové zdi osazena ocelová dvoukřídlá vstupní vrata rozměr 3300 x 3000 mm.

Podzemní část rozvodny je zhotovena ze železobetonu V4-B250 (C20/25, XC2), se základovou deskou tl. 400 mm a stěnami tl. 450 mm. Štítová zeď u transformátorů je

vyzděna z cihel CDm tl. 37,5 cm na maltu vápennou a z části (u sloupů) nastavovanou. Schodiště do patra je monolitické. Stěny a příčky v patře jsou vyzděny z cihel CDm na maltu vápennou MV4 nebo nastavovanou MVC25. Ve stěně mezi rozvodnou a strojovnou je v 1.NP zřízen otvor pro rozvaděče.

Zastřešení objektu strojovny a rozvodny je zhotoveno ze střešních sedlových vazníků a střešních desek. Na tyto desky je provedena střecha o skladbě vyrovnávací potěr, lepenka, polystyren tl 5 cm, cementový potěr, lepenková střešní krytina.

V nadzemní části rozvodny jsou z vnější části obvodové zdi osazeny ocelové dvoukřídlé vstupní dveře rozměr 1450 x 2480 mm.

Základy pod transformátory jsou dilatačně odděleny od rozvodny. Obvodové zdivo je železobetonové z betonu V4-B 250. Pod každým transformátorem je zřízena vyplechovaná záchytná jímka vyplněná štěrkem opatřená vypouštěcím šoupětem. Pod záchytnou jímku je zřízen meziprostor spádovaný do jímky pro ponorné čerpadlo.

V objektu ČSSV jsou provedena protipovodňová opatření, která zabrání zaplavení podlahy strojovny i při úrovni záplavové hladiny cca 1 m nad úroveň podlahy 1. NP.

Čerpadla M1, M2 jsou umístěna na samostatných ŽB základových patkách osazených v podlaze podzemní části. Čerpadlo M3 je upevněno k podlaze strojovny v 1. NP. Čerpadlo M4 je upevněno k podlaze sací jímky. [8] [12]

2.2.2 STRUČNÝ POPIS TECHNOLOGIE

Čerpací stanice surové vody čerpá surovou vodu z řeky Jizery do úpravny vody Sojovice. Surová voda je přiváděna dvojicí řadů DN 1200 z jímacího objektu na levém břehu k čerpadlům surové vody. Jímací objekt je součástí klapkového jezu se štěrkovou propustí umístěného na Jizeře v k.ú. Sojovice na říčním km 4,718. Minimální provozní výška vzduté hladiny v jímacím objektu je 171,90 m n.m., maximální 172,20 m n.m. Vtok je opatřen nornou stěnou. Vtoky do potrubí jsou opatřeny kanálovými hradítky, která jsou ovládány elektrickým i ručním pohonem. [8]

Nátokovými řady 2 x DN1200 je voda přiváděna do objektu čerpací stanice surové vody na dva síťové filtry. Komory sít jsou uzavíratelné kanálovými hradítky DN1200 na vstupu a kanálovými hradítky DN1400 na výstupu z komory. Hradítka jsou ovládána elektromotory umístěnými na stojanech na podlaze strojovny. [8]

Sítové filtry se čistí ostřikem vodou čerpanou z jímky ostřikovací vody. Použitá ostřikovací voda je odváděna do odpadního žlabu a odtud do usazovací jímky vně budovy, kde se usazují pevné částice. Usazená voda odtéká do výtoku z laguny a odtud zpět do Jizery. Kal a listí z usazovací jímky se v případě potřeby odčerpávají splaškovým čerpadlem na deponii.

Ze sítových filtrů odtéká předupravená voda do dvou samostatných sacích jímek, které jsou navzájem propojeny oboustranně těsnícím šoupátkovým uzávěrem DN1400, ovládaným elektropohonem umístěným na stojanu na podlaze strojovny.

Pro čerpání vody do úpravny jsou ve strojovně čerpací stanice osazena celkem čtyři čerpadla:

M1 – Sigma SLS 8-LN-FE; Q=1450 l/s, H=18 m, Pm=400 kW s kapalinovým motorovým spouštěčem, rok výroby 1964,

M2 – KSB RDL V600-540; Q=700-1400 l/s, H=21-25 m, Pm=450 kW, rok výroby 1998

M3 – KSB SNW M 400-365 CDn 02; Q=550 l/s, H=15 m, Pm=132 kW, rok výroby 2014

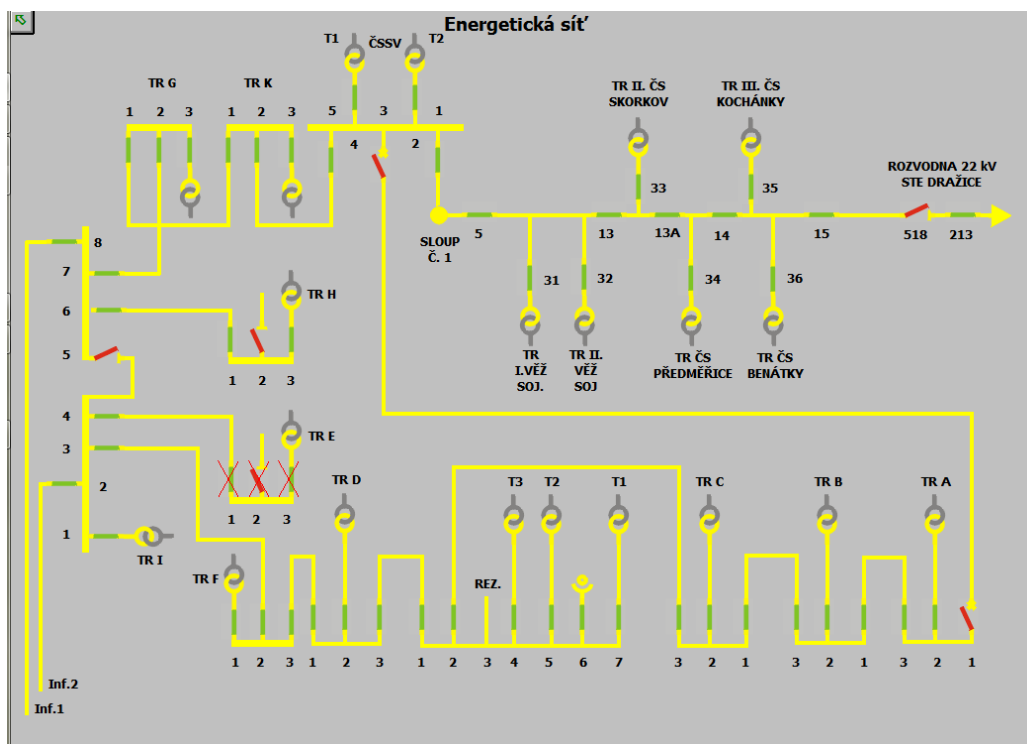
M4 – KSB AMAREX KRT K 350-500/200 6 UG; Q=600 l/s, H=21 m, Pm=200 Kw, rok výroby 1997

Elektromotory čerpadel M1, M3 jsou umístěny v 1. NP na podlaze strojovny ČSSV, kóta 175,3 m n. m. Elektromotor čerpadla M2 je umístěn v suterénu čerpací stanice na kótě 168,9 m n. m. Elektromotor čerpadla M4 je i s čerpadlem v provedení do mokré jímky a je umístěn přímo v sací jínce čerpadla M2.

Výtlačky všech čtyř čerpadel jsou napojeny do společného ocelového výtlačného řadu DN1000, který je zajištěn protirázovou ochranou situovanou mimo objekt ČSSV. Za objektem protirázové ochrany přechází ocelové potrubí DN1000 na litinové DN1200.

2.2.3 STRUČNÝ POPIS ELEKTROINSTALACE

Oblast umělé infiltrace napájí dvě linky vedení 22 kV z rozvodny vodárny v Káraném. Jedná se o kabelové vedení 22 kV. Vedení je dvojité pod označením „Infiltrace I“ a „Infiltrace II“ (viz Obr. 10):



Obr. 10 - schéma elektroinstalace (foto ovládacího panelu)

ČSSV je napájena VN kabelovým vedením 22 kV přivedeným do VN rozvodny umístěné ve 2. NP rozvodny čerpačské stanice. Zde jsou umístěny odpojovače trafostanice.

VN rozvodna 22 kV (R1) je provedena jako jednoprostorová rozvodna průmyslová o pěti kobkách, nástěnná, vybavena výkonnými spínači OK 631 a OKJ 631. Přívody do rozvodny R1 (22 kV) jsou ze tří směrů kabely 22 kV AXEKVCEY 3x1x120 mm 2 : - R1-1 Přívod stožáru č. 1 vzdušného vedení Inf. I. - R1-3 Přívod z TR A (možnost propojit na linku Inf. II). - R1-5 Přívod z TR K (za normálního provozu – přívod z Inf. I).

Ovládání je pouze místní, zapnutí se provádí pákovým mechanismem, vypnutí rovněž pákovým mechanismem nebo tlačítkem přes vypínací cívku. Do ŘS jsou přenášeny signály o stavu spínačů a ztráta ovládacího napětí 110 V DC. Transformátory T1 a T2 jsou vzduchové (suché) 22/0,4 kV 1000 kVA. Paralelní chod pouze krátkodobě.

Rozvodna 0,4 kV je umístěna v 1.NP na úrovni strojovny čerpací stanice. Z této rozvodny jsou napájena veškerá elektrická zařízení budovy vč. povodňových čerpadel. V rozvodně 0,4 kV jsou umístěny tyto rozvaděče:

- R2 – hlavní rozvaděč 0,4 kV.
- RM1 – podružný rozvaděč 0,4 kV (motorové vývody a část ŘS).
- DT1 – zadní část (ovládací část je přístupná ze strojovny).
- RU – přívod a rozvod 110 V DC.

Hlavní rozvaděč R2 je složen z třinácti polí. Provoz je předpokládán s jedním transformátorem v chodu a sepnutým spínačem přípojnic. Spínače transformátorů a přípojnic lze ovládat z ŘS. Do ŘS jsou dále signalizovány stavy spínačů, ztráta ovládacího napětí 110 V DC, výpadek spínačů, na nadproud a el. práce jednotlivých transformátorů (kWh). Ke kompenzaci je použito kondenzátorových baterií.

2.3 STÁVAJÍCÍ ČERPADLA

2.3.1 ČERPADLO M1

Jedná se o vertikální odstředivé radiální čerpadlo v provedení do suché jímky. Na sání čerpadla M1 je osazeno redukované nátokové koleno DN1000/800, montážní vložka a šoupátko ovládané elektropohonem. Elektromotor čerpadla M1 je spouštěn pomocí automatického rotorového kapalinového spouštěče, který je chlazen vodou. Pomocí tohoto spouštěče je možná omezená regulace M1 v rozsahu asi 1200-1400 l/s. U čerpadla M1 je měřena teplota v závěsu a v ložisku pod závěsem. Při zvýšení teploty na cca 70 °C, vypne kontaktní teploměr chod čerpadla. Čerpadlo je blokováno na minimální hladině v sací jínce 171,00 m n. m., proti chodu bez vody, řídicím systémem. Pokud selže vypnutí čerpadla řídicím systémem, vypne čerpadlo havarijní plovákový spínač „hruška“, na hladině 170,80 m n. m.

Pro chlazení závěsného ložiska, vodícího ložiska a ucpávky čerpadla M1 je přiváděna pitná voda. Pitná voda je přiváděna samostatným řadem „P“ z 1. čerpací stanice Sojovice, kde je instalována automatická tlaková stanice.

Čerpadlo M1 je staré 53 let a s ohledem na svůj návrhový průtok (1450 l/s) se prakticky nevyužívá.

Těleso čerpadla je uloženo na dvojici železobetonových základových pilířů, na jejichž povrchu je patrná koroze ocelové výztuže. Stav pilířů dokumentuje následující Obr. 11

Pro další provoz čerpadla by bylo vhodné provést stavebně technický průzkum a posouzení konstrukce těchto pilířů.



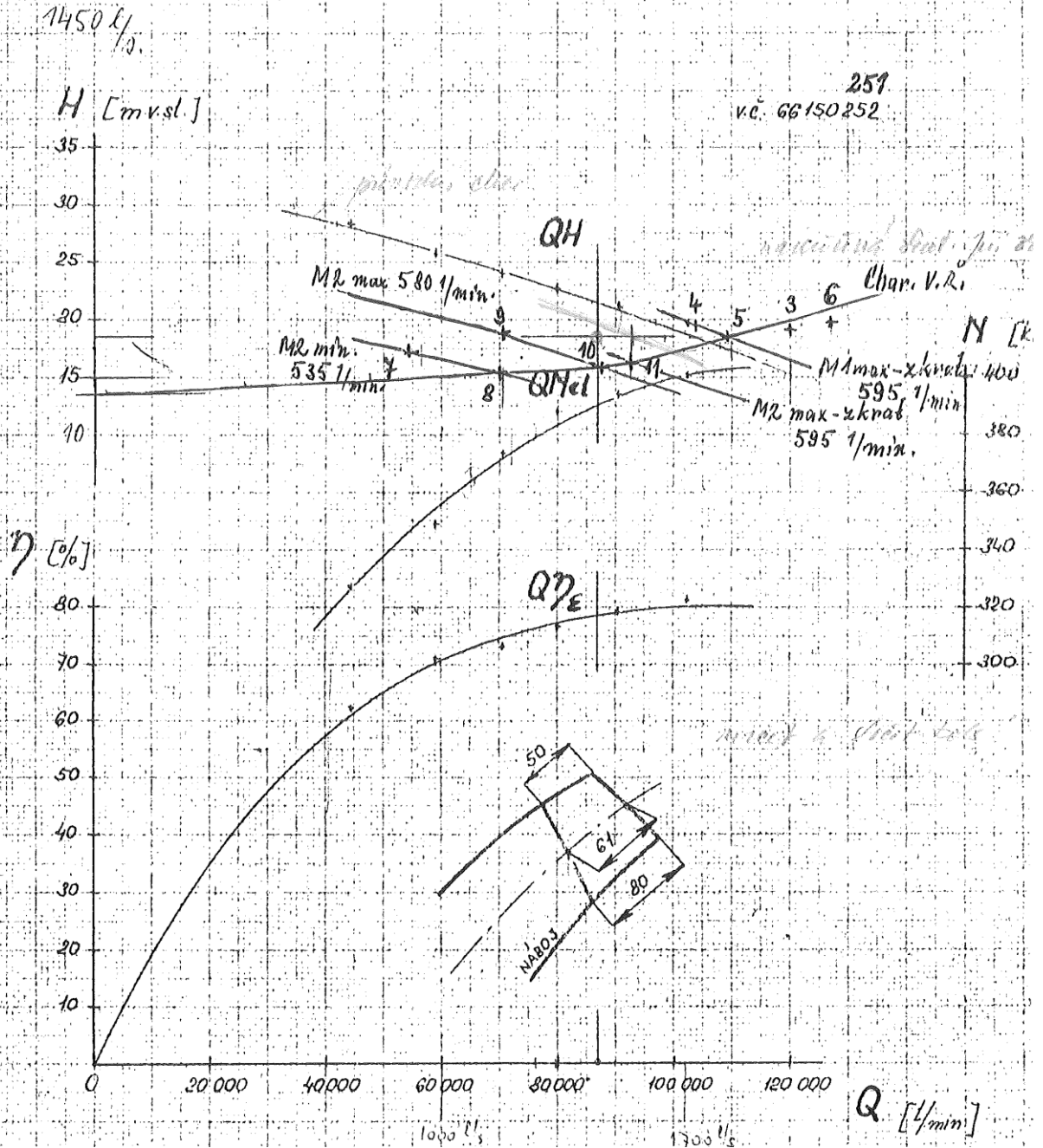
Obr. 11 – základový pilíř čerpadla M1

K čerpadlu byla dohledána následující charakteristika patrná z Obr. 12 :

Zkušební diagram čerpadla

ČSN 11005

SIGMA LUTIN s. p.		Zákazník: ČERPACÍ STANICE KARANÉ		Typ: SLS-8		101564	
Zkušebna: S		Zak. číslo: 862 433		Výř. číslo: 66150251			
Q: 87000	H: 18,5	n: 590 1/min.	η čerp.	N: 400 kV	Kapalina: VODA 20°	Měrná váha: 1 kg/dm ³	Viskozita: 61



Obr. 12 – charakteristika čerpadla M1 (předaná provozovatelem)

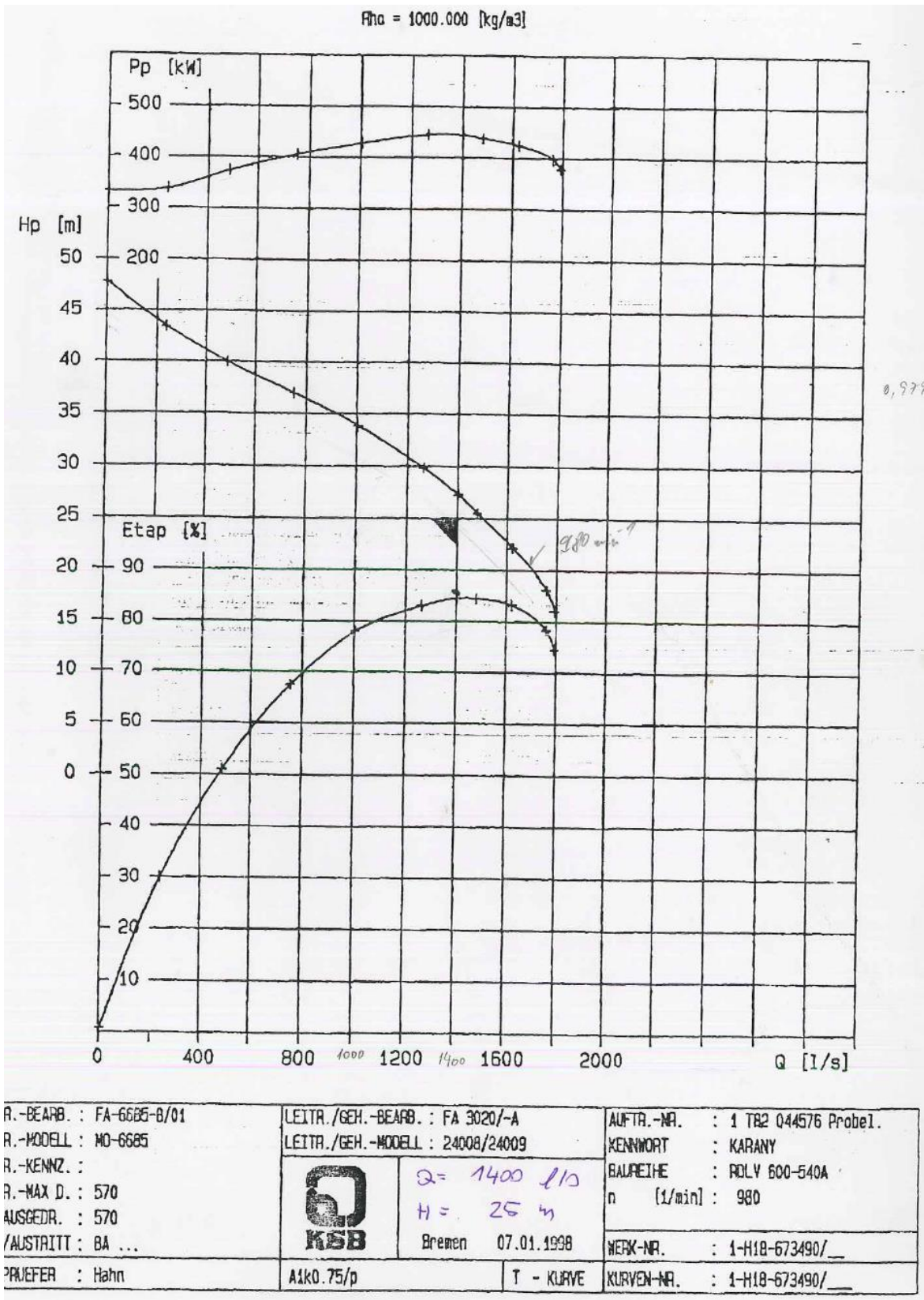
2.3.2 ČERPADLO M2

Jedná se o vertikální odstředivé radiální čerpadlo v provedení do suché jímky. Je navrženo a vyrobeno pro větší regulační rozsah od 700 l/s do 1400 l/s. Návrhová dopravní výška H je u M2 vyšší než u M1, protože čerpadlo bylo připraveno pro dříve uvažované rozšíření úpravny vody Sojovice o další technologické stupně. V současné době se tedy nepohybuje ve své navržené tlakové oblasti. Z tohoto důvodu jsou omezeny maximální otáčky čerpadla. Dle provozního řádu je $Q_{\max} = 1380$ l/s dosaženo již při 44,2 Hz (887 ot/min) a $Q_{\min} = \text{cca } 440$ l/s je dosaženo při 31,3 Hz (627 ot/min).

M2 je spouštěno a regulováno frekvenčním měničem. Frekvenční měnič zajistí plynulý rozběh motoru na stanovené otáčky bez proudových nárazů podle rozběhové křivky. Regulaci čerpadla obstarává řídicí systém Reflex M1 podle žádaného průtoku, který je možné zadávat ze SW Lookout nebo z dotykového panelu na rozvaděči DT1.6 v ČSSV. Čerpadlo je blokováno na minimální hladině 171,00 m n. m. proti chodu bez vody řídicím systémem. Pokud selže vypnutí čerpadla řídicím systémem, vypne čerpadla havarijní plovákový spínač, na hladině 170,80 m n. m.

Čerpadlo M2 je v provozu 18 let a je využíváno několikrát do roka při potřebě vyšších průtoků, nad 600 l/s.

K čerpadlu byla dohledána následující charakteristika patrná z Obr. 13:



Obr. 13 – charakteristika čerpadla M2 (předaná provozovatelem)

2.3.3 ČERPADLO M3

Jedná se o odstředivé vertikální diagonální čerpadlo s ponořenou hydraulikou. Připojení na potrubí přírubou DN400 PN6 s vrtáním pro PN10 dle ČSN EN 1092-2. Měkká bezazbestová provazcová ucpávka, snímač teploty ložiska Pt100. Základová deska a stoupační potrubí jsou zhotoveny z oceli S235JRG2, odbočné koleno je z litiny JL1030, oběžné kolo je z bronzu CC480K-GS, hřídel je z nerezové oceli 1.4021, šrouby a matice nerez A4-70. Ocelové a litinové díly ve styku s provozním médiem jsou opatřeny epoxidovým nátěrovým systémem o tl. 0,45 mm. Otáčky čerpadla jsou řízeny frekvenčním měničem v rozsahu do 53 Hz. Připojení hřídele elektromotoru na hřídel čerpadla pružnou spojkou.

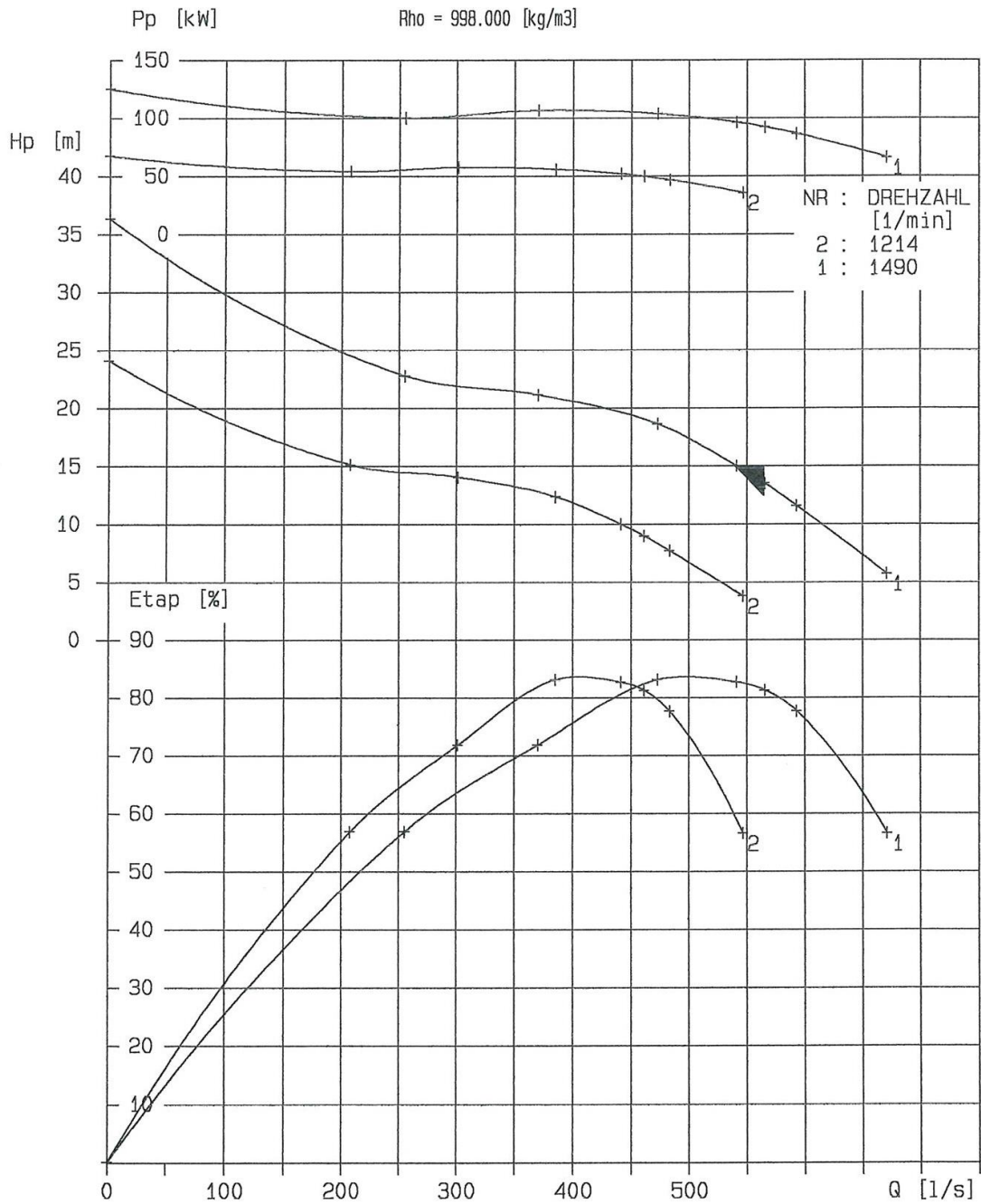
Provozní a konstrukční údaje


Provozní médium:	surová voda o teplotě +5 až +15 °C
Dopravní výška:	H = 15 m v.s.,
Průtok:	Q = 565 l/s.
Otáčky:	1490 min ⁻¹ při 50 Hz
Příkon:	102,6 kW (v provozním bodě)
Účinnost čerpadla:	min. 80,9 % (v provozním bodě)
Rozsah průtoku:	235 – 567 l/s
Rozsah otáček:	1214 - 1576 min ⁻¹
Čistá hmotnost:	1264 kg
Příslušenství:	1 x PT 100 snímač měření teploty ložiska

Přírubový elektromotor:

Jmen. výkon:	132 kW
Frekvence:	50 Hz
Jmen. napětí:	3 x 400 V
Jmenovitý el. proud:	229 A
Třída krytí (IEC 34-5) :	IP55
Provozní moment:	847,2 Nm
Záběrový moment:	2 288 Nm
Čistá hmotnost:	965 kg

Čerpadlo M3 bylo dodáno v roce 2015. K čerpadlu byla dohledána následující charakteristika patrná z Obr. 14 :



IMP.MACH.NO. :	DIFF/CASING MACH. :	ORDER-NO. : 9972763479/100
IMP.PATT.NO. :	DIFF/CASING PATT. :	CODE : Karany Phase 3
IMP.CODE :	 KSB	TYPE : SNW M 400-365 CDn 02
IMP.MAX.DIA. :		n [1/min] : 1490
IMP.TRIMMED :	Bremen 25.09.2014	SERIAL NO. : 8-082-131756/___
FORM (IN/OUT) :	A1e1.0/p	CURVE NO. : 8-082-131756/___ /
KSB-INSPECTOR : H.Moeller <i>H.Moeller</i>		A - CURVE

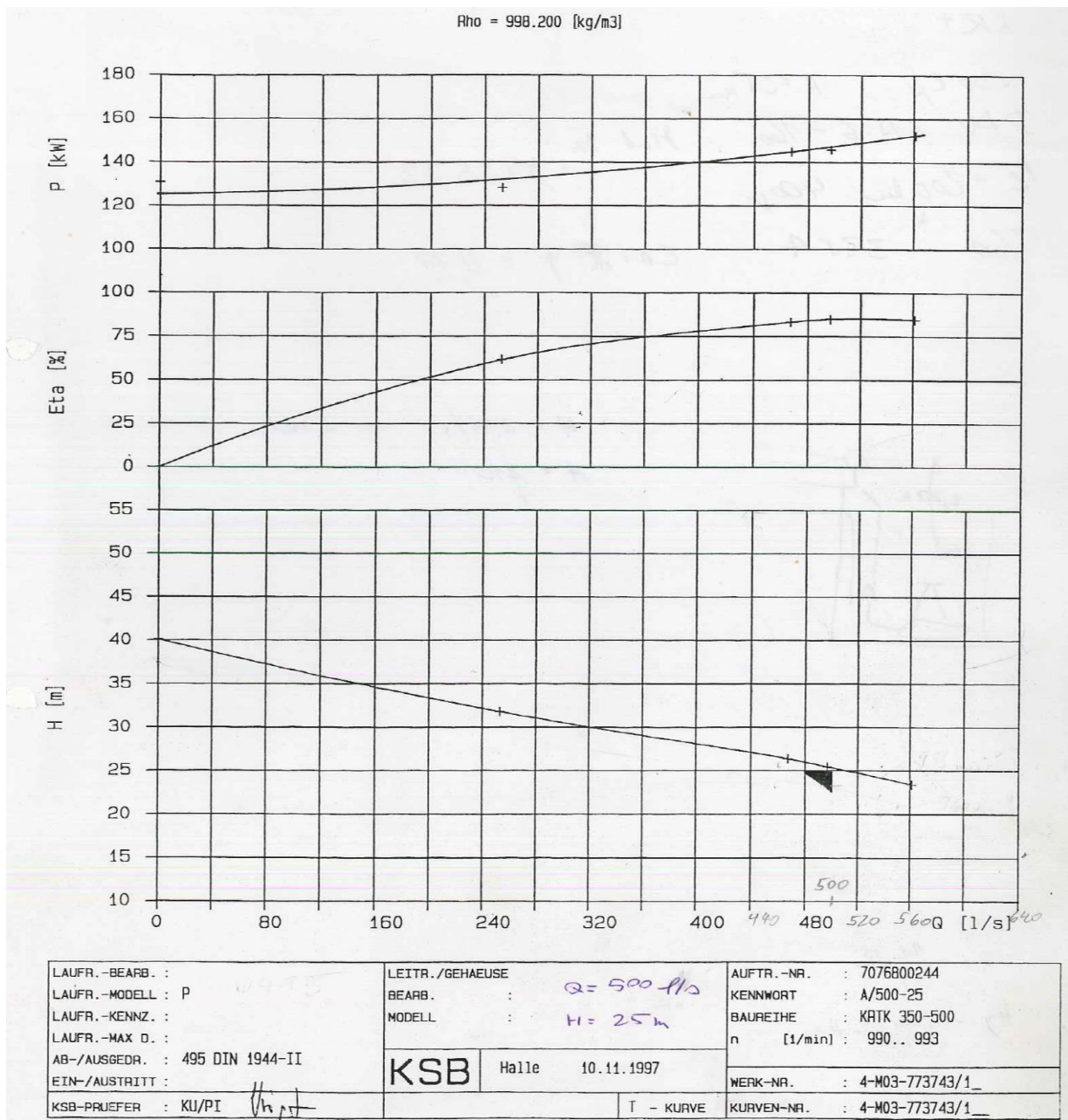
Obr. 14 – charakteristika čerpadla M3 (předaná provozovatelem)

2.3.4 ČERPADLO M4

M4 je odstředivé ponorné čerpadlo, umístěné v sací jímce. Čerpadlo je spouštěno a regulováno frekvenčním měničem. Frekvenční měnič zajistí plynulý rozběh motoru na stanovené otáčky bez proudových nárazů podle rozběhové křivky. Motor čerpadla je pod vodou, a je vybaven snímači teploty vinutí, teploty ložisek a čidlem signalizujícím vniknutí vlhkosti do tělesa čerpadla.

Čerpadlo M4 je v provozu 19 let a je využíváno pro běžné provozní průtoky 250 – 600 l/s.

K čerpadlu byla dohledána následující charakteristika patrná z Obr. 15:



Obr. 15 – charakteristika čerpadla M4 (předaná provozovatelem)

2.4 POTRUBNÍ SYSTÉM

Potrubí pro dopravu surové vody uvnitř čerpací stanice je tvořeno ocelovými svařovanými trubkami a svařovanými tvarovkami. Společný výtlaček čerpadel a výtlaček čerpadla M1 je zhotoven v dimenzi DN1000, výtlačky čerpadel M3, M4 jsou v dimenzi DN500, čerpadlo M2 je dopojeno na původní výtlačné uzavírací šoupě DN1000 ocelovým potrubím DN800 s dvojicí záhybových ohybů potrubí 2 x 45°.

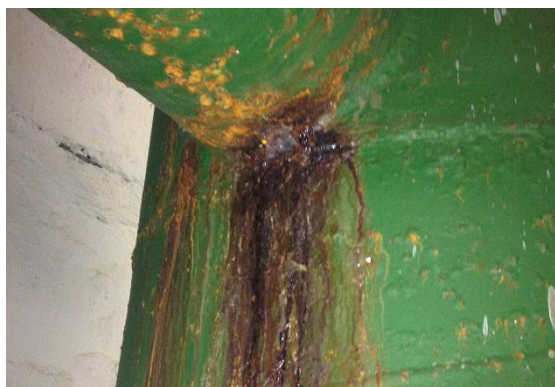
Kolena jsou svařena ze segmentů. Potrubí a tvarovky jsou na vnějším povrchu opatřeny antikoročním nátěrovým systémem s četnými lokálními narušeními vnějšího povrchu. S ohledem na vizuální stav bylo na potrubí DN1000 v listopadu 2015 provedeno posouzení korozního stavu korozním specialistou. Z hodnotící zprávy vyplývá, že: *„Pokud je uvažováno s dalším provozem tohoto potrubí, je jednak bezpodmínečně nutná oprava potrubí v obou výrazně narušených místech, jednak celková oprava izolace (nátěrového systému).“* Stav povrchu ocelového potrubí dokumentují následující fotografie:



Obr. 16 – pohled na výtlaček čerpadel M4 (vlevo) a M3 (vpravo)



Obr. 17 – pohled na šoupě DN 1000 čerpadla M1



Obr. 18 – lokální porucha potrubí



Obr. 19 – vnitřní povrch potrubí DN500
výtlak čerpadla M3



Obr. 20 - výtláčné potrubí čerpadla M2

Z hydraulického hlediska nelze pro čerpadlo M2 s návrhovým průtokem 1400 l/s považovat uspořádání výtláčného potrubí DN800 s dvojicí „ostrých“ kolen za ideální řešení. viz Obr. 20

Stav vnitřního povrchu potrubí DN500 (výtlak čerpadla M3) dokumentuje Obr. 19 Pro výpočet třecích ztrát potrubí jsem na jeho základě zvolil hodnotu relativní drsnosti 6 mm pro potrubí DN500 a DN800, pro potrubí DN1000 pak 10 mm. Výtláčný řad DN1200 je zhotoven ze šedé litiny, provedení pravděpodobně dle ČSN 15 2015 s vnitřním průměrem 1200 mm. Vnitřní povrch výtláčného řadu je bez povrchové úpravy. Pro výpočet třecích ztrát potrubí jsem předpokládal hodnotu drsnosti 10 mm.

2.5 VYHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍCH ČERPADEL

Pro ověření stávajících parametrů čerpání surové vody bylo postupně provedeno kontrolní spuštění a ověření chodu všech čerpadel při různých otáčkách. Otáčky čerpadla M1 byly regulovány rotorovým spouštěčem a nejsou tedy známy. Otáčky ostatních čerpadel byly regulovány příslušnými frekvenčními měniči. Při provozu byly při ustáleném stavu zaznamenávány hodnoty průtoku, tlaku na výtlačném potrubí čerpadla, otáček, hladiny v příslušné sací jímce a hladiny v nátokových jímkách.

Souběžně s měřením a záznamem hydraulických parametrů probíhalo měření napětí, proudů, výkonů a účinníku na vývodech z hlavního rozvaděče r2-400 V AC na pohony jednotlivých čerpadel.

V rámci vyhodnocení naměřených a zaznamenaných hodnot bylo provedeno geodetické zaměření vybraných výškových bodů. Na základě tohoto zaměření jsem provedl korekci měřených hodnot výšek hladin v sací jímce ČSSV a v nátokových jímkách hal 1 a 2 úpravny vody Sojovice.

Výsledky měření a jejich vyhodnocení jsou uvedeny v Tab. 1 Přílohy 1/1. Výpočet korekcí výšek jednotlivých měření hladin je uveden v Příloze 1/2. Výškové schéma čerpání surové vody je uvedeno v samostatné Příloze 2.

Pro každé čerpadlo a korigovaný rozdíl hladin při maximálním průtoku jsem provedl výpočet tlakové ztráty příslušného potrubního systému při maximálním průtoku a ze známých charakteristik čerpadel jsem ověřil shodu výpočtového s naměřeným provozním bodem. Tím je poskytnut základ pro posouzení stávajících, návrh a vyhodnocení návrhu nových čerpadel.

Následně jsem vypočetl ztrátový součinitel potrubního systému vztažený na průměr 1200 mm. Pomocí tohoto součinitele jsem pro každý změřený průtok a rozdíl hladin vypočetl tlakovou ztrátu potrubního systému. Podle vztahu $P_u = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H$ (kW) jsem vypočetl užitečný výkon čerpadla odevzdaný čerpadlem kapalině protékající jeho výstupním hrdlem. Podíl vypočteného výkonu a změřeného příkonu pak dává účinnost každého čerpadla.

Rozdíl hladin mezi sací a nátokovou jímkou je kromě aktuální hodnoty průtoku závislý na řadě parametrů (zanesení česlí, zanesení síťových filtrů, počet provozovaných filtrů,

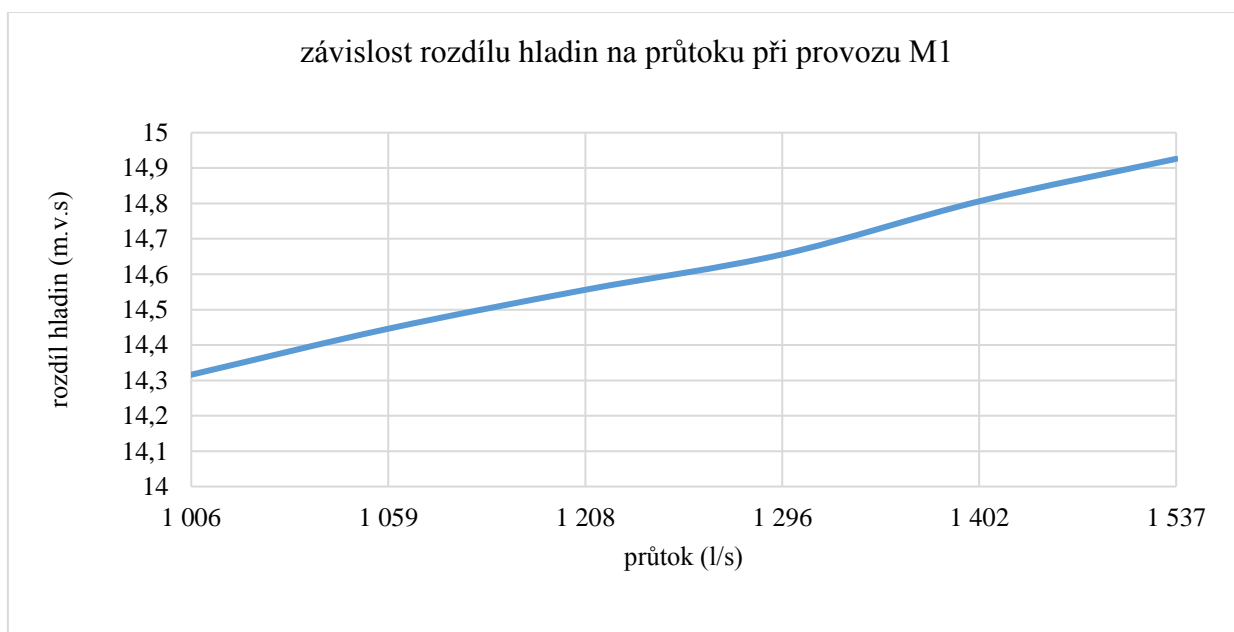
geodetická výška přelivných hran provozovaných filtrů, a pod.) a je tedy problematicky modelovatelný výpočtem. V rámci vyhodnocení výsledků měření jsem tedy pro každé čerpadlo zakreslil závislost rozdílu hladin na průtoku.

Pro stávající čerpadla vychází:

2.5.1 ČERPADLO M1

průtok celkem (l/s)	Rozdíl hladin hala 2 - sací jímka (m v.s.)	ztrátový koef. řadu DN 1200	Tlaková ztráta při provozu M1 (m v.s.)	Hydraulický výkon (kW)	Účinnost
1 006	14,316	38,64	1,56	156,66	0,52
1 059	14,446		1,73	168,02	0,53
1 208	14,556		2,25	199,12	0,58
1 296	14,656		2,59	219,21	0,60
1 402	14,806		3,03	245,26	0,63
1 537	14,926		3,64	279,90	0,66

Tab. 1 - závislost rozdílu hladin na průtoku M1



Obr. 21 - Graf rozdílu hladin M1

VÝPOČET TLAKOVÉ ZTRÁTY VÝTLAKU ČERPADLA M1 - ČSSV Sojovice

Tlaková ztráta řadu při průtoku $Q_{max} =$

5533,2 m³/hod.

výpočet pro halu 2

ZADANÉ HODNOTY

Min. hladina sací jímky:	171,06 m n.m.	Max. hladina v nátok. jímce haly 2:	185,99 m v.s.
Max. hladina sací jímky:	171,50 m n.m.	Min. rozdíl hladin:	14,32 m n.m.
Min. hladina v nátok. jímce haly 2:	185,82 m v.s.	Max. rozdíl hladin:	14,93 m n.m.

Třecí ztráty	Q [m ³ /s]	DN [m]	L [m]	v [m/s]	Δ [m]	Re	λ	kontrola	Δp [Pa]	H _z [m]	P _z [W]
Rovný úsek DN1000 ocel	1,53700	1	19,2	1,957	0,01	1493871	0,03790	0,000682	1393,412	0,142	2141,674
Rovný úsek DN 800 ocel	1,53700	0,804	1,3	3,027	0,006	1858048	0,03442	0,000541	255,015	0,026	391,9587
Rovný úsek DN 1200 litina	1,53700	1,2	679	1,359	0,01	1244892	0,03568	0,000822	18645,103	1,901	28657,52
Rovný úsek DN 800 litina	0,92000	0,8	30	1,830	0,006	1117730	0,03449	0,000903	2166,564	0,221	1993,239

Míst.odpory	Q [m ³ /s]	Ref. DN [m]	ξ	Ref.v [m/s]					Δp [Pa]	H _z [m]	P _z [W]
1 x vtok DN1000	1,53700	1	0,5	1,96					957,434	0,098	1 472
1 x koleno 90° DN1000/800(900)	1,53700	0,9	0,7	2,42					2042,992	0,208	3 140
1 x redukce DN800/1000	1,53700	0,8	0,05	3,06					233,748	0,024	359
1 x zpětná klapka DN1000	1,53700	1	0,5	1,96					957,434	0,098	1 472
2 x šoupě DN1000	1,53700	1	0,12	1,96					229,784	0,023	353
2 x koleno sement DN100090°	1,53700	1	1,1	1,96					2106,354	0,215	3 237
1 x T DN1000 odbočení	1,53700	1	1,3	1,96					2489,328	0,254	3 826
1 x redukce DN1000/1200	1,53700	1	0,05	1,96					95,743	0,010	147
2 x koleno DN1200 45°	1,53700	1,2	0,3	1,36					277,035	0,028	426
DN1200 T - rozbočení	0,92000	1,2	4,3	0,81					1422,689	0,145	1 309
DN1200 koleno 90°	0,92000	1,2	0,5	0,81					165,429	0,017	152
redukce DN1200/800	0,92000	1,2	0,2	0,81					66,172	0,007	61
1 x kl DN800 AQUISORIA	0,92000	0,8	0,3	1,83					502,491	0,051	462
1 x DN800 výtok	0,92000	0,8	1	1,83					1674,969	0,171	1 541
TLAKOVÁ ZTRÁTA / ZTRÁTOVÝ VÝKON									35 682	3,64	51 142

Výtlak celkem	35 682	3,64	51 142
	Účinnost:		0,66
	Ztr. příkon (kW):		77,49

Max. statická výška		14,93 m v.s.	
Min. statická výška		14,32 m v.s.	příkon
Potřebná dopravní výška čerpadla max.		18,56 m v.s.	424,09 kW

PŘEHLED POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Q - průtok	λ - součinitel třecích ztrát dle Colebrook - White
v - střední rychlost proudění	ξ - součinitel místní ztráty
L - délka rovného úseku	Δp - tlaková ztráta
Δ - absolutní drsnost vnitřního povrchu	H _z - ztrátová výška
Re - Reynoldsovo číslo	P _z - ztrátový výkon

Tab. 2 - výpočet tlakové ztráty M1

$$Z_l = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$Z_m = \xi_m \frac{v^2}{2g}$$

Kde:

Z_l – Třecí ztráty

λ – součinitel délkových ztrát [-]

l – délka daného přímého potrubí [m]

d – vnitřní průměr daného přímého potrubí [m]

v – střední rychlost proudění [m.s⁻¹]

g – gravitační zrychlení [m.s⁻²]

Kde:

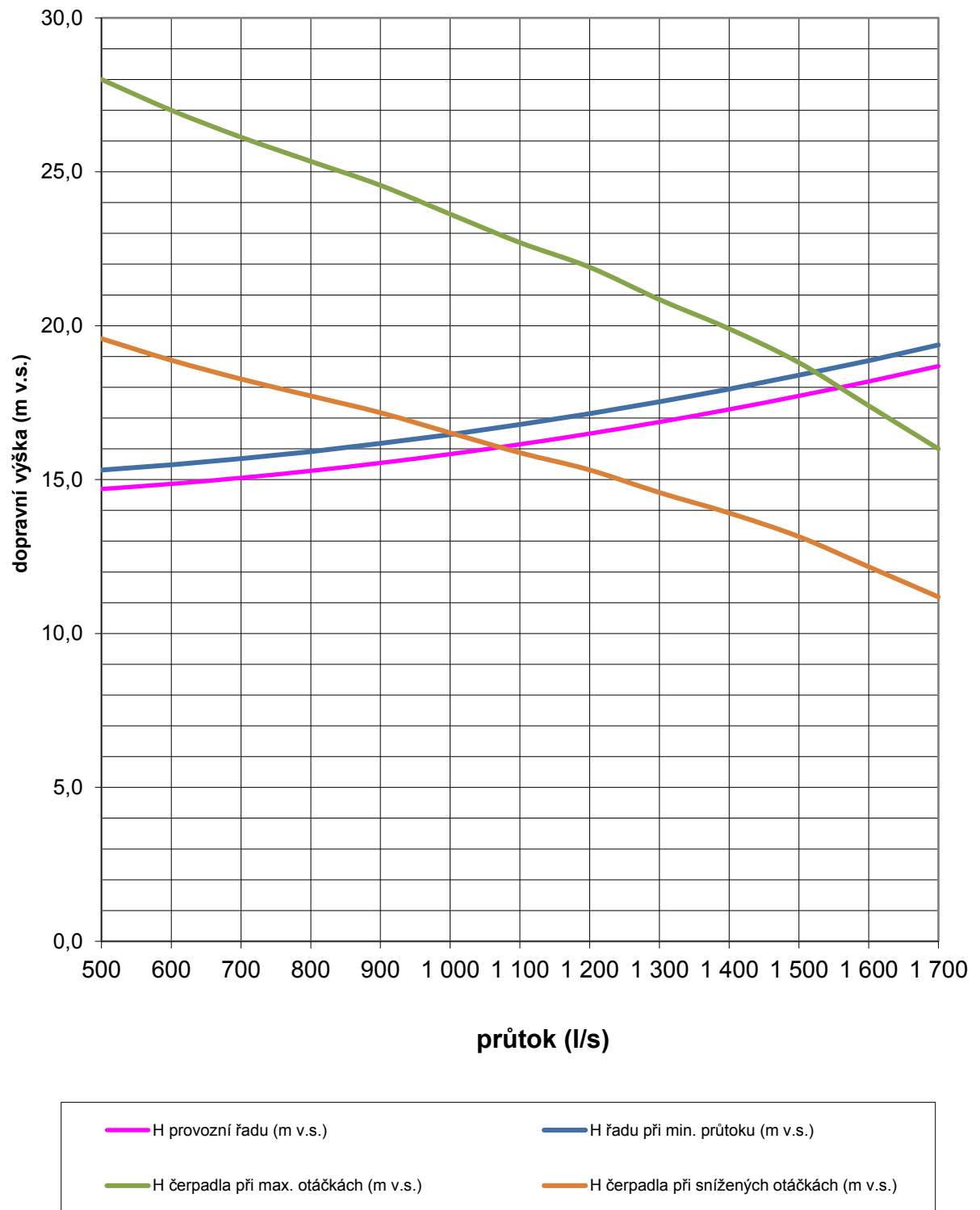
Z_m – Místní odpor

ξ_m – součinitel místní ztráty [-]

v – střední rychlost proudění [m.s⁻¹]

g – gravitační zrychlení [m.s⁻²]

ČSSV SOJOVICE - stanovení provozní oblasti při čerpání čerpadlem M1

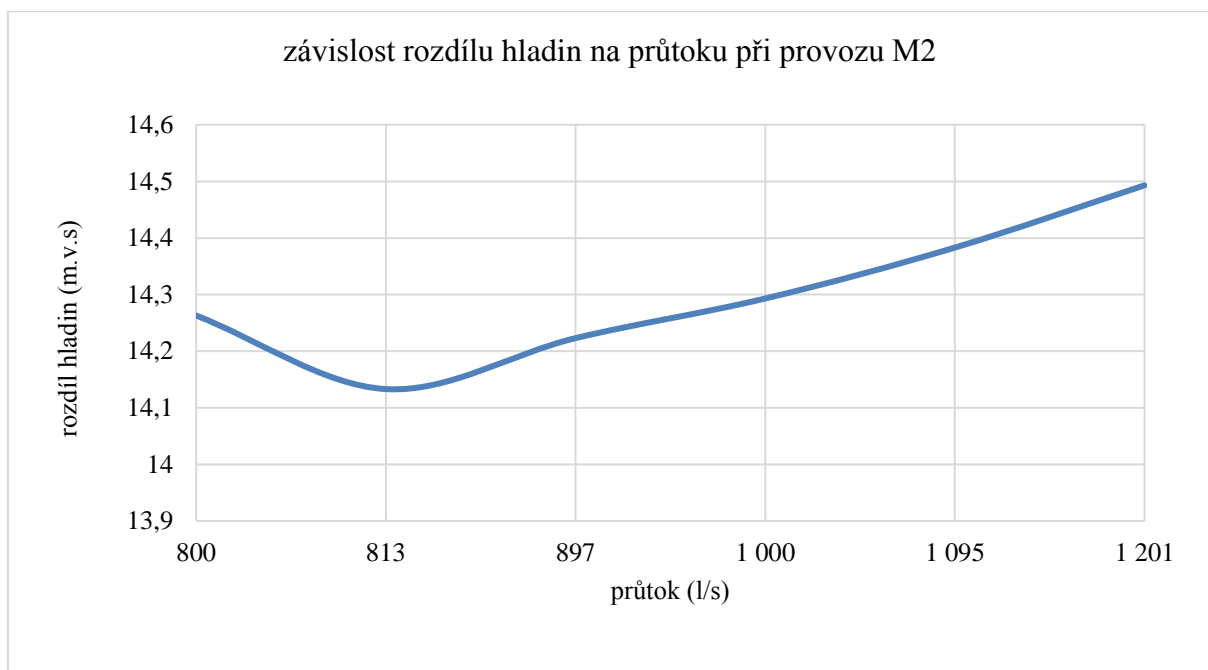


Obr. 22 - graf stávajícího čerpadla M1

2.5.2 ČERPADLO M2

průtok celkem (l/s)	Rozdíl hladin hala 2 - sací jámka (m v. s.)	Ztrátový koef. řadu DN 1200	Tlaková ztráta při provozu M2 (m v. s.)	Hydraulický výkon (kW)	Účinnost
800	14,263	49,767	1,27	121,90	0,66
813	14,133		1,31	123,17	0,61
897	14,223		1,60	139,20	0,61
1 000	14,293		1,98	159,67	0,63
1 095	14,383		2,38	180,04	0,66
1 201	14,493		2,86	204,45	0,72

Tab. 3 - závislost rozdílu hladin na průtoku M2



Tab. 4 - graf rozdílu hladin M2

Sedlo při průtoku 813 l/s je způsobeno otevřením klapky M17 umístěné na nátoku do haly 1 ÚV Sojovice.

VÝPOČET TLAKOVÉ ZTRÁTY VÝTLAKU ČERPADLA M2 - ČSSV Sojovice

Tlaková ztráta řadu při průtoku $Q_{max} =$ **4323,6** m³/hod.

ZADANÉ HODNOTY

Min. hladina sací jímky:	171,39 m n.m.	Max. hladina v nátok. jímce haly 2:	185,88 m v.s.
Max. hladina sací jímky:	171,67 m n.m.	Min. rozdíl hladin:	14,12 m n.m.
Min. hladina v nátok. jímce haly 2:	185,78 m v.s.	Max. rozdíl hladin:	14,49 m n.m.

Třecí ztráty	Q [m ³ /s]	DN [m]	L [m]	v [m/s]	Δ [m]	Re	λ	kontrola	Δp [Pa]	H _z [m]	P _z [W]
Rovný úsek DN1000 ocel	1,20100	1	13	1,529	0,01	1167299	0,037909	0,000874	576,180	0,059	691,9925
Rovný úsek DN 800 ocel	1,20100	0,804	2,5	2,366	0,006	1451865	0,034426	0,000693	299,514	0,031	359,71686
Rovný úsek DN 600 ocel	1,20100	0,614	0,3	4,056	0,006	1901139	0,037600	0,000536	151,130	0,015	181,50661
Rovný úsek DN 1200 litina	1,20100	1,2	679	1,062	0,01	972749	0,035695	0,001053	11388,158	1,161	13677,177
Rovný úsek DN 800 litina	0,71600	0,8	30	1,424	0,006	869886	0,034509	0,001161	1312,857	0,134	940,00544
TLAKOVÁ ZTRÁTA / ZTRÁTOVÝ VÝKON											
									28 060	2,86	32 356

Výtlaček celkem

28 060	2,86	32 356
	Účinnost:	0,72
	Ztr. příkon	44,94

Max. statická výška		14,49 m v.s.
Min. statická výška		14,12 m v.s. příkon
Potřebná dopravní výška čerpadla max.		17,35 m v.s. 283,96 kW

Dopravní výška dle charakteristiky 30,5 m v. s. Pozn.: Dohledaná charakteristika zjevně neodpovídá skutečnosti.

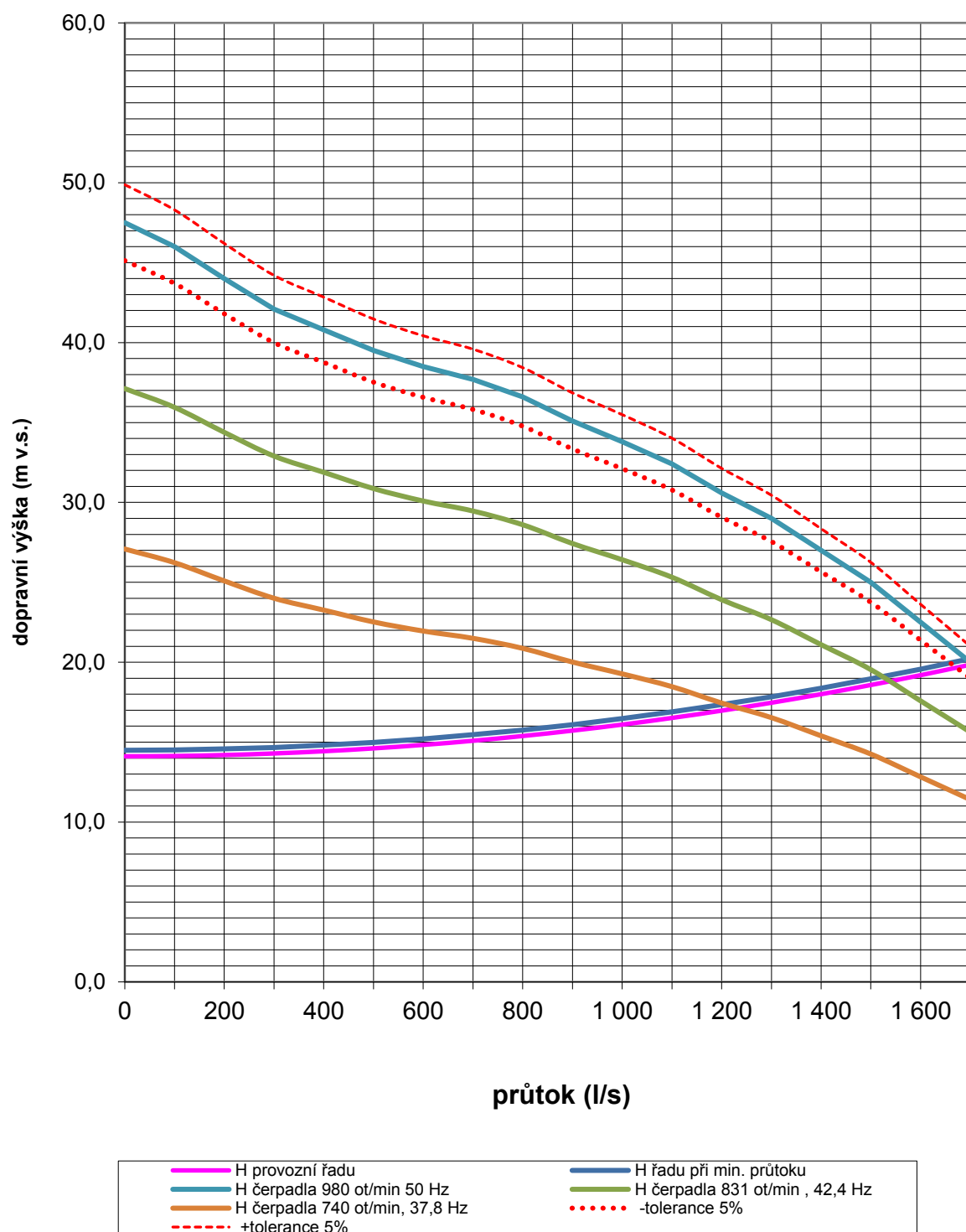
PŘEHLED POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Q - průtok	λ - součinitel třecích ztrát dle Colebrook - White
v - střední rychlost proudění	ξ - součinitel místní ztráty
L - délka rovného úseku	Δp - tlaková ztráta
Δ - absolutní drsnost vnitřního povrchu	H _z - ztrátová výška
Re - Reynoldsovo číslo	P _z - ztrátový výkon

Tab. 5 - výpočet tlakové ztráty M2

Z výpočtů je zjevné že dodaná charakteristika čerpadla M2 neodpovídá skutečnému stavu.

ČSSV SOJOVICE - stanovení provozní oblasti při čerpání čerpadlem M2

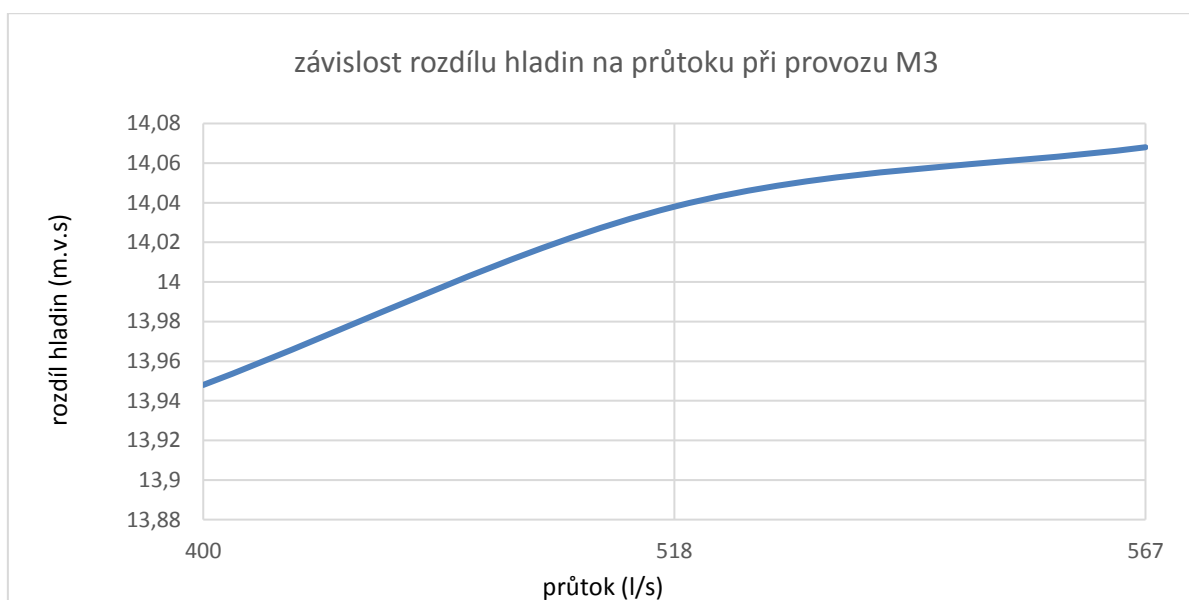


Obr. 23 - graf stávajícího čerpadla M2

2.5.3 ČERPADLO M3

průtok (l/s)	Rozdíl hladin hala 2 - sací jímka (m v.s.)	ztrátovýkoef. řadu DN 1200	Tlaková ztráta při provozu M3 (m v.s.)	Hydraulický výkon (kW)	Účinnost
400	13,948	148,87	0,95	58,46	0,73
518	14,038		1,59	79,42	0,74
567	14,068		1,91	88,86	0,72

Tab. 6 - závislost rozdílu hladin na průtoku M3



Obr. 24 – graf rozdílu hladin M3

VÝPOČET TLAKOVÉ ZTRÁTY VÝTLAKU ČERPADLA M3 - ČSSV Sojovice

Tlaková ztráta řadu při průtoku $Q_{max} =$ **2041,2** m³/hod.

ZADANÉ HODNOTY

Min. hladina sací jímky:	171,50 m n.m.	Max. hladina v nátok. jímce haly 2:	185,82 m v.s.
Max. hladina sací jímky:	171,94 m n.m.	Min. rozdíl hladin:	13,82 m n.m.
Min. hladina v nátok. jímce haly 2:	185,76 m v.s.	Max. rozdíl hladin:	14,32 m n.m.

Třecí ztráty	Q [m ³ /s]	DN [m]	L [m]	v [m/s]	Δ [m]	Re	λ	kontrola	δp [Pa]	H _z [m]	P _z [W]
Rovný úsek DN500 ocel	0,56700	0,515	12,65	2,722	0,006	1070077	0,039940	0,000931	3634,295	0,370	2060,64551
Rovný úsek DN1000 ocel	0,56700	1	17	0,722	0,01	551090	0,037953	0,001854	168,130	0,017	95,3299927
Rovný úsek DN1200 litina	0,56700	1,2	679	0,501	0,01	459241	0,035758	0,002227	2542,726	0,259	1441,72575
Rovný úsek DN800 litina	0,56700	0,8	30	1,128	0,006	688862	0,034527	0,001466	823,737	0,084	467,058754

Míst.odpory	Q [m ³ /s]	Ref. DN [m]	ξ	Ref.v [m/s]					δp [Pa]	H _z [m]	P _z [W]
1 x redukce DN400/500	0,56700	0,4	0,05	4,51					508,964	0,052	289
3 x ostré koleno 30° DN500	0,56700	0,515	0,6	2,72					2222,693	0,227	1 260
1 x zpětná klapka DN500	0,56700	0,5	0,9	2,89					3752,490	0,383	2 128
1 x šoupě DN500	0,56700	0,5	0,06	2,89					250,166	0,026	142
1 x T DN500/1000 odbočka	0,56700	0,515	0,9	2,72					3334,039	0,340	1 890
1 x T DN1000 odbočení	0,56700	1	1,3	0,72					338,766	0,035	192
1 x šoupě DN1000	0,56700	1	0,06	0,72					15,635	0,002	9
1 x redukce DN1000/1200	0,56700	1	0,05	0,72					13,029	0,001	7
2 x koleno DN1200 45°	0,56700	1,2	0,3	0,50					37,701	0,004	21
DN1200 T - rozbočení	0,56700	1,2	1,2	0,50					150,804	0,015	86
DN1200 koleno 90°	0,56700	1,2	0,5	0,50					62,835	0,006	36
redukce DN1200/800	0,56700	1,2	0,2	0,50					25,134	0,003	14
1 x kl DN800 AQUISORIA	0,56700	0,8	0,3	1,13					190,862	0,019	108
1 x DN800 výtok	0,56700	0,8	1	1,13					636,205	0,065	361
TLAKOVÁ ZTRÁTA / ZTRÁTOVÝ VÝKON									18 708	1,91	10 608

Výtlaček celkem	18 708	1,91	10 608
		Účinnost:	0,72
		Ztr. příkor	14,73

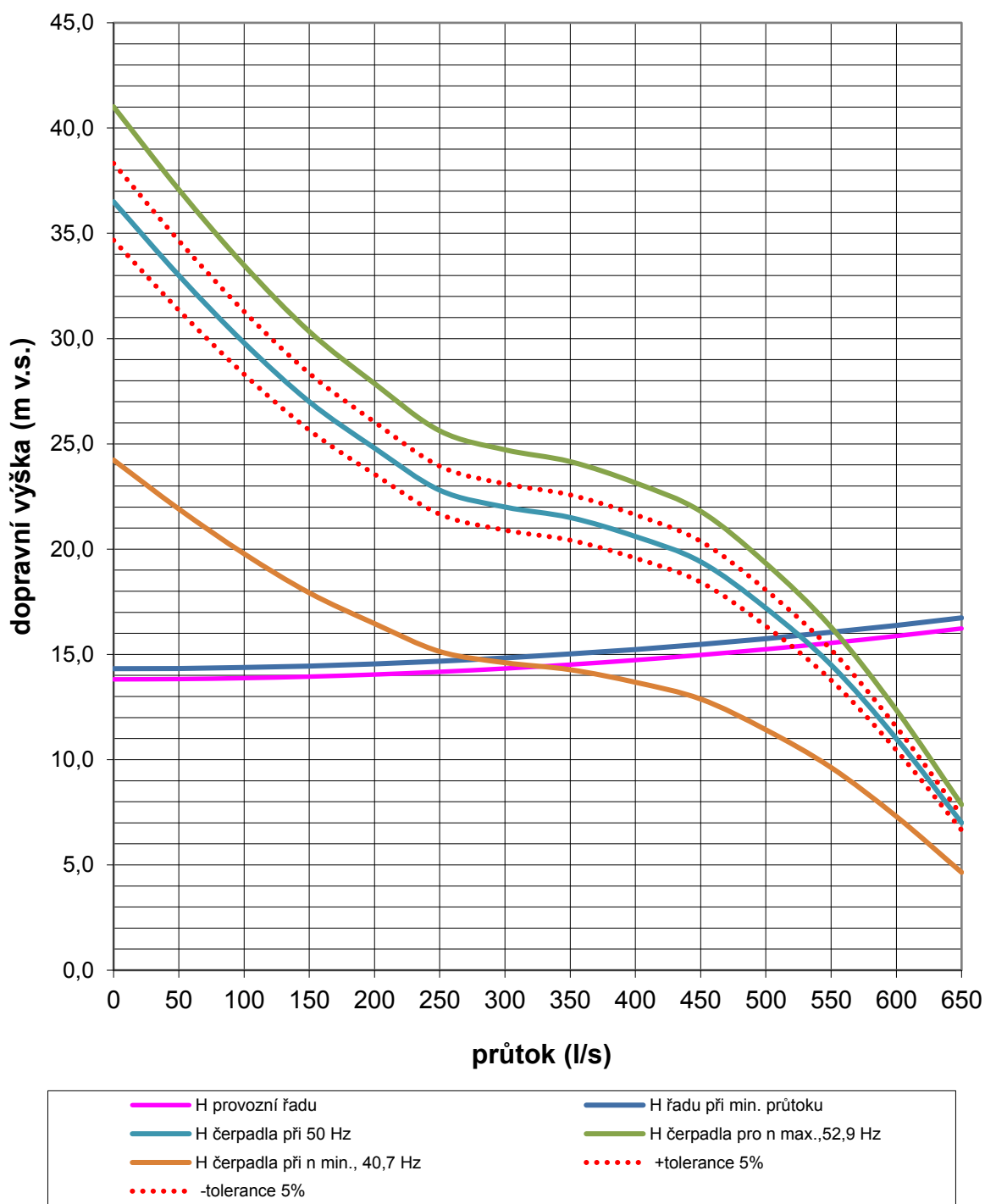
Max. statická výška	14,32 m v.s.		
Min. statická výška	13,82 m v.s.	příkon	
Potřebná dopravní výška čerpadla max.	16,23 m v.s.	125,36 kW	
Potřebná dopravní výška čerpadla min.	15,72 m v.s.		

PŘEHLED POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Q - průtok	λ - součinitel třecích ztrát dle Colebrook - White
v - střední rychlost proudění	ξ - součinitel místní ztráty
L - délka rovného úseku	δp - tlaková ztráta
Δ - absolutní drsnost vnitřního povrchu	H _z - ztrátová výška
Re - Reynoldsovo číslo	P _z - ztrátový výkon

Tab. 7 – výpočet tlakové ztráty M3

ČSSV SOJOVICE - stanovení provozní oblasti při čerpání čerpadlem M3

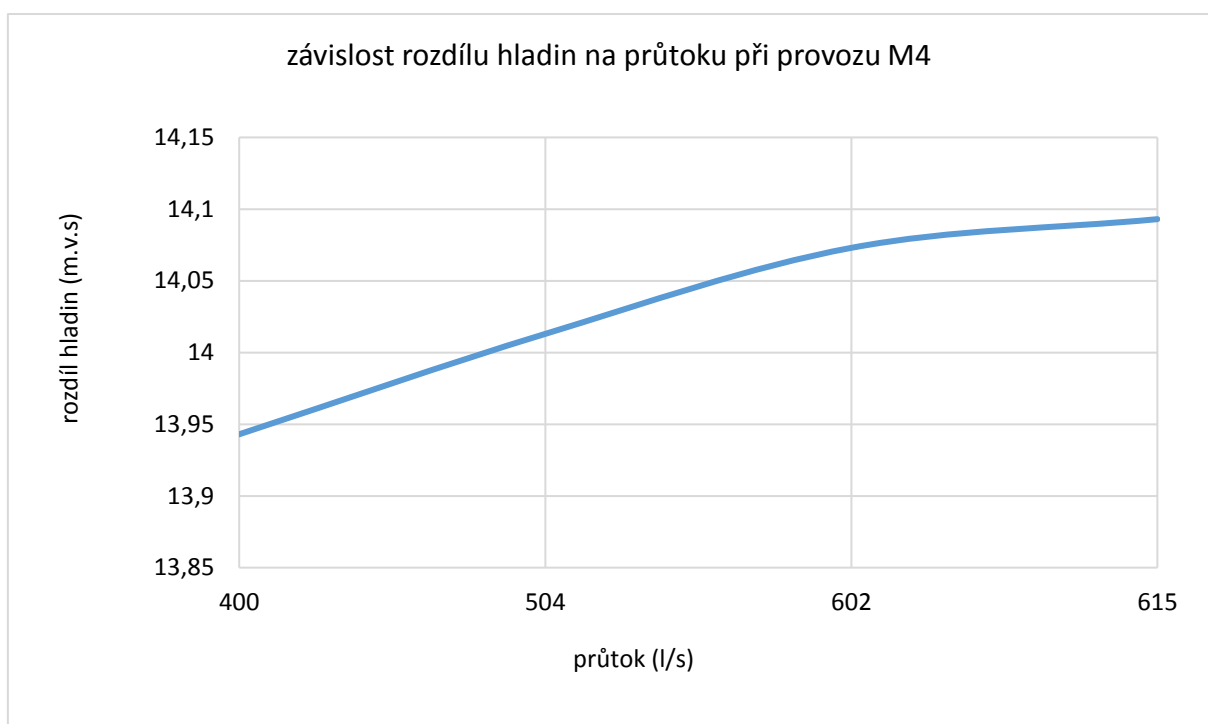


Obr. 25 - graf stávajícího čerpadla M3

2.5.4 ČERPADLO M4

průtok (l/s)	Rozdíl hladin hala 2 - sací jímka (m v. s.)	Ztrátový koef. řadu DN 1200	Tlaková ztráta při provozu M4 (m v. s.)	Hydraulický výkon (kW)	Účinnost
400	13,943	240,47	1,53	60,73	0,70
504	14,013		2,43	81,32	0,69
602	14,073		3,47	103,62	0,69
615	14,093		3,62	106,89	0,69

Tab. 8 – závislost rozdílu hladin na průtoku M4



Obr. 26 - graf rozdílu hladin M4

VÝPOČET TLAKOVÉ ZTRÁTY VÝTLAKU ČERPADLA M4 - ČSSV Sojovice

Název: Tlaková ztráta řadu při průtoku $Q_{max} = 2160$ m³/hod. výpočet pro halu 2

ZADANÉ HODNOTY

Min. hladina sací jímky:	171,75 m n.m.	Max. hladina v nátok. jímce hal:	185,84 m v.s.
Max. hladina sací jímky:	171,82 m n.m.	Min. rozdíl hladin:	13,94 m n.m.
Min. hladina v nátok. jímce haly 2:	185,76 m v.s.	Max. rozdíl hladin:	14,09 m n.m.

Třecí ztráty	Q [m ³ /s]	DN [m]	L [m]	v [m/s]	Δ [m]	Re	λ	kontrola	Δp [Pa]	H _z [m]	P _z [W]
Rovný úsek DN500 ocel	0,60000	0,515	17,7	2,880	0,006	1132357	0,039938	0,000879	5693,999	0,580	3416,4
Rovný úsek DN1000 ocel	0,60000	1	15,4	0,764	0,01	583164	0,037948	0,001752	170,531	0,017	102,3184
Rovný úsek DN 1200 litina	0,60000	1,2	679	0,531	0,01	485970	0,035752	0,002106	2846,796	0,290	1708,078
Rovný úsek DN 800 litina	0,60000	0,8	30	1,194	0,006	728955	0,034522	0,001385	922,282	0,094	553,3693

Míst.odpory	Q [m ³ /s]	Ref. DN [m]	ξ	Ref.v [m/s]					Δp [Pa]	H _z [m]	P _z [W]
1x koleno 90° DN350	0,60000	0,35	0,5	6,24					9722,799	0,991	5 834
redukce DN350/500	0,60000	0,5	0,2	3,06					933,778	0,095	560
1x segment. koleno 90° DN500	0,60000	0,5	0,55	3,06					2567,888	0,262	1 541
4x ostré koleno 30° DN500	0,60000	0,515	0,72	2,88					2986,738	0,304	1 792
1x zpětná klapka DN500	0,60000	0,5	0,5	3,06					2334,444	0,238	1 401
1x šoupě DN500	0,60000	0,5	0,06	3,06					280,133	0,029	168
1x T DN500/1000 odbočka	0,60000	0,515	0,9	2,88					3733,422	0,381	2 240
1x T DN1000 odbočení	0,60000	1	1,3	0,76					379,347	0,039	228
1x šoupě DN1000	0,60000	1	0,06	0,76					17,508	0,002	11
1x redukce DN1000/1200	0,60000	1	0,05	0,76					14,590	0,001	9
2x koleno DN1200 45°	0,60000	1,2	0,3	0,53					42,217	0,004	25
DN1200 T - rozbočení	0,60000	1,2	1,2	0,53					168,869	0,017	101
DN1200 koleno 90°	0,60000	1,2	0,5	0,53					70,362	0,007	42
redukce DN1200/800	0,60000	1,2	0,2	0,53					28,145	0,003	17
1x kl DN800 AQUISORIA	0,60000	0,8	0,3	1,19					213,725	0,022	128
1x DN800 výtok	0,60000	0,8	1	1,19					712,416	0,073	427
TLAKOVÁ ZTRÁTA / ZTRÁTOVÝ VÝKON									33 840	3,45	20 304

Výtlaček celkem	33 840	3,45	20 304
		Účinnost:	0,69
		Ztr. příkon	29,43

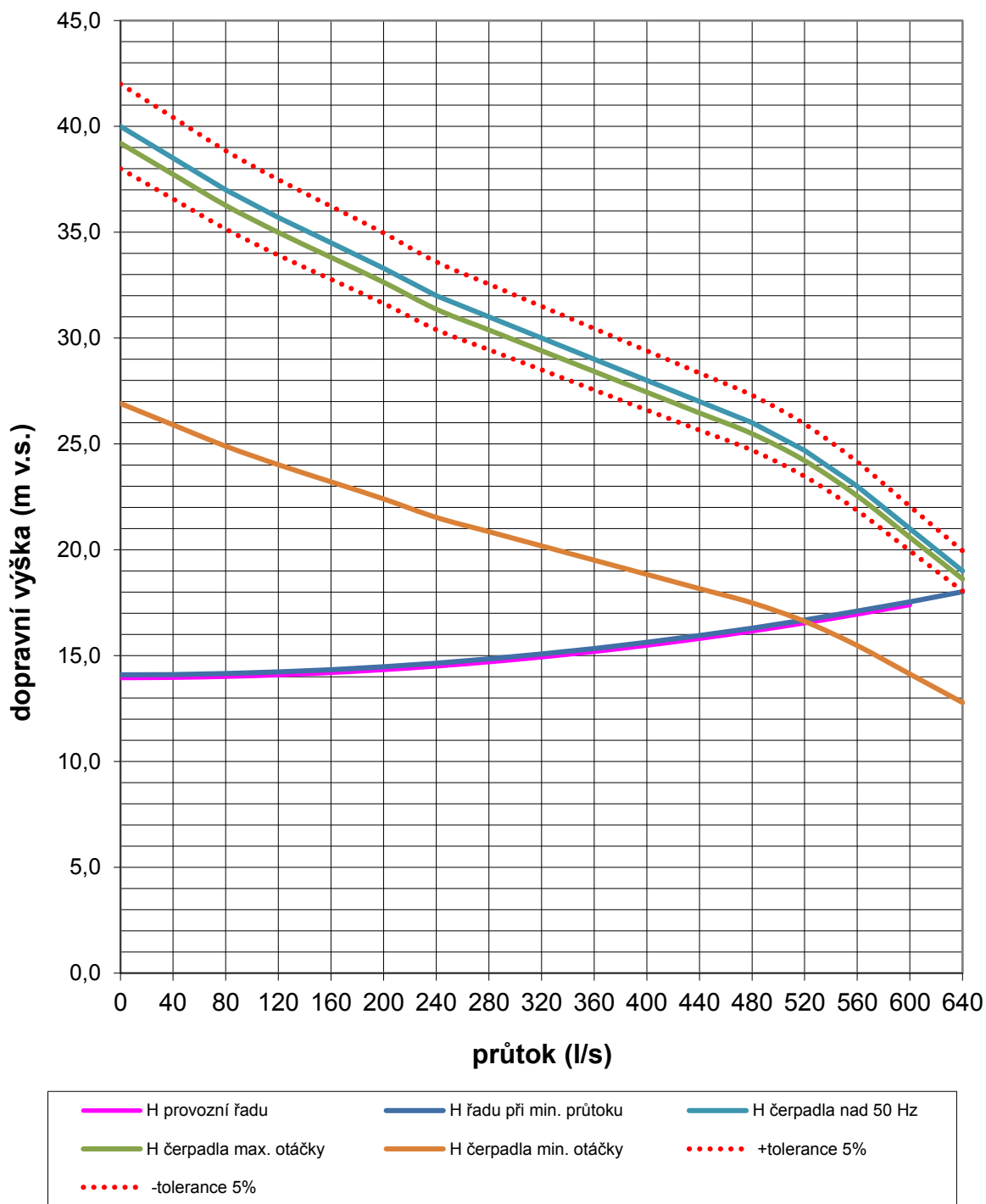
Max. statická výška	14,09 m v.s.		
Min. statická výška	13,94 m v.s.	příkon	
Potřebná dopravní výška čerpadla max.	17,54 m v.s.	149,65 kW	
Potřebná dopravní výška čerpadla min.	17,39 m v.s.		

PŘEHLED POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Q - průtok	λ - součinitel třecích ztrát dle Colebrook - White
v - střední rychlost proudění	ξ - součinitel místní ztráty
L - délka rovného úseku	Δp - tlaková ztráta
Δ - absolutní drsnost vnitřního povrchu	H _z - ztrátová výška
Re - Reynoldsovo číslo	P _z - ztrátový výkon

Obr. 27 - výpočet tlakové ztráty M4

ČSSV SOJOVICE - stanovení provozní oblasti při čerpání čerpadlem M4



Obr. 28 - graf stávajícího čerpadla M4

2.5.5 CELKOVÉ ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE ČERPÁNÍ

V původním uspořádání čerpací stanice z roku 1964 byla v každé sací jímce osazena dvojice čerpadel. Hlavní s parametry $Q=1450$ l/s při $H=18,5$ m v.s. a pomocné s parametry $Q=400$ l/s a $H=20$ m v.s. Pomocná čerpadla pravděpodobně při daném uspořádání nemohla být provozována bez škrcení výtlaku. Postupně byla všechna čerpadla s výjimkou M1 nahrazena čerpadly novými s výkonem lépe přizpůsobeným provozním potřebám. Při návrhu čerpadel M2, M4 bylo pravděpodobně uvažováno s budoucí výškovou rezervou na doplnění úpravny vody Sojovice o stupeň předúpravy. Stávající skladba čerpadel zjevně vyhovuje běžným provozním potřebám. Při poruše jsou čerpadla M1 / M2 vzájemně zaměnitelná pro větší průtoky a čerpadla M3 / M4 pro menší průtoky.

Při potřebě čerpání špičkových průtoků nad 1500 l/s (při havarijních stavech) je třeba uvažovat s potřebou souběhu čerpadel M1 + M2. Pokud bude jedno z čerpadel v poruše, nemusí být potřebného špičkového průtoku dosaženo. Dispoziční uspořádání čerpadel ve strojovně čerpací stanice surové vody je patrné z příslušné přílohy.

Čerpadla M3 a M4 pokrývají většinu provozních potřeb úpravny vody a jsou používána při průtocích od cca 300 do 600 l/s. Výtlaky čerpadel jsou napojeny na přípojovací potrubí DN 500 s nepříliš hydraulicky vhodnými ostrými svařovanými ohyby potrubí. Výtlak ponorného čerpadla M4 DN350 je napojen na patkové koleno DN350 a následně pravděpodobně na redukci DN350/500 (neověřeno). Rychlost proudění v potrubí DN500 při průtoku 600 l/s je 2,9 m/s, v kolenu DN350 pak 6,24 m/s. Pro provozní průtoky čerpadel M3, M4 jsou stávající úseky výtlačných potrubí DN350 - DN500 poddimenzované, neumožňující hospodárny provoz těchto čerpadel.

Jak vyplývá z výsledků korozního průzkumu, je nutné stávající potrubní systém uvnitř strojovny čerpací stanice v nejbližší době opravit, obrousit na kovový povrch a opatřit novým antikorozním nátěrovým systémem provedeným ve shodě s technologickým postupem výrobce. Je otázkou, zda má oprava stávajícího potrubí smysl s ohledem vnitřní inkrustaci potrubí a výše uvedený text.

2.5.6 ENERGETICKÁ NÁROČNOST – stávající stav

Pro vyhodnocení energetické náročnosti čerpací stanice surové vody jsem vytvořil modelový příklad, ve kterém je sledován roční běh jednotlivých čerpadel při provozu s různými požadovanými průtoky. Po dobu dvou týdnů je zde čerpán i havarijní průtok 1950 l/s dvojicí čerpadel M2 + M1. Pro chod jednotlivých čerpadel jsem z modelových provozních parametrů a změřených hodnot účinnosti stávajících čerpadel dopočetl příkony a spotřeby elektrické energie za dobu provozu. Podrobný přehled ročního modelového provozu udává příloha 3. Vyhodnocení modelové roční bilance udává následující Tab. 9:

	Proteklé množství (m ³)	Spotřeba (MWh)	Měrná spotřeba (kWh/m ³)
M1	1 209 600	128,11	0,106
M2	4 259 520	303,52	0,071
M3	3 928 781	226,10	0,058
M4	4 161 024	288,28	0,069
CELKEM	13 558 925	946,02	0,070

Tab. 9 - roční bilance energie – stávající stav

2.6 NÁVRH NOVÉ KONCEPCE ČERPÁNÍ SUROVÉ VODY

Při úvaze nad budoucí koncepcí provozu ČSSV přicházejí v úvahu následující možnosti:

- postupná výměna čerpadel M1, M4, M2 za nová, s obdobnými návrhovými parametry, při obnově a opravě stávajících ocelových vnitřních potrubních rozvodů,
- postupná výměna čerpadel M1, M4, M2 za nová, vzájemně zaměnitelná spolu s kompletní výměnou stávajících vnitřních potrubních rozvodů surové vody za potrubí nová, zhotovená z antikorozi oceli.

2.6.1 ZACHOVÁNÍ STÁVAJÍCÍ KONCEPCE

Čerpadla M1 a výhledově do cca 10-ti let M2 bude nutné vyměnit za nová, s průtokem kolem 1450 l/s. Čerpadlo M4 bude s ohledem na své stáří rovněž v horizontu do 10-ti let vyměněno za nové. Čerpadlo M3 bude ponecháno na své pozici beze změny, uvažovaná životnost je 20–25 let. Otáčky každého čerpadla budou regulovatelné frekvenčním měničem.

Stávající potrubní systém výtlačného potrubí uvnitř strojovny čerpací stanice bude opraven a bude obnoven jeho povrchový nátěrový systém.

Výhody:

- Minimalizace zásahů do stávajícího zařízení
- Možnost rozložení investičních nákladů na více etap

Nevýhody:

- Náklady na výměnu jednoho čerpadla velikosti M1, resp. M2 vč. elektroinstalace, frekvenčního měniče a stavebních úprav lze odhadnout na cca 11 mil. Kč. Po dobu své životnosti však budou takto navržená čerpadla s ohledem na běžné provozní průtoky provozována pouze minimálně.
- S ohledem na dimenze výtlačných potrubí čerpadel M3, M4 není provoz těchto čerpadel, zejména M4 při průtocích kolem 550 – 600 l/s příliš hospodárný – viz tabulky místních tlakových ztrát čerpadel M3, M4 v kapitole 0
- Vnitřní povrch stávajících ocelových potrubních rozvodů uvnitř čerpací stanice není opatřen žádným ochranným systémem. Ocel tedy postupně reaguje s vodou při pozvolném ubývání tloušťky stěny trubky a tvorbě inkrustů. V horizontu cca 15 – 20 let tedy bude nutné tyto rozvody stejně vyměnit za nové.

2.6.2 ÚPRAVA KONCEPCE ČERPÁNÍ – NÁVRH NOVÝCH PARAMETRŮ ČERPADEL

Nová koncepce uvažuje rovněž s postupnou výměnou čerpadel M1, M4 a M2. Čerpadlo M3 bude ponecháno na své pozici. Nová čerpadla budou navržena tak, aby průtok při souběhu tří čerpadel a provozu na frekvenci 50 Hz byl 1950 l/s. Čerpadla M1, M2 budou odstředivá vertikální do suché jámky, čerpadlo M4 bude stejného provedení, jako M3, tj. vertikální čerpadlo s ponořenou hydraulikou. Vytlačené potrubí všech čerpadel bude vyměněno za nové, dimenzované pro návrhový průtok min. 650 l/s. Minimální dimenze nového výtlačného potrubí každého čerpadla, vč. M3, je DN 600. Otáčky každého čerpadla budou regulovatelné frekvenčním měničem.

Stávající potrubní systém výtlačného potrubí uvnitř strojovny čerpací stanice bude vyměněn za nový, zhotovený z antikorozi oceli.

Výhody:

- Všechna čerpadla budou vzájemně zaměnitelná,
- I při max. návrhovém průtoku zůstane vždy jedno čerpadlo v rezervě
- Čerpadla navržená na průtok 650 l/s, která nahradí stávající M1, M2 budou investičně cca o polovinu levnější, než čerpadla navržená na průtok 1450 l/s.
- Nižší investiční náklady oproti předchozí variantě.
- Zvětšení dimenzí výtlaků čerpadel M3, M4 umožní jejich hospodárný provoz.
- Nové nerezové potrubní rozvody uvnitř čerpací stanice budou představovat trvalé řešení minimálně po dobu životnosti všech čerpadel.
- Minimální (oproti stávajícímu stavu cca 60 až 100 x nižší) drsnost potrubí dále zlepší ekonomiku provozu. Drsnost potrubí zde zůstane neměnná po dobu životnosti.

Nevýhody:

- Rozložení investičních nákladů max. do čtyř etap.

2.7 NÁVRH ČERPADEL PRO NOVOU KONCEPCI

Pro novou koncepci jsem navrhl upravené dispoziční uspořádání potrubí uvnitř čerpací stanice se stejnou dimenzí výtlaků DN 600 pro každé čerpadlo. Výtlačná potrubí čerpadel M3 a M4 jsem napřímil pro snížení tlakových ztrát a omezení vibrací, které mohou být vyvolány stávajícím uspořádáním výtlaků čerpadel M3, M4. Upravená uvažovaná dispozice je uvedena v příloze 5.

Pro upravenou dispozici jsem upravil ověřený výpočtový model a proveden výpočet tlakové ztráty potrubního systému při souběžném čerpání třemi čerpadly, každého s průtokem 650 l/s. Výpočet byl proveden pro nové čerpadlo umístěné na pozici M1 při souběhu nových čerpadel na pozicích M2 a M4. Čerpadlo M3 je v rezervě. Pro celkový průtok 1950 l/s vychází návrhová dopravní výška každého čerpadla 20,85 m v.s. při průtoku 650 l/s.

VÝPOČET TLAKOVÉ ZTRÁTY VÝTLAKU ČERPADLA M1 po výměně - ČSSV Sojovice

Výpočet pro souběh čerpadel M1+M2+M4 a max. návrhový průtok 1950 l/s, provoz na dvě haly

Název: Tlaková ztráta řadu při průtoku $Q_{max} =$ **7020** m³/hod. výpočet pro halu 2

ZADANÉ HODNOTY

Min. hladina sací jímky:	171,06 m n.m.	Max. hladina v nátok. jímce haly	185,99 m v.s.
Max. hladina sací jímky:	171,50 m n.m.	Min. rozdíl hladin:	14,32 m n.m.
Min. hladina v nátok. jímce haly 2:	185,82 m v.s.	Max. rozdíl hladin:	14,93 m n.m.

Třecí ztráty	Q [m ³ /s]	DN [m]	L [m]	v [m/s]	Δ [m]	Re	λ	kontrola	Δp [Pa]	H _z [m]	P _z [W]
Rovný úsek DN600 nerez	0,65000	0,5996	11	2,302	0,0005	1053637	0,019131	-0,002592	929,926	0,095	604,4521
Rovný úsek DN1000 nerez	0,65000	1,006	3,8	0,818	0,0005	627993	0,017467	-0,002761	22,061	0,002	14,33973
Rovný úsek DN1000 nerez	1,30000	1,006	2,1	1,636	0,0005	1255985	0,017081	-0,000634	47,689	0,005	61,99524
Rovný úsek DN 1000 ocel	1,95000	1	13	2,483	0,006	1895282	0,032129	0,000488	1287,344	0,131	2510,322
Rovný úsek DN 1200 litina	1,95000	1,2	679	1,724	0,01	1579402	0,035674	0,000647	30003,525	3,058	58506,87
Rovný úsek DN 800 litina	0,97500	0,8	30	1,940	0,006	1184551	0,034490	0,000852	2433,137	0,248	2372,308
Míst.odpory	Q [m ³ /s]	Ref. DN [m]	ξ	Ref.v [m/s]					Δp [Pa]	H _z [m]	P _z [W]
1 x vtok DN1000	0,65000	1	0,5	0,83					171,233	0,017	111
1 x redukce DN1000/800	0,65000	1	0,05	0,83					17,123	0,002	11
1 x klapka+MV DN800	0,65000	0,8	0,35	1,29					292,635	0,030	190
1 x redukce DN800/500	0,65000	0,8	0,125	1,29					104,512	0,011	68
1 x koleno 90° DN500	0,65000	0,5	0,5	3,31					2739,729	0,279	1 781
1 x redukce DN400/600	0,65000	0,4	0,12	5,17					1605,310	0,164	1 043
1 x zpětná klapka DN600	0,65000	0,6	0,8	2,30					2113,989	0,215	1 374
1 x klapka DN600	0,65000	0,6	0,4	2,30					1056,994	0,108	687
1 x koleno 90°, 2,5DN, DN600	0,65000	0,5996	0,35	2,30					927,341	0,095	603
1 x T DN600/1000 odbočení	0,65000	0,5996	0,9	2,30					2384,590	0,243	1 550
1 x T DN1000/600 spojení	0,65000	1	3	0,83					1027,399	0,105	668
1 x T DN1000/600 spojení	1,30000	1	1,5	1,66					2054,797	0,209	2 671
1 x T DN1000 odbočení	1,95000	1	1,3	2,48					4006,854	0,408	7 813
1 x redukce DN1000/1200	1,95000	1	0,05	2,48					154,110	0,016	301
2 x koleno DN1200 45°	1,95000	1,2	0,3	1,72					445,920	0,045	870
DN1200 T - rozbočení	0,97500	1,2	4,3	0,86					1597,878	0,163	1 558
DN1200 koleno 90°	0,97500	1,2	0,5	0,86					185,800	0,019	181
redukce DN1200/800	0,97500	1,2	0,2	0,86					74,320	0,008	72
1 x kl DN800 AQUISORIA	0,97500	0,8	0,3	1,94					564,367	0,058	550
1 x DN800 výtok	0,97500	0,8	1	1,94					1881,223	0,192	1 834
TLAKOVÁ ZTRÁTA / ZTRÁTOVÝ VÝKON									58 130	5,93	88 008

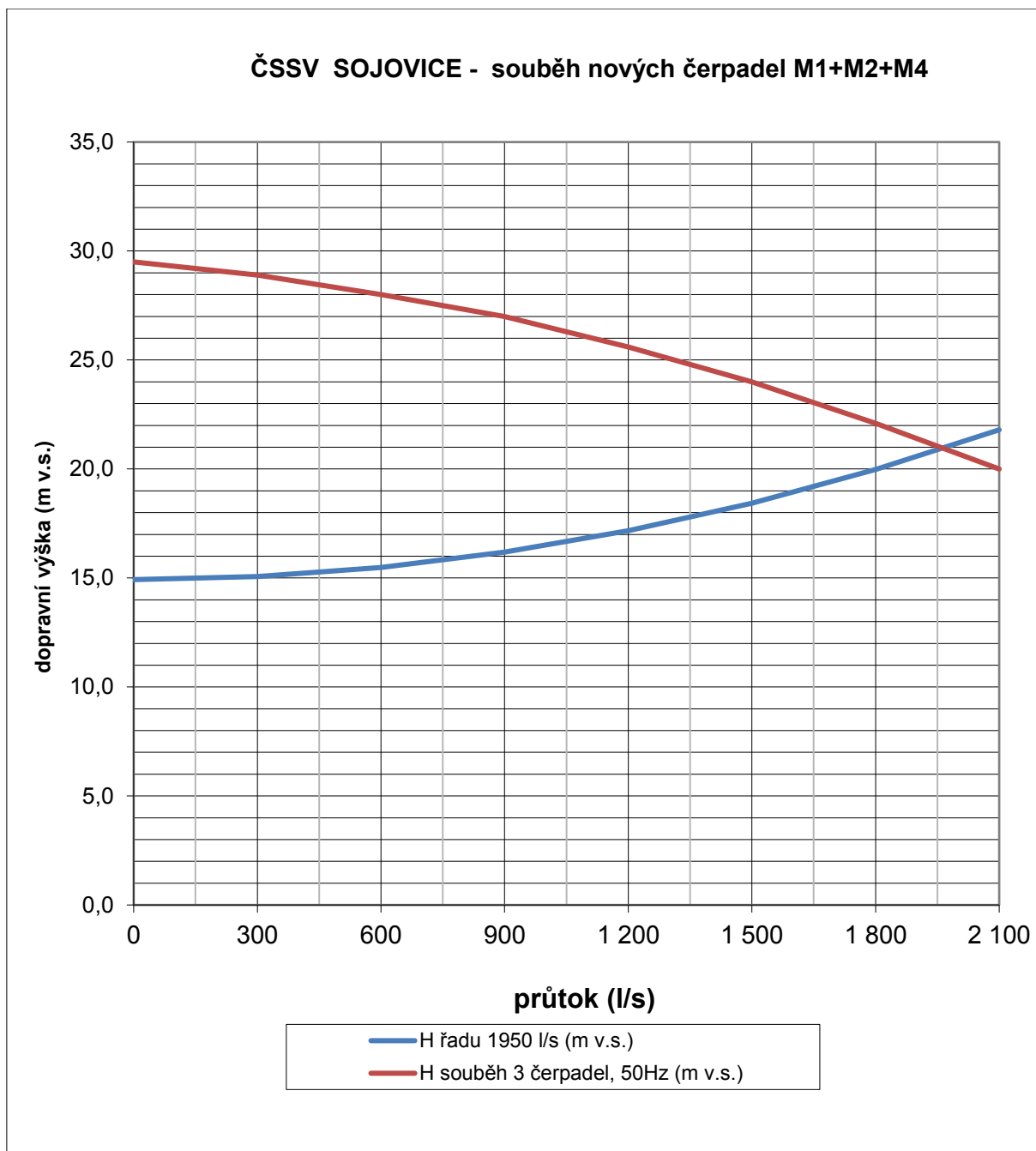
Výtlaček celkem	58 130	5,93	88 008
		Účinnost:	0,79
		Ztr. příkon	111,40

Max. statická výška	14,93 m v.s.	
Min. statická výška	14,32 m v.s.	příkon
Potřebná dopravní výška čerpadla max.	20,85 m v.s.	504,91 kW

PŘEHLED POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Q - průtok	λ - součinitel třecích ztrát dle Colebrook - White
v - střední rychlost proudění	ξ - součinitel místní ztráty
L - délka rovného úseku	Δp - tlaková ztráta
Δ - absolutní drsnost vnitřního povrchu	H _z - ztrátová výška
Re - Reynoldsovo číslo	P _z - ztrátový výkon

Tab. 10 - výpočet tlakové ztráty při souběhu M1+M2+M4



Obr. 29 - graf souběhu čerpadel M1+M2+M3

2.7.1 POŽADAVKY NA ČERPADLA

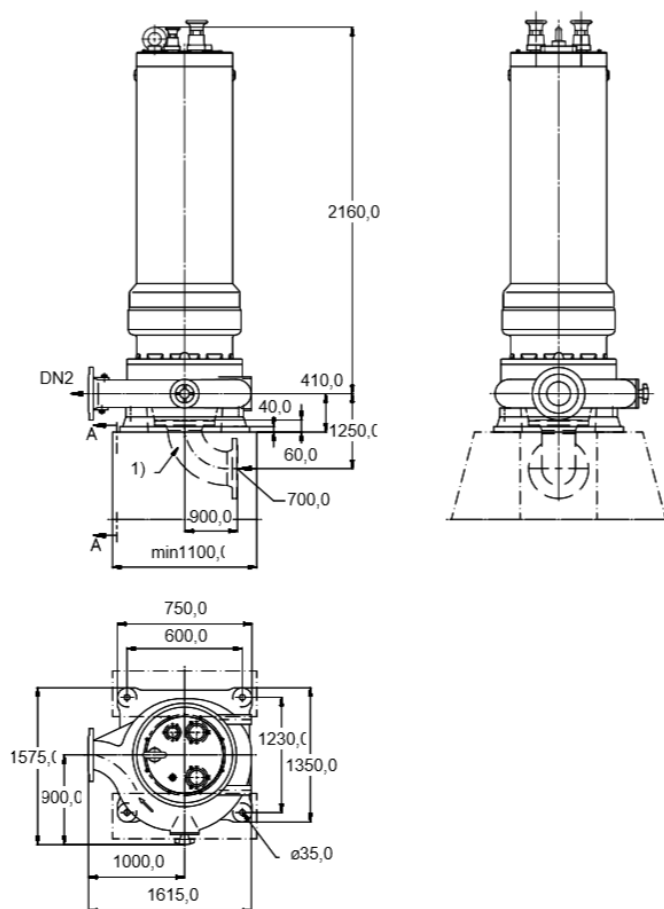
Z výpočtu tlakové ztráty při souběhu 3 čerpadel pro zajištění maximálního požadovaného průtoku 1950 l/s jsem získal potřebnou dopravní výšku čerpadla (Tab. 10). Dle výpočtu vychází 20,85 m v.s. z důvodu bezpečnosti volím 21 m v.s. Požadovaný návrhový průtok jednoho čerpadla je 650 l/s což při souběhu tří čerpadel zajistí potřebných 1950 l/s. Návrhový bod nových čerpadel je tedy průtok 650 l/s a dopravní výška 21 m. Čerpadla budou řízena

frekvenčními měniči. Pomocí měničů bude snižovány otáčky při běžném provozu, kdy čerpá pouze jedno čerpadlo.

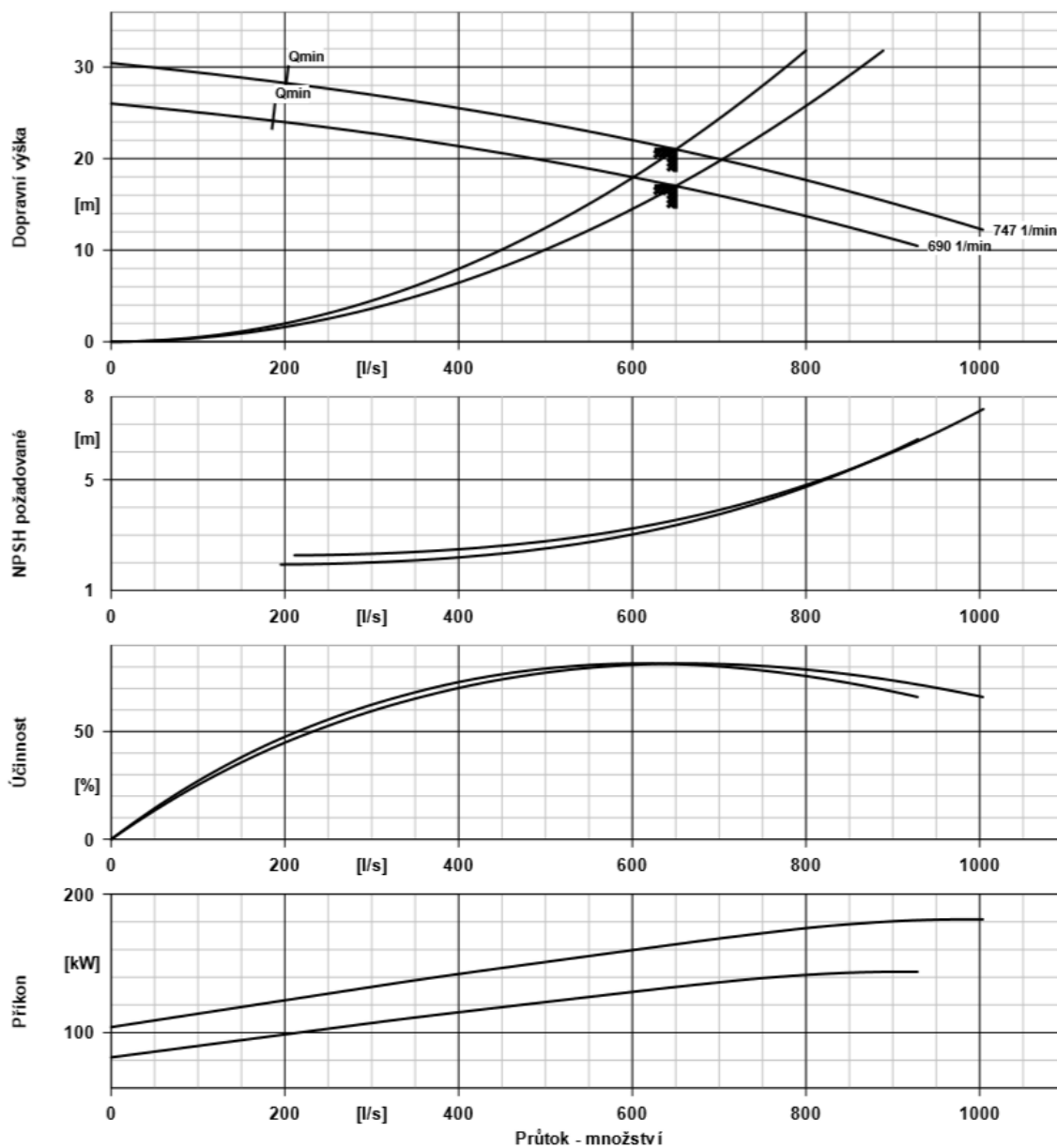
Čerpací stanice surové vody se nachází v záplavovém území řeky Jizery viz kap. 2.2 V minulosti již došlo k zaplavení čerpací stanice. Z tohoto důvodu je požadavek na vodotěsnost nově navrhovaných čerpadel. Veškeré armatury vč. elektropohonů jsem tedy navrhl s krytím IP 68 pro maximální zaplavení 10 m v. s po dobu 98 hodin. Čerpadla umístěná v suterénu čerpací stanice musí být plně vodotěsná.

2.7.2 ČERPADLO M1 a M2

Pro návrhový bod 650 l/s a dopravní výšku 21 m v. s. jsem zvolil typové blokové čerpadlo ve vertikálním provedení s ponorným motorem upravený pro chod v neponořeném provozu. Čerpadlo je řízeno frekvenčním měničem v rozsahu průtoků 400 až 650 l/s. Při otáčkách 747 ot/min poskytuje dopravní výšku 21 m v. s a průtok 650 l/s (souběh 3 čerpadel). Čerpadlo bude v běžném provozu pracovat na snížené otáčky.



Obr. 30 čerpadlo M1 a M2 pohled (poskytnuto výrobcem)



Obr. 31 - charakteristika čerpadla M1 a M2 (předaná výrobcem)

Dle výpočtu pro tlakových ztrát pro běžný provoz (chod samostatného čerpadla) vychází dopravní výška čerpadla 16,9 m v. s. volím 17 m v. s. Navržené čerpadlo je bezpečně schopno pracovat v obou pracovních bodech. Výpočet viz Tab. 11

VÝPOČET TLAKOVÉ ZTRÁTY VÝTLAKU ČERPADLA M1 - ČSSV Sojovice

Výpočet pro samostatný chod čerpadla M1 res. M2 a provozní průtok 650 l/s, provoz na jednu halu

Tlaková ztráta řadu při průtoku $Q_{min} =$ **2340** m³/hod. výpočet pro halu 2

ZADANÉ HODNOTY

Min. hladina sací jímky:	171,06 m n.m.	Max. hladina v nátok. jímce haly	185,99 m v.s.
Max. hladina sací jímky:	171,50 m n.m.	Min. rozdíl hladin:	14,32 m n.m.
Min. hladina v nátok. jímce haly 2:	185,82 m v.s.	Max. rozdíl hladin:	14,93 m n.m.

Třecí ztráty	Q [m ³ /s]	DN [m]	L [m]	v [m/s]	Δ [m]	Re	λ	kontrola	δp [Pa]	H _z [m]	P _z [W]
Rovný úsek DN600 nerez	0,65000	0,5996	11	2,302	0,0005	1053637	0,019131	-0,002592	929,926	0,095	604,4521
Rovný úsek DN1000 nerez	0,65000	1	3,8	0,828	0,0005	631761	0,017482	-0,002786	22,750	0,002	14,78781
Rovný úsek DN1000 nerez	0,65000	1	2,1	0,828	0,0005	631761	0,017482	-0,002786	12,573	0,001	8,172213
Rovný úsek DN 1000 ocel	0,65000	1	13	0,828	0,006	631761	0,032208	0,001470	143,391	0,015	93,20423
Rovný úsek DN 1200 litina	0,65000	1,2	679	0,575	0,01	526467	0,035743	0,001944	3340,222	0,340	2171,145
Rovný úsek DN 800 litina	0,65000	0,8	30	1,293	0,006	789701	0,034516	0,001279	1082,200	0,110	703,4297
Míst.odpory	Q [m ³ /s]	Ref. DN [m]	ξ	Ref.v [m/s]					δp [Pa]	H _z [m]	P _z [W]
1 x vtok DN1000	0,65000	1	0,5	0,83					171,233	0,017	111
1 x redukce DN1000/800	0,65000	1	0,05	0,83					17,123	0,002	11
1 x klapka+MV DN800	0,65000	0,8	0,35	1,29					292,635	0,030	190
1 x redukce DN800/500	0,65000	0,8	0,125	1,29					104,512	0,011	68
1 x koleno 90° DN500	0,65000	0,5	0,5	3,31					2739,729	0,279	1781
1 x redukce DN400/600	0,65000	0,4	0,12	5,17					1605,310	0,164	1043
1 x zpětná klapka DN600	0,65000	0,6	0,8	2,30					2113,989	0,215	1374
1 x klapka DN600	0,65000	0,6	0,4	2,30					1056,994	0,108	687
1 x koleno 90°, 2,5DN, DN600	0,65000	0,5996	0,35	2,30					927,341	0,095	603
1 x T DN600/1000 odbočení	0,65000	0,5996	0,9	2,30					2384,590	0,243	1550
1 x T DN1000/600 spojení	0,65000	1	0	0,83					0,000	0,000	0
1 x T DN1000/600 spojení	0,65000	1	0	0,83					0,000	0,000	0
1 x T DN1000 odbočení	0,65000	1	1,3	0,83					445,206	0,045	289
1 x redukce DN1000/1200	0,65000	1	0,05	0,83					17,123	0,002	11
2 x koleno DN1200 45°	0,65000	1,2	0,3	0,57					49,547	0,005	32
DN1200 T - rozbočení	0,65000	1,2	4,3	0,57					710,168	0,072	462
DN1200 koleno 90°	0,65000	1,2	0,5	0,57					82,578	0,008	54
redukce DN1200/800	0,65000	1,2	0,2	0,57					33,031	0,003	21
1 x kl DN800 AQUISORIA	0,65000	0,8	0,3	1,29					250,830	0,026	163
1 x DN800 výtok	0,65000	0,8	1	1,29					836,099	0,085	543
TLAKOVÁ ZTRÁTA / ZTRÁTOVÝ VÝKON									19 369	1,97	12 590

Výtlaček celkem	19 369	1,97	12 590
		Účinnost:	0,79
		Ztr. příkon	15,94

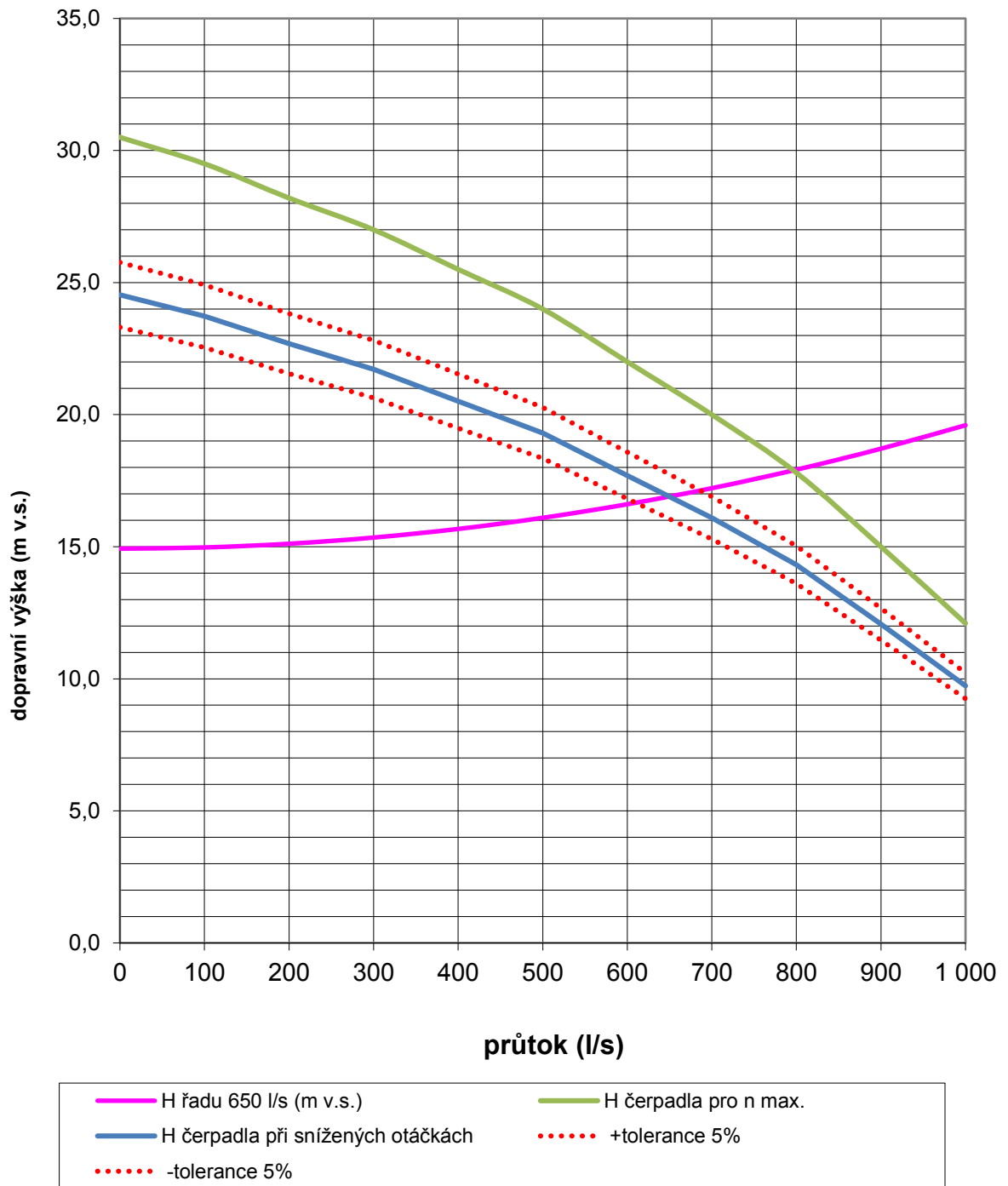
Max. statická výška		14,93 m v.s.	
Min. statická výška		14,32 m v.s.	příkon
Potřebná dopravní výška čerpadla max.		16,90 m v.s.	136,41 kW

PŘEHLED POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Q - průtok	λ - součinitel třecích ztrát dle Colebrook - White
v - střední rychlost proudění	ξ - součinitel místní ztráty
L - délka rovného úseku	δp - tlaková ztráta
Δ - absolutní drsnost vnitřního povrchu	H _z - ztrátová výška
Re - Reynoldsovo číslo	P _z - ztrátový výkon

Tab. 11- výpočet tlakové ztráty při běžném provozu M1 res. M2 (nový stav)

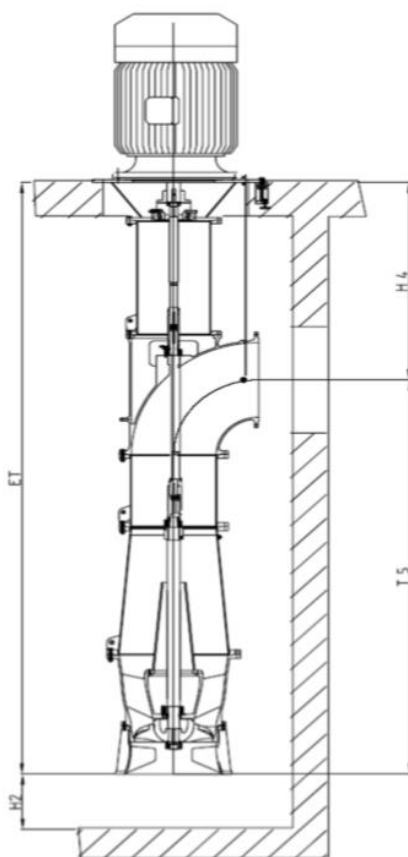
ČSSV SOJOVICE - čerpání novým čerpadlem M1



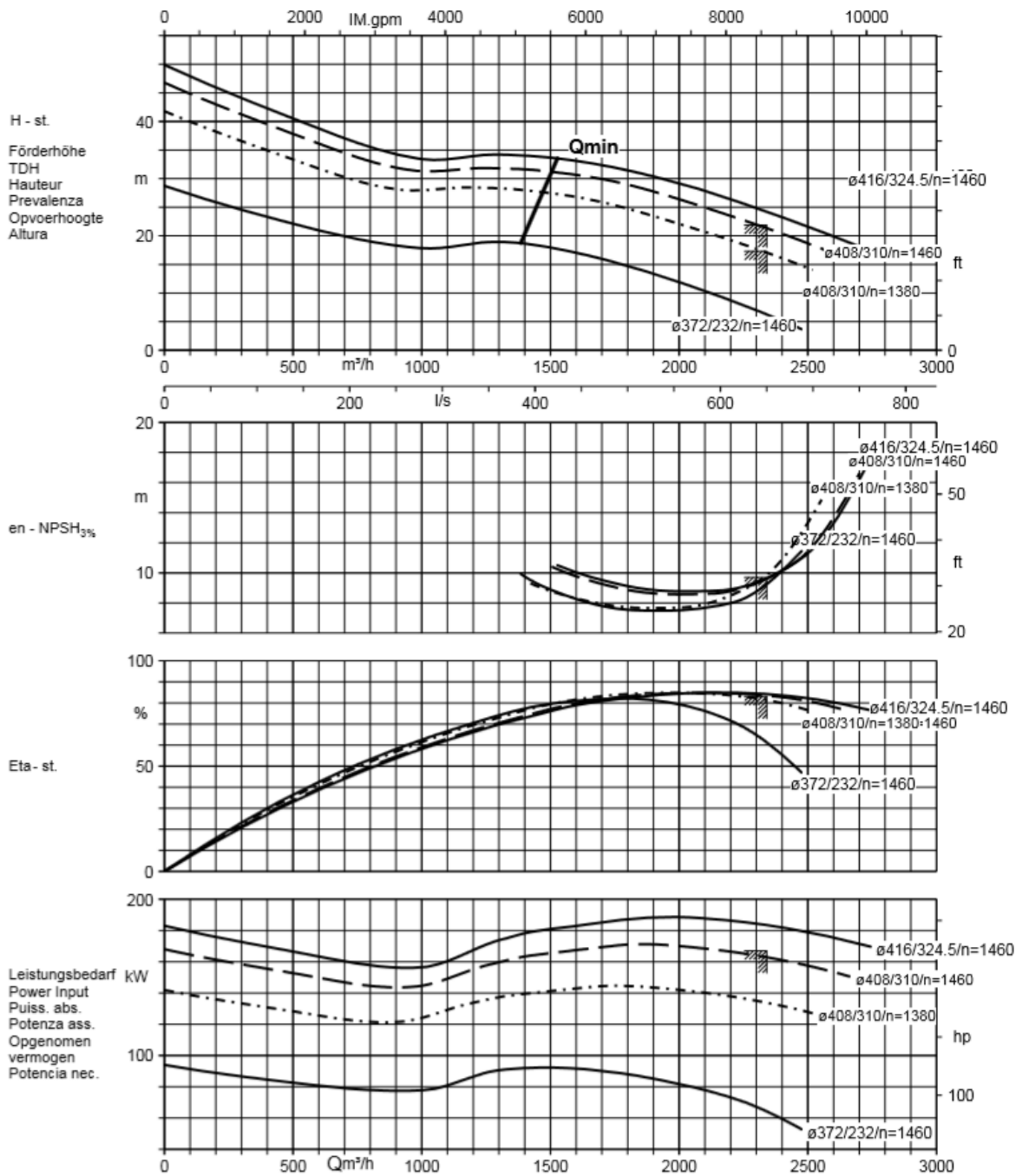
Obr. 32 - graf nového čerpadla M1 res. M2

2.7.3 ČERPADLO M4

Čerpadlo M4 jsem navrhl stejné konstrukce jako čerpadlo M3. Jedná se o odstředivé vertikální diagonální čerpadlo s ponořenou hydraulikou. Čerpadlo je také řízeno frekvenčním měničem v rozsahu 400 až 650 l/s. Oběžné kolo čerpadla je stočeno na průměr 408 mm. To zajistí při otáčkách 1460 ot/min dopravní výšku 21 m v. s a průtok 650 l/s (souběh 3 čerpadel). a při otáčkách 1380 ot/min 17 m v. s. a průtok také 650 l/s. (chod samostatného čerpadla)



Obr. 33 - čerpadlo M4 (poskytnuto výrobcem)



Obr. 34 - charakteristika čerpadla M4 (předaná výrobcem)

Dle výpočtu pro tlakových ztrát pro běžný provoz (chod samostatného čerpadla) vychází dopravní výška čerpadla 16,9 m v. s. volím 17 m v. s. Navržené čerpadlo je bezpečně schopno pracovat v obou pracovních bodech. Výpočet viz Tab. 12

VÝPOČET TLAKOVÉ ZTRÁTY VÝTLAKU ČERPADLA M4 - ČSSV Sojovice

Výpočet pro samostatný chod čerpadla M4 a provozní průtok 650 l/s, provoz na jednu halu

Tlaková ztráta řadu při průtoku $Q_{max} =$ **2340** m³/hod. výpočet pro halu 2

ZADANÉ HODNOTY

Min. hladina sací jímky:	171,75 m n.m.	Max. hladina v nátok. jímce hal	185,84 m v.s.
Max. hladina sací jímky:	171,82 m n.m.	Min. rozdíl hladin:	13,94 m n.m.
Min. hladina v nátok. jímce haly 2:	185,76 m v.s.	Max. rozdíl hladin:	14,09 m n.m.

Třecí ztráty	Q [m ³ /s]	DN [m]	L [m]	v [m/s]	Δ [m]	Re	λ	kontrola	Δp [Pa]	H _z [m]	P _z [W]
Rovný úsek DN600 nerez	0,65000	0,6	7,6	2,299	0,0005	1052934	0,019129	-0,002594	640,269	0,065	416,1748
Rovný úsek DN1000 ocel	0,65000	1,006	3,5	0,818	0,0005	627993	0,017467	-0,002761	20,319	0,002	13,20765
Rovný úsek DN 1200 litina	0,65000	1,2	679	0,575	0,01	526467	0,035743	0,001944	3340,222	0,340	2171,145
Rovný úsek DN 800 litina	0,65000	0,8	30	1,293	0,006	789701	0,034516	0,001279	1082,200	0,110	703,4297

Míst.odpory	Q [m ³ /s]	Ref. DN [m]	ξ	Ref.v [m/s]					Δp [Pa]	H _z [m]	P _z [W]
1x redukce DN400/600	0,65000	0,4	0,05	5,17					668,879	0,068	435
1x zpětná klapka DN600	0,65000	0,6	0,8	2,30					2113,989	0,215	1374
1x klapka DN600	0,65000	0,6	0,4	2,30					1056,994	0,108	687
1x koleno 45° DN600	0,65000	0,6	0,35	2,30					924,870	0,094	601
1x T DN600/1000 odbočení	0,65000	0,6	0,9	2,30					2378,237	0,242	1546
1x redukce DN1000/1200	0,65000	1	0,05	0,83					17,123	0,002	11
2 x koleno DN1200 45°	0,65000	1,2	0,3	0,57					49,547	0,005	32
DN1200 T - rozbočení	0,65000	1,2	1,2	0,57					198,186	0,020	129
DN1200 koleno 90°	0,65000	1,2	0,5	0,57					82,578	0,008	54
redukce DN1200/800	0,65000	1,2	0,2	0,57					33,031	0,003	21
1 x kl DN800 AQUISORIA	0,65000	0,8	0,3	1,29					250,830	0,026	163
1 x DN800 výtok	0,65000	0,8	1	1,29					836,099	0,085	543

TLAKOVÁ ZTRÁTA / ZTRÁTOVÝ VÝKON

13 693 **1,40** **8 901**

Výtlaček celkem

13 693 **1,40** **8 901**

Účinnost:	0,8
Ztr. příkon	11,13

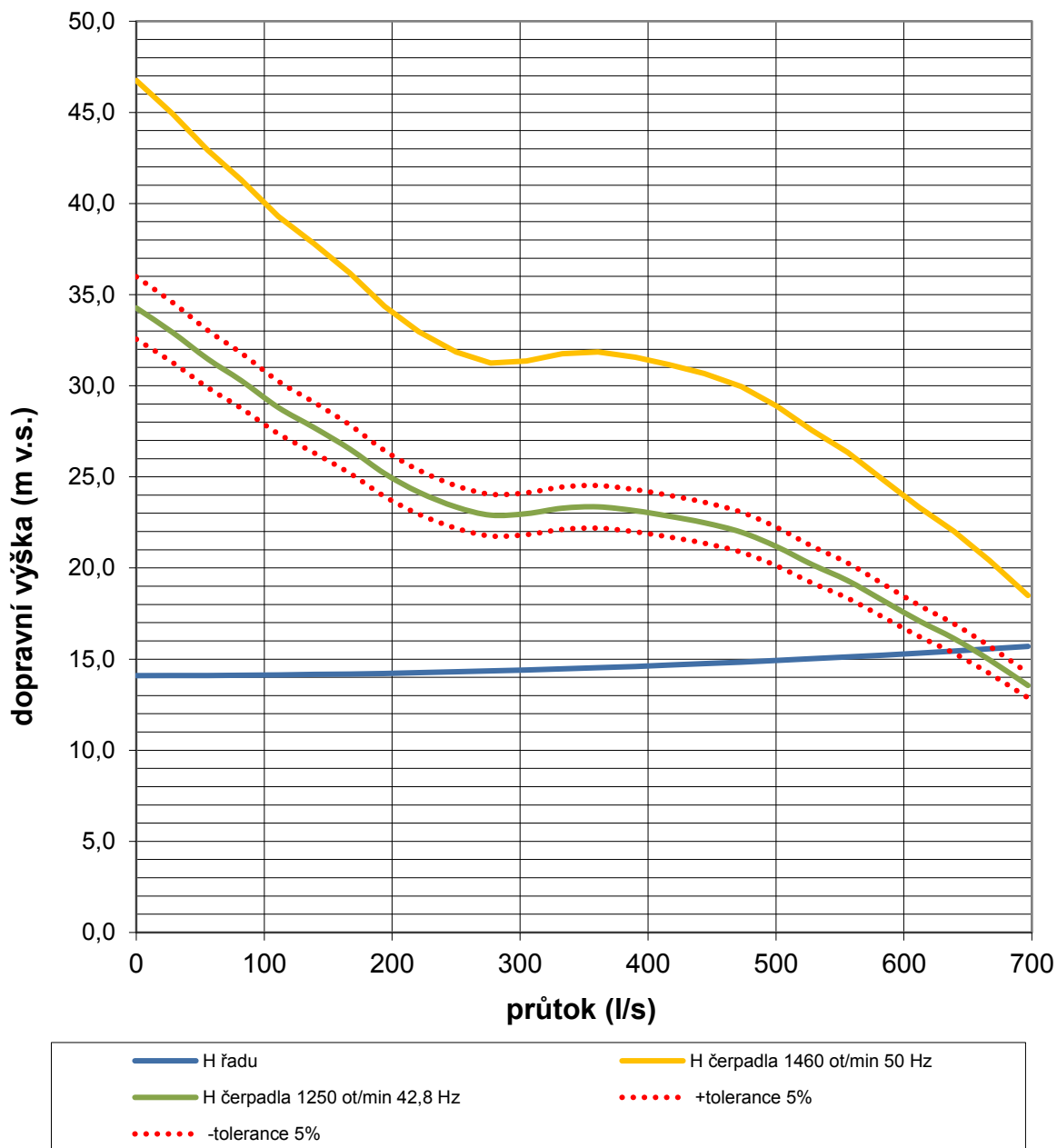
Max. statická výška	14,09 m v.s.	
Min. statická výška	13,94 m v.s.	příkon
Potřebná dopravní výška čerpadla max.	15,49 m v.s.	123,46 kW
Potřebná dopravní výška čerpadla min.	15,34 m v.s.	122,26 kW

PŘEHLED POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Q - průtok	λ - součinitel třecích ztrát dle Colebrook - White
v - střední rychlost proudění	ξ - součinitel místní ztráty
L - délka rovného úseku	Δp - tlaková ztráta
Δ - absolutní drsnost vnitřního povrchu	H _z - ztrátová výška
Re - Reynoldsovo číslo	P _z - ztrátový výkon

Tab. 12 - výpočet tlakové ztráty při běžném provozu M4 (nový stav)

PŘÍLOHA 4 : ČSSV SOJOVICE - stanovení provozní oblasti při čerpání čerpadlem M4



Obr. 35 - graf nového čerpadla M4

2.7.4 POSOUZENÍ

Z výše uvedených výpočtů vyplývají pro návrh nového čerpadla a navazujícího potrubí následující závěry:

Čerpadla navržená na provozní bod při souběhu tří čerpadel lze provozovat v daném potrubním systému i samostatně, na plné, nebo snížené otáčky. Zde je nutno ve fázi zpracování projektu dořešit požadovaný rozsah regulace jednoho čerpadla. Při požadavku na dlouhodobý provoz jednoho čerpadla při průtocích kolem 800 l/s by bylo vhodné zvětšit navrženou dimenzi výtlačného potrubí na DN 800. Pro navržené potrubí výtlačku DN 600 lze jako maximální uvažovat průtok kolem 700 l/s při rychlosti proudění 2,4 m/s.

2.7.5 ENERGETICKÁ NÁROČNOST – nový stav

Pro vyhodnocení energetické náročnosti čerpací stanice surové vody po realizaci navržené nové koncepce jsem z hlediska provozních průtoků použil stejný modelový příklad, jako pro vyhodnocení stávajícího stavu v kap. 2.5.5. V příkladu je sledován roční běh jednotlivých nových čerpadel při provozu s různými požadovanými průtoky. Po dobu dvou týdnů je zde čerpán havarijní průtok 1950 l/s trojicí čerpadel M1 + M2 + M4. Pro chod jednotlivých čerpadel jsem z modelových provozních parametrů a vypočtených hodnot účinnosti nových čerpadel dopočítal příkony a spotřeby elektrické energie za dobu provozu. Podrobný přehled ročního modelového provozu udává příloha 3 „Vyhodnocení modelové roční bilance pro ČSSV“ po rekonstrukci udává následující tabulka:

	Proteklé množství (m ³)	Spotřeba (MWh)	Měrná spotřeba (kWh/m ³)
M1	786 240	58,97	0,075
M2	3 896 640	255,33	0,066
M3	3 928 781	226,10	0,058
M4	4 947 264	280,65	0,057
CELKEM	13 558 925	821,04	0,061

Tab. 13 - roční bilance energie – nový stav

Porovnáním této Tab. 13 s Tab. 9 je po realizaci navrhovaných opatření patrný pokles energetické náročnosti na čerpací práci o 12,8 % za modelový rok. Větších provozních úspor lze dosáhnout dalším zvětšením dimenze jednotlivých výtlačných potrubí – záleží zde však na požadovaném rozsahu regulovaných průtoků při provozu čerpadel M1, M2 a M4 a na dispozičních možnostech čerpací stanice.

2.8 NÁVRH ETAPIZACE VÝSTAVBY

Z důvodu strategického zdroje, kterým Vodárna Káraný bezesporu je, není možné odstavit celou čerpací stanici a provést rekonstrukci jako jeden celek. Z tohoto důvodu je zapotřebí rekonstrukci rozdělit do etap. Odhad realizace jedné etapy je cca 4 měsíce. Během realizace je možná maximální odstávka čerpací stanice na cca 2 týdny. Během jedné etapy je možno provést více odstávek. Jednotlivé etapy jsou navrženy tak, aby mohla být po provedení odstávky čerpací stanice uvedena do částečného provozu a bylo možné provádět práce za chodu zbylých čerpadel.

Práce na rekonstrukci potrubního systému čerpací stanice a výměně čerpadel lze rozdělit do následujících etap:

1. Výměna M1 spolu s doplněním posledního úseku společného výtlačky DN1000.
2. Výměna M4 spolu s novou částí výtlačného potrubí DN600 napojenou na stávající hrdlo DN500 na společném výtlačky DN1000.
3. Úprava výtlačného potrubí M3 s novou částí výtlačného potrubí DN600 napojenou na stávající hrdlo DN500 na společném výtlačky DN1000.
4. Výměna M2 spolu s výměnou stávajícího ocelového úseku výtlačného potrubí DN1000 za nové nerezové potrubí DN1000.

3 VYHODNOCENÍ A ZÁVĚR

- Na základě celkového zhodnocení stávající technologie (kap. 2.5.5) je patrné, že stávající technologie čerpání není optimální pro běžný provoz. Pro provozní průtoky čerpadel M3, M4 (která pokrývají většinu provozních potřeb úpravny vody) jsou stávající úseky výtlačných potrubí DN350 - DN500 poddimenzované, neumožňující hospodárný provoz těchto čerpadel.
- Stávající potrubní systém uvnitř strojovny čerpací stanice se musí v nejbližší době opravit, nebo vyměnit za nový.
- Nově navržená koncepce čerpání uvažuje postupnou výměnu stávajících čerpadel za nová, s přibližně stejnými provozními parametry. To umožní pravidelné střídání a vzájemnou zaměnitelnost nových čerpadel. Díky tomu dojde k výraznému zvýšení spolehlivosti čerpací stanice. Zároveň bude společně s čerpadly kompletně

vyměněno potrubí za nové zhotovené z nerezavějící oceli, které budou představovat trvalé řešení minimálně po dobu životnosti všech čerpadel.

- Jak vyplývá z přílohy 3 „Vyhodnocení modelové roční bilance pro ČSSV“, navržené řešení je výrazně účinnější. V modelovém případě čerpání ušetří ročně 125 MWh. Po realizaci navrhovaných opatření je patrný pokles energetické náročnosti na čerpací práci o 12,8 % za rok. Větších provozních úspor lze dosáhnout dalším zvětšením dimenze jednotlivých výtlačných potrubí – záleží zde však na požadovaném rozsahu regulovaných průtoků při provozu čerpadel M1, M2 a M4 a na dispozičních možnostech čerpací stanice.
- Na základě výše uvedeného se dá konstatovat, že navržená nová koncepce čerpání bude mít výrazný přínos pro celou Vodárnu Káraný a bezporuchový provoz umělé infiltrace v dalších letech.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BLOCH, Heinz P. a Allan R. BUDRIS. Pump user's handbook: life extention. New York: Marcel Dekker, c2004. ISBN 0881734535.
- [2] BRADA, Karel a Jaroslav BLÁHA. Vybrané statě z čerpací techniky. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1994. ISBN 8001011232.
- [3] BRADA, Karel a Petr HLAVÍNEK. Čerpadla ve vodním hospodářství. Brno: NOEL 2000, 2004. ISBN 8086020436.
- [4] ČSN 13 0010. Potrubí a armatury. Jmenovité tlaky a pracovní přetlaky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [5] ČSN 75 0150. Vodní hospodářství - Terminologie vodárenství. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [6] ČSN EN ISO 17769-1. Kapalinová čerpadla a čerpací zařízení - Obecné termíny, definice, veličiny, písemné značky a jednotky - Část 1: Kapalinová čerpadla. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [7] ČSN EN ISO 17769-2. Kapalinová čerpadla a čerpací zařízení - Obecné termíny, definice, veličiny, písemné značky a jednotky - Část 2: Čerpací systém. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [8] ELKOM a.s. PROVOZNÍ ŘÁD Úpravna vody Káraný: Umělá infiltrace [provozní řád]. červen 2008.
- [9] GRÜNWALD, Alexander a Marek SLAVÍČEK. Zdravotně inženýrské stavby 40. Úprava vody: úprava a čištění vody. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1997, 103 s. ISBN 80-010-1658-7.
- [10] HAVLÍK, Aleš, ČVUT Přednášky pro předmět Hydraulika 2 [online]. dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke_stazeni/prednasky/HY2V_04_Hydraulika_potrubi.pdf
- [11] HAVLÍK Aleš, MATOUŠEK Václav. ČVUT Přednáška č.9 pro předmět Hydraulika 3 str.7

- [12] HERČÍK, L. 40 let provozování umělé infiltrace v Káraném (1968-2008). In: Sborník konference Pitná voda 2008: 9. pokračování konferencí Pitná voda z údolních nádrží : 2.6.-5.6. 2008 v Táboře. České Budějovice: W, 2008, s. 289-294. ISBN 978-80-254-2034-8.
- [13] MELICHAR, Jan a Jaroslav BLÁHA. Problematika soudobé čerpací techniky: vybrané partie. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 9788001037195.
- [14] MELICHAR, Jan a Jaroslav BLÁHA. Vybrané partie z čerpací techniky. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 800103254X.
- [15] MELICHAR, Jan. Úvod do čerpací techniky. V Praze: České vysoké učení technické, 2012. ISBN 9788001050569.
- [16] SHAMMAS, Nazih K. a Lawrence K. WANG. Water engineering: hydraulics, distribution and treatment. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2016. ISBN 9781119041917.
- [17] VODÁRNA KÁRANÝ, a.s. Úvodní stránka - Vodárna Káraný, a.s. [online]. 2013 [cit. 10. října 2016]. Dostupné z: www.vodarnakarany.cz

SEZNAM POUŽITÝCH PODKLADŮ

- Provozní řád ÚV Káraný, umělá infiltrace, aktualizace 04/2013
- Povodňová plán ÚV Káraný platný od 1.10.2014
- Dokumentace skutečného provedení technologické části ČSSV zpracovaná v 06/1968 spol. Sigma Olomouc
- Digitální data GIS (polohopis, výškopis)
- Výsledky korozního průzkumu na potrubí DN1000 čerpací stanice vypracovaného Ing. Otakarem Člupkem v 11/2015
- Výsledky geodetického zaměření přelivných hran pískových filtrů a vybraných bodů na objektech ÚV a ČSSV Sojovice
- Mapa záplavového území Jizery v měřítku 1 : 10000 na podkladu základní mapy ČR, stav k roku 2002
- Vyhodnocení měření výkonové bilance na vývodech pro motory M1 až M4 na ČSSV Sojovice vypracované Ing. Pawlasem, spol. ELCOM, v 09/2015
- Výsledky provozního měření průtoku, tlaku a výšek hladin pro jednotlivá čerpadla
- Fotodokumentace a výsledky místního šetření
- osobní jednání se zástupci spol. VODÁRNA KÁRANÝ a.s.

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1/1 – naměřené hodnoty provozní zkoušky
Příloha 1/2 - výpočet korekcí stávajícího měření hladin
Příloha 1/3 - naměřené hodnoty po korekci výšek
Příloha 1/4 - závislost rozdílů hladin na průtoku
Příloha 2 – Schéma měření
Příloha 3 - Vyhodnocení modelové roční bilance pro ČSSV
Příloha 4 – výkres stávajícího stavu
Příloha 5 – výkres nového stavu

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1 - vzorová charakteristika hydrostatického čerpadla [3] 11
Obr. 2 - vzorová charakteristika hydrodynamického čerpadla [3] 12

Obr. 3 - odstředivé čerpadlo [3].....	12
Obr. 4 - soustava potrubí – čerpadlo [11].....	16
Obr. 5 - charakteristika potrubního systému [3].....	17
Obr. 6 - charakteristika odstředivého čerpadla [3]	18
Obr. 7 - charakteristika odstředivého čerpadla s přidruženými parametry [3].....	19
Obr. 8 – schéma umělé infiltrace.....	23
Obr. 9 – úroveň hladiny při povodních v roce 2000 (předáno provozovatelem)	24
Obr. 10 - schéma elektroinstalace (foto ovládacího panelu)	28
Obr. 11 – základový pilíř čerpadla M1	30
Obr. 12 – charakteristika čerpadla M1 (předaná provozovatelem)	31
Obr. 13 – charakteristika čerpadla M2 (předaná provozovatelem)	33
Obr. 14 – charakteristika čerpadla M3 (předaná provozovatelem)	35
Obr. 15 – charakteristika čerpadla M4 (předaná provozovatelem)	37
Obr. 16 – pohled na výtlak čerpadel M4 (vlevo) a M3 (vpravo).....	38
Obr. 17 – pohled na šoupě DN 1000 čerpadla M1	38
Obr. 18 – lokální porucha potrubí	39
Obr. 19 – vnitřní povrch potrubí DN500 výtlak čerpadla M3.....	39
Obr. 20 - výtláčné potrubí čerpadla M2	39
Obr. 21 - Graf rozdílu hladin M1	41
Obr. 22 - graf stávajícího čerpadla M1	43
Obr. 23 - graf stávajícího čerpadla M2.....	46
Obr. 24 – graf rozdílu hladin M3.....	47
Obr. 25 - graf stávajícího čerpadla M3.....	49
Obr. 26 - graf rozdílu hladin M4	50
Obr. 27 - výpočet tlakové ztráty M4.....	51
Obr. 28 - graf stávajícího čerpadla M4.....	52
Obr. 29 - graf souběhu čerpadel M1+M2+M3	58
Obr. 30 čerpadlo M1 a M2 pohled (poskytnuto výrobcem)	59
Obr. 31 - charakteristika čerpadla M1 a M2 (předaná výrobcem)	60
Obr. 32 - graf nového čerpadla M1 res. M2	62
Obr. 33 - čerpadlo M4 (poskytnuto výrobcem).....	63
Obr. 34 - charakteristika čerpadla M4 (předaná výrobcem).....	64
Obr. 35 - graf nového čerpadla M4	66

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 - závislost rozdílu hladin na průtoku M1.....	41
Tab. 2 - výpočet tlakové ztráty M1	42
Tab. 3 - závislost rozdílu hladin na průtoku M2.....	44
Tab. 4 - graf rozdílu hladin M2	44
Tab. 5 - výpočet tlakové ztráty M2	45
Tab. 6 - závislost rozdílu hladin na průtoku M3.....	47
Tab. 7 – výpočet tlakové ztráty M3	48
Tab. 8 – závislost rozdílu hladin na průtoku M4.....	50
Tab. 9 - roční bilance energie – stávající stav	54
Tab. 10 - výpočet tlakové ztráty při souběhu M1+M2+M4	57
Tab. 11- výpočet tlakové ztráty při běžném provozu M1 res. M2 (nový stav)	61
Tab. 12 - výpočet tlakové ztráty při běžném provozu M4 (nový stav)	65
Tab. 13 - roční bilance energie – nový stav.....	67

Příloha 3 - Vyhodnocení modelové roční bilance pro ČSSV

Stávající stav - modelový příklad

měsíc	počet dní	Přehled provozu čerpadel																											
		M1							M2							M3							M4						
		počet dní	průtok (l/s)	H (mv.s.)	účinnost	výkon (kW)	příkon (kW)	spotřeba (MWh)	počet dní	průtok (l/s)	H (mv.s.)	účinnost	výkon (kW)	příkon (kW)	spotřeba (MWh)	počet dní	průtok (l/s)	H (mv.s.)	účinnost	výkon (kW)	příkon (kW)	spotřeba (MWh)	počet dní	průtok (l/s)	H (mv.s.)	účinnost	výkon (kW)	příkon (kW)	spotřeba (MWh)
I	31															24	518	15,63	0,74	79,41	107,32	61,81							
II	28																						25	602	17,54	0,69	103,60	150,15	90,09
III	31															20	518	15,63	0,74	79,41	107,32	51,51							
IV	30																												
V	31																						20	602	17,54	0,69	103,60	150,15	72,07
VI	30	14	1 000	20,60	0,53	202,09	381,29	128,11	14	950	20,60	0,62	191,98	309,65	104,04														
VII	31								25	800	15,53	0,66	121,90	184,70	110,82														
VIII	31															20	567	15,63	0,74	86,93	117,47	56,39							
IX	30																						15	602	17,54	0,69	103,60	150,15	54,05
X	31															20	567	15,63	0,74	86,93	117,47	56,39							
XI	30																						20	602	17,54	0,69	103,60	150,15	72,07
XII	31								20	800	15,53	0,66	121,90	184,70	88,66														
CELKEM		1 209 600 m ³							4 259 520 m ³							3 928 781 m ³							4 161 024 m ³						

Roční bilance

	Proteklé množství (m ³)	Spotřeba (MWh)	Měrná spotřeba (kWh/m ³)
M1	1 209 600	128,11	0,106
M2	4 259 520	303,52	0,071
M3	3 928 781	226,10	0,058
M4	4 161 024	288,28	0,069
CELKEM	13 558 925	946,02	0,070

Stav po rekonstrukci - modelový příklad

měsíc	počet dní	Přehled provozu čerpadel																											
		M1							M2							M3							M4						
		počet dní	průtok (l/s)	H (mv.s.)	účinnost	výkon (kW)	příkon (kW)	spotřeba (MWh)	počet dní	průtok (l/s)	H (mv.s.)	účinnost	výkon (kW)	příkon (kW)	spotřeba (MWh)	počet dní	průtok (l/s)	H (mv.s.)	účinnost	výkon (kW)	příkon (kW)	spotřeba (MWh)	počet dní	průtok (l/s)	H (mv.s.)	účinnost	výkon (kW)	příkon (kW)	spotřeba (MWh)
I	31															24	518	15,63	0,74	79,41	107,32	61,81							
II	28																						25	602	16,10	0,81	95,08	117,38	70,43
III	31															20	518	15,63	0,74	79,41	107,32	51,51							
IV	30																												
V	31																						20	602	16,10	0,81	95,08	117,38	56,34
VI	30	14	650	21,00	0,76	133,91	175,51	58,97	14	650	21,00	0,76	133,91	175,51	58,97							14	650	21,00	0,81	133,91	164,50	55,27	
VII	31								25	800	18,00	0,78	141,26	181,81	109,09														
VIII	31															20	567	15,63	0,74	86,93	117,47	56,39							
IX	30																						15	602	16,10	0,81	95,08	117,38	42,26
X	31															20	567	15,63	0,74	86,93	117,47	56,39							
XI	30																						20	602	16,10	0,81	95,08	117,38	56,34
XII	31								20	800	18,00	0,78	141,26	181,81	87,27														
CELKEM		786 240 m ³							3 896 640 m ³							3 928 781 m ³							4 947 264 m ³						

Roční bilance

	Proteklé množství (m ³)	Spotřeba (MWh)	Měrná spotřeba (kWh/m ³)
M1	786 240	58,97	0,075
M2	3 896 640	255,33	0,066
M3	3 928 781	226,10	0,058
M4	4 947 264	280,65	0,057
CELKEM	13 558 925	821,04	0,061