

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Vetešník Jméno: Martin Osobní číslo: \_\_\_\_\_  
Zadávací katedra: Katedra zdravotního a ekologického inženýrství  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Experimentální hodnocení recirkulačních systémů čerpadel

Název bakalářské práce anglicky: Experimental evaluation of pumps in recirculating systems

Pokyny pro vypracování:

Rešerše literatury k dané tématice. Experimentální měření hydraulických charakteristik. Vyhodnocení naměřených dat. Závěry a doporučení

Seznam doporučené literatury:

Kolář V., a kol.: Hydraulika. Praha: SNTL, 1983,  
Sklenář J.: Balneotechnika II. Praha: ČVUT, 1992, ISBN 80-01-008006-1  
Melichar J., Úvod do čerpací techniky. Praha: ČVUT, 2012, ISBN 9788001050569  
Šťastný B. Stavba a provoz bazénů, Praha: ABF, 2006  
ČSN EN ISO 14414

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Filip Horký, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 18.02.2019 Termín odevzdání bakalářské práce: 26.05.2019

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

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

19. 2. 2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ  
Katedra zdravotního a ekologického inženýrství



**Experimentální hodnocení recirkulačních systému čerpadel**  
(Experimental evaluation of pumps in recirculating systems)

**Martin Vetešník**

## **Abstrakt**

**Vypracoval:** Martin Vetešník

**Vedoucí práce:** Ing. Filip Horký, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá problémy a vlastnostmi recirkulačních systémů čerpadel. Skládá se z teoretické a praktické části. V teoretické části je z odborné literatury vypracována rešerše zabývající se veřejnými bazénovými provozy, charakteristikami hydrodynamických čerpadel a souvisejícími hydraulickými výpočty. Dále je zde uveden popis postupu měření dat. V praktické části je popis experimentálního měření v terénu konkrétního bazénového provozu, zpracování a vyhodnocení naměřených dat, závěry a doporučení.

**Klíčová slova:** čerpadlo, hydraulika, měření, charakteristiky

## **Abstract**

**Author:** Martin Vetešník

**Supervisor:** Ing. Filip Horký, Ph.D.

This bachelor thesis deals with problems and properties of pumps in recirculating systems. It consists of theoretical and practical part. The theoretical part consist of public pool operation technical review made from special literature, also this part contain characteristics of hydrodynamic pumps and related hydraulic calculations. In addition, there is a description of the data measurement procedure. In the practical part is a description of experimental measurement in the field of the specific particular pool operation, processing and evaluation of measured data, conclusions and recommendations.

**Keywords:** pump, hydraulics, measurement, characteristics

### **Čestné 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. Května 2019

.....  
Martin Vetešník

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Filipu Horkému, Ph.D. za jeho čas a vstřícný přístup při konzultacích bakalářské práce.

Děle děkuji všem, kteří mě podporovali v průběhu studia a zejména v průběhu vytváření závěrečné práce.



## Obsah

Seznam použitých značek, veličin a jednotek .....	3
1. Úvod .....	4
2. TEORETICKÁ ČÁST .....	5
2.1. Popis recirkulačního systému.....	5
2.1.1. Bazén .....	6
2.1.2. Akumulační nádrž.....	6
2.1.3. Lapače vlasů .....	6
2.1.4. Potrubí.....	6
2.1.5. Čerpadla.....	7
2.1.6. Úprava pH .....	7
2.1.7. Koagulace a flokulace .....	8
2.1.8. Hygienické zabezpečení vody .....	8
2.1.9. Filtrace.....	8
2.1.10. Ohřev .....	9
2.2. Hydraulika tlakového proudění v potrubí.....	9
2.2.1. Rovnice kontinuity .....	9
2.2.2. Bernoulliho rovnice .....	10
2.2.3. Rozšíření Bernoulliho rovnice o ztráty energie .....	11
2.2.4. Ztráty třením .....	13
2.2.5. Ztráty místní .....	14
2.3. Charakteristiky čerpadel.....	16
2.3.1. Problematika situování čerpadla vůči hladině kapaliny v sací nádrži	16
2.3.2. Charakteristická křivka čerpadla.....	17
2.3.3. Charakteristika potrubí .....	19
2.3.4. Pracovní bod čerpadla .....	20
2.3.5. Výkonová charakteristika.....	20
2.3.6. Hydraulická účinnost čerpadla.....	21
2.4. Experimentální měření čerpadel .....	22
2.4.1. Měření průtoku .....	22
2.4.2. Měření tlaku.....	23
2.4.3. Měření příkonu .....	23



3. PRAKTICKÁ ČÁST.....	25
3.1. Vybavenost bazénového provozu .....	25
3.1.1. Akumulační nádrže.....	25
3.1.2. Čerpadla.....	26
3.1.3. Filtrace.....	26
3.1.4. Ohřev.....	27
3.1.5. Hygienické zabezpečení vody .....	27
3.1.6. Trubní rozvody .....	29
3.1.7. Atrakce bazénu .....	30
3.2. Popis měření v terénu .....	31
3.2.1. Příprava na měření.....	31
3.2.2. Průběh měření.....	32
3.3. Naměřená data a jejich vyhodnocení .....	36
3.3.1. Plavecký bazén .....	36
3.3.2. Zábavní bazén.....	39
4. Závěr .....	42
Citace.....	44
Seznam obrázků .....	45
Seznam tabulek .....	46
Příloha č. 1 – Schéma Plavecký bazén .....	47
Příloha č. 2 – Schéma Zábavní bazén.....	48



## Seznam použitých značek, veličin a jednotek

Značka	Veličina
C	Chézyho rychlostní součinitel
c [m/s]	střední rychlost proudění
D [m]	průměr potrubí
d [m]	průměr potrubí
DN [mm]	jmenovitý vnitřní průměr potrubí
g [m/s <sup>2</sup> ]	tíhové zrychlení
h [m]	geodetická výška
H [m.v.s]	dopravní výška
L [m]	délka úseku
MI	magneto-indukční průtokoměr
NPSH	net positive suction head
P [kW]	výkon
P <sub>h</sub> [kW]	hydraulický výkon čerpadla
PVC	polyvinylchlorid
p [Pa]	tlak
pH	potential of hydrogen (vodíkový exponent)
Q [m <sup>3</sup> /s]	objemový průtok
Q <sub>m</sub> [kg/s]	hmotnostní průtok
Re [-]	Reynoldsovo číslo
S [m <sup>2</sup> ]	plocha / plocha průtočného průřezu
T [°C]	teplota
US	ultrazvukový průtokoměr
UV záření	ultrafialové záření
u [m/s]	místní (bodová) rychlost
v [m/s]	střední hodnota rychlosti proudění kapaliny
v [m/s]	střední průřezová rychlost
Z <sub>m</sub> [m.v.s]	ztráty místní
Z <sub>t</sub> [m.v.s]	ztráty třením v daném úseku
∑Z	suma ztrát
α [-]	Coriolisovo číslo
ζ [-]	součinitel místní ztráty a v střední rychlost proudění v potrubí
Δ [m]	hydraulická drsnost povrchu potrubí
$\frac{\Delta}{D}$ [-]	relativní drsnosti potrubí
Δy [J/kg]	kavitační deprese
η [-]	účinnost
λ [-]	součinitel ztráty třením
ν [m <sup>2</sup> /s]	kinematická viskozita kapaliny
ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	hustota, měrná hmotnost



## Úvod

Čerpací technika je nedílnou součástí našeho každodenního života. Čerpání vody lidé využívají ve vodárenství, zemědělství, lázeňství, energetických závodech a ve spoustě dalších odvětví. Tato práce se zaměřuje na část lázeňství, přesněji řečeno na část balneotechniky.

Bakalářská práce Experimentální hodnocení recirkulačních systémů čerpadel se zabývá problémy a vlastnostmi recirkulačních čerpadel. Recirkulační systém čerpadel se využívá ve veřejných bazénových provozech. Hlavním cílem této práce je vyhodnocení experimentálního měření recirkulačních čerpadel vybraného bazénového provozu v jižních Čechách a s tím i vypracovat rešerši potřebných informací z odborné literatury, která se danou problematikou zabývá. Logicky je tedy tato práce rozdělena na teoretickou a praktickou část.

Teoretická část obsahuje popis veřejného bazénového provozu, rešerši odvození hydraulický výpočtů tlakového proudění v potrubí, popis charakteristik hydrodynamických čerpadel a teorii experimentálního měření. V kapitole věnované popisu veřejného bazénového provozu jsou popisovány veškeré jeho technologické části. Hydraulické výpočty tlakového proudění v potrubí jsou nezbytnou znalostí, pro výpočet charakteristik hydrodynamických čerpadel. V části zabývající se experimentálním měřením je popisováno, jaké veličiny a jakými přístroji s konkrétními postupy se měří při analyzování systému recirkulačních čerpadel.

V praktické části je popisován vybraný bazénový provoz, ve kterém jsem osobně prováděl měření. Dále je zde stručný popis samotného průběhu měření a na konci praktické části je hlavní cíl celé práce a to popis a vyhodnocení naměřených dat.

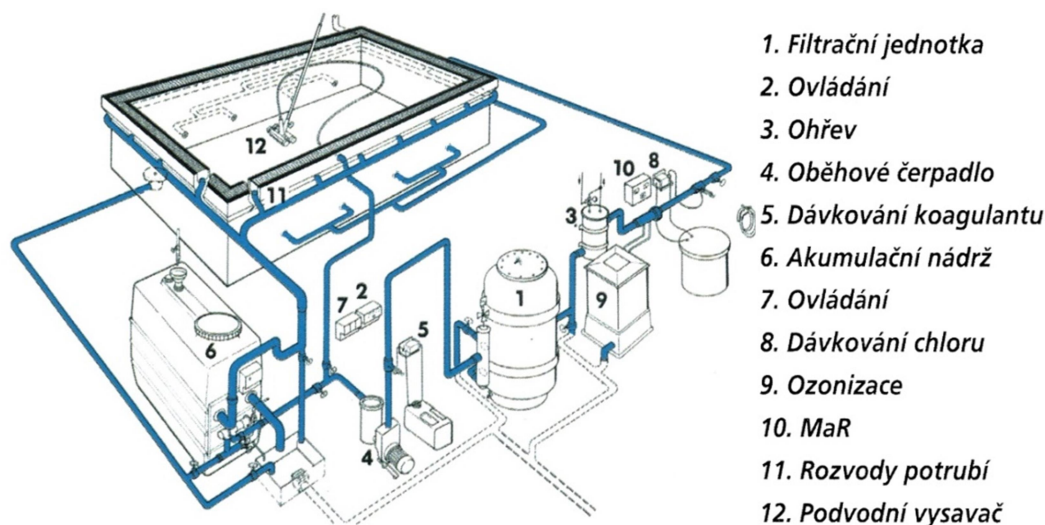
Měření dat bylo zaměřeno na dva páry recirkulačních čerpadel a na posouzení funkčnosti instalovaných průtokoměrů. Vedlejším úkolem bylo měření a analýza hydraulických ztrát v obou dvou recirkulačních systémech, ale vzhledem k rozsahovým možnostem této práce zde nejsou řešeny.

# 1. TEORETICKÁ ČÁST

V teoretické části je popisován recirkulační systém, hydraulika tlakového proudění v potrubí, charakteristika čerpadel a metodika měření čerpadel. Popis recirkulačního systému čerpadel je rešerší literatury zabývající se technologií veřejných bazénových provozů. Hydraulika tlakového proudění v potrubí je kapitolou zabývající se odvozením základních hydraulických rovnic potřebných pro výpočty proudění v potrubí. V kapitole charakteristiky čerpadel je popis základních charakteristik čerpadel a v kapitole experimentální měření jsou shrnuty základní postupy měření jednotlivých parametrů.

## 1.1. Popis recirkulačního systému

Recirkulační bazénový systém je založen na principu neustále cirkulující vody, která je do bazénu přiváděna vpustmi umístěnými ve dně bazénu a následně přebytečná voda přepadá přes přepadové hrany do odtokových žlábků. Voda ze žlábků je sváděna systémem potrubí do technologického zázemí bazénu, které začíná akumulací nádrží. Z akumulací nádrže voda pokračuje k čerpacímu soustrojí, které je tvořeno lapačem vlasů a čerpadlem (čerpadlem je myšlen i pohon čerpadla). Čerpací soustrojí vytlačuje vodu k filtrům. Vodu před vstupem do filtru je třeba doplnit o koagulační činidlo a dezinfikovat. Z filtru voda pokračuje k ohřevu a hygienickému zabezpečení, kde je zároveň kontrolována jakost vody. Po protečení vody celým systémem se voda vrací do bazénu pomocí vpustí (viz Obrázek 1). [1]



Obrázek 1. Schéma recirkulačního systému [1]

### 1.1.1. Bazén

Bazén samotný, bez technologií k jeho provozu, je tvořen bazénovou vanou, systémem vpustí a výpustí, přelivných hran a dalšími prvky souvisejícími s možnostmi využití (na příklad úchyty na lana oddělující plavecké dráhy).

Bazény můžeme dělit podle materiálu na betonové, kovové, z plastových hmot, ostatních materiálů, nebo jejich kombinací. Bazény můžeme také dělit podle způsobu užívání na plavecké a koupelové. [1]

### 1.1.2. Akumulační nádrž

Akumulační, neboli retenční nádrž plní v bazénové technologii funkci nejen zásobního, ale i retenčního prostoru. Retenční prostor je v bazénu potřeba mít z důvodu kolísání objemu vody v bazénu samotném (vlivem vytlačeného oběmu návštěvníky). Akumulační nádrž je také napojena na odpad a je opatřena bezpečnostním přelivem. Bazény jsou většinou napouštěny z akumulace pomocí recirkulačních čerpadel, proto je akumulace napojena na vodovodní řad, odkud se voda napouští. Akumulační nádrž musí být dobře přístupná pro kontroly a pro čištění, také musí být větraná a osvětlená. Dále je také potřeba zajistit dostatečnou výšku hladiny nad sáním a mít možnost získávat informace o aktuálním stavu hladiny.[1]

### 1.1.3. Lapače vlasů

Lapač vlasů je v systému vždy umístěn před čerpadlem a zachycuje hrubé nečistoty, které by mohli poškozovat čerpadla. Lapač vlasů je tvořený válcovou nádobou s košem, který je opatřen otvory, jimiž neprojdou hrubší nečistoty. Lapače vlasů je nutné pravidelně čistit z důvodu zanešení, ovšem při čištění je nutné odstavit čerpadlo.[1]

### 1.1.4. Potrubí

Nejrozšířenější materiálem pro výrobu potrubí pro bazénové provozy je PVC (polyvinylchlorid) a PE (polyetylen). Plastová potrubí jsou používána zejména pro svoji odolnost proti bazénové chemii, minimální třecí ztráty a nízkou pořizovací cenu.[1]



### 1.1.5. Čerpadla

V hydraulickém systému jsou čerpadla zdrojem měrné energie kapaliny. Čerpadla jsou energetické stroje, ve kterých se transformuje z vnějšího zdroje přiváděná mechanická energie na energii hydraulickou. Energii čerpadlu může dodávat elektromotor, motor na fosilní paliva, nebo lidská síla. Čerpadla dělíme podle principu čerpání na hydrostatická a hydrodynamická. Mezi hydrostatická čerpadla patří pístová, membránová, zubová, lamelová, peristaltická čerpadla a Archimédův šroub. V bazénových provozech jsou používána odstředivá čerpadla, která se dělí podle vzájemné polohy směru průtoku vody a osy otáčení na radiální, diagonální a axiální.[2]

Čerpadla jsou nejdůležitější částí strojního zařízení recirkulačních bazénových systémů a zajišťují neustálý průběh (cirkulaci) kapaliny v systému. Druh a umístění čerpadla se liší podle typu a velikosti bazénu. Ve veřejných bazénových provozech jsou čerpadla umístěna před filtrem a jsou opatřena lapači vlasů. U čerpadel je také důležitý vhodný výběr materiálu. Nejčastěji jsou bazénové provozy vybaveny čerpadly bronzovými nebo nerezovými.[1][2]

### 1.1.6. Úprava pH

Kyselost, či zásaditost vody je řízena vyhláškou a musí se pohybovat v rozmezí pH 6,5 – 7,5. V případě, že je pH nižší (voda kyselější), se zvýší riziko výskytu jemných nerozpuštěných látek a voda se stává agresivnější technologickým zařízením a materiálům. Na druhé straně, když hodnota pH stoupá (voda zásaditější), sníží se aktivita volného chloru a to může mít za následek jeho nedostatek pro usmrcení choroboplodných zárodků. Výběr vhodné chemikálie k úpravě pH závisí na zdroji bazénové vody a požadované reakci. Pro snížení pH se používá kyselina chlorovodíková nebo kyselina sírová. Pro zvýšení pH se používá hydrogenuhličitan sodný.[1]



### 1.1.7. Koagulace a flokulace

Koagulace je proces, při kterém dochází k destabilizaci koloidních nečistot, jež jsou následně flokulantem donuceny shlukovat se do vloček. Tyto koloidní nečistoty ve formě vloček se snadněji zachytí na filtru a zvýší se tak efektivita filtru. Pro úpravu bazénových vod se používá flokulant síran hlinitý. Efektivita tohoto procesu závisí na pH vody, velikosti dávky fluktuantu a na kyselinové neutralizační kapacitě. Celý proces závisí i na čase, proto je nutné zajistit dostatečnou prodlevu mezi nadávkováním a samotnou filtrací.[1]

### 1.1.8. Hygienické zabezpečení vody

K hygienickému zabezpečení vody se používá dezinfekční činidlo, které má za úkol rychlé usmrcení nežádoucích bakterií a virů. Nejčastěji používaná dezinfekční činidla jsou elementární plynný chlor nebo tekutý chlor (chlornan sodný). Vedle dezinfekce chlorem se používají ještě další způsoby, které jsou schopny usmrtit i mikroorganismy odolávající chloru, ale nevytvářejí ve vodě potřebné reziduum a působí pouze v místě aplikace. Mezi tyto dezinfekce patří ozonizace a UV záření.[1]

### 1.1.9. Filtrace

Filtrace slouží k odstranění částic nečistot z bazénové vody. Principem filtru je zachycení nečistot ve filtračním médiu a při vyčerpání kalové kapacity média filtr vyprat a nečistoty odstranit. Účinnost filtrace závisí na druhu filtračního média a na chemické úpravě vody. V bazénových provozech jsou nejčastěji používány pískové rychlofiltry. Pískové rychlofiltry jsou tvořeny tlakovou nádobou naplněnou křemičitým filtračním pískem, přes který je voda filtrována rychlostí mezi 25 – 40 m/h. Přefiltrovaná voda je odebírána z média pomocí filtračních hlavic. Pískový filtr se „pere“ otočením směru proudění filtrované vody a jejím následným odstraněním z cirkulačního systému do splaškové kanalizace. Účinnost praní filtru závisí na průtoku prací vody, který musí být dostatečný pro odstranění nečistot. Množství filtrované vody lze ušetřit mísením vody se vzduchem, který způsobuje otírání zrn písku o sebe, čímž se uvolňují nečistoty na nich usazené. Pískové filtry mohou být jednovrstvé, nebo vícevrstvé (podle frakce kameniva), přičemž životnost filtrační vrstvy je 10 – 20 let.[1]



### 1.1.10. Ohřev

Teplota vody je jednou ze zásadních veličin, jež ovlivňuje dávkování chemikálií, které vodu zabezpečují a také energetické nároky na provoz bazénu. Hodnoty teplot jsou určeny podle využití bazénu. Pro plavecké bazény je teplota vody mezi 26 - 28°C a pro koupelové bazény je vyšší než 28°C. Bazénová voda bývá ohřívána přes výměníky tepla, do nichž je dodáváno teplo vlastním nezávislým systémem (okruhem). Zdrojem tepla může být spalování pevných paliv, fosilních paliv nebo plynu. Alternativními zdroji tepla mohou být tepelná čerpadla nebo solární panely. V některých případech může být využito přebytečného tepla z jiného provozu (například ze zimního stadionu)[1]

## 1.2. Hydraulika tlakového proudění v potrubí

Hydraulika tlakového proudění v potrubí popisuje základní hydraulické výpočty, pomocí kterých charakterizujeme proudění v recirkulačních systémech. Pro vypočítání charakteristik potrubí a dopravních výšek je nutné znát základní odvození výpočtů hydraulických ztrát vznikajících v potrubí.

### 1.2.1. Rovnice kontinuity

Při ustáleném proudění reálné kapaliny je hmotnostní tok kapaliny  $Q_m$  [kg/s] v libovolném průřezu proudové trubice konstantní. To znamená, že všemi průřezy potече ve stejných časových intervalech kapalina stejné hmotnosti. Rovnici kontinuity lze tedy zapsat pomocí hmotnostního průtoku jako:

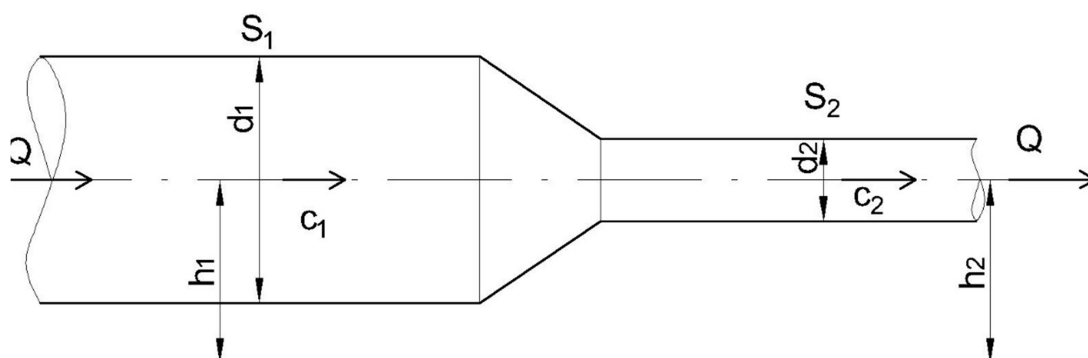
$$Q_m = \rho \cdot S \cdot c = \text{konst.}$$

Kde  $S$  [m<sup>2</sup>] je plocha v daném průřezu,  $c$  [m/s] je střední rychlost proudění v daném průřezu a  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] je hustota kapaliny.[3]

U kapaliny, kterou lze považovat za nestlačitelnou, je také objemový tok  $Q$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] konstantní. Pak lze rovnice kontinuity, pro dva různé body v potrubí, zapsat jako:

$$Q = S_1^2 \cdot c_1 = S_2^2 \cdot c_2 = \text{konst.}$$

Kde  $Q$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] je objemový průtok,  $S$  [ $\text{m}^2$ ] je plocha v daném průřezu a  $c$  [ $\text{m}/\text{s}$ ] je střední rychlost proudění v daném průřezu. Z rovnice vyplývá, že objemový tok pro nestlačitelnou kapalinu je konstantní v celém potrubí (viz Obrázek 2) za předpokladu, že nedochází k únikům.[2][3]



Obrázek 2. Kontinuita průtoku kapaliny potrubím proměnného kruhového průřezu[2]

## 1.2.2. Bernoulliho rovnice

Bernoulliho rovnice je vztah, který vyjadřuje zákon zachování mechanické energie pro ustálené proudění ideální kapaliny (Energie je v rovnici přepočtena na objemovou jednotku kapaliny).[3]

$$\frac{1}{2} = \rho v^2 + p + pu(x) = \text{konst.}$$

kde  $\rho$  je hustota kapaliny,  $v$  je rychlost proudění,  $p$  je tlak v kapalině a  $u$  je potenciál vnějšího konzervativního pole mechanické síly (gravitační síly, unášivé setrvačné síly nebo jejich kombinace, jako je tíhová síla) v daném bodě. První člen v Bernoulliho rovnici se nazývá dynamický tlak a představuje objemovou hustotu kinetické energie, druhý člen představuje tlakovou potenciální energii objemové jednotky kapaliny a třetí člen potenciální energii objemové jednotky kapaliny v silovém poli vnější konzervativní mechanické síly, v němž se kapalina nachází. Součet kinetické energie a potenciální



energie (tlakové + vnější) je ve všech místech trubice stejný. Tuto rovnici lze uvést ve tvaru, který platí pro tíhové či homogenní gravitační pole:

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + p + \rho gh = konst.$$

Následně ji upravit do výškového tvaru (který bude využit u vyjádření ztrát potrubí) vztahem energie na jeden kilogram tekutiny a dostat tvar:

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + h = konst.$$

Platí, že pokud na kapalinu v klidu působí tíhová síla, je ve stejné hloubce v každém bodě stejný tlak. Pokud je kapalina v pohybu tak tento vztah neplatí. Slovy můžeme Bernoulliho jev popsat takto: v místě s větším průřezem má proudící kapalina větší tlak, ale menší rychlost, zatímco v místě s menším průřezem má menší tlak, ale větší rychlost (Fakt, že při větším průřezu je rychlost kapaliny menší, je důsledkem rovnice kontinuity.) [3]

### 1.2.3. Rozšíření Bernoulliho rovnice o ztráty energie

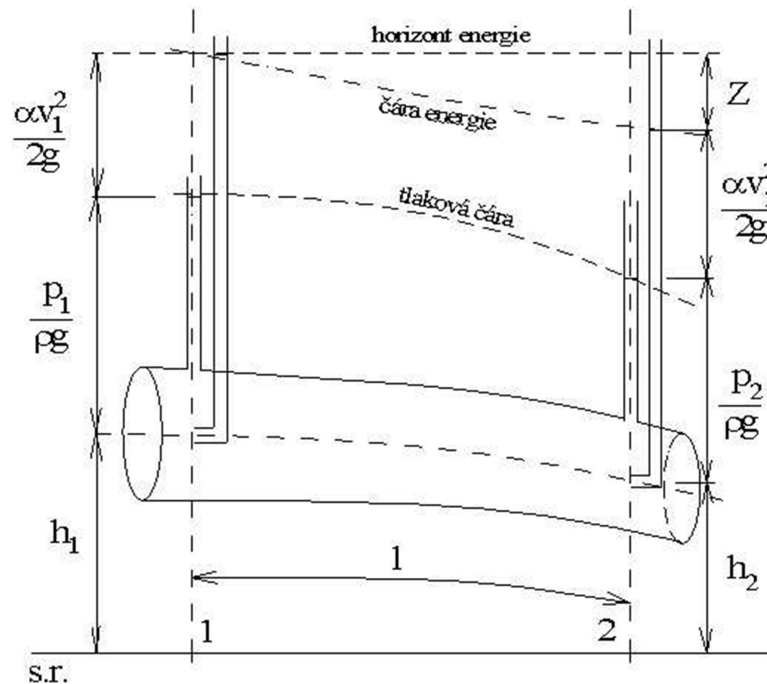
Ztráty energie jsou způsobeny hydraulickými odpory, resp. drsností stěn potrubí, vnitřním třením tekutiny (vazkostí) a deformací proudnic rychlostního pole v kapalině (na příklad v místě osazení tvarovek a armatur na potrubí).

Celkové ztráty můžeme vyjádřit pomocí upravené Bernoulliho rovnice:

$$\sum Z = \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + h_1 - \left( \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + h_2 \right)$$

kde  $h$  [m] je tzv. geodetická výška [m] (výška osy potrubí nad srovnávací rovinou),  $p$  [Pa] je tlak,  $\rho$  [kg.m<sup>-3</sup>] je hustota kapaliny,  $g$  [m.s<sup>-2</sup>] tíhové zrychlení,  $\alpha$  Coriolisovo číslo (v hydraulice bezrozměrný parametr, který vyjadřuje poměr skutečné kinetické energetické výšky k energetické výšce vyjádřené ze střední průřezové rychlosti) a  $v$  [ms<sup>-1</sup>] střední průřezová rychlost (Obrázek 3).[3]





Obrázek 3. Schéma znázorňující upravenou Bernoulliho rovnici [4]

Ztráty energie dělíme na ztráty místní a ztráty třením, které jsou působeny jednak hydraulickou drsností stěn potrubí či koryta a současně vzájemným třením částic tekutiny (vazkostí) a v turbulentním proudění též tvorbou turbulentních vírů. Pro potrubí či koryto konstantních parametrů jsou přímo úměrné délce úseku, na němž ztráty sledujeme a nepřímo úměrné průměru potrubí či hydraulickému poloměru koryta. Oproti tomu ztráty místní jsou způsobeny výrazně převažujícím účinkem deformace rychlostního a tlakového pole změnou směru, změnou profilu (zúžení či rozšíření náhlé nebo pozvolné), stékáním či dělením proudu. Ztrátu jak třením, tak místní vyjadřujeme jako část rychlostní výšky.[2][3]

Pokud je potrubí či koryto složeno z několika úseků různých parametrů, je nutné výslednou celkovou ztrátu uvažovat jako:

$$\sum Z = \sum Z_t + \sum Z_m$$

kde  $\sum Z_t$  [m v. s.] je suma všech ztrát třením v každém jednotlivém úseku a  $\sum Z_m$  [m v. s.] je suma všech ztrát místních.[3]

## 1.2.4. Ztráty třením

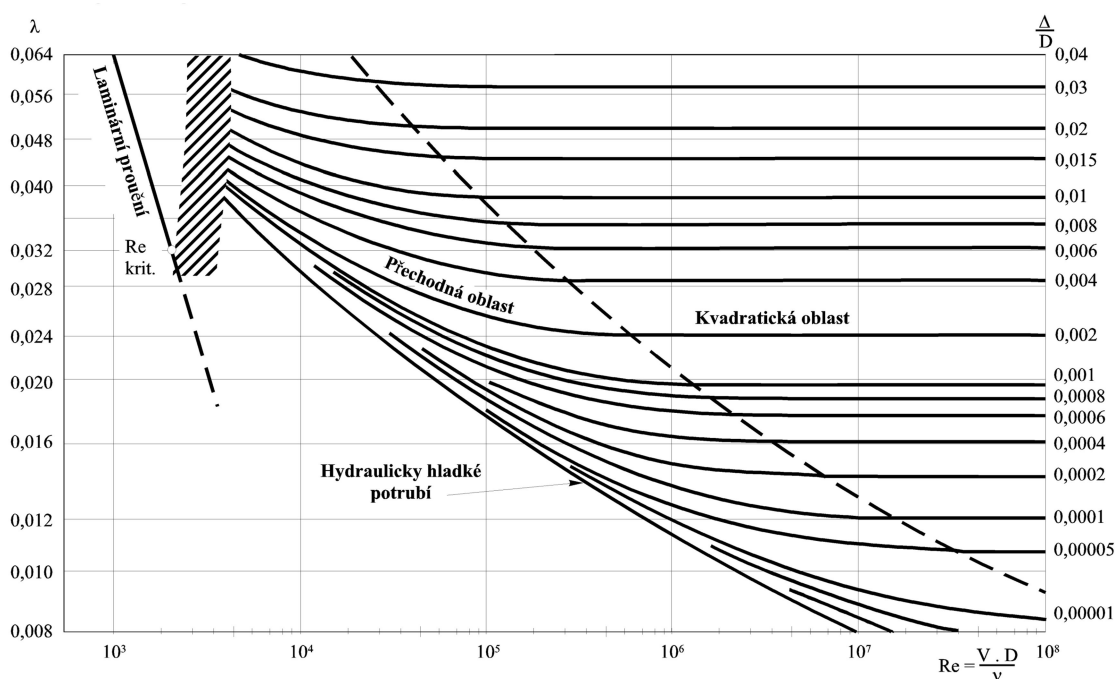
Ztrátu třením lze vyjádřit pomocí Darcy - Weisbachovy rovnice:

$$Z_t = \lambda \frac{L}{D} \frac{\alpha v^2}{2g}$$

kde  $\lambda$  [-] je součinitel ztráty třením,  $L$  [m] délka úseku a  $D$  [m] průměr potrubí. Součinitel ztráty třením závisí na dvou bezrozměrných hydraulických charakteristikách: na Reynoldsově čísle  $Re$  [-] a na relativní drsnosti potrubí  $\Delta/D$  [-] (Tabulka 1). Pomocí těchto charakteristik lze z Moodyho diagramu (Obrázek 4) určit hodnotu součinitele ztráty třením:

$$\lambda = \lambda \left( Re = \frac{vD}{\nu}, \frac{\Delta}{D} \right)$$

kde  $D$  [m] je průměr potrubí,  $v$  [m/s] střední hodnota rychlosti proudění kapaliny,  $\nu$  [m<sup>2</sup>/s] kinematičká viskozita kapaliny (Tabulka 2) a  $\Delta$  [m] hydraulická drsnost povrchu potrubí (Tabulka 1).[3]



Obrázek 4. Moodyho diagram [4]



**Tabulka 1. Hydraulická drsnost pro vybraná potrubí [4]**

DRUH POTRUBÍ	STAV POTRUBÍ	$\Delta$ [ m ]
Ocelové svařované	nové	0,00003 - 0,0001
	po delším provozu - vyčištěné	0,0001 - 0,0002
	po použití - mírně zrezivělé	0,0003 - 0,0007
	staré zrezivělé a inkrustované	0,0008 - 0,0015
	silně zrezivělé a inkrustované	0,002 - 0,004
Litinové	nové, bituminované, asfaltované	0,00001 - 0,00016
	nové - bez úpravy	0,0002 - 0,0005
	po použití	0,0005 - 0,0015
	silně zrezivělé a inkrustované	0,002 - 0,003
Betonové	nové železobetonové - hladká omítka	0,00001 - 0,00005
	po použití	0,0003 - 0,0008
	po delší době provozu	0,001 - 0,003
plastové (PVC, PE)	nové	0.000001-0.000003
	po delším provozu	0.00001-0.000015

**Tabulka 2. Hustota a kinematická viskozita vody při tlaku  $10^5$  Pa [4]**

T °C	$\rho$ kgm <sup>-3</sup>	$\nu$ 10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	T °C	$\rho$ kgm <sup>-3</sup>	$\nu$ 10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	T °C	$\rho$ kgm <sup>-3</sup>	$\nu$ 10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
2	999,94	1,6738	14	999,24	1,1756	50	988,24	0,515
4	999,97	1,5671	16	998,94	1,1166	60	983,38	0,478
6	999,94	1,4726	18	998,59	1,0616	70	977,99	0,415
8	999,85	1,3873	20	998,20	1,0105	80	972,01	0,367
10	999,70	1,3101	30	995,65	0,804	90	965,95	0,327
12	999,50	1,2396	40	992,36	0,661	100	959,69	0,294

### 1.2.5. Ztráty místní

Protože výpočet místní ztráty je složitý a je při něm většinou zapotřebí matematického modelování metodou konečných prvků, nebo objemů, tak se využívá při výpočtu hodnot korekčního součinitele kinetické měrné energie proudící kapaliny, tento součinitel je určen z experimentálně získaných hodnot (Tabulka 3, Tabulka 4, Tabulka 5, Tabulka 6, Tabulka 7)<sup>1</sup>. Pro výpočet místní ztráty pomocí ztrátového součinitele je používán vztah:

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

kde  $\zeta$  [-] je součinitel místní ztráty a  $v$  střední rychlost proudění v potrubí.[2][3]

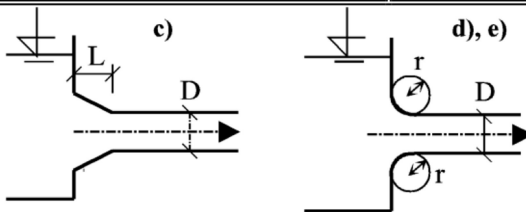
<sup>1</sup> Odkaz na veřejně přístupnou sbírku tabulek ztrátových součinitelů: IDELCHIK, I.E. *Handbook of Hydraulic Resistance* [online]. Dostupné z <<http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1220/ML12209A041.pdf>>

**Tabulka 3. Součinitel ztráty vnitřních uzávěrů [4]**

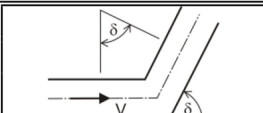
uzávěr	Šoupě	Klapka	Ventil
otevření [%]	$\zeta_u$	$\zeta_u$	$\zeta_u$
10	190	2499	6756
20	30	203,08	624
30	10,5	50,02	122,4
40	4,3	21,67	50
50	2,06	10,11	24
60	0,98	5,06	13,79
70	0,44	3,52	9,4
80	0,15	2,56	7,16
90	0,06	1,44	5,57
100	0,03	0,56	4,95

**Tabulka 4. Součinitel ztráty vtokem do potrubí a výtokem do velké nádrže [4]**

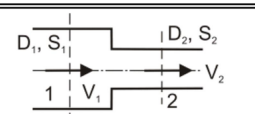
TYP VTOKU	Platnost	$\zeta_v$
a) Potrubí zasahuje do nádrže		0,8 - 1,0
b) Ostrá vstupní hrana		0,5
c) Seříznutá vstupní hrana	$L/D \cong 0,1$	0,25
d) Zaoblená vstupní hrana	$r/D \cong 0,06$	0,20
e) Kruhově zaoblený vtok	$r = 0,2 \cdot D$	0,11
<b>Výtok do velké nádrže</b>		<b>1,0</b>


**Tabulka 5. Ztrátový součinitel ostrých kolen podle Thomy ( $Re > 2 \cdot 10^5$ ) [4]**

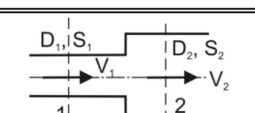
$\delta$	15°	30°	45°	60°	90°
$\zeta_s$ hladká potrubí	0,04	0,13	0,24	0,47	1,13
$\zeta_s$ drsná potrubí	0,06	0,17	0,32	0,68	1,27


**Tabulka 6. Součinitel ztráty náhlým zúžením průřezu dle Tullise [4]**

součinitel $\zeta_z$ vztážen k průměru $D_2$									
$D_2 / D_1$	0,95	0,89	0,83	0,775	0,71	0,63	0,55	0,45	0,32
$S_2 / S_1$	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
$\zeta_z$	0,01	0,062	0,10	0,164	0,22	0,27	0,31	0,34	0,36


**Tabulka 7. Součinitel ztráty rozšířením průřezu (Bordova ztráta) [4]**

součinitel $\zeta_r$ vztážen k průměru $D_2$									
$D_2 / D_1$	1,00	1,20	1,25	1,33	1,50	1,67	2,00	2,50	3,00
$S_2 / S_1$	1,00	1,44	1,56	1,78	2,25	2,78	4,00	6,25	9,00
$\zeta_r$	0,00	0,19	0,32	0,60	1,56	3,17	9,00	27,6	64,0



## 1.3. Charakteristiky čerpadel

Základní charakteristikou čerpadel je charakteristická křivka. Další důležité charakteristiky jsou příkony, efektivita a NPSH (viz 1.3.5). Všechny tyto charakteristiky se vyjadřují graficky v závislosti na průtoku. Pro určení pracovního bodu čerpadla je v charakteristikách čerpadla zahrnuta i charakteristika potrubí.

V rámci této práce jsou charakteristiky čerpadel popisovány pouze pro hydrodynamická čerpadla.

### 1.3.1. Problematika situování čerpadla vůči hladině kapaliny v sací nádrži

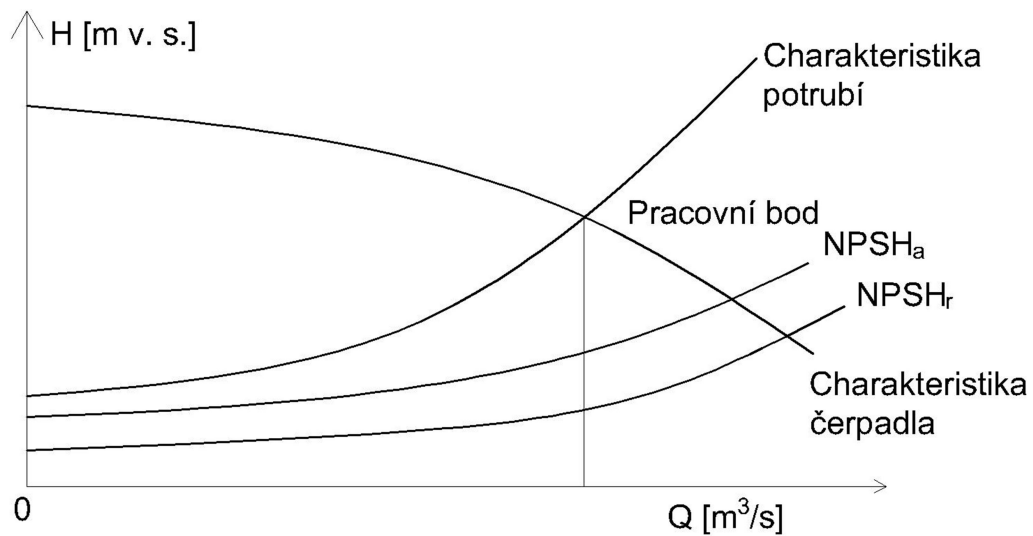
Problémem ohrožujícím správný chod čerpadla může být nedostatečný tlak na sání čerpadla. Hlavním zdrojem tohoto problému je kavitace. Kavitace je jev, při kterém se začne z kapaliny uvolňovat vzduch. V praxi to vypadá tak, že se tvoří vzduchové bubliny v místech, kde dochází k výraznějším poklesům tlaku v kapalině. Kavitaci lze předejít dodržením dostatečného tlaku na sání čerpadla (na příklad vhodným umístěním čerpadla vůči hladině v sací nádrži).

Hodnotu minimálního sacího tlaku na čerpadle určujeme pomocí NPSH křivky čerpadla. NPSH je z anglického „net positive suction head“ a vyjadřuje minimální přípustný tlak na sání čerpadla. Posouzení NPSH se řídí rovnicí:

$$1,2 \cdot NPSH_r < NPSH_a = \frac{p_s - p_n}{g\rho} - H_z - \frac{\Delta y}{g}$$

kde 1,2 je součinitel bezpečnosti,  $NPSH_r$  [m v. s.] (net positive suction head required) je charakteristika udávající provoz bez poškození (měla by být součástí dokumentace od výrobce čerpadel),  $NPSH_a$  [m v. s.] (net positive suction head available) je charakteristika na sání čerpadla (spočtená geodetická sací výška),  $p_s$  [Pa] je tlak na sání,  $p_n$  [Pa] je tlak na hladinu sací nádrže,  $H_z$  [m] je ztráta v sacím potrubí a  $\Delta y$  je kavitační deprese čerpadla.[2]

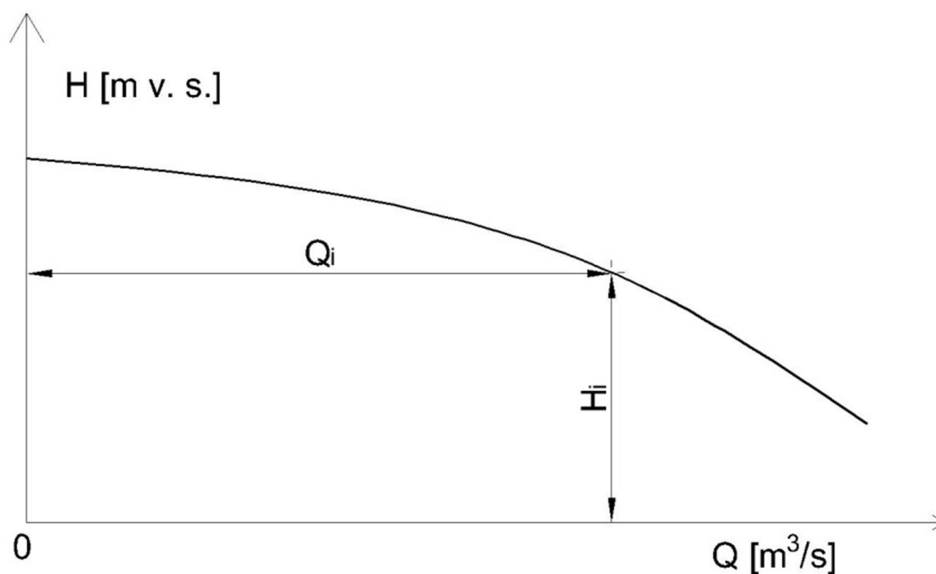
Grafické znázornění NPSH křivek vypadá takto:



Obrázek 5. NPSH čerpadla

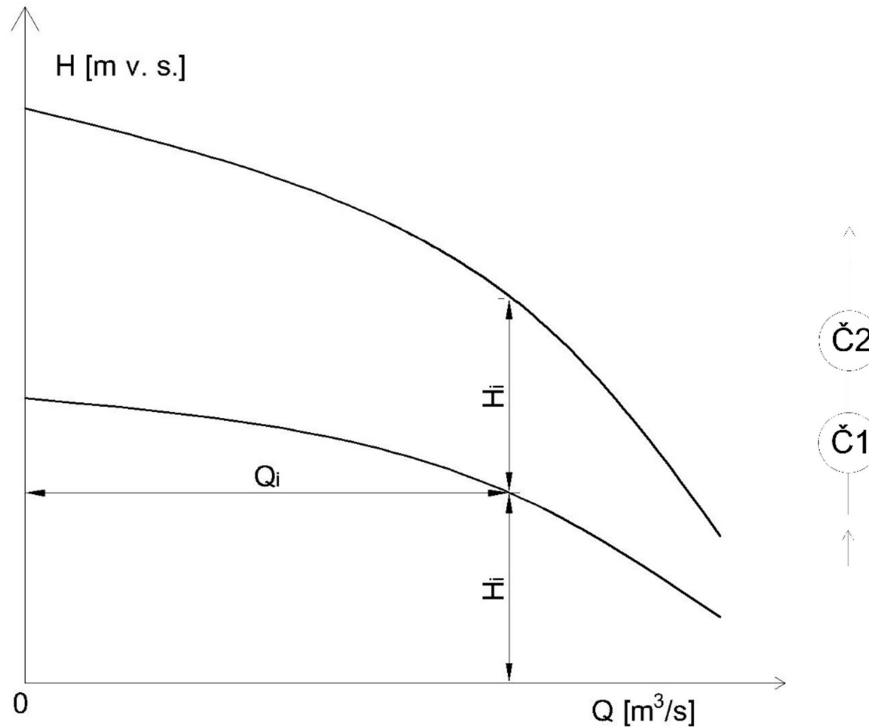
### 1.3.2. Charakteristická křivka čerpadla

Základními parametry popisujícími čerpadla jsou průtoky a dopravní výšky. Průtok  $Q$  [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ] je definován jako objemové množství kapaliny, které čerpadlem proteče za jednotku času. Dopravní výška  $H$  [m v. s.] je rozdíl tlaku vody před a za čerpadlem. Grafickému znázornění závislosti průtoku na dopravní výšce se říká charakteristická křivka čerpadla (viz Obrázek 6). [2]



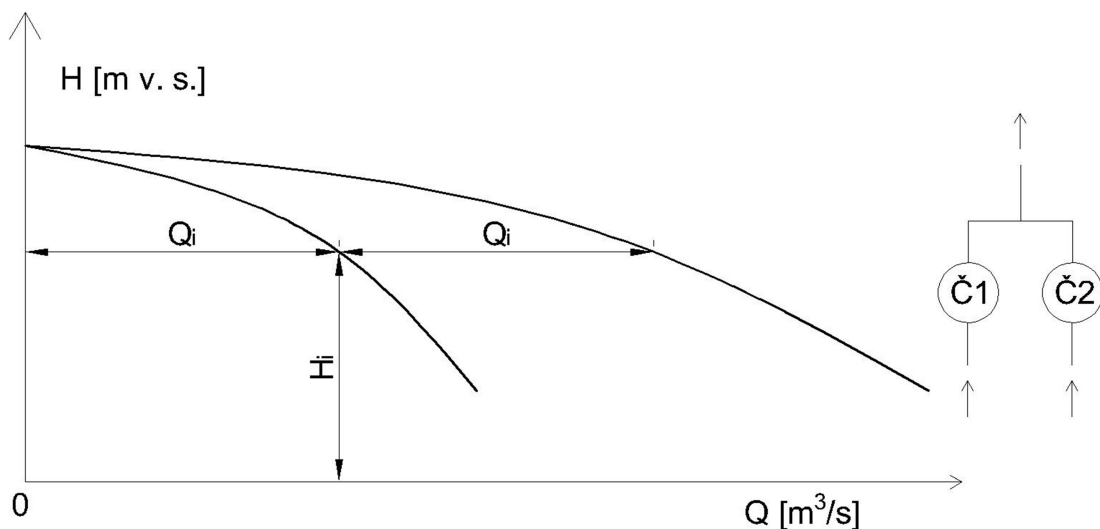
Obrázek 6. Schéma charakteristické křivky čerpadla

Při zapojení více čerpadel za sebou je docíleno vyšší dopravní výšky odpovídající zhruba součtu dopravních výšek jednotlivých čerpadel. Takové zapojení se nazývá sériové a výsledná křivka vypadá takto[2]:



Obrázek 7. Sériové zapojení čerpadel

Při zapojení dvou čerpadel vedle sebe dochází ke zvýšení průtoku při stejné dopravní výšce. Takové zapojení se nazývá paralelní a výsledná křivka vypadá takto[2]:



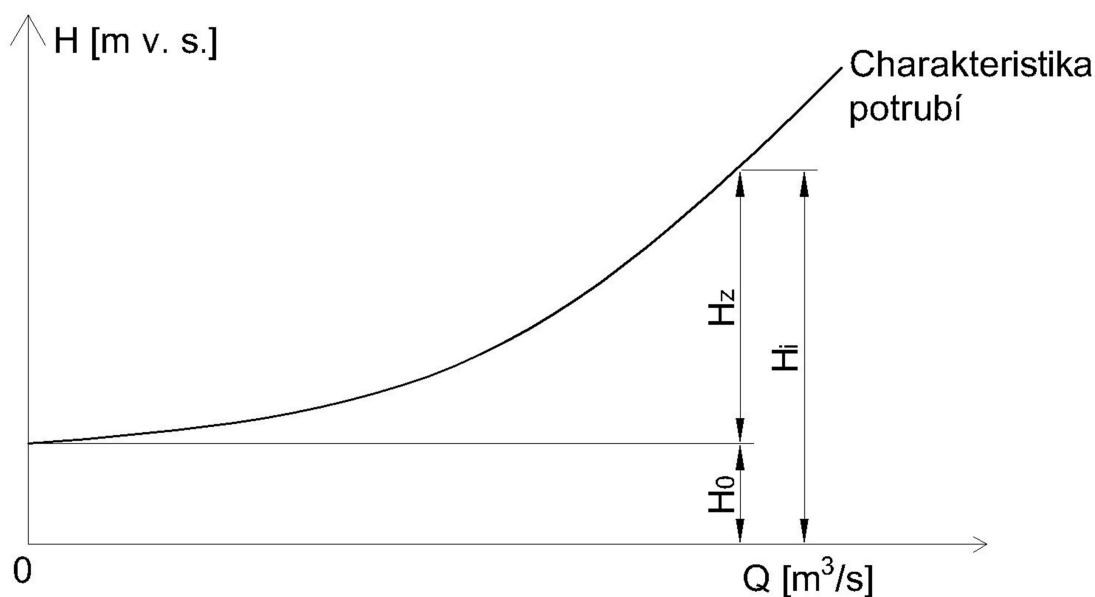
Obrázek 8. Paralelní zapojení čerpadel

### 1.3.3. Charakteristika potrubí

Charakteristika potrubí je funkcí hydraulických ztrát v potrubí a vyjadřujeme ji graficky v závislosti na průtoku (viz Obrázek 9). Při nulovém průtoku odpovídá hodnota charakteristiky potrubí energii, kterou čerpadlo musí pro čerpání překonat (například rozdíl hladin nádrží). Křivka charakteristiky potrubí postupně stoupá v závislosti na průtoku, to je způsobeno zvětšující se rychlostí a tím i ztrátám v potrubí. Z toho vyplývá, že funkcí charakteristické křivky potrubí je funkce celkových ztrát v potrubí. Hodnotu ztrátové energie v metrech vodního sloupce můžeme vyjádřit jako:

$$H_i = H_0 + H_z$$

kde  $H_i$  [m v. s.] je celková ztrátová výška v  $i$ -tém bodě,  $H_0$  [m v. s.] je počáteční energie a  $H_z$  [m v. s.] je odporová energie odpovídající ztrátám. Graficky lze charakteristika potrubí vyjádřit takto[2]:

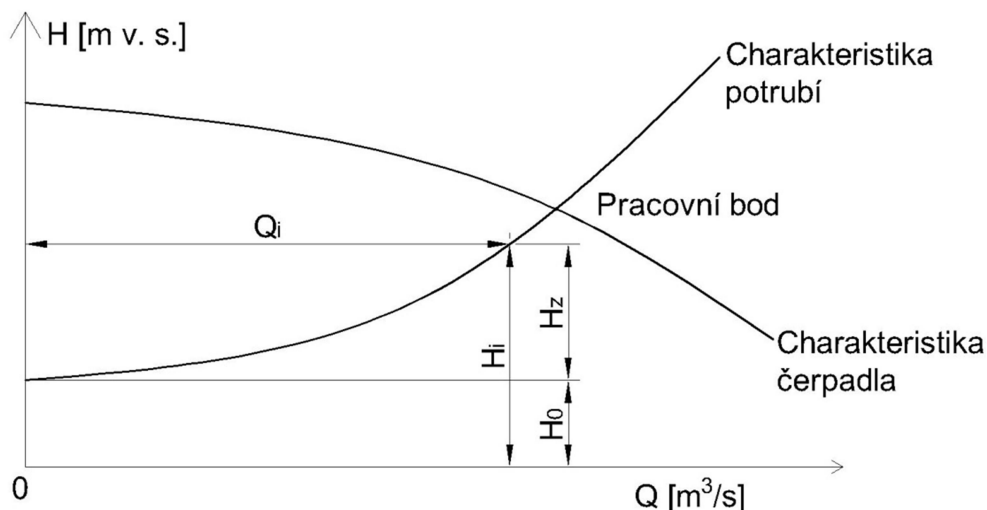


Obrázek 9. Charakteristika potrubí



### 1.3.4. Pracovní bod čerpadla

Další charakteristikou, která vyplývá z křivek čerpadel, je pracovní bod čerpadla. Pracovní bod čerpadla je bod, kde se protíná křivka charakteristiky čerpadla a křivka charakteristiky potrubí. Tento bod nám ukazuje jakého konkrétního průtoku a dopravní výšky bude čerpadlo dosahovat. Křivka charakteristiky potrubí je rovnicí hydraulických ztrát potrubí v závislosti na průtoku (viz Obrázek 10).[2]



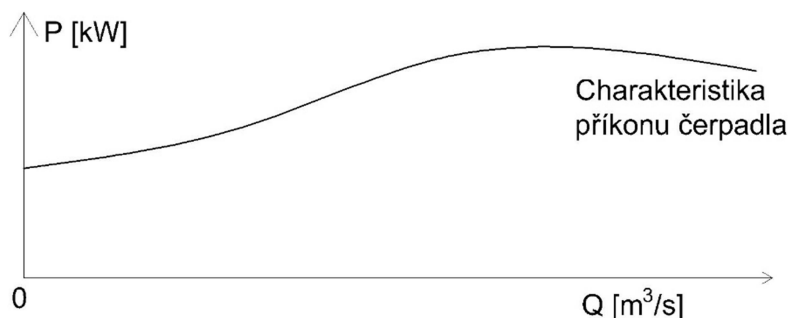
Obrázek 10. Pracovní bod čerpadla

### 1.3.5. Výkonová charakteristika

Výkonová charakteristika graficky znázorňuje souvislost mezi průtokem a výkonem čerpadla (viz Obrázek 11). Výkonem čerpadla je z pravidla myšlen hydraulický výkon, tedy výkon předaný kapalině. Hydraulický výkon lze vypočítat z rovnice:

$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

kde  $P_h$  [kW] je hydraulický výkon,  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] je hustota kapaliny,  $g$  [m/s<sup>2</sup>] je tíhové zrychlení,  $Q$  [m<sup>3</sup>/s] je průtok a  $H$  [m] je dopravní výška čerpadla.[2]



Obrázek 11. Výkon čerpadla

### 1.3.6. Hydraulická účinnost čerpadla

Hydraulická účinnost čerpadla je charakteristika určující poměr mezi hydraulickým výkonem a příkonem. Příkon čerpadla je množství energie, které do čerpadla vstupuje, a je důležité rozlišit, ke které části čerpacího soustrojí je příkon udáván. Podle udávaného příkonu se udává i příslušná účinnost (například účinnost samotného čerpadla, kde se bere příkon na hřídeli, nebo celková účinnost, kde je počítáno s příkonem na napájení pohonu čerpadla).[2]

Účinnost můžeme vyjádřit matematicky jako:

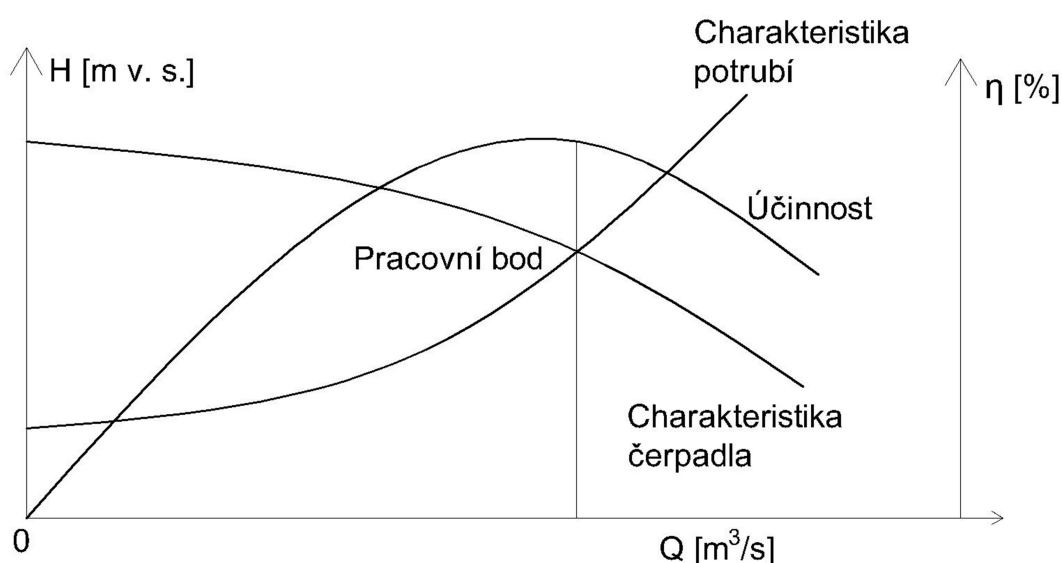
$$\eta_h = \frac{P_h}{P}$$

kde  $\eta_h$  [-] je účinnost,  $P_h$  [kW] je hydraulický výkon čerpadla a  $P$  [kW] je příkon.

Další ztráty, pro které lze vyjádřit účinnosti jsou objemové ( $\eta_o$ ) a mechanické ( $\eta_m$ ). Objemové vyjadřují ztráty vody průsakem čerpadla a mechanické ztráty třením. Celkové ztráty se pak dají vyjádřit jako:

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

Graficky se účinnost vyjadřuje v závislosti na průtoku, aby se dala vyjádřit podle průtoku pracovního bodu čerpadla (Obrázek 12):



Obrázek 12. Účinnost čerpadla

## 1.4. Experimentální měření čerpadel

Měření na čerpadlech se provádí pro ověření vypočtených parametrů. Měření může probíhat ve zkušebních laboratořích, nebo přímo v místě instalace. Důvodem měření čerpadel může být reklamace, stáří čerpadla, nebo vyhodnocení energetické efektivity. Vzhledem k náročnosti na čerpací techniku u veřejných bazénových provozů je doporučeno provádět měření a vyhodnocení charakteristik čerpadel pravidelně. Při měření čerpadel se zjišťují data o průtocích, tlacích a příkonech.

### 1.4.1. Měření průtoku

Průtok se měří pomocí průtokoměrů. Průtokoměry mohou být založeny na mnoha principech. Například na magnetickém, nebo ultrazvukovém principu. Na magnetickém principu pracuje magneto-indukční průtokoměr (dále jen MI), který je založen na Faradayově zákonu (indikace napětí v kapalině proudící skrze magnetické pole). MI je při správném nastavení velice přesný a nevytváří hydraulickou ztrátu. Na ultrazvukovém principu pracují ultrazvukové průtokoměry, jež měří rychlost impulzů ultrazvuku mezi dvěma sondami.

#### Postup

Při měření příložným ultrazvukovým průtokoměrem se nejdříve osadí sondy na potrubí. Osazení na potrubí musí být v přímém úseku v dostatečné vzdálenosti od armatur a tvarovek potrubí. Při osazování je třeba dbát správného pořadí sond vůči směru toku v potrubí. Vzdálenost mezi sondami se nejprve odhaduje podle průměru potrubí a po připojení k vyhodnocovacímu zařízení se upravuje tak, aby přístroj ukazoval stoprocentní kvalitu signálu. Po správné instalaci přístroj ukazuje průtok a rychlost proudění v potrubí (viz Obrázek 13).



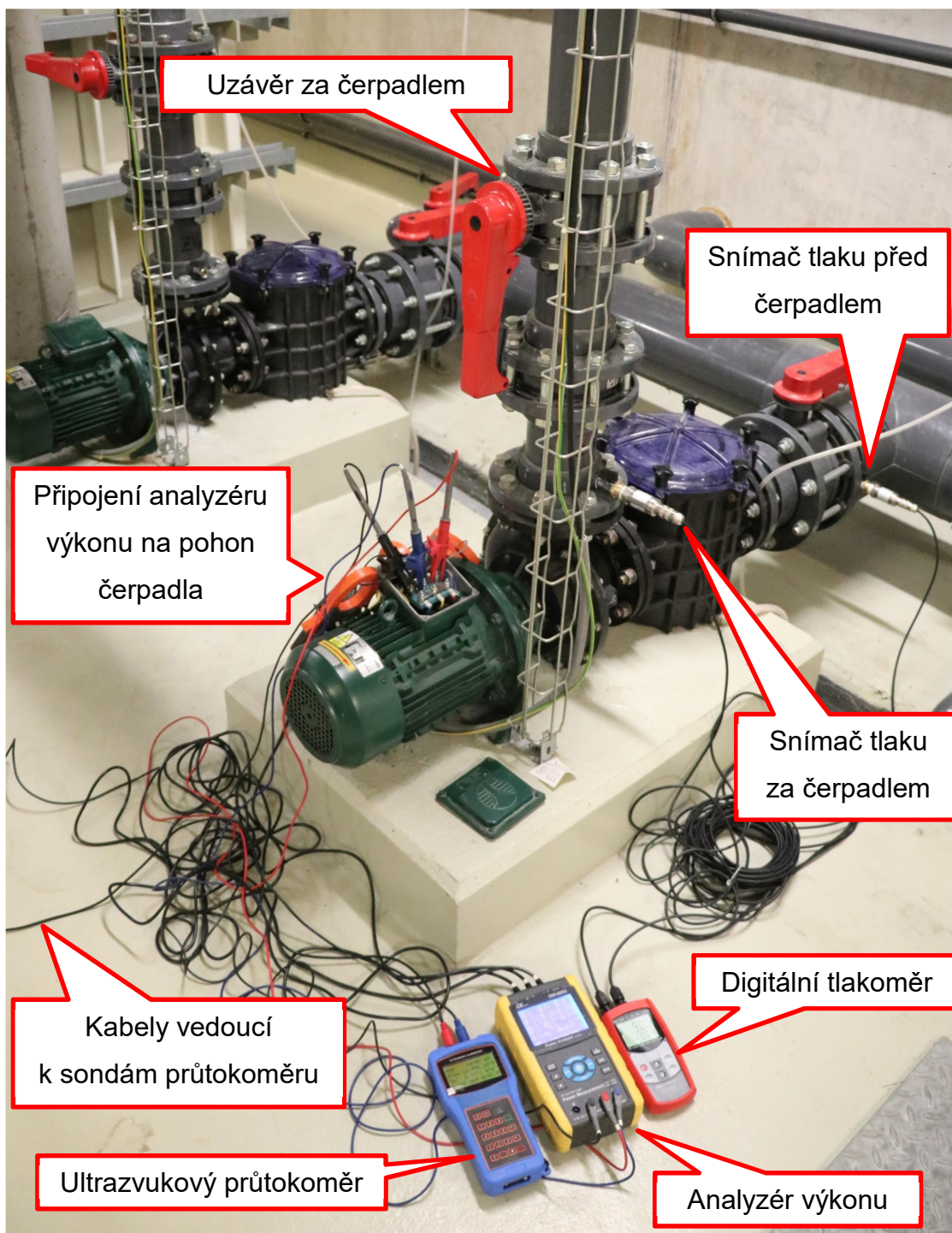
Obrázek 13. Měření ultrazvukovým průtokoměrem (foto z měření použito jako ilustrační)

### 1.4.2. Měření tlaku

Pro vyhodnocení dopravní výšky čerpadel je důležité naměřit tlaky v potrubí před a za čerpadlem. Pro měření tlaku je třeba mít připravené ventilkovy pro osazení snímačů tlakoměru. Ideálním řešením je měření digitálním tlakoměrem s možností zapojení dvou snímačů najednou. Jeden má umístěný před a druhý za čerpadlem a měřit hodnoty zároveň pro různé manipulace s dopravní výškou. Dopravní výšku můžeme měnit například škrcením uzavíracího ventilu za čerpadlem. Různé polohy uzavření odpovídají různým velikostem tlakové ztráty a tím pádem změně dopravní výšky. Ideální počet měřených manipulací je 5 včetně úplného otevření a zavření. Pro vyhodnocení charakteristiky potrubí je také nutné znát hydrostatický tlak vzhledem k hladině bazénu.

### 1.4.3. Měření příkonu

Příkon na čerpadle lze měřit digitálním analyzérem výkonu, který se osadí na rozvody elektrické energie pohonu čerpadla. Analyzátor výkonu se připojuje ke každé elektrické fázi a měří její napětí, proud, frekvenci, výkon a další parametry (napojení měřících přístrojů včetně výkonového analyzátoru: Obrázek 14).



Obrázek 14. Ukázka měření čerpadla (foto z měření použito jako ilustrační)



## 2. PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části je popsán vybraný bazénový provoz a jeho technologické části. Dále je v praktické části popsán postup měření čerpadel a vyhodnocení naměřených dat.

### 2.1. Vybavenost bazénového provozu

Vybraný bazénový provoz se nachází v jižních Čechách. Tento provoz se nachází v obci s 11 tisíci obyvatel v nadmořské výšce 472 m. V obci se dále nachází venkovní koupaliště jako samostatný areál. Žádné další veřejné provozy podobného vybavení nejsou v okruhu dvaceti km. Vybavení vybraného provozu tvoří pět bazénů a tobogán. Z technologického hlediska lze areál rozdělit na pět samostatných recirkulačních okruhů:

1. **Plavecký bazén** - železobetonový bazén obdélníkového tvaru o rozměrech 25x10,5 m s proměnnou hloubkou od 1,24 m do 1,64 m, objem vody je cca 374 m<sup>3</sup>
2. **Zábavní bazén** - železobetonový bazén osmičkového tvaru o ploše bazénu 76 m<sup>2</sup>, průměrná hloubka bazénu 1,24 m, celkový objem cca 94 m<sup>3</sup>
3. **Brouzdaliště** - železobetonový bazén nepravidelného tvaru o ploše 21,5 m<sup>2</sup>, maximální hloubkou 0,38 m, celkový objem cca 9 m<sup>3</sup>
4. **Malá vířivka** - železobetonový bazén kruhového tvaru s plochou bazénu 9,7 m<sup>2</sup>, hloubka 1,0 m, celkový objem 6 m<sup>3</sup>
5. **Velká vířivka** - nerezový bazén obdélníkového tvaru s vodní plochou 14,6 m<sup>2</sup>, hloubkou 1,0 m a celkovým objemem 12 m<sup>3</sup>

#### 2.1.1. Akumulační nádrže

Akumulační nádrže jsou umístěny ve strojovně bazénové technologie pod jednotlivými bazény, kromě akumulací nádrže zábavního bazénu, která je umístěna pod plaveckým bazénem. Zásobní nádrž tobogánu je umístěna v prostoru mezi filtry a akumulací nádrží zábavního bazénu. Do akumulací nádrží je voda dopouštěna z vodovodního řadu. Dopouštění nádrží je automatizováno a řízeno hladinovými sondami.



Tabulka 8. Rozměry akumulčních nádrží [5]

Akumulační nádrž	Půdorysná plocha [m <sup>2</sup> ]	hladina vody [m]	aktivní objem [m <sup>3</sup> ]
Plavecký bazén	12,10	1,50	168,20
Zábavní bazén	40,10	1,50	60,10
Brouzdaliště	5,80	1,20	7,00
Malá vířivka	2,60	1,20	3,20
Velká vířivka	2,60	1,20	3,20
Zásobní jímka tobogánu	3,30	1,80	5,90

### 2.1.2. Čerpadla

Cirkulaci vody jednotlivých okruhů zajišťuje vždy dvojice odstředivých čerpadel zapojených paralelně. Součástí čerpadel je lapač vlasů a elektromotor. Přehled jednotlivých čerpadel a jejich návrhových parametrů je v tabulce níže.

Tabulka 9. Přehled čerpadel jednotlivých okruhů [5]

Umístění čerpadla	počet a návrhový průtok	Dopravní výška a příkon	DN sání/výtlač
Plavecký bazén	2x 74 m <sup>3</sup> /h	12 m, P = 4 kW	DN 100/100
Zábavní bazén	2x 43 m <sup>3</sup> /h	13 m, P = 4 kW	DN 100/100
Brouzdaliště	2x 18 m <sup>3</sup> /h	14 m, P = 4 kW	DN 50/40
Malá vířivka	2x 22 m <sup>3</sup> /h	15 m, P = 4 kW	DN 50/40
Velká vířivka	2x 38 m <sup>3</sup> /h	16 m, P = 1,5 kW	DN 100/100
Tobogán	1x 130 m <sup>3</sup> /h	14 m, P = 7,5 kW	DN 125/100

### 2.1.3. Filtrace

Pro filtraci vody bazénů jsou zvoleny laminátové tlakové pískové rychlofiltry velikostí odpovídající potřebné filtrační ploše. Filtrační materiál tvoří filtrační křemičitý písek s výškou filtračních náplní 1,0 m. Voda z praní filtrů je svedena do systému splaškové kanalizace. Počet a dimenze pískových filtrů je uvedena v následující tabulce.

**Tabulka 10. Počet a dimenze pískových rychlofiltrů [5]**

Umístění filtru	počet	průměr	výška náplně
Plavecký bazén	2 ks	1800 mm	1,0 m
Zábavní bazén	2 ks	1200 mm	1,0 m
Brouzdaliště	1 ks	1200 mm	1,0 m
Malá vířivka	1 ks	1200 mm	1,0 m
Velká vířivka	2 ks	1050 mm	1,0 m

### 2.1.4. Ohřev

Pro ohřev bazénové vody se užívá tepla ze zimního stadionu, který je součástí sportovního areálu. K přenosu tepla do bazénové vody jsou použity trubkové průtokové výměníky tepla, jejichž výkon je uveden v tabulce.

**Tabulka 11. Počet a výkon výměníků [5]**

Umístění výměníku	počet	výkon
Plavecký bazén	2 ks	146 kW
Zábavní bazén	2 ks	146 kW
Brouzdaliště	1 ks	53 kW
Malá vířivka	1 ks	53 kW
Velká vířivka	2 ks	53 kW

### 2.1.5. Hygienické zabezpečení vody

K zabezpečení stálé kvality bazénové vody je pro každý bazén instalováno automatické zařízení pro měření parametrů bazénové vody a následnou regulaci dávkování chemikálií (viz Obrázek 15). Pro měření je z bazénů kontinuálně odebírán vzorek vody, který se vyhodnotí na měrných sondách a po porovnání s nastavenými parametry měřící a regulační jednotka automaticky upraví činnost dávkovacích chemikálií a systému chlorace. Měřící a regulační jednotky budou v každém cirkulačním okruhu měřit hodnotu aktivního volného chlóru, chlóru vázaného, pH a Redox potenciálu. Naměřené hodnoty se zobrazují na displejích měřiče a současně jsou zapisovány v řídicím počítači, který celý systém ovládá z velína stroje. Jako koagulant



je použit polyaluminiumhydroxidchlorid a pro dezinfekci je použitý plynný chlór. Mikrobiologické rozbory jsou prováděny akreditovanou chemickou laboratoří.



Obrázek 15. Měřicí a regulační jednotka (plavecký bazén)

Jako dezinfekce je zde použita kombinace UV záření a chlorace plynným chlorem. UV záření je zajištěno prostřednictvím průtokových UV lamp, které dávkují záření  $60 \text{ mJ/cm}^2$  (Tabulka 12). Dávkování chloru je řízeno z chlorovny, která splňuje normy ČSN 75 5050. Dávkování chlóru je prostřednictvím jednoho systému pro všechny cirkulační okruhy. Pro možnost dezinfekce filtračních jednotek je do výtlačů před filtry v každém cirkulačním okruhu osazena odbočka dávkovacího potrubí s uzavíracím ventilem na ruční ovládání.



### Komponenty systému pro dávkování chlóru:

- 1x 2 ks filtrů na chlór na přívodu do chlorátoru
- 1x 2 ks vakuových chlorátorů
- 1x 2 ks měřiče chlóru
- 1x 1 ks přepínač při vyprázdňené lahvi
- 6 ks rotometrů pro nastavení potřebné dávky
- 6 ks zrychlovací čerpadlo opatřené na sání a výtlačku uzavíracím ventilem a na výtlačku i zpětným ventilem
- systémy rozvodu pohonné a chlorové vody
- 6 ks injektorů pro podtlakové dávkování chlóru
- 6 ks přepínače pro předchloraci a dochloraci vody
- 11 ks difuzorů pro aplikaci chlorové vody do systému cirkulace
- systémy podtlakového rozvodu chlóru

Tabulka 12. Přehled UV lamp [5]

Umístění UV lampy	maximální průtok [m <sup>3</sup> /hod.]	počet [ks]	dimenze [mm]	Příkon [kW]
Plavecký bazén	240	2	DN 200	2
Zábavní bazén	102	1	DN 150	2
Brouzdaliště	43	1	DN 100	1
Malá vířivka	43	1	DN 100	1
Velká vířivka	43	1	DN 100	1

### 2.1.6. Trubní rozvody

Instalované rozvody jsou z PVC pevnostní třídy PN 10. Délky a dimenze potrubí a dispoziční řešení zapojení komponent strojovny je znázorněno v grafických přílohách 9.1 a 9.2. Potrubí je ve strojovně uspořádáno tak, aby nedocházelo ke komplikacím s tepelnou roztažností, celá strojovna byla průchozí a veškeré potrubí bylo možno vypustit do splaškové kanalizace.



## 2.1.7. Atrakce bazénu

Bazénový provoz je vybaven plaveckým bazénem, tobogánem, zábavním bazénem, brouzdalištěm a dvojicí vířivek s masážními tryskami. Zábavní bazén je vybaven několika stříkajícími a provzdušňovacími atrakcemi (konkrétně se jedná o chrlič - plošná clona, chrlič - zvon, masážní trysky, dnový rošt, masážní sedátka, masážní lůžka a dnové perličky). Brouzdaliště je také vybaveno několika stříkajícími atrakcemi (stříkajícím ježkem, fontánou, skluzavkou a masážními sedátky). Pro zmíněné atrakce je v Technickém zázemí nezávislý systém čerpadel a dmychadel. Výpis čerpadel a dmychadel pro atrakce je níže v tabulce.

Tabulka 13. Přehled čerpadel a dmychadel pro atrakce [5]

Čerpadla	počet a výkon	Pracovní výška a příkon	DN sání/výtlač
Divoká řeka (PP)	2x 167 m <sup>3</sup> /h	10 m, P = 7,5 kW	DN 125/100
Chrlič plošná clona (ZB)	1x 23 m <sup>3</sup> /h	10 m, P = 1,8 kW	DN 50/40
Chrlič zvon (ZB)	1x 23 m <sup>3</sup> /h	10 m, P = 1,8 kW	DN 50/40
Masážní trysky (ZB)	1x 45 m <sup>3</sup> /h	10 m, P = 3,0 kW	DN 80/80
Stříkací ježek (BR)	1x 5 m <sup>3</sup> /h	10 m, P = 0,5 kW	DN 50/40
Fontánové trysky (BR)	1x 5 m <sup>3</sup> /h	10 m, P = 0,5 kW	DN 50/40
Skluzavka (BR)	1x 5 m <sup>3</sup> /h	10 m, P = 0,5 kW	DN 50/40
Masážní trysky (MV)	1x 23 m <sup>3</sup> /h	10 m, P = 1,8 kW	DN 50/40
Masážní trysky (VV)	1x 107 m <sup>3</sup> /h	10 m, P = 4,0 kW	DN 100/100
Dmychadla	počet	výkon	příkon
Dnový rošt	1	219 m <sup>3</sup> /h	P = 1,5 kW
Masážní sedátka	1	304 m <sup>3</sup> /h	P = 3 kW
Masážní sedátka	1	304 m <sup>3</sup> /h	P = 3 kW
Masážní lůžka	1	219 m <sup>3</sup> /h	P = 1,5 kW
Dnové perličky	1	219 m <sup>3</sup> /h	P = 1,5 kW

\*PV - plavecký bazén; ZB - zábavní bazén; BR - brouzdaliště; MV - malá vířivka;  
VV - velká vířivka

## 2.2. Popis měření v terénu

Měření se konalo ve středu 13. a ve čtvrtek 14. Března 2019 v nejmenovaném bazénovém provozu v jižních Čechách. Před samotným měřením jsme se museli seznámit s uspořádáním potrubí a armatur ve strojovně, následně naměřit potřebná data, která jsou potřeba pro výpočet pracovního grafu čerpadel a výpočet hydraulických ztrát v systému.

### 2.2.1. Příprava na měření

Pro měření v terénu bylo nejprve nutné připravit si potřebné měřicí přístroje, které umožnily naměřit potřebná data, jako průtoky, tlaky, délky a další.

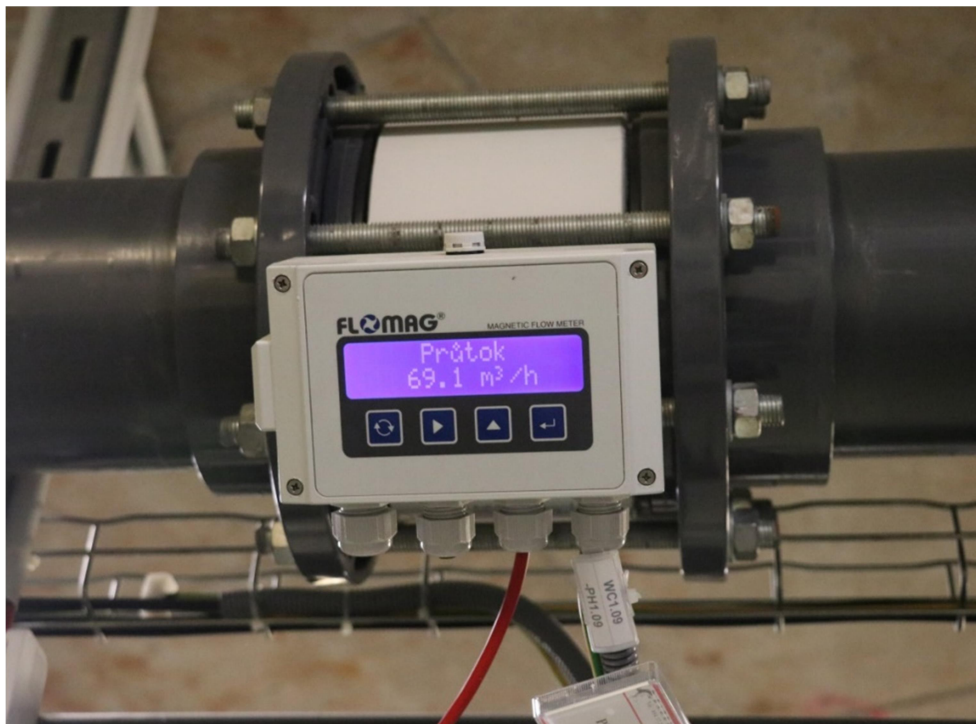
Seznam vybavení a přístrojů:

- Digitální tlakoměr Greisinger GMH5155
- Snímací sondy Greisinger MSD-1/3 BRE
- Ultrazvukový průtokoměr TTFM100-B
- Analyzátor Lutron DW-6092
- Ultrazvukový tloušťkoměr TM-8811
- Fotoaparát Canon
- Laserový dálkoměr
- Ostatní: metr, prodlužovák, kalkulačka, blok a tužka na poznámky...

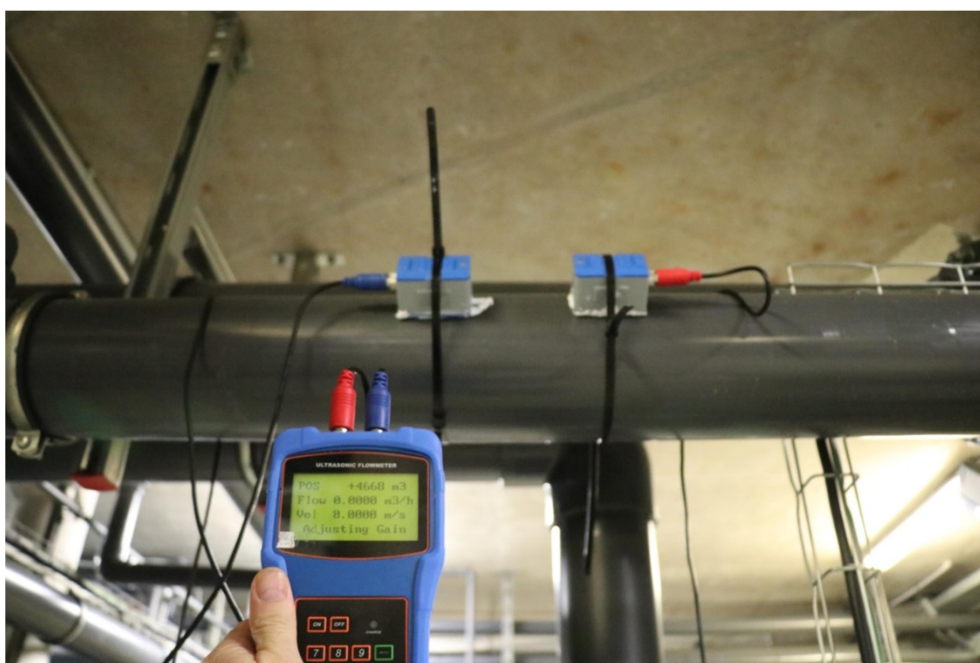
Před samotným zahájením měření bylo potřeba zorientovat se ve strojovně bazénového provozu a projít si celé recirkulační okruhy plaveckého a zábavního bazénu od akumulčních nádrží až k bazénům. Ostatní recirkulační okruhy nebyly cílem měření a jejich prozkoumání bylo jen orientační. Při prohlídce systému potrubí bylo důležité hledání vhodných bodů, které později sloužily k připojení měřících přístrojů.

## 2.2.2. Průběh měření

Samotné měření začalo na okruhu plaveckého bazénu, kde byla nejdříve ověřována funkčnost stávajícího magnetoindukčního průtokoměru (Flomag; Obrázek 16) pomocí příložného ultrazvukového průtokoměru (TTFM100-B; Obrázek 17).



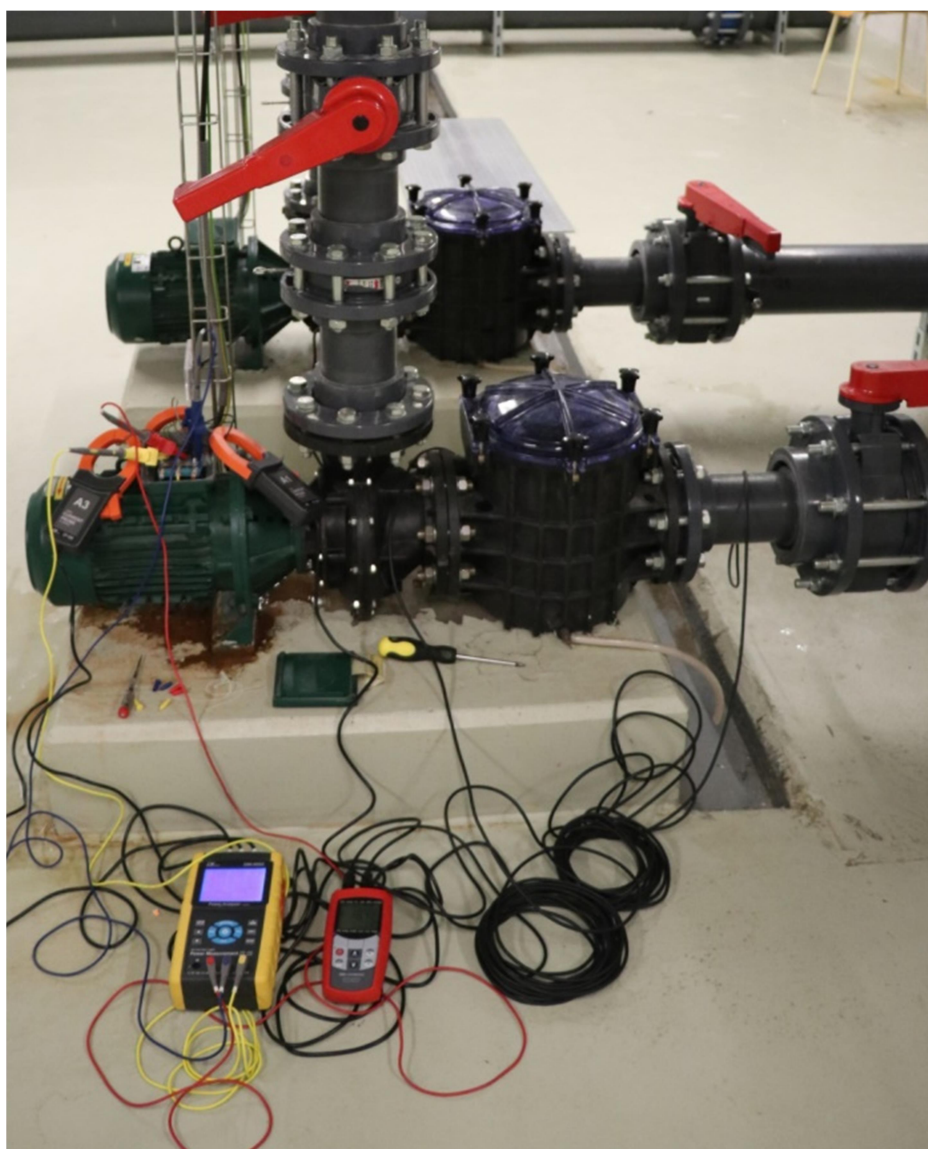
Obrázek 16. Magnetoindukční průtokoměr Flomag



Obrázek 17. Měření ultrazvukovým průtokoměrem

Pro správné nastavení příložného průtokoměru bylo nutno ověřit tloušťku potrubí v místě měření průtoku a to za pomoci digitálního ultrazvukového tloušťkoměru (TM-8811). Instalace a nastavení průtokoměru byla prováděna podle pokynů v manuálu přístroje. Rozdíl měření mezi průtokoměry se pohyboval v mezích pěti procent (pro ověření výsledků byly zapisovány obě hodnoty průtoku).

Po ověření funkčnosti průtokoměru se začalo měření parametrů čerpadla (viz Obrázek 18). Pro měření výkonu čerpadel byl na pohony čerpadel instalován analyzátor výkonu (Lutron DW-6092), který měřil elektrické parametry na zapojení elektromotoru, jako je příkon, napětí, proud, frekvenci a další.



Obrázek 18. Měření tlakoměrem a analyzérem výkonu (plavecký bazén)

Pro měření tlaku vody před a za čerpadlem byly osazeny sondy (Greisinger MSD-1/3 BRE) digitálního tlakoměru (Greisinger GMH5155), který umožňuje měření na dvou sondách současně (Obrázek 19).



**Obrázek 19. Měření tlaku za čerpadlem (přístroj Greisinger GMH5155 a sonda Greisinger MSD-1/3 BRE)**

Po instalaci tlakoměru a analyzáru výkonu byly měřeny parametry jednotlivých čerpadel pro různé manipulace s uzávěrem za čerpadlem. Nejdříve pro každé čerpadlo samostatně s tím, že druhé čerpadlo bylo z obou stran uzavřeno a poté byl měřen souběh obou čerpadel za plného otevření.

Když byla všechna data k čerpadlům plaveckého bazénu naměřena, pokračovalo se měřením potrubí. Nejprve bylo nakresleno schéma systému potrubí ve strojovně, do kterého byly postupně zapisovány naměřené informace o rozměrech a dispozici potrubí (grafická příloha č. 1). Dále byly zapisovány informace o rozmístění tvarovek, jako jsou kolena, redukce a další. Nakonec byly ve schématu označeny ventily umožňující připojení tlakoměru, které byly pro přehlednost popsány i na potrubí. Jednotlivé popisovací body označovaly jednoduchým kódem o dvou písmenech a číslicích, o jaký recirkulační okruh se jedná, zdali je umístěno vůči čerpadlu na sání nebo výtlačku a číselně popisuje, na které je větvi čerpadla a v jakém je pořadí od



čerpadla. Například  $PS_{11}$  označuje bod, který je na recirkulačním okruhu plaveckého bazénu, z pohledu čerpadla je na sání, je na větvi odpovídající čerpadlu č. 1 a je prvním bodem v pořadí od čerpadla (Obrázek 20).



Obrázek 20. Ukázka označení bodu na potrubí

Měření tlaku na jednotlivých ventilech bylo prováděno pro chod jednoho, druhého a pro souběh obou čerpadel. V místech, kde se potrubí větví, bylo manipulováno s uzávěry tak, aby bylo případně možné analyzovat místní ztráty. Analýza ztrát energie v potrubí není v této práci řešena, ale může být v jiném stupni dokumentace.

Po doměření potřebných hodnot pro plavecký bazén se obdobně pokračovalo s měřením na zábavním bazénu.





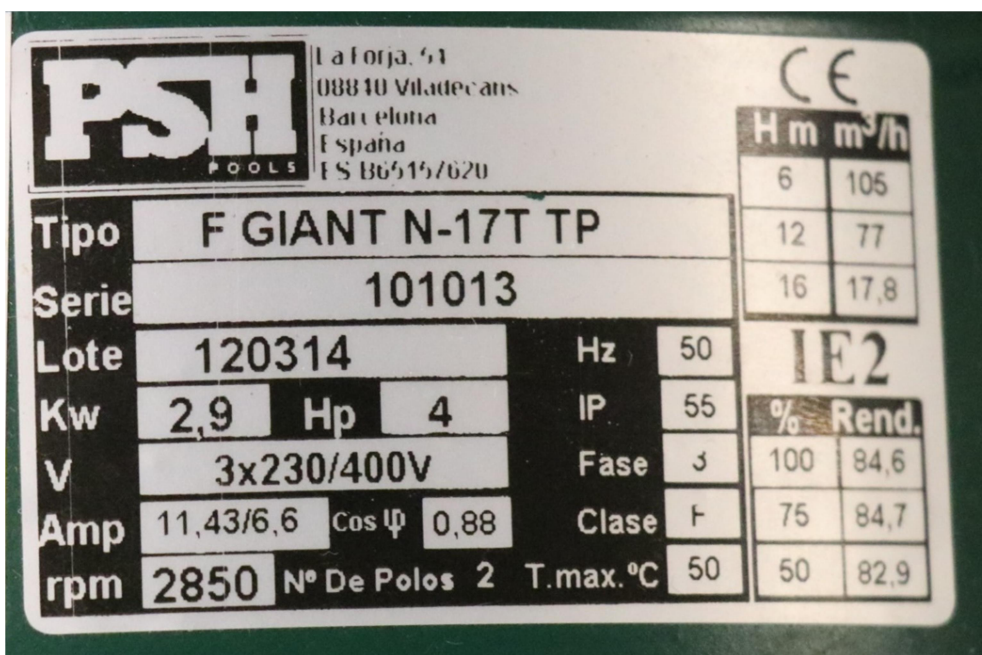
## 2.3. Naměřená data a jejich vyhodnocení

Naměřená data jsou rozdělena podle recirkulačních okruhů, na kterých se měřilo, na Plavecký bazén a Zábavní bazén.

Naměřená data pro analýzu potrubí nejsou součástí této práce a mohou být zpracována v jiném stupni dokumentace. Důvodem jejich nezpracování je doporučený rozsah práce.

### 2.3.1. Plavecký bazén

U plaveckého bazénu byla měřena dvojice čerpadel F-GIANT 17 od výrobce Bombas PSH. Čerpadla byla zapojena paralelně. Obě čerpadla byla opatřena stejným štítkem (viz Obrázek 21).



Obrázek 21. Štítek čerpadla (plavecký bazén)

Naměřená data jsou pro obě čerpadla ve stávajícím nastavení v Tabulka 14 označena jako plně otevřeno. Data pro manipulace s uzávěrem jsou popsána hodnotou odpovídajícího uzavření (20°, 45°, 80° a zavřeno). Měření obou průtoků (ultrazvukem a MI) bylo zapisováno pro případné selhání jednoho z průtokoměrů. V dalších výpočtech je brán MI průtokoměr jako výchozí. Měření tlaků bylo v zanedbatelné vzdálenosti před a za čerpadlem, tudíž dopravní výšku upravujeme pouze o rozdíl geodetických výšek (ztrátu zanedbáme) připojených měřících sond, který byl 0,27 m.

**Tabulka 14. Naměřené průtoky a tlaky pro různé manipulace s uzávěrem za čerpadlem**

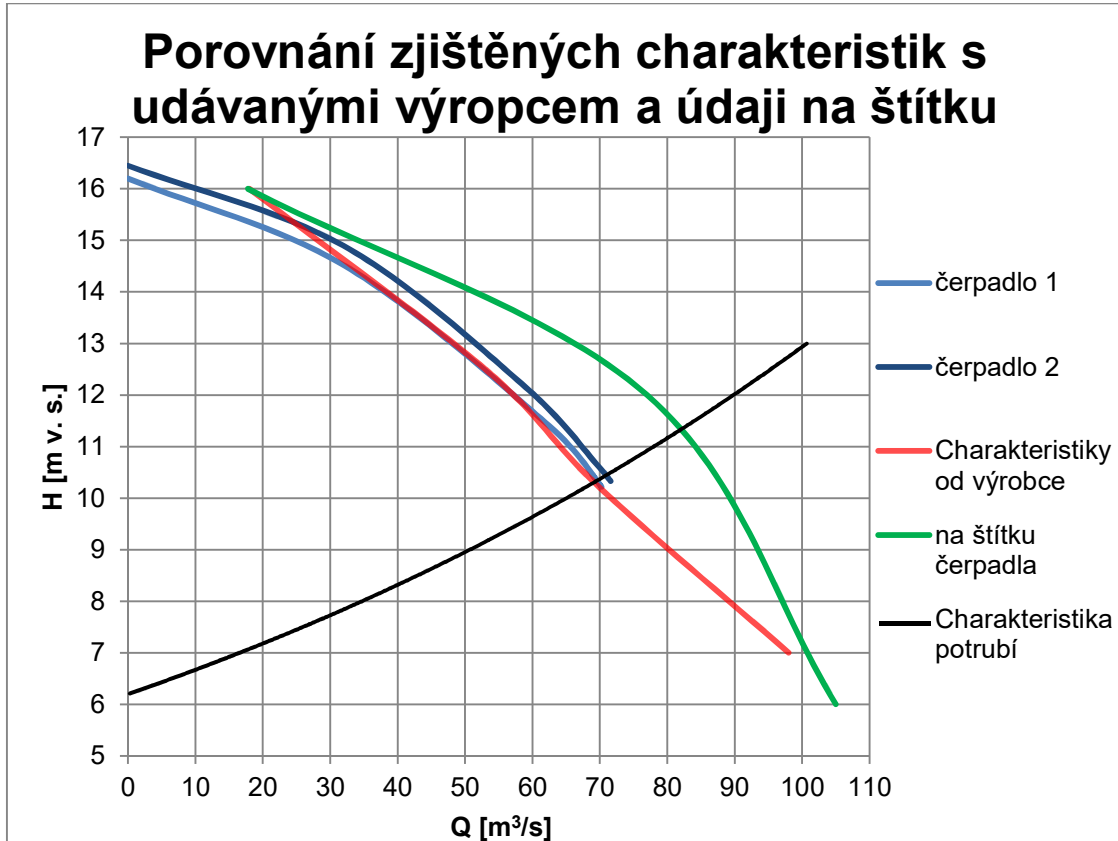
č. čerpadla a poloha uzávěru	Ultrazvukový průtokoměr		Magnetoindukční průtokoměr	Tlaky před a za čerpadlem	
	US [m <sup>3</sup> /h]	v [m/s]	Q [m <sup>3</sup> /h]	PS11 [m]	PV11 [m]
<b>čerpadlo č.1</b>					
plně otevřeno	64,54	1,02	68,90	0,01	10,46
přivřeno 20°	65,66	1,04	70,10	0,01	10,25
přivřeno 45°	58,54	0,93	62,50	0,04	11,44
přivřeno 80°	31,47	0,50	32,10	0,13	14,64
zavřeno	0,00	0,00	0,00	3,25	19,45
<b>čerpadlo č.2</b>					
plně otevřeno	66,80	1,06	71,60	0,00	10,33
přivřeno 20°	65,11	1,03	69,90	0,01	10,61
přivřeno 45°	54,62	0,86	58,40	0,07	12,29
přivřeno 80°	32,30	0,51	31,90	0,14	15,04
zavřeno	0,00	0,00	0,00	3,23	19,68

Tabulka 15 uvádí vypočítané charakteristiky čerpadel. Příkon je elektrický výkon na napájení pohonu čerpadla, to znamená, že vypočítaná účinnost je účinností celého soustrojí čerpadla (včetně ztrát pohonu). Výkon je vypočítaný hydraulický výkon (viz kapitola 2.3.6).

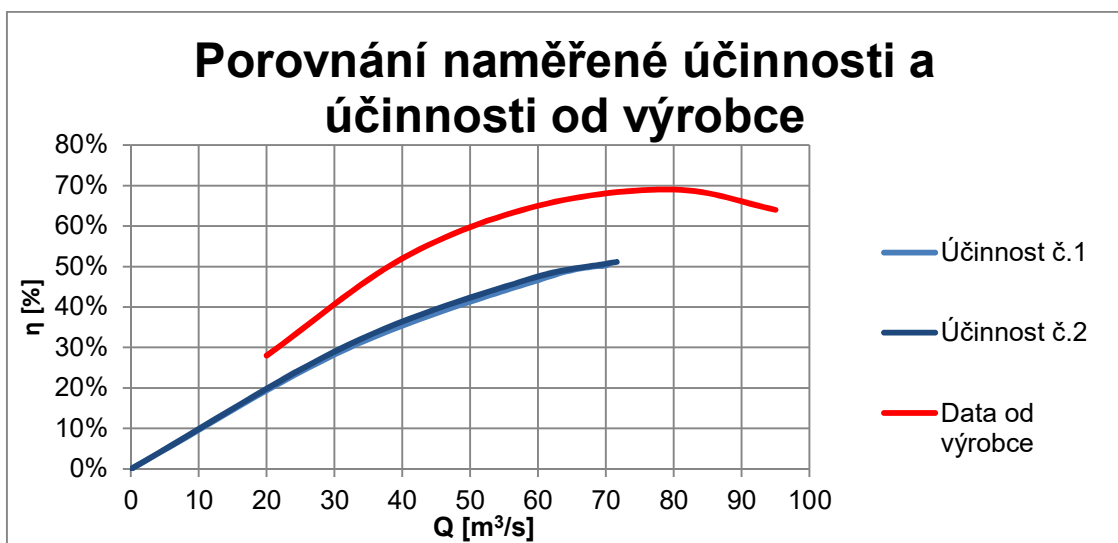
**Tabulka 15. Vypočtené charakteristiky čerpadel**

č. čerpadla a poloha uzávěru	Dopraví výška	Příkon	výkon	účinnost
<b>čerpadlo č.1</b>	H [m]	P [kW]	P <sub>Q</sub> [kW]	η [-]
plně otevřeno	10,45	3,92	1,96	50,09%
přivřeno 20°	10,24	3,89	1,96	50,34%
přivřeno 45°	11,40	4,05	1,94	47,98%
přivřeno 80°	14,51	4,24	1,27	29,92%
zavřeno	16,20	4,06	0,00	0,00%
<b>čerpadlo č.2</b>	H [m]	ΣP [kW]	P <sub>Q</sub> [kW]	η [-]
plně otevřeno	10,33	3,94	2,02	51,13%
přivřeno 20°	10,60	3,99	2,02	50,64%
přivřeno 45°	12,22	4,16	1,94	46,75%
přivřeno 80°	14,90	4,24	1,30	30,56%
zavřeno	16,45	3,88	0,00	0,00%

Níže uvedený graf porovnává vypočítané parametry čerpadel, jež uvádí Tabulka 15, s charakteristikami udávanými katalogem výrobce [6] a s hodnotami na štítku čerpadla (Obrázek 21) a s vypočítanou charakteristikou potrubí.



Z grafu je patrné, že naměřené hodnoty odpovídají hodnotám od výrobce, ale neodpovídají hodnotám na štítku čerpadla. Pravděpodobná příčina tohoto výsledku je záměna dat o křivce čerpadla na štítku.

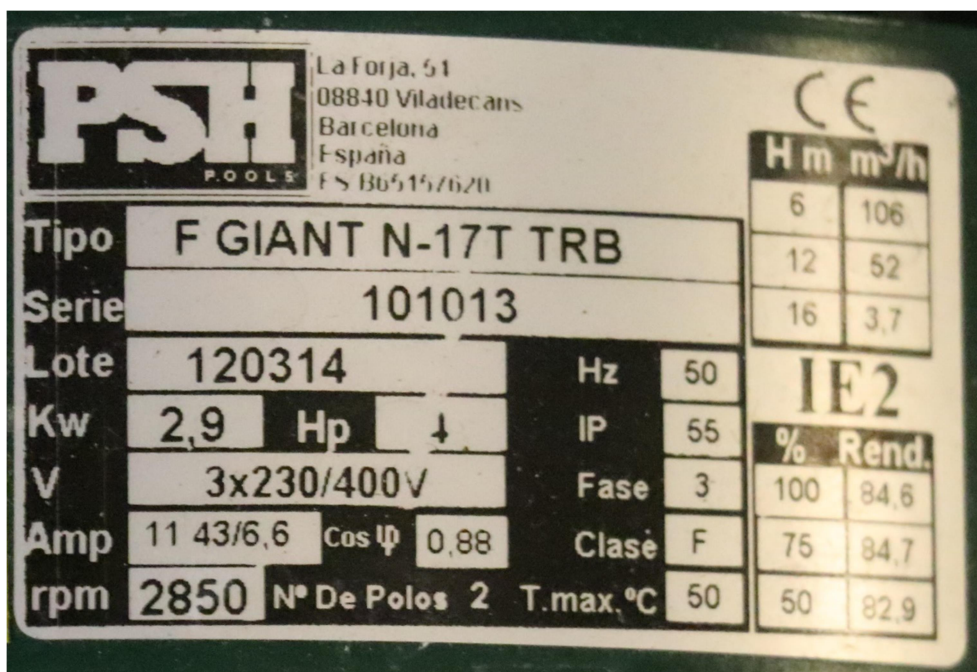




Z porovnání účinnosti je patrné, že data od výrobce se liší přibližně o 20%, což by odpovídalo situaci, že udávaná data jsou účinností pouze mechanismu čerpadla a nikoli celého soustrojí (lpač vlasů, čerpadlo, pohon).

### 2.3.2. Zábavní bazén

U zábavního bazénu byla měřena dvojice čerpadel F-GIANT 17 TRB (na rozdíl od plaveckého bazénu je zde bronzová turbína) od výrobce Bombas PSH. Čerpadla byla zapojena paralelně. Obě čerpadla byla opatřena stejným štítkem (viz Obrázek 22. Štítek čerpadla (zábavní bazén)).



Obrázek 22. Štítek čerpadla (zábavní bazén)

Naměřená data jsou pro obě čerpadla ve stávajícím nastavení v Tabulka 16 označena jako plně otevřeno. Data pro manipulace s uzávěrem jsou popsána hodnotou odpovídajícího uzavření (20°, 45°, 80° a zavřeno). Měření obou průtoků (ultrazvukem a MI) bylo zapisováno pro případné selhání jednoho z průtokoměrů. V dalších výpočtech je brán MI průtokoměr jako výchozí. Měření tlaků bylo v zanedbatelné vzdálenosti před a za čerpadlem, tudíž dopravní výšku upravujeme pouze o rozdíl geodetických výšek (ztrátu zanedbáme) připojených měřících sond, který byl 0,085 m.



**Tabulka 16. Naměřené průtoky a tlaky pro různé manipulace s uzávěrem za čerpadlem**

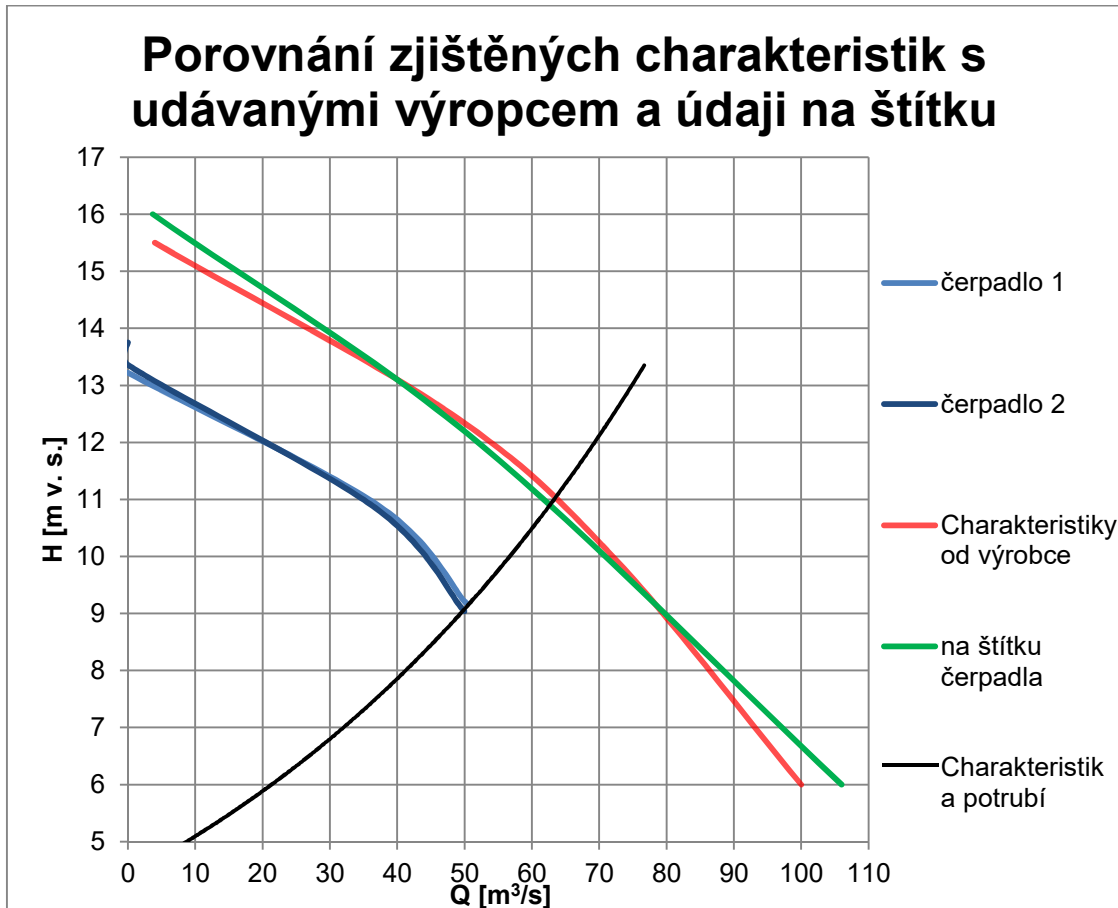
č. čerpadla a poloha uzávěru	Ultrazvukový průtokoměr		MI průtokoměr	Tlaky před a za čerpadlem	
	US [m <sup>3</sup> /h]	v [m/s]	Q [m <sup>3</sup> /h]	PS11 [m]	PV11 [m]
<b>čerpadlo č.1</b>					
plně otevřeno	45,69	0,99	50,43	0,01	9,18
přivřeno 20°	45,36	0,99	50,00	-0,03	9,18
přivřeno 45°	33,84	0,73	37,36	0,03	10,91
přivřeno 80°	7,92	0,17	0,00	0,09	13,31
zavřeno	0,00	0,00	0,00	3,29	16,76
<b>čerpadlo č.2</b>					
plně otevřeno	44,89	0,98	49,99	-0,04	9,00
přivřeno 20°	44,13	0,96	49,60	-0,04	9,05
přivřeno 45°	33,53	0,73	36,78	0,02	10,87
přivřeno 80°	8,95	0,19	0,00	0,09	13,45
zavřeno	0,00	0,00	0,00	3,27	17,02

Tabulka 17 uvádí vypočítané charakteristiky čerpadel. Příkon je elektrický výkon na napájení pohonu čerpadla, to znamená, že vypočítaná účinnost je účinností celého soustrojí čerpadla (včetně ztrát pohonu). Výkon je vypočítaný hydraulický výkon (viz kapitola 2.3.6).

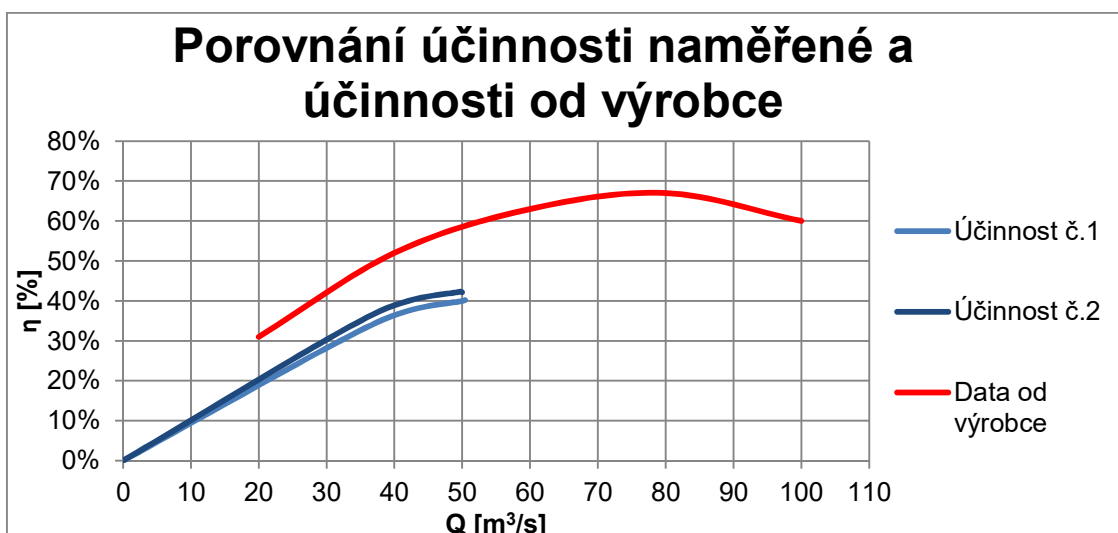
**Tabulka 17. Vypočtené charakteristiky čerpadel**

č. čerpadla a poloha uzávěru	Dopraví výška	Příkon	výkon	účinnost
<b>čerpadlo č.1</b>	H [m]	P [kW]	P <sub>Q</sub> [kW]	η [-]
plně otevřeno	9,17	3,136	1,26	40,18%
přivřeno 20°	9,21	3,139	1,25	39,98%
přivřeno 45°	10,88	3,204	1,11	34,57%
přivřeno 80°	13,22	3,017	0,00	0,00%
zavřeno	13,47	2,877	0,00	0,00%
<b>čerpadlo č.2</b>	H [m]	ΣP [kW]	P <sub>Q</sub> [kW]	η [-]
plně otevřeno	9,04	2,921	1,23	42,16%
přivřeno 20°	9,09	2,906	1,23	42,28%
přivřeno 45°	10,85	2,974	1,09	36,57%
přivřeno 80°	13,36	2,843	0,00	0,00%
zavřeno	13,75	2,631	0,00	0,00%

Níže uvedený graf porovnává vypočítané parametry čerpadel z Tabulka 17 s charakteristikami udávanými katalogem výrobce [6], s hodnotami na štítku čerpadla a s vypočítanou charakteristikou potrubí.



Z grafu je patrné, že naměřené hodnoty neodpovídají hodnotám od výrobce a neodpovídají hodnotám na štítku čerpadla. Pozoruhodné je, že hodnoty na štítku odpovídají hodnotám z katalogu výrobce. \*další strana





\*Důvodem propadu výkonu může být opotřebení čerpadla, nebo vznik kavitace na sání (kterou nelze ověřit, protože výrobce nedodává v katalogu křivky NPSH). Jako nejpravděpodobnější možnost bych uvažoval záměnu štítků, jako v případě plaveckého bazénu, ovšem s tím, že bude špatný i popis čerpadla a srovnání parametrů provádím s jiným čerpadlem, než které je tam ve skutečnosti.

Z porovnání účinnosti je patrné, že jde znovu o rozdíl zhruba 20%, což by odpovídalo situaci, že udávaná data jsou účinností pouze mechanismu čerpadla a nikoli celého soustrojí stejně jako u plaveckého bazénu (lapač vlasů, čerpadlo, pohon).

### 3. Závěr

Na základě měření a vyhodnocení charakteristik recirkulačních čerpadel bazénového provozu jsem došel k těmto závěrům:

- U recirkulačního systému plaveckého bazénu jsou čerpadla opatřena klamavým štítkem se zavádějícími údaji o charakteristikách čerpadel
- Účinnosti čerpadel výrobce udává pouze pro mechanismus čerpadla, i když distribuuje celé čerpací soustrojí (lapač vlasů, čerpadlo, pohon) jako celek
- U zábavního bazénu jsou sice čerpadla vybavena odpovídajícími štítky, jako v katalogu, ale samotná čerpadla nedosahují předepsaných parametrů
- Výrobce nedodává NPSH křivku a není možné zkontrolovat, bez laboratorního měření, jestli u čerpadel nedochází ke kavitaci a tím i ztrátě výkonu

Při ověření funkce magneto-indukčního průtokoměru příložným ultrazvukovým průtokoměrem jsem došel k závěru, že magneto-indukční průtokoměr měří o 5% vyšší hodnoty průtoku, než ultrazvukový.



## Doporučení

1. Vzhledem ke zjištěnému 5% rozdílu měřených hodnot průtoku ultrazvukovým a magneto-indukčním průtokoměrem, by bylo vhodné zvážit kalibraci magneto-indukčního průtokoměru
2. Zvážit provedení revize průtočné části čerpadla, zejména kontrolu opotřebení oběžných kol čerpadel osazených v recirkulačním okruhu zábavního bazénu.
3. Provedení kontroly charakteristiky lapače vlasů instalovaného na sání čerpadel ve vztahu k požadovanému průtoku čerpadel u recirkulačního okruhu zábavního bazénu (tlaková ztráta)
4. Při návrhu čerpadel upřednostnit výrobce poskytující kompletní dokumentaci, to znamená včetně křivek NPSH a výkonu. Také konkrétně ověřit, k čemu je vztažena křivka účinnosti a zdali se jedná o účinnost celého soustrojí, nebo jen čerpací části.



## Citace

- [1] ŠŤASTNÝ, Bohumil. Stavba a provoz bazénů. Praha: ABF-ARCH, 2003. ISBN 80-86165-56-6
- [2] MELICHAR, Jan. Úvod do čerpací techniky. V Praze: České vysoké učení technické, 2012. ISBN 978-80-01-05056-9.
- [3] Kolář, Václav, Cyril Patočka a Jiří Bém. Hydraulika. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1983. 474 s.
- [4] Katedra 141 ČVUT: Výběr potřebných tabulek a grafů [online]. Dostupné z:<<http://www.hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/cviceni.htm>>
- [5] Technická zpráva projektové dokumentace PDPS řešeného projektu, Praha 2013
- [6] BOMBAS PSH: Katalog čerpadel F-GIANT [online]. Dostupné z:<<https://www.bombaspsh.com/en/f-giant/catalog-of-products/2/103>>



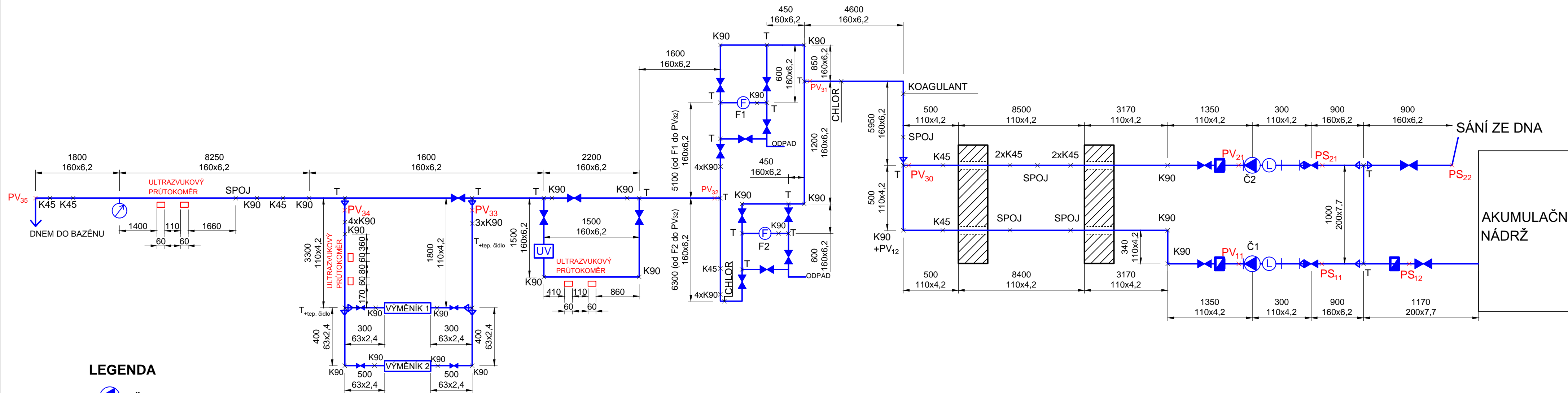
## Seznam obrázků

Obrázek 1. Schéma recirkulačního systému [1].....	5
Obrázek 2. Kontinuita průtoku kapaliny potrubím proměnného kruhového průřezu[2].....	10
Obrázek 3. Schéma znázorňující upravenou Bernoulliho rovnici [4].....	12
Obrázek 4. Moodyho diagram [4].....	13
Obrázek 5. NPSH čerpadla.....	17
Obrázek 6. Schéma charakteristické křivky čerpadla.....	17
Obrázek 7. Sériové zapojení čerpadel.....	18
Obrázek 8. Paralelní zapojení čerpadel.....	18
Obrázek 9. Charakteristika potrubí.....	19
Obrázek 10. Pracovní bod čerpadla.....	20
Obrázek 11. Výkon čerpadla.....	20
Obrázek 12. Účinnost čerpadla.....	21
Obrázek 13. Měření ultrazvukovým průtokoměrem (foto z měření použito jako ilustrační).....	23
Obrázek 14. Ukázka měření čerpadla (foto z měření použito jako ilustrační).....	24
Obrázek 15. Měřicí a regulační jednotka (plavecký bazén).....	28
Obrázek 16. Magnetoindukční průtokoměr Flomag.....	32
Obrázek 17. Měření ultrazvukovým průtokoměrem.....	32
Obrázek 18. Měření tlakoměrem a analyzérem výkonu (plavecký bazén).....	33
Obrázek 19. Měření tlaku za čerpadlem (přístroj Greisinger GMH5155 a sonda Greisinger MSD-1/3 BRE).....	34
Obrázek 20. Ukázka označení bodu na potrubí.....	35
Obrázek 21. Štítek čerpadla (plavecký bazén).....	36
Obrázek 22. Štítek čerpadla (zábavní bazén).....	39









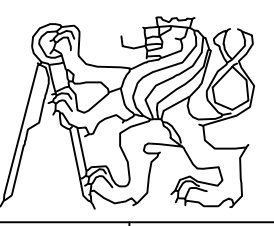
## Seznam tabulek

Tabulka 1. Hydraulická drsnost pro vybraná potrubí [4].....	14
Tabulka 2. Hustota a kinematická viskozita vody při tlaku $10^5$ Pa [4].....	14
Tabulka 3. Součinitel ztráty vnitřních uzávěrů [4].....	15
Tabulka 4. Součinitel ztráty vtokem do potrubí a výtokem do velké nádrže [4] .....	15
Tabulka 5. Ztrátový součinitel ostrých kolen podle Thomy ( $Re > 2 \cdot 10^5$ ) [4] .....	15
Tabulka 6. Součinitel ztráty náhlým zúžením průřezu dle Tullise [4].....	15
Tabulka 7. Součinitel ztráty rozšířením průřezu (Bordova ztráta) [4] .....	15
Tabulka 8. Rozměry akumulčních nádrží [5].....	26
Tabulka 9. Přehled čerpadel jednotlivých okruhů [5].....	26
Tabulka 10. Počet a dimenze pískových rychlofiltrů [5] .....	27
Tabulka 11. Počet a výkon výměníků [5].....	27
Tabulka 12. Přehled UV lamp [5] .....	29
Tabulka 13. Přehled čerpadel a dmychadel pro atrakce [5] .....	30
Tabulka 14. Naměřené průtoky a tlaky pro různé manipulace s uzávěrem za čerpádlem .....	37
Tabulka 15. Vypočtené charakteristiky čerpadel .....	37
Tabulka 16. Naměřené průtoky a tlaky pro různé manipulace s uzávěrem za čerpádlem .....	40
Tabulka 17. Vypočtené charakteristiky čerpadel .....	40







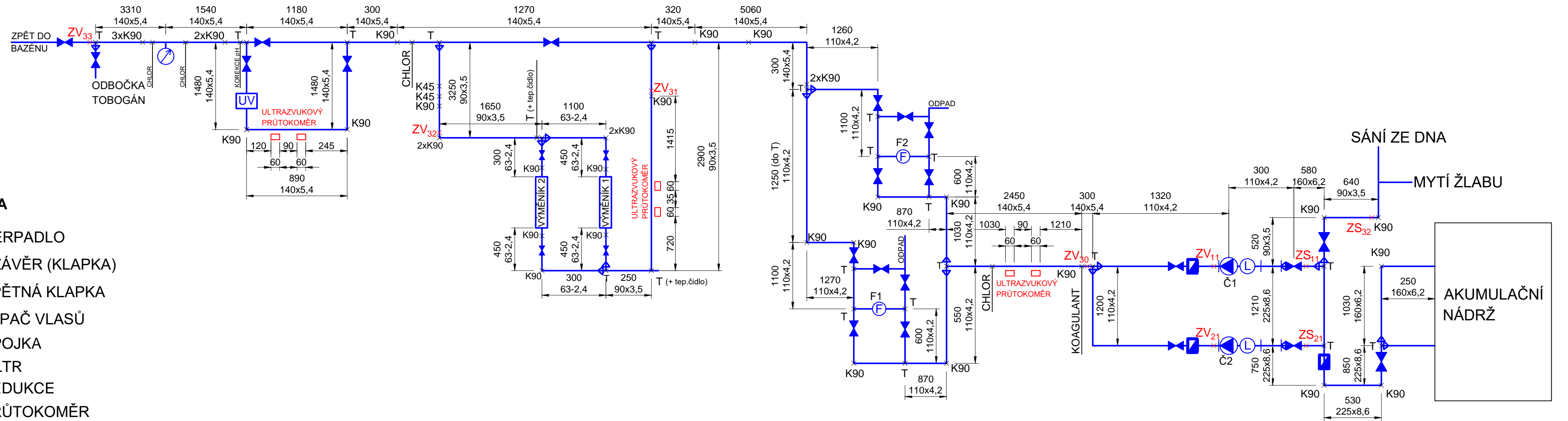
### LEGENDA

-  ČERPADLO
-  UZÁVĚR (KLAPKA)
-  ZPĚTNÁ KLAPKA
-  LPAČ VLASŮ
-  SPOJKA
-  FILTR
-  REDUKCE
-  PRŮTOKOMĚR

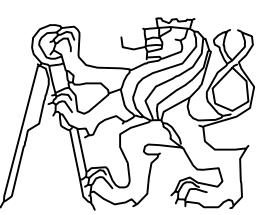
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ THÁKUROVA 7/2077 16629 PRAHA 6, DEJVICE	VEDOUCÍ PROJEKTU	Ing. Filip Horký, Ph.D.	VYPRACOVAL Martin Vetešník	
	KATEDRA	OBOR	PŘEDMĚT	
	K144	SI – V	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	
AKCE : <b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b> EXPERIMENTÁLNÍ HODNOCENÍ RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ ČERPACEL				FORMÁT 3xA4 MĚŘÍTKO – DATUM 5. 2019
OBSAH : <b>PŘÍLOHA Č.1 - SCHÉMA PLAVECKÝ BAZÉN</b>				Č. VÝKR.: <b>1</b>

**LEGENDA**

-  ČERPADLO
-  UZÁVĚR (KLAPKA)
-  ZPĚTNÁ KLAPKA
-  LPAČ VLASŮ
-  SPOJKA
-  FILTR
-  REDUKCE
-  PRŮTOKOMĚŘ



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ THÁKUROVA 7/2077 16629 PRAHA 6, DEJVICE	VEDOUcí PROJEKTU	Ing. Filip Horký, Ph.D.	VYPRACOVAL	Martin Vetešník
	KATEDRA	OBOR	PŘEDMĚT	
	K144	SI – V	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	
AKCE : <b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b> EXPERIMENTÁLNÍ HODNOCENÍ RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ ČERPACEL				
OBSAH : <b>PŘÍLOHA Č.2 - SCHÉMA ZÁBAVNÍ BAZÉN</b>				



FORMÁT	3x4
MĚŘÍTKO	–
DATUM	5. 2019

Č. VÝKR.:  
**2**