

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

---

# ŘÍZENÍ OBĚHOVÝCH ČERPADEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

PETR KUKAL

4 – TZSI – 2018



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení:	<b>Kukul</b>	Jméno: <b>Petr</b>	Osobní číslo: <b>459569</b>
Fakulta/ústav:	<b>Fakulta strojní</b>		
Zadávací katedra/ústav:	<b>Ústav techniky prostředí</b>		
Studijní program:	<b>Teoretický základ strojního inženýrství</b>		
Studijní obor:	<b>bez oboru</b>		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:	<b>Řízení oběhových čerpadel</b>	
Název bakalářské práce anglicky:	<b>Control of Circulation Pumps</b>	
Pokyny pro vypracování:	Teoreticky rozeberte různé možnosti řízení a chování oběhových čerpadel v otopné soustavě. Proveďte průzkum trhu, jaké možnosti nabízejí výrobci oběhových čerpadel.	
Seznam doporučené literatury:	Bašta, J.: Regulace v technice prostředí staveb. Česká technika nakladatelství ČVUT. Praha 2014, 194s., ISBN 978-80-01-05455-0. Bašta, J.: Hydraulika a řízení otopných soustav. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2003. 252 s., 209 obr., ISBN 80-01-02808-9. Bašta, J.: Řízení a regulace ve vztahu k hospodárnosti provozu vytápěcích zařízení. In: Stavebnictví, 2007, 11-12, s. 17-22. ISSN 1802-2030.	
Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:	<b>prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D., ústav techniky prostředí FS</b>	
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:		
Datum zadání bakalářské práce:	<b>05.04.2018</b>	
Termín odevzdání bakalářské práce:	<b>04.06.2018</b>	
Platnost zadání bakalářské práce:		
prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D. podpis vedoucí(ho) práce	doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D. podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	prof. Ing. Michael Valášek, DrSc. podpis děkana(ky)

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.	
<u>26.4.2018</u> Datum převzetí zadání	<u></u> Podpis studenta

## Souhrn

Cílem této bakalářské práce je zmapovat možnosti regulace oběhových čerpadel v otopných soustavách a srovnat jednotlivé možnosti po stránce energetické, uživatelské a ekonomické. Na konkrétním příkladu přehledně ukázat rozdíly mezi jednotlivými typy regulace. V závěru práce provést průzkum trhu a zjistit, jaké možnosti v dnešní době výrobci nabízejí a v jaké cenové škále se jednotlivá čerpadla nacházejí.

## Summary

The aim of this bachelor thesis is to map the possibilities of control for circulation pumps in heating systems. To compare the options for the energy, user, and economic point of view. By way of concrete example, to show clearly the differences between the individual types of control. In the end of the thesis, the market survey will show what possibilities are offered by the individual producers and the price range for each individual case of each pump.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Řízení oběhových čerpadel“ vypracoval samostatně, pod vedením prof. Ing. Jiřího Bašty, Ph.D., s použitím literatury uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 04.06.2018

Petr Kukul

### **Poděkování**

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Jiřímu Baštovi, Ph.D. za ochotnou pomoc, vstřícný přístup, cenné rady a podklady, které mi pomohly při vypracování této bakalářské práce. Děkuji také Mgr. Petru Kukulovi za pomoc při gramatické kontrole práce.

## Obsah

Obsah .....	6
Soupis použitého značení.....	7
Úvod .....	8
1. Otopné soustavy .....	9
1.1. Otopné soustavy s přirozeným oběhem .....	9
1.2. Otopné soustavy s nuceným oběhem.....	10
1.3. Jednotrubkové otopné soustavy.....	10
1.4. Dvoutrubkové otopné soustavy.....	11
2. Oběhová čerpadla .....	12
2.1. Charakteristika potrubní sítě a čerpadla.....	14
2.2. Volba oběhové čerpadla .....	15
3. Regulace čerpadel .....	17
3.1. Regulace škrcením .....	18
3.2. Regulace obtokem .....	19
3.3. Regulace otáček nastavením na 2 nebo 3 stupně.....	20
3.4. Regulace s plynulou elektronickou změnou otáček.....	21
3.5. Regulace na konstantní dopravní tlak.....	22
3.6. Regulace na variabilní dopravní tlak .....	23
3.7. Inteligentní čerpadla .....	25
3.8. Srovnání cen jednotlivých typů čerpadel dle výrobce .....	29
3.9. Regulace podle teploty .....	35
Závěr.....	36
Použitá literatura.....	37

**Soupis použitého značení**

$C$	konstanta charakteristik sítě	[-]
$H$	dopravní výška čerpadla	[m]
$P$	příkon čerpadla	[W]
$V$	objemový průtok	[m <sup>3</sup> /s]
$g$	tíhové zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
$n$	exponent v rozmezí 1,8 až 2,0	[-]
$\Delta p$	tlaková ztráta sítě	[Pa]
$\Delta p_c$	dopravní tlak čerpadla	[Pa]
$\Delta p_{zo}$	celková tlaková ztráta okruhu	[Pa]
$\Delta p_\rho$	účinný tlak okruhu	[Pa]
$\eta$	účinnost čerpadla	[-]
$\rho$	hustota teplotnosné látky	[kg/m <sup>3</sup> ]

## Úvod

Téma oběhových čerpadel a jejich řízení, respektive regulace je v dnešní době poměrně aktuální, zejména v souvislosti s tendencí k úsporám energie a dále kvůli stále většímu energetickému zatížení naší planety. To vede ke globálnímu oteplování a celkovému znečištění atmosféry zvláště plyny CO<sub>2</sub>, které mimo jiné vznikají při výrobě elektrické energie v tepelných elektrárnách. Přitom právě ony jsou v České republice největším zdrojem elektrické energie. Výše uvedené pak přirozeně vede ke snaze o vyšší účinnosti oběhových čerpadel.

Oběhová čerpadla spotřebují až 4 % z celkového objemu vyrobené elektrické energie v Evropě. V roce 2013 také vstoupila v platnost směrnice evropské unie o ekodesignu, podle které se již dále nesmějí prodávat čerpadla pro vytápění a klimatizace bez regulace, která se vyznačovala vysokou spotřebou elektrické energie a nízkou účinností, což mělo samozřejmě za následek vyšší provozní náklady. Ovšem nutno podotknout, že v soustavách s konstantním průtokem našla tato čerpadla své logické uplatnění; regulace díky neměnnému průtoku nebyla třeba. Za zvážení vždy stojí i výměna čerpadla již instalovaného v případě, že jeho provoz je kvůli absenci nebo zastaralosti regulačního systému neekonomický.

Moderní čerpadla v otopných soustavách nabízejí celou řadu možností regulací, počínaje regulací prostou změnou otáček, které jsou nejlevnější variantou regulovatelných čerpadel, až po čerpadla s elektronickou regulací otáček. Také ta nabízejí škálu možností ve výběru druhu regulace, ať už jde o regulaci na konstantní dopravní tlak, nebo o regulaci na tlak variabilní. K dispozici jsou již také nejmodernější systémy řízení oběhových čerpadel, jako je například systém AUTOadapt patentovaný firmou Grundfos, který si vždy volí sám vhodnou formu řízení podle potřeby soustavy. Samozřejmě vyšší účinnost a vyšší úspora provozních nákladů jde ruku v ruce s vyšší pořizovací cenou, která se ovšem v drtivé většině případů několikanásobně vrátí na provozu.

Cílem této bakalářské práce je ukázat a shrnout možnosti regulace oběhových čerpadel v otopných soustavách, zhodnotit klady a zápory jednotlivých řešení v kritériích energetické náročnosti a pořizovacích a provozních nákladů a tyto rozdíly přehledně demonstrovat na konkrétních příkladech.

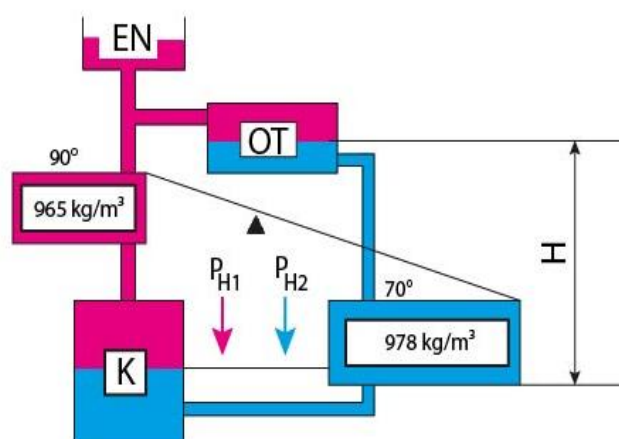


## 1. Otopné soustavy

Otopné soustavy jsou určeny k vytápění budov. Otopná soustava se skládá z několika komponent. První z nich je zdroj tepla, kterým může být kotel na pevná, plynná nebo kapalná paliva, tepelná čerpadla a výměníky tepla. Dále pak z potrubní sítě a spotřebičů tepla, např. v podobě článkových, deskových, trubkových otopných těles a konvektorů, které daný objekt vytápějí, a ve většině případů oběhového čerpadla. Právě oběhová čerpadla, a zvláště pak jejich regulace, jsou předmětem této bakalářské práce.

### 1.1. Otopné soustavy s přirozeným oběhem

Otopné soustavy můžeme rozdělit na soustavy s přirozeným oběhem, ve kterých bychom čerpadlo nenašli, protože v těchto soustavách je vztlak vytvářen rozdílem hydrostatických tlaků v přívodní a vratné větvi. Voda ve vratném potrubí je chladnější než voda v potrubí přívodním, má tedy i větší hustotu. Hydrostatický tlak v kotli je tak vyšší ze strany vratné vody než vody přívodní, a tím dochází k cirkulaci kapaliny v otopné soustavě s přirozeným oběhem. Těchto soustav se využívá zejména u vysokých, nepříliš rozlehlých budov. Velká výška budovy, tzn. větší výškový rozdíl mezi zdrojem tepla, tzn. kotlem, a otopnými tělesy, tedy místy, kde se kapalina ochlazuje a předává teplo do okolí, zajišťuje dostatečný rozdíl hydrostatických tlaků. Nepříliš velká rozloha objektů snižuje tlakové ztráty v soustavě. Tyto soustavy se používají u kotlů na tuhá paliva v rodinných nebo malých bytových domech. Výhodou těchto soustav je nezávislost na elektrické energii, která je potřebná na provoz čerpadla; u kotlů na tuhá paliva je tedy zajištěn trvalý odvod tepla. Další výhodou je zamezení hluku, který je způsoben provozem čerpadla.



Obr. 1.1 Princip přirozeného oběhu vody [1]

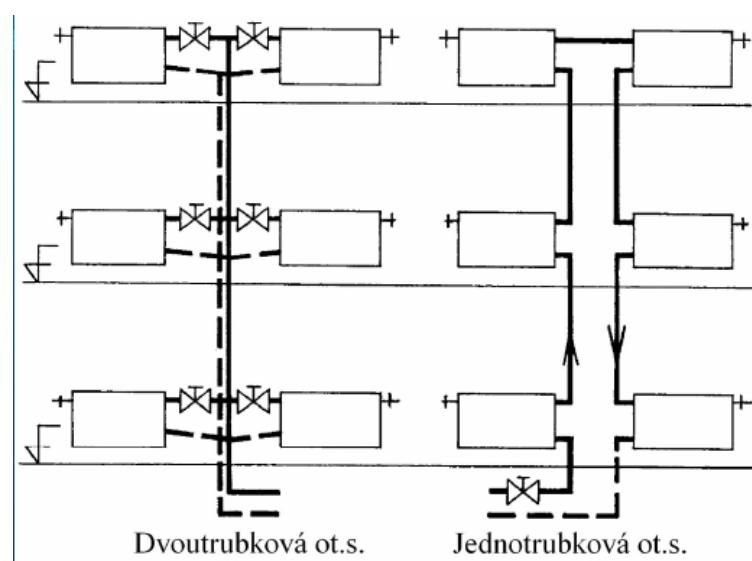
V moderních otopných soustavách s požadavkem na regulaci tepelného výkonu však již najdeme čerpadlo; takové soustavy nazýváme soustavy s nuceným oběhem. [1] [2] [3] [4]

### 1.2. Otopné soustavy s nuceným oběhem

Soustavy s nuceným oběhem je nutné použít u rozlehlejších budov s větším tepelným příkonem a u budov s komplikovanými potrubními sítěmi. Čerpadlo se umísťuje buď do přívodní větve otopné soustavy, nebo do větve vratné. Výhodnější z hlediska rozložení tlaku v soustavě je umístit čerpadlo do větve přívodní.

### 1.3. Jednotrubkové otopné soustavy

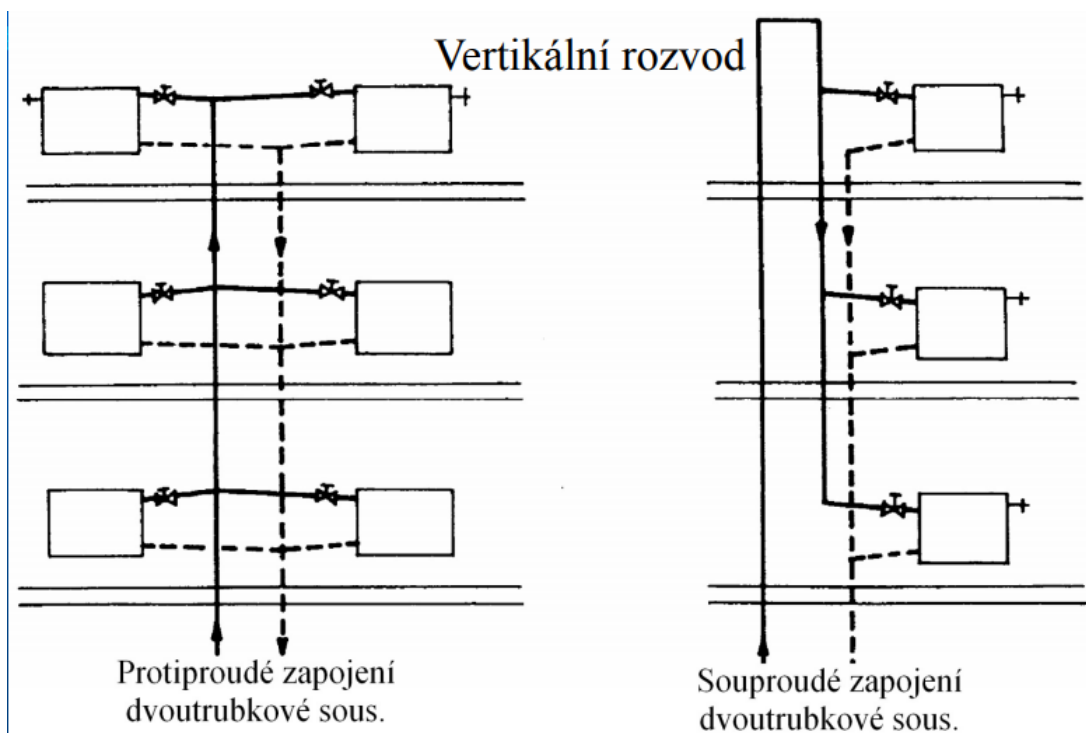
Dále můžeme otopné soustavy rozdělit na soustavy jednotrubkové a dvoutrubkové. U jednotrubkových soustav zajišťuje rozvod teplotnosné látky pouze jedna trubka, která propojuje otopná tělesa. To znamená, že s každým dalším otopným tělesem se voda ochlazuje a do posledního tělesa přichází voda nejchladnější. U průtočného zapojení není ani možná místní regulace, protože uzavřením jednoho otopného tělesa by se zamezil přívod teplotnosné látky do všech následujících těles. Tyto jednoduché jednotrubkové soustavy se již nenavrhují a přednost se dává jednotrubkovým soustavám s obtokem, kdy z trubky (kmenové), která vede teplotnosnou látku, se oddělí trubka do otopného tělesa a za tělesem z něj zase vychází a vrací se do kmenové trubky, kde se smíchá chladnější voda z otopného tělesa s vodou teplotnou z kmenového potrubí. Což má opět za následek, že následující těleso pracuje s chladnější vodou než těleso předešlé. U tohoto paralelního zapojení je již možná místní regulace. [2] [3]



Obr. 1.2 Vzájemné propojení otopných těles [2]

#### 1.4. Dvoutrubkové otopné soustavy

Dvoutrubkové otopné soustavy se dále dělí na souproudé a protiproudé. Jak už názvy napovídají, rozdíl v těchto zapojeních je ve směru proudění vody vratné a vody přívodní. V souproudém (Tichelmannově) zapojení voda vystoupá potrubím až na úroveň nejvýše položeného otopného tělesa a následně cestou zpátky dolů ke kotli přivádí vodu do dalších otopných těles, končí v otopném tělese nejbližší umístěnému ke kotli, druhé potrubí odvádí vodu z otopných těles, začíná v nejvýše položeném otopném tělese, cestou dolů odvádí ochlazenou vodu z otopných těles a pokračuje dále ke kotli. Voda tedy v přívodním a vratném potrubí proudí stejným směrem. Proti tomu v zapojení protiproudém přívodní potrubí už po cestě na horu zásobuje jednotlivá otopná tělesa a končí v nejvzdálenějším otopném tělese. Zde začíná potrubí vratné, které odvádí ochlazenou vodu z otopných těles a opět pokračuje dále ke kotli. Obrázek níže, ukazuje oba případy zapojení. [2]



Obr. 1.3 Protiproudé a souproudé zapojení otopných soustav [2]

Dále můžeme dělit otopné soustavy na horizontální a vertikální. Při horizontálním zapojení leží otopná tělesa vedle sebe v jedné úrovni a rozvodné trubky leží rovnoběžně se zemí, kdežto u vertikálního zapojení leží otopná tělesa nad sebou a jsou napojena krátkými přípojkami na stoupačku. Je třeba také říci, že správně navržená otopná soustava, ovlivňuje i spotřebu energie oběhového čerpadla, důležité je správné dimenzování průměru potrubí, výběr vhodné trasy potrubí a výběr správných armatur a ostatních hydraulických prvků s cílem minimálního odporu soustavy. Čím menšího odporu správným návrhem docílíme, tím menší odpor bude čerpadlo překonávat a tím menší výkon budeme potřebovat, což vede k nezanedbatelné úspoře energie. [2]

## 2. Oběhová čerpadla

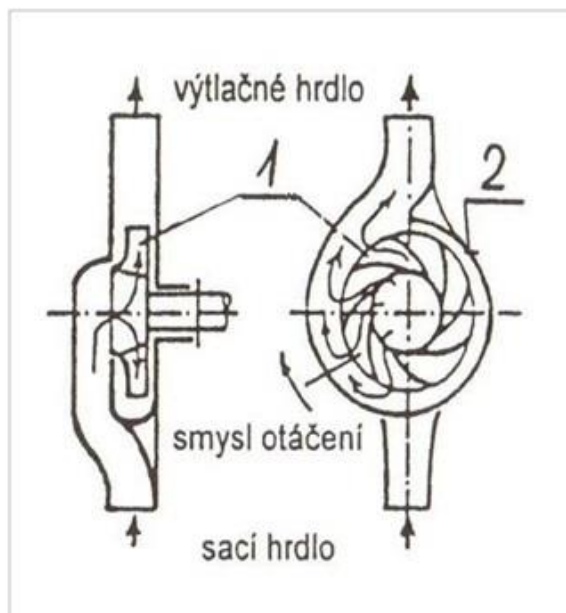
V otopných soustavách používáme čerpadla odstředivá, a to jak čerpadla mokroběžná, tak čerpadla suchoběžná. Rotor elektromotoru u mokroběžných čerpadel je ponořen v dopravované vodě a je oddělen od statoru dělicí trubkou. Proudící voda zajišťuje mazání ložisek i chlazení motoru, není tedy třeba další chlazení ventilátorem, což má pozitivní vliv na snížení hlučnosti, protože ventilátor je největším zdrojem hluk u čerpadel. Dalšími výhodami těchto čerpadel je jednodušší konstrukce a oproti suchoběžným čerpadlům odpadá nutnost údržby vodotěsné ucpávky hřídele čerpadla. Nevýhodou tohoto typu je nízká účinnost. Suchoběžná čerpadla mají vodotěsně oddělenou hydraulickou část od části pohonné, samostatné mazání a jsou chlazena vzduchem. Jsou vhodná pro velké průtoky teplotně citlivé látky.

V otopných soustavách budov se používají ve většině případů mokroběžná čerpadla s asynchronním motorem v in-line provedení, tedy se sacím a výtlačným hrdlem pootočeným o 180°, tzn. v přímém směru, která jsou montována přímo do potrubí. Tato čerpadla jsou nejpoužívanější i přes jejich nízkou účinnost zvláště proto, že u malých čerpadel do 300 W téměř neexistuje od velkých výrobců jiná alternativa, suchoběžné čerpadlo by bylo v těchto menších rozměrech příliš drahé. Ovšem u čerpadel větších, tzn. od 0,3 – 2,0 kW, již existují na trhu obě varianty a již je dobré srovnat náklady pořizovací s provozními; vyšší pořizovací náklady na suchoběžné čerpadlo vyvažuje jeho vyšší účinnost. Do výpočtu srovnávaných parametrů však musíme zahrnout nejen pořizovací a provozní náklady, ale také údržbu a předpokládanou životnost.

Funkce čerpadla v otopné soustavě je doprava teplotnosné látky mezi zdrojem tepla a otopnými tělesy. V čerpadle se přeměňuje elektrická energie přiváděná do čerpadla na kinetickou, konkrétně na roztočení lopatek, které způsobí odstředivou sílu uvnitř čerpadla a vytlačují vodu do potrubí. Základní požadavky kladené na oběhová čerpadla jsou spolehlivost a životnost, nízká hlučnost a v poslední době stále sílící tlak na nízkou spotřebu elektrické energie.

Oběhové čerpadlo někdy také označované jako cirkulační můžeme rozdělit na 4 základní části. Jsou jimi: těleso čerpadla se spirálovou skříní sloužící k usměrnění proudící vody v čerpadle a pomocí sacího a výtlačného hrdla k připojení čerpadla k rozvodu, dále lopatkové oběžné kolo s hřídelí, které je roztáčeno elektromotorem a uděluje kinetickou energii čerpané vodě. Třetí částí je elektromotor, který pohání hřídel lopatkového kola, a konečně čtvrtou filtr, bránící vstupu pevných částí z otopné soustavy do čerpadla, kde by mohly způsobit jeho poškození.

Čerpadlo v otopné soustavě pracuje v uzavřeném okruhu, takže čerpadlo nepřekonává výškový rozdíl mezi zdrojem tepla a spotřebičem tepla, ale pouze tlakové ztráty potrubní sítě. Účinnost oběhových čerpadel se pohybuje v rozmezí 20–85 %. Obecně se dá říci, že menší čerpadla mají nižší účinnost a velká čerpadla velkou účinnost. [1] [5] [6] [7] [8]



Obr. 2.1 Oběhové čerpadlo [6]

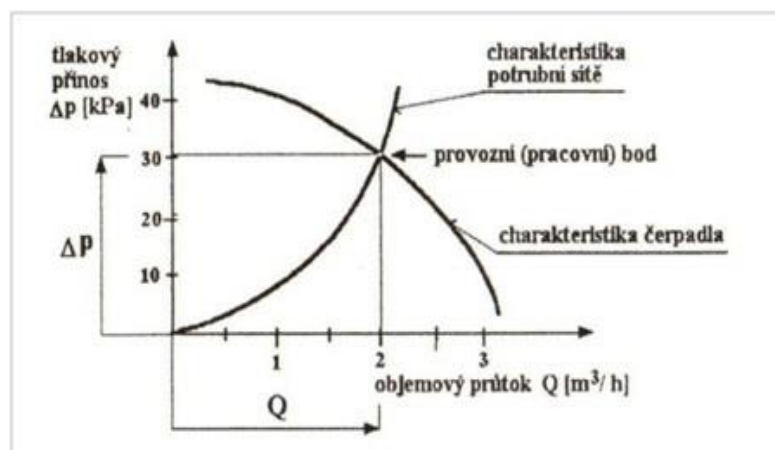
### 2.1. Charakteristika potrubní sítě a čerpadla

Charakteristika potrubní sítě nám ukazuje závislost tlakové ztráty na průtoku sítí. Začíná v nule a můžeme říci, že její strmost je závislá na zvoleném průřezu potrubí. Obecně lze konstatovat, že menší průřezy potrubí, způsobují větší tlakové ztráty v soustavě. Čím vyšší tlakové ztráty soustava má, tím je daná charakteristika strmější. Větší průměry potrubí mají tedy plošší charakteristiku potrubní sítě a menší průměry strmější. V technické praxi pracujeme s charakteristikou, která začíná v nule a je určena parabolou ( $n = 2$ ). Obecně je tato charakteristika dána exponenciální funkcí [9]

$$\Delta p = C \cdot V^n \quad (1)$$

- kde  $\Delta p$  tlaková ztráta sítě [Pa]  
 $C$  konstanta charakteristik sítě [-]  
 $V$  objemový průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]  
 $n$  exponent v rozmezí 1,8 až 2,0 [-]

Charakteristika čerpadla je závislost dopravní výšky (resp. dopravního tlaku) na dopravním množství. Dopravní tlak je tlakový rozdíl mezi sacím a výtlačným hrdlem oběhového čerpadla. Charakteristiku čerpadla je povinen uvádět výrobce, který si musí zjistit tuto charakteristiku u autorizované osoby. Soustava čerpadlo – potrubní síť pracuje vždy s jedním pracovním bodem, který je dán průsečíkem křivek charakteristiky potrubní sítě a charakteristiky čerpadla. Tento pracovní bod odpovídá průtoku soustavou a celkovým tlakovým ztrátám v hlavní větvi sítě. [9]



Obr. 2.2 Charakteristika potrubní sítě a čerpadla [6]

## 2.2. Volba oběhové čerpadla

Obecně se oběhová čerpadla volí příliš velká. Děje se tak z obavy o podzásobení některých větví otopné soustavy nebo z představy, že větší čerpadlo zajistí spolehlivější provoz. Tato mylná představa ovšem vede k předimenzování čerpadla a je nutno přistoupit ke škrcení či přepouštění ventily, čímž je zbytečně a nenávratně zmařena energie.

Této zbytečné ztrátě jak na pořizovacích nákladech, tak i na nákladech provozních, lze zabránit pečlivým výpočtem potrubní sítě otopné soustavy. Lze tak učinit jak u velkých otopných soustav, tak i u jednogeneračních domů. Tímto způsobem lze spočítat potrubní síť i u už stávajících otopných soustav, navrhnout vhodnější čerpadlo, a vyhnout se tak zbytečným energetickým a v důsledku toho i finančním ztrátám. Základním předpokladem pro výpočet je, aby potrubní síť byla v dobrém technickém stavu a hydraulicky vyvážená.

Oběhová čerpadla se dají volit podle různých kritérií, jedním z nich je výběr čerpadla podle výkonu motoru. V takovém případě volíme čerpadlo s výkonem vždy o 10 až 20 % větším, než který jsme vypočítali z toho vztahu [9]

$$P = \frac{\rho * g * V * H}{\eta} = \frac{\Delta p * V}{\eta} \quad (2)$$

kde  $P$  – příkon čerpadla [W]

$\Delta p_c$  – dopravní tlak čerpadla [Pa]

$\rho$  – hustota teplotnosné látky [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$g$  – tíhové zrychlení [ $\text{m}/\text{s}^2$ ]

$V$  – objemový průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$H$  – dopravní výška čerpadla [m]

$\eta$  – účinnost čerpadla [-]

Lepší volba čerpadla, je volba podle pracovního bodu, který je určen potřebným průtokem soustavou a tlakovými ztrátami.

Při teoretickém určení pracovního bodu vycházíme z grafického vyjádření charakteristiky čerpadla a charakteristiky potrubní sítě, průsečík těchto dvou charakteristik je pracovní bod dané otopné soustavy.

Pro správné určení pracovního bodu, a tedy i pro správnou volbu čerpadla je potřebná znalost objemového průtoku  $V$  a dopravního tlaku  $\Delta p_c$  čerpadla. Tyto hodnoty zjistíme výpočtem potrubní sítě a výpočtem tlakových ztrát.

Čerpadlo volíme tak, aby pracovní bod soustavy ležel na charakteristice čerpadla. Je-li pracovní bod mezi dvěma charakteristikami, volíme čerpadlo s nižší charakteristikou s podmínkou, že snížení průtoku by nemělo přesáhnout 15 % jmenovitého průtoku.

Jak již bylo zmíněno dříve, proudění vody v otopných soustavách s nuceným oběhem nezajišťuje pouze tlak účinný, ale hlavně dopravní tlak čerpadla. [9]

Celkový tlak lze tedy vyjádřit bilanční tlakovou rovnicí okruhu ve tvaru:

$$\Delta p_\rho + \Delta p_c = \Delta p_{zo} \quad (3)$$

kde

$\Delta p_\rho$  – účinný tlak okruhu [Pa]

$\Delta p_c$  – dopravní tlak čerpadla [Pa]

$\Delta p_{zo}$  – celková tlaková ztráta okruhu [Pa]

Jestliže je dopravní tlak čerpadla několikanásobně větší než účinný tlak okruhu, uvažujeme ve výpočtech pouze dopravní tlak čerpadla. Stává se tak v nízkých rozlehlých budovách, kde je velikost účinného tlaku, která je dána výškou budovy a rozdílem hustot kapaliny v přívodním a vratném potrubí, velmi malá. Především vztah se nám tedy zjednodušuje pouze na rovnici:

$$\Delta p_c = \Delta p_{zo} \quad (4)$$

U vysokých budov je však přirozený vztlak nemalý, nesmíme ho tedy ve výpočtech zanedbat. Musíme ovšem zohlednit jeho nestálost, způsobenou proměnlivostí teplot teplonosné látky během otopného období. Teploty vody v přívodní a vratné větvi nabývají jmenovitých hodnot jen vzácně, při výpočtech se proto tento tlak uvažuje redukováný na 50 až 75 % jmenovité hodnoty. Potom můžeme tedy psát bilanční tlakovou rovnici ve tvaru:

$$(0,75-0,5) * \Delta p_\rho + \Delta p_c = \Delta p_{zo} \quad (5)$$



Při použití čerpadel s velkým dopravním tlakem, dosahujeme vysoké proudící rychlosti a používáme malé průřezy potrubí, čímž nám klesají investiční náklady. Při použití většího průměru potrubí jsou investiční náklady vyšší, ale oproti tomu klesají náklady provozní, protože nepotřebujeme tak velký dopravní tlak. S přihlédnutím k těmto dvěma faktům se snažíme volit optimální průměr potrubí, pro který dostáváme nejnižší součet provozních a investičních nákladů. Vybíráme-li čerpadlo s regulací neboli s více nastavitelnými stupni otáček, řídíme se podle maximální křivky. Na této křivce pracuje čerpadlo s maximální účinností. [9]

### 3. Regulace čerpadel

Při dimenzování oběhových čerpadel je nutné si uvědomit, že výkonové zatížení otopné soustavy je v 90 % otopného období pouze částečné. Jednoduše to znamená, že plný výkon čerpadel je potřeba pouze několik dní v roce. Je tomu tak vzhledem k stále stoupající venkovní teplotě, tepelným ziskům ze slunečního záření a jiným tepelným ziskům. Přesto je nutné čerpadlo dimenzovat pro plné zatížení otopné soustavy, protože v případě plného zatížení by byl výkon čerpadla nedostatečný a otopná soustava by byla podzásobena. Pracuje-li kvantitativně regulovaná soustava na částečném výkonu, potřebujeme menší množství teplotnosné látky k zajištění dopravy tepla k otopnému tělesu. Čerpadlo na to reaguje změnou otáček, přesněji řečeno snížením otáček na požadovanou úroveň; tato úroveň závisí na typu regulace čerpadla. Výsledkem je snížení dopravního tlaku, energetické náročnosti a v neposlední řadě i hluku. Kdybychom u takovéto soustavy otáčky čerpadla nijak neregulovali, došlo by při snížení výkonu soustavy k poměrně velkému nárůstu tlaku a hluku. [9]

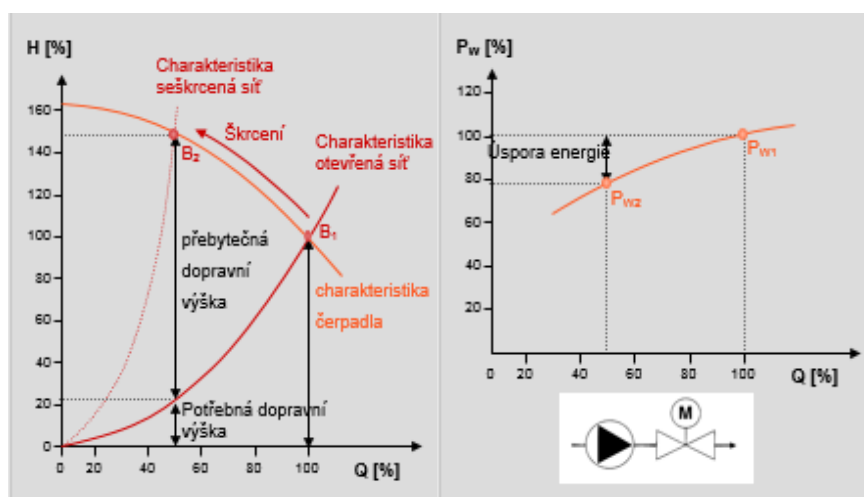
Z těchto důvodů je nutné výkon čerpadel při provozu regulovat, na nižší či vyšší potřebu soustavy. Výroba a prodej neregulovaných čerpadel byly dokonce v roce 2015 zakázány nařízením Evropské komise. [10]

Regulaci můžeme rozdělit do třech základních skupin, a to je regulace škrcením nebo obtokem, regulace otáček mechanickým nastavením (stupně jsou dva nebo tři) a regulace elektronickou změnou otáček. Regulace škrcením nebo obtokem fakticky není regulací čerpadla, ale spíše otopné soustavy, protože se při této regulaci nemění nastavení čerpadla jako takového, ale mění se parametry teplotnosné látky prostřednictvím přidaného prvku, ať už je to škrtící armatura, nebo potrubí obtoku. Obě tyto možnosti regulace jsou neefektivní a neúsporné, neušetříme při jejich použití žádnou energii,

a proto se používají pouze pro laboratorní účely. Nicméně regulovat se jimi dá objemový průtok a tlak, proto jsou zde uvedeny. Další dvě varianty regulace už jsou pro nás daleko zajímavější. Regulace se stupňovou změnou otáček, kdy čerpadlo má 2 nebo 3 pracovní charakteristiky, které se dají přepínat, a tím reagovat na potřebu otopné soustavy. Nejvíce využívaná a pro nás rozhodně nejzajímavější je metoda regulace čerpadla otopné soustavy plynulou elektronickou regulací otáček. Nyní si rozebereme všechny tyto metody více dopodrobna, zvážíme všechny výhody a nevýhody, jakými jsou úspora energie, pořizovací náklady, provozní náklady, velikost hluku atd.

### 3.1. Regulace škrcením

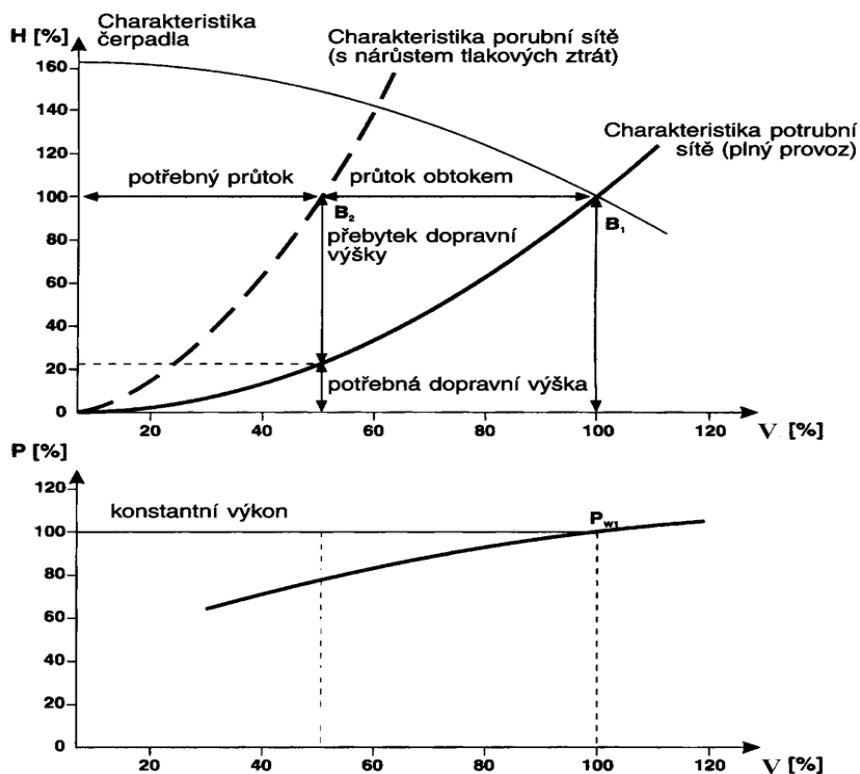
Regulace škrcením spočívá v zaškrcení průtoků škrticí armaturou, čímž docílíme zmenšení objemového průtoku soustavou a poměrně razantního a nežádoucího nárůstu tlaku. Tento přebytečný tlak poté musíme spotřebovat na škrticích a regulačních armaturách v otopné soustavě. Z předchozího můžeme vyvodit, že škrcením energeticky nic nešetříme, dojde jen k promrhání energie na škrticích a regulačních armaturách. Výhodou této metody jsou nízké náklady na regulační zařízení a je vhodné pro použití s převážně maximálním provozním zatížením a pro použití u čerpadel s plochou charakteristikou, kde není nárůst dopravního tlaku příliš velký. Toto řešení se příliš nepoužívá, protože má řadu nevýhod, kromě již zmíněné energetické neúspornosti mezi ně řadíme i nebezpečí vzniku hluku a nutnost použití škrticí armatury. [9]



Obr. 3.1 Regulace škrcením [9]

### 3.2. Regulace obtokem

Regulace obtokem je opět pouze snížení dopravovaného množství teplotné látky, ovšem v tomto případě na rozdíl od regulace škrcením se nemění dopravní tlak ani množství. Principem této metody regulace je vedení obtoku paralelně s čerpadlem, za čerpadlem se část dopravované teplotné látky oddělí a teče obtokem zpátky před sací hrdlo čerpadla. Množství, které teče do obtoku, je regulováno ventilem. Takže při snížení výkonu soustavy naroste tlak; tento tlak snížíme zpátky na původní úroveň ventilem v obtoku, kdy odvedeme část teplotné látky zpátky před čerpadlo. Tím snížíme množství dopravované látky soustavě. Sumarizujeme-li výsledky regulace obtokem, udržujeme stejný dopravní tlak i množství a energeticky opět nic neušetříme, protože čerpadlo pracuje na stále stejném příkonu i výkonu. Z výsledků vidíme, že tato metoda opět není energeticky ani ekonomicky výhodná, proto se používá opět spíše pro laboratorní účely. Výhodou regulace obtokem oproti škrcení je, že průtok zůstává konstantní bez kolísání, nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady. [9]



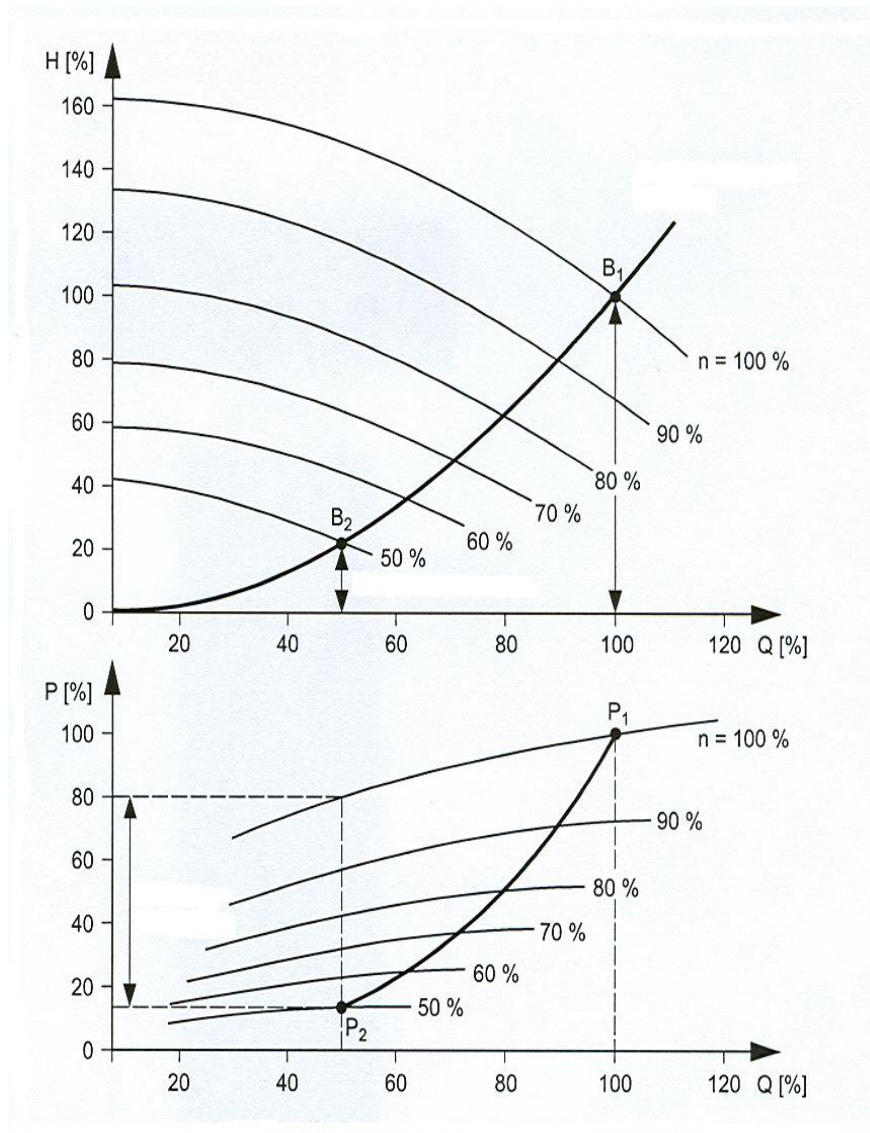
Obr. 3.2 Regulace obtokem [9]

Nyní se blíže podíváme na zajímavější a rozhodně více použitelnou část regulací čerpadel, a to je regulace změnou otáček

Čerpadla mohou být buď s manuálně přepínatelnými otáčkami, nebo s elektronicky plynulou regulací otáček. V soustavách s proměnným průtokem jsou jednoznačně výhodnější čerpadla s plynulou regulací i přes vyšší pořizovací náklady.

### **3.3. Regulace otáček nastavením na 2 nebo 3 stupně**

U této metody můžeme již snižovat či zvyšovat otáčky, abychom se tak přiblížili co nejbližší ideálnímu pracovnímu bodu soustavy. Čerpadlo má pro jednu charakteristiku potrubní sítě dva nebo tři pracovní body. Je zřejmé, že mezi pracovními body jsou nějaké intervaly, kdy čerpadlo nepracuje v ideálním nastavení. Proto se těmto pracovním bodům snažíme co nejvíce přiblížit. Během otopného období tedy může uživatel upravovat otáčky čerpadla podle potřeby dané otopné soustavy. To znamená na začátku a na konci otopného období, kdy venkovní teploty nejsou tak nízké, je vhodné zvolit nejnižší nastavitelné otáčky. Problém ovšem zůstává v samotných uživateli, kteří často nejsou kompetentní k tomu poznat, kdy mají otáčky čerpadla přepnout na vyšší či nižší. Tato skutečnost se může projevat hlavně zbytečně vysokými otáčkami v obavě o podzásobení soustavy. Samozřejmě nevýhodou této regulační metody je existence pouze dvou nebo tří možností nastavení, kdežto u elektronicky regulovaných čerpadel, kdy se pracovní bod posouvá po určité křivce, a nenastává tedy skoková změna otáček, se čerpadla přibližují daleko lépe ideálnímu pracovnímu bodu soustavy. Proto je toto skokové nastavení otáček nevýhodné v místech, kde se často mění průtok. Samozřejmě při srovnání pořizovacích nákladů jistě vede nad elektronicky řízenými čerpadly, ovšem v provozních nákladech a v efektivitě značně pokulhává.

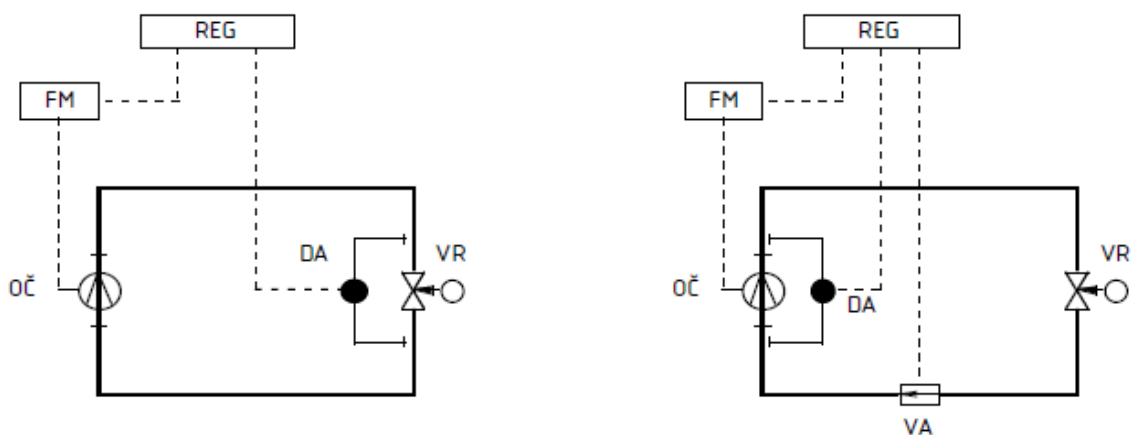


Obr. 3.3 Princip regulace prostou změnou otáček [9]

### 3.4. Regulace s plynulou elektronickou změnou otáček

Tyto případy regulace jsou pro uživatele energeticky nejvýhodnější. Otáčky čerpadla jsou řízeny programově s cílem ideálně reagovat na změny v otopné soustavě způsobené seškrcením ventilů na spotřebitelské straně. Řídicí systém, který řídí otáčky čerpadel, se skládá z regulátoru, frekvenčního měniče, snímače tlakového rozdílu a snímače průtoku. Samotné řízení čerpadel můžeme rozdělit na řízení přímým a nepřímým způsobem. U přímého způsobu je snímač tlakového rozdílu umístěn v místě odběru, obvykle to bývá u nejdálčenějšího otopného tělesa. Principem této regulace je udržování konstantního tlakového rozdílu v místě hydraulicky nejhoršího odběru. Tím docílíme takřka ideálního řízení, kdy výsledná charakteristika čerpadla odpovídá skutečné charakteristice soustavy.

Problémem toho způsobu řízení je propojení snímače tlakového rozdílu v místě odběru s regulátorem, protože toto propojení může být nákladné, kvůli mnohdy velkým vzdálenostem mezi regulátorem a nejvzdálenějším otopným tělesem. Kvůli vysokým nákladům a reálné nepotřebnosti takto přesného řízení se tato metoda u běžných otopných soustav v rodinných či bytových domech prakticky nepoužívá. Oproti tomu u nepřímého způsobu je snímač umístěn u čerpadla. Řídicí systém udržuje otáčky čerpadla na takové úrovni, aby pro každý průtok byl programově udržován určitý dopravní tlak na hodnotě blížící se charakteristice soustavy. Regulátor tedy při řízení řeší funkci  $n = f(V)$ , tzn. závislost otáček na průtoku, do programu regulátoru jsou vloženy parametry soustavy, díky kterým tento výpočet provádí. Nejčastější varianta u běžných oběhových čerpadel je varianta, kdy je řídicí systém umístěn přímo na čerpadle; taková čerpadla se nazývají kompaktní. Kompaktní čerpadla s integrovaným řídicím systémem jsou nejpoužívanější typ čerpadel u rodinných a bytových domů při použití čerpadel s plynulou elektronickou změnou otáček. [11]

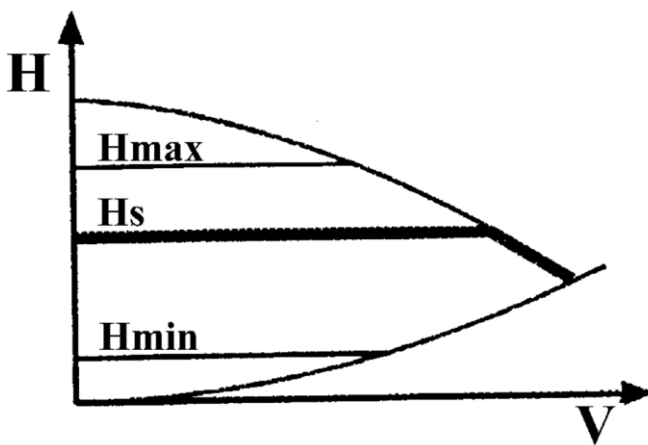


Obr. 3.4 Princip elektronické regulace otáček [11]

### 3.5. Regulace na konstantní dopravní tlak

Tento způsob regulace otáček je nejrozšířenější. Jak už název napovídá, čerpadlo udržuje konstantní tlak v soustavě snížením nebo zvýšením otáček při otevření resp., zavření ventilu otopného tělesa. Pokud se ventil otopného tělesa zavře, zvýší se tlak v soustavě a zmenší se průtok. Následkem toho je posuv pracovního bodu po charakteristice čerpadla směrem nahoru. Neregulované čerpadlo by tedy pracovalo s vyšším dopravním tlakem, který je v dané situaci nepotřebný a spíše škodlivý. Regulace na konstantní dopravní tlak znamená, že čerpadlo postupně redukuje otáčky tak, že si drží stále stejný dopravní tlak,

neustále mění charakteristiku čerpadla a pracovní bod se pohybuje po přímce kolmé na tlakovou osu směrem právě k této ose. To znamená, že oproti čerpadlu neregulovanému je při nižším dopravovaném množství dopravní tlak výrazně nižší. Vyšší dopravní tlak v soustavě způsobí nežádoucí nárůst hluku. Díky regulaci na konstantní dopravní tlak se nejen zbavíme hluku v otopné soustavě, ale zároveň energeticky ušetříme, protože čerpadlo sníží otáčky, a tedy i svůj příkon. Je tedy potřeba méně elektrické energie, což samozřejmě vede ke snížení provozních nákladů na čerpadlo. Ani takto regulované čerpadlo ovšem nenahradí práci přepouštěcích ventilů, regulátorů tlakové diference a regulátorů průtoku, ale pouze jim práci optimálně usnadní. [9]

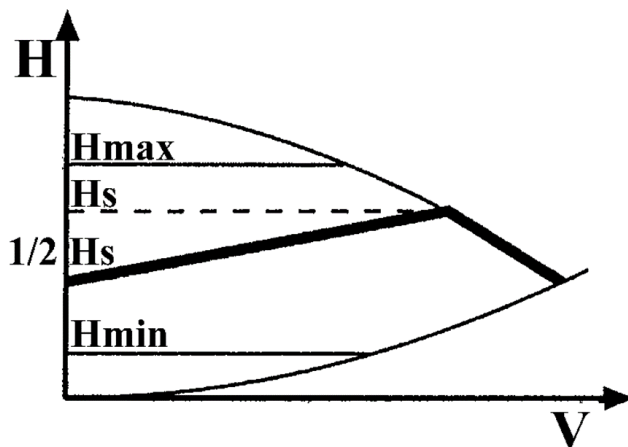


Obr. 3.5 Princip regulace na konstantní dopravní tlak [9]

### 3.6. Regulace na variabilní dopravní tlak

I přesto, že regulace na konstantní dopravní tlak je již velmi energeticky výhodnou variantou, může v soustavě i nadále přetrvávat tlak, který je sice konstantní, ale pro danou otopnou soustavu při snížení jmenovitého průtoku i tak příliš vysoký. Regulace na variabilní dopravní tlak nesnižuje jen objemový průtok soustavou, ale oproti regulaci ( $\Delta p-c$ ) i přebytečný dopravní tlak. Nejdříve metodu opět srovnáme s neregulovaným oběhovým čerpadlem a dále pak i s čerpadlem s regulací na konstantní dopravní tlak. Máme tedy otopnou soustavu, která pracuje při jmenovitých podmínkách. Když dojde k uzavření ventilů některých otopných těles, dopravní tlak se začíná zvětšovat, dopravované množství naopak snižovat, narůstá nám hluk v soustavě, čerpadlo pracuje s vyšším dopravním tlakem, než by bylo potřeba, dochází ke zbytečné ztrátě energie a konečně i ke ztrátám finančním. Při použití čerpadla s regulací na variabilní dopravní tlak většinu těchto problémů poměrně zásadně redukuje. Čerpadlo snímá dopravní tlak

jím procházející a závisle na tomto tlaku, plynule snižuje otáčky tak, že se opět mění charakteristika čerpadla – v tomto případě snižuje. Pracovní bod postupuje po přímce, která začíná v pracovním bodě při jmenovitém zatížení otopné soustavy a končí na tlakové ose v polovině dopravního tlaku jmenovitého pracovního bodu. V ideálním případě by tato přímka měla mít stejný tvar jako charakteristika otopné soustavy, v běžné praxi tomu tak ovšem většinou není, protože energetický přínos by byl malý a finanční náklady značné. Regulace na variabilní dopravní tlak s sebou nese i svá rizika, zvláště pak u vyšších budov, kde v horních patrech hrozí tlakové podzásobení a zavzdušnění soustavy. Při srovnání regulací ( $\Delta p-c$ ) a ( $\Delta p-v$ ) můžeme shrnout všechny informace obsažené výše: Hlavní rozdíl je v tom, že  $\Delta p-c$  udržuje konstantní tlak při proměnném průtoku, což je výhodné oproti čerpadlům neregulovaným, ovšem i tento dopravní tlak může být při nízkých průtocích příliš vysoký, a tak můžeme sáhnout po regulaci, která nám nastavuje takřka ideální hodnoty průtoku i tlaku; tu nazýváme regulace ( $\Delta p-v$ ). Ovšem i ta má svá úskalí v tlaku, ale naprosto opačná: Tlak může být zvláště u výškových budov nedostatečný a hrozí podzásobení soustavy. Proto je u dnešních čerpadel možnost přepínání mezi dvěma nastaveními na konstantní dopravní tlak a na tlak variabilní. Tato čerpadla se nazývají inteligentní a jsou jakousi zlatou střední cestou mezi předešlými dvěma typy. [9]



Obr. 3.6 Princip regulace na variabilní dopravní tlak [9]

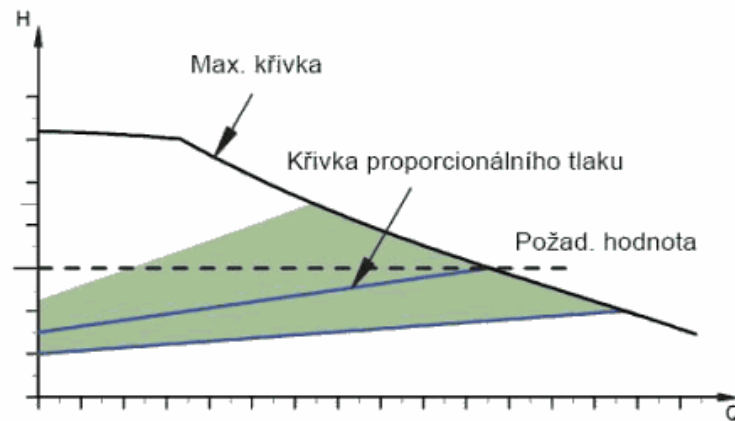


### 3.7. Inteligentní čerpadla

Jak již bylo zmíněno dříve, tato čerpadla lze přepínat z režimu  $\Delta p$ - $c$  na  $\Delta p$ - $v$  a naopak. Zamezí se tak podzásobení soustavy u výškových budov při nízké hodnotě průtoku a tlaku, kdybychom použili pouze regulaci na variabilní tlak. Naopak při vyšších hodnotách průtoku využijeme právě tuto regulaci, z důvodu malého poklesu tlaku při malém poklesu objemového průtoku, a tak nehrozí podzásobení soustavy a z energetického a ekonomického hlediska je pro nás tento typ rozhodně výhodnější.

Relativně novým typem regulačních systémů u oběhových čerpadel je systém AUTOADAPT, který byl patentován firmou Grundfos. Výhodami toho systému je tovární přednastavení, to znamená, že čerpadlo není nutné před spuštěním jakkoli nastavovat, stačí pouze zabudovat do otopné soustavy a čerpadlo dále funguje naprosto samostatně. Zdánlivá maličkost je ovšem ve skutečnosti znatelnou výhodou, protože lidský faktor během nastavování výkonů čerpadel většinou vše jen zhorší, neboť většina lidí má tendence nastavovat výkony „pro jistotu“ vyšší. Tím ovšem vzniká zbytečná energetická a finanční zátěž, která tato inteligentní čerpadla předchází. Na rozdíl od předešlých dvou typů regulace si čerpadlo samo určí nejvýhodnější křivku, podle které se bude regulovat, a to na základě zjištěných průtoků a tlaku tak, aby dostatečně zásobilo danou otopnou soustavu a zároveň byla pro uživatele co možná nejméně energeticky náročná. Tuto pracovní křivku je poté schopno držet, než se podmínky v soustavě změní, Klesne-li či stoupne např. venkovní teplota, ventily otopných těles se v závislosti na tom otevřou, nebo zavřou a čerpadlo na to reaguje vhodnou volbou regulační křivky. Samozřejmě nemůžeme koupit malé čerpadlo se systémem AUTOADAPT pro velkou soustavu a předpokládat, že jsme tím problémem relevantně vyřešili. To by byla skutečně naivní představa. Při výběru čerpadla, se musíme řídit jmenovitou hodnotou, kterou dané čerpadlo může vyvinout. Samozřejmě i čerpadla se systémem AUTOADAPT jsou uzpůsobena na různě velké výkony. Představme si to jako pás, ve kterém dané čerpadlo volí danou pracovní křivku, ale nad ani pod tento pás se křivka, a tedy ani výkon čerpadla nemůže nikdy dostat. Je proto nutné s ohledem na tento fakt čerpadlo vhodně vybírat. Tímto řízením jsme schopni dosáhnout až 80 % energetické úspory v porovnání s neregulovanými čerpadly, až 60 % v porovnání s čerpadly regulovanými na konstantní dopravní tlak a zhruba 50 % oproti čerpadlům regulovaným na variabilní dopravní tlak.

[11] [12] [13] [14]



Obr. 3.7 Provozní oblast (vyznačeno zeleně) regulační funkce AUTOADAPT [13]

Abychom skutečně pochopili nezbytnost regulace oběhových čerpadel v soustavách s proměnnými průtoky, uvedeme si konkrétní příklad, na kterém budou jasně zřejmé markantní rozdíly ve spotřebě energie a finanční rozdíly mezi neregulovaným čerpadlem a různými typy regulace. Mějme oběhové čerpadlo o příkonu 40 W. Srovnajme si případy, kdy by dané čerpadlo bylo neregulované, regulované na konstantní dopravní tlak, regulované na variabilní dopravní tlak, kombinaci obou těchto regulací v poměru 50:50 a konečně řízené systémem AUTOADAPT. Pro příklad uvažujme, že je v průměru potřeba 50 % jmenovitého výkonu čerpadla. Jde pouze o hrubý odhad, 50 % bereme pouze pro zjednodušení výpočtů a názornost problematiky, nejedná se o žádné reálné číslo, ač se mu ve skutečnosti blíží. Cenu jedné kilowatthodiny uvažujme jako 4,5Kč/kWh.

Z uvedených podmínek tedy plyne, že ač je v průměru potřeba 50 % jmenovitého výkonu, neregulované čerpadlo pracuje celé otopné období, tedy celých 254 dnů na plný výkon. Z toho jasně vyplývá, že energetické ztráty jsou obrovské a v důsledku toho i ztráty finanční dosahují nemalých hodnot. Oproti tomu čerpadlo regulované na konstantní dopravní tlak snižuje otáčky na 85 % při jmenovitém výkonu, což odpovídá snížení výkonu o 50 %. Regulace na konstantní dopravní tlak není rovněž zcela ideální řešení, stále má své rezervy, ale oproti neregulovanému čerpadlu se již jedná o značnou energetickou úsporu. Můžeme říci, že nabízí jakousi zlatou střední cestu: Pořizovací náklady jsou sice o něco vyšší než u neregulovaného čerpadla, ale oproti inteligentním oběhovým čerpadlům a oběhovým čerpadlům osazeným systémem AUTOADAPT se stále jedná o poměrně levnou variantu.

Další typ regulace, který figuruje v naší analýze, je regulace na variabilní dopravní tlak. Při použití tohoto typu regulace se otáčky sníží na přibližně 73 % jmenovité hodnoty a výkon nám tedy klesne až na 33 % jmenovitého výkonu. [15]

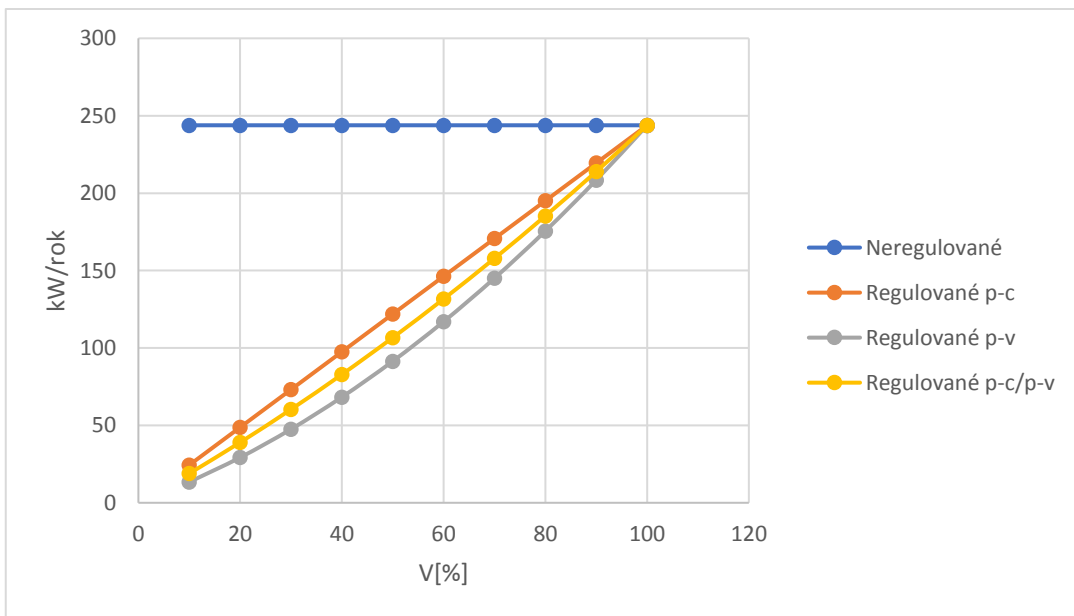
V porovnání s regulací na konstantní dopravní tlak tedy navíc ušetříme ještě 17 % jmenovitého výkonu, což je rozhodně nezanedbatelné. Ve srovnání s neregulovaným oběhovým čerpadlem je procentuální rozdíl výkonů 67 %, což představuje naprosto markantní rozdíly v provozních nákladech. Ovšem jak již bylo zmíněno dříve, u výškových budov hrozí u tohoto typu regulace podzásobení soustavy. Čerpadla s přepínatelnou regulací  $\Delta p-c$  a  $\Delta p-v$  a v poměru využití obou těchto variant námi zvolenými 50 % musí být logicky střední energetickou náročností mezi těmito dvěma typy. Ovšem s tím, že čerpadlo umí přepínat mezi těmito dvěma typy, roste pořizovací cena čerpadla.

Na závěr jsme si nechali asi největšího favorita v energetické úspoře v oblasti oběhových čerpadel. Pořizovací cena u čerpadel využívajících systém AUTOADAPT ve srovnání s předešlými typy regulace bývá největší, úměrně tomu ovšem také nabízí nejmenší provozní náklady a největší energetickou úsporu. U těchto čerpadel se v ideálním případě můžeme dostat až na 20 % jmenovitého výkonu čerpadla. Závěrem tohoto srovnání se dá říci, že investice do oběhových čerpadel s lepším typem regulace se rozhodně vyplatí; návratnost bývá v řádu několika let. Zvláště pak bych chtěl zdůraznit nutnost výměny neregulovaných čerpadel, jejichž používání přináší velkou energetickou a finanční zátěž. V tabulce níže můžeme přehledně vidět srovnání spotřeby výkonu za den, měsíc, rok a 10 let a srovnání cenové náročnosti těchto typů regulací oběhových čerpadel, obojí pro náš výše uvažovaný případ. Pro systém AUTOADPAT jsme uvažovali nejvyšší možnou úsporu energie protože u tohoto typu regulace nelze přesně říci, na jaký bude pracovat výkon při polovičním objemovém průtoku.

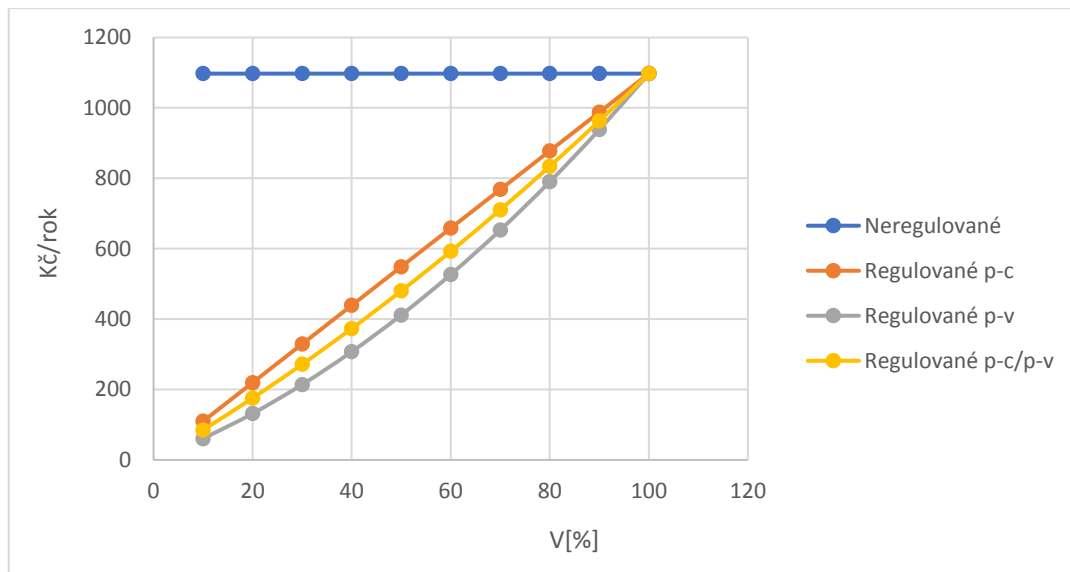
Tab. 3.1 Srovnání potřebného výkonu a finanční náročnosti

	P [W]	den [kW]	měsíc [kW]	rok [kW]	den [Kč]	měsíc [Kč]	rok [Kč]	10let [Kč]
Neregulovaná	40	1	28,8	243,8	4,3	129,6	1097,3	10972,8
regulace $\Delta p$ -c	20	0,5	14,4	121,9	2,2	64,8	548,6	5486,4
regulace $\Delta p$ -v	15	0,4	10,8	91,4	1,6	48,6	411,5	4114,8
regulace $\Delta p$ -v/ $\Delta p$ -c	17,5	0,4	12,6	106,7	1,9	56,7	480,1	4800,6
AUTOADAPT	8	0,2	5,76	48,8	0,9	25,92	219,5	2194,6

Pro představu, jaký je energetický vývoj při snižování a zvyšování potřeby soustavy a v závislosti na tom snižování a zvyšování výkonu daných čerpadel, jsem níže zpracoval dva grafy, graf energetické spotřeby při změně objemového průtoku soustavou a graf finanční náročnosti při této změně, protože, přiznejme si, o finanční náročnost jde běžnému uživateli především.



Obr. 3.8 Závislost výkonu čerpadla na objemovém průtoku



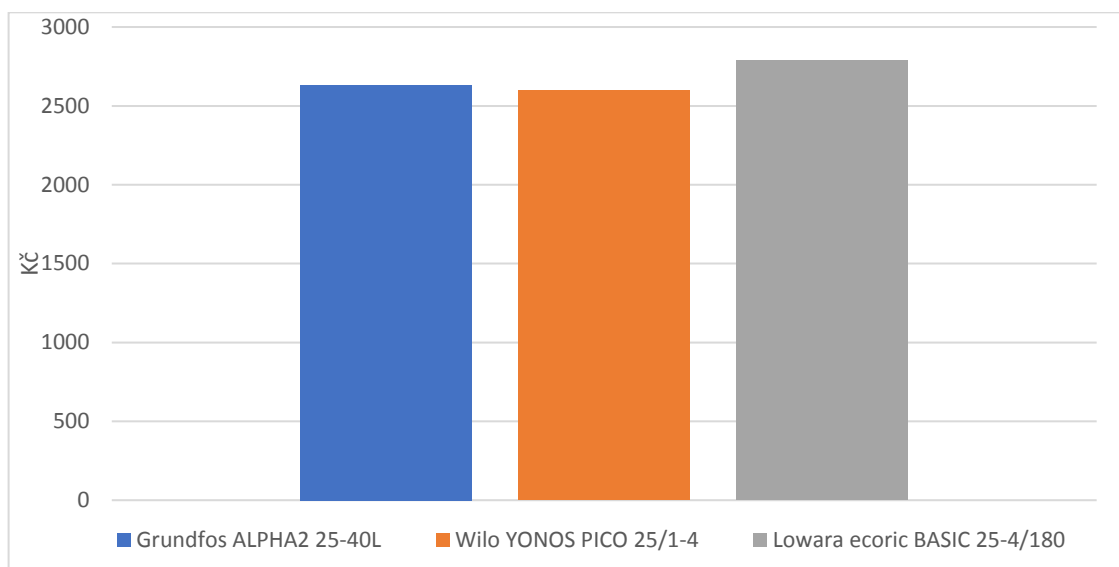
Obr. 3.9 Závislost ceny za rok na objemovém průtoku

Do kategorie inteligentních čerpadel se také sluší zařadit funkci nočního redukováného provozu, která zjednodušeně spočívá v automatickém přepnutí na minimální otáčky, jestliže zabudovaný snímač teploty zaregistruje pokles teploty kapaliny rychlostí minimálně 0,1 K/min. Čerpadlo se uvádí zpět do běžného provozu, jestliže se teplota zvýší o 10 K.

### 3.8. Srovnání cen jednotlivých typů čerpadel dle výrobce

Pro naše srovnání budeme uvažovat pouze ty typy čerpadel, které je dle legislativy Evropské unie možné použít v otopných soustavách v zemích Evropské unie, to znamená i v České republice. Čerpadla, která od roku 2013 dle směrnice EuP na energetickou účinnost nelze instalovat do otopné soustavy, jsou čerpadla s EEI (index energetické účinnosti) větším než 0,27 a od roku 2015, kdy vyšla podle novelizace této směrnice, také oběhová čerpadla s EEI nad 0,23. Výpočet indexu energetické účinnosti funguje na principu: čím vyšší je účinnost tím, menší je index energetické účinnosti. [10] Největší výrobci v oblasti oběhových čerpadel, firmy Grundfos a Willo, už ani nenabízejí čerpadla, která mají řízení pouze na konstantní dopravní tlak nebo na tlak proporcionální. Tyto dvě varianty jsou u moderních čerpadel většinou současně v jednom čerpadle a lze mezi nimi libovolně přepínat. Ve většině případů je doprovází možnost manuální volby konstantních otáček, jež mívají tři stupně. Inteligentní čerpadla s nejvyššími účinnostmi nejenže obsahují všechny předešlé možnosti regulací, ale navíc mají možnost výběru inteligentního řízení, které monitoruje soustavu a vhodně zvolí regulaci, podle změřených

parametrů. Pro první srovnání byla vybrána čerpadla, která nemají funkci inteligentního řízení. Po jednom čerpadle od společností Grundfos, Wilo a Lowara. Z důvodu adekvátního cenového srovnání byla vybrána čerpadla s minimálními rozdíly v technických parametrech.

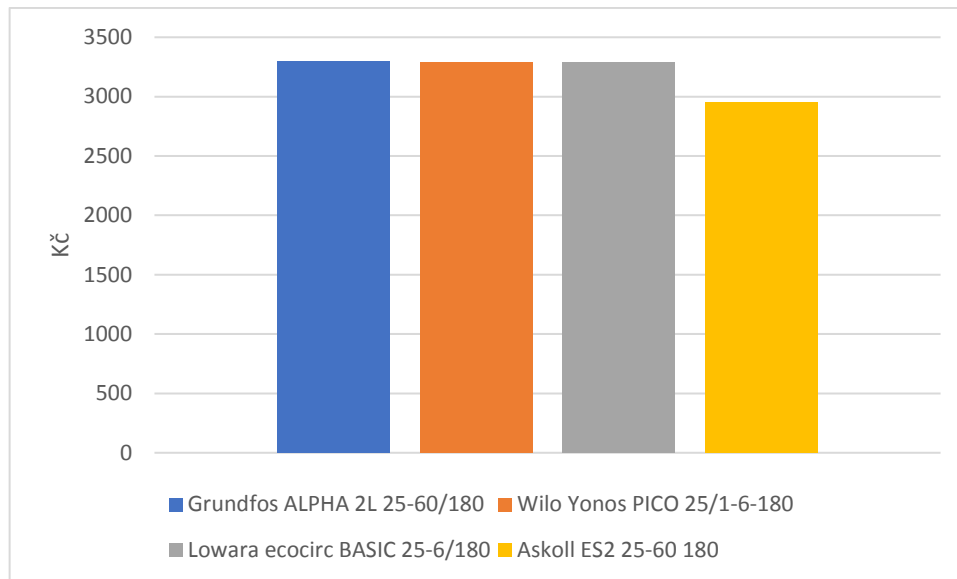


*Obr. 3.10 Srovnání cen čerpadel s maximální dopravní výškou 4 metry*

Ceny vynesené v grafu byly převzaty z webových stránek prodejců. [16] [17]

Z grafu vidíme, že ceny jednotlivých čerpadel od jednotlivých výrobců se v této kategorii menších čerpadel s maximální dopravní výškou 4 metry liší v rozmezí několika stovek. Při takto minimálních rozdílech mohou být cenové rozdíly způsobené i rozdílnými obchodními maržemi, protože ceny čerpadel, jsou převzaty od různých prodejců.

Přidáme proto srovnání o něco výkonnějších čerpadel s maximální dopravní výškou 6 metrů.

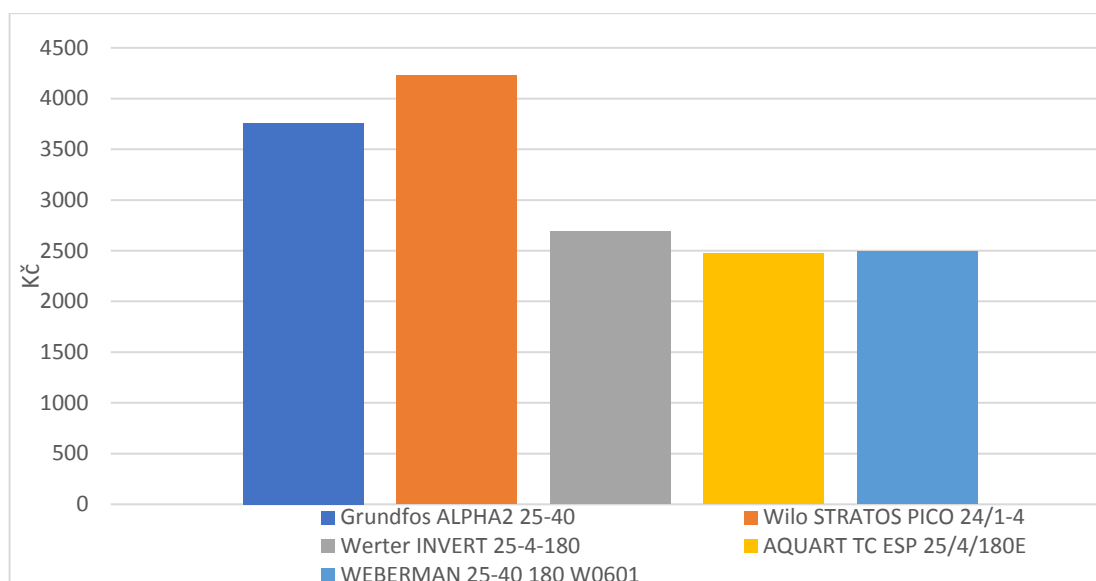


*Obr. 3.11 Srovnání cen čerpadel s maximální dopravní výškou 6 metrů*

Ceny vynesené v grafu byly převzaty z webových stránek prodejců. [16] [17] [18]

V této kategorii čerpadel můžeme konstatovat víceméně totéž co u srovnání předešlého; čerpadla se svou cenou nijak dramaticky neliší. Všechna srovnávaná čerpadla se pohybují kolem 3300 Kč. Pouze čerpadlo Askoll je uváděno s cenou něco málo nižší než 3000 korun. Tedy rozdíl mezi nejdražším produktem a nejlevnějším činí zhruba 300 korun. Produkt od firmy Lowara jako jediný nenabízí nastavení na konstatní dopravní tlak, ale pouze na variabilní. Z předešlého nám tedy vychází jako nejvýhodnější v této kategorii čerpadlo Askoll ES2 25-60 180.

Dále se zaměříme na čerpadla s již zmíněnými inteligentními funkcemi, která nám mohou ušetřit ještě více energie a peněz. Samozřejmě, jak dále uvidíme, se to projeví na pořizovacích nákladech. V případě společnosti Grundfos je to již zmíněný systém AUTOADAPT a ekvivalent od společnosti Wilo systém DynamicAdapt. Výrobci zbylých tří čerpadel také uvádějí adaptivní systém u čerpadel uvedených v grafu. Opět budeme srovnávat menší čerpadla s maximální dopravní výškou 4 metry, tedy výkonově stejná čerpadla jako v prvním případě, pouze s rozdílem možnosti přepnutí na automatický adaptivní systém.



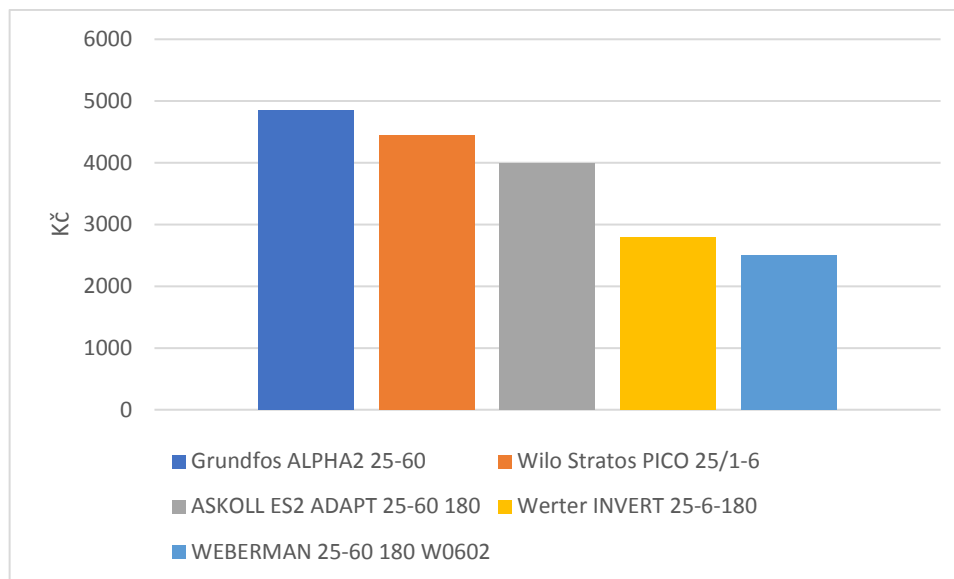
*Obr. 3.12 Srovnání cen čerpadel s maximální dopravní výškou 4 metry a automatickým adaptivním režimem*

Ceny vynesené v grafu byly převzaty z webových stránek prodejců. [16] [17] [18] [19] [20]

Přestože výrobci čerpadel uvádějí přibližně stejné parametry, cenově se dvě dražší čerpadla od výrobců Grundfos a Wilo výrazně cenově liší od zbývajících tří čerpadel výrobců Werter, Aquart a Novaservis (čerpadlo Weberman). Nejdražším čerpadlem v této kategorii je čerpadlo od výrobce Wilo, které je zhruba o 1000 Kč dražší než druhé v pořadí od výrobce Grundfos. Při porovnání cen nejlevnějších tří čerpadel v této kategorii a porovnání cen čerpadel bez adaptivní funkce zjišťujeme, že tato tři čerpadla cenově spíše zapadají do předešlé kategorie. Proto u těchto čerpadel těžko shledáváme důvody tak výrazného cenového rozdílu oproti čerpadlům dvou nejsilnějších výrobců na trhu, tedy společností Grundfos a Wilo. Čistě z finančního pohledu by bylo nejvýhodnější čerpadlo AQUART TC ESP 25/4/180E.



Na závěr porovnáme ještě čerpadla s adaptivní funkcí s maximální dopravní výškou 6 metrů.

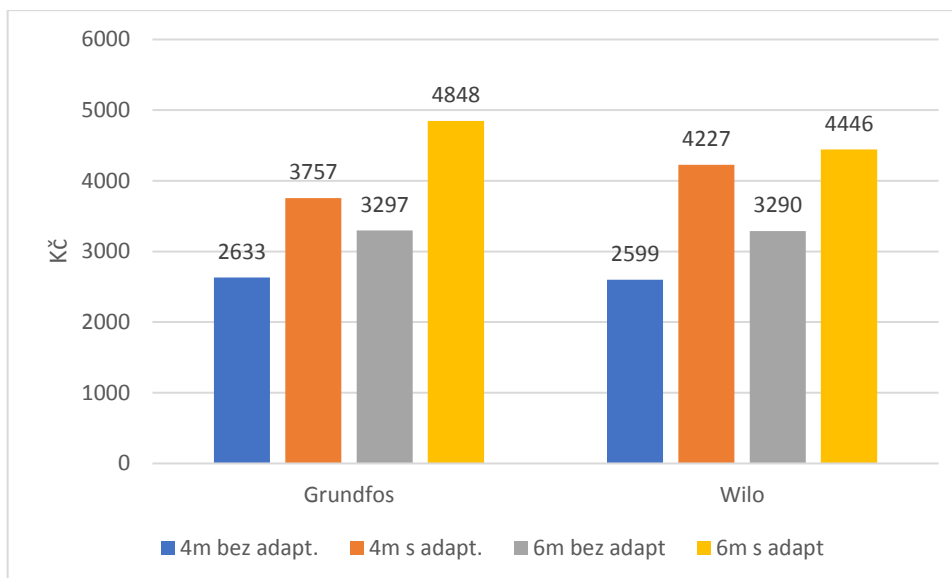


*Obr. 3.13 Srovnání cen čerpadel s maximální dopravní výškou 6 metrů a automatickým adaptivním režimem*

Ceny vynesené v grafu byly převzaty z webových stránek prodejců. [16] [17] [18] [19]

I u tohoto výběru čerpadel vidíme podobný trend jako u předešlého srovnání: Opět zde figurují výrazně dražší čerpadla od několikrát zmíněných výrobců Wilo a Grundfos a podstatně levnější čerpadla od výrobců Werter a Novaservis (čerpadlo Weberman). Čerpadlo Weberman je dokonce dvakrát levnější než čerpadlo od výrobce Grundfos. Přibližně na cenovém rozmezí mezi dvěma dražšími a dvěma levnějšími čerpadly se nachází čerpadlo od výrobce Askoll.

Představu o cenové škále na trhu čerpadel dobře demonstruje také vývoj cen čerpadel s vyšším a nižším výkonem a čerpadel bez a s adaptivní funkcí. K tomuto účelu poslouží čerpadla Grundfos a Wilo, která máme zastoupené ve všech zvolených kategoriích.

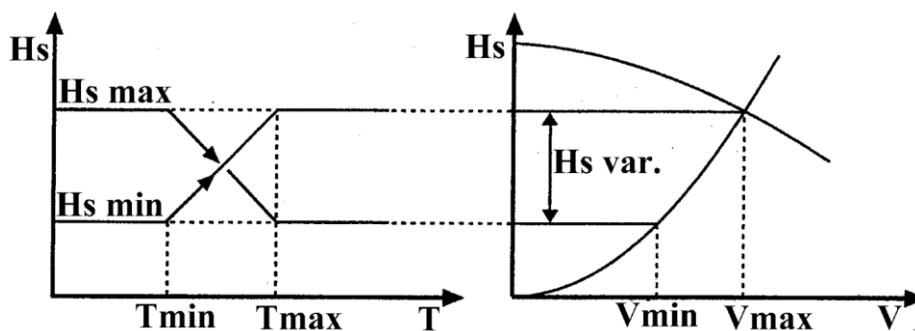


*Obr. 3.14 Srovnání cen čerpadel Grundfos a Wilo*

Můžeme si všimnout, že cenové rozdíly v rámci velikosti daných čerpadel nejsou nijak zásadní, zatímco rozdíly v cenách s automatickým adaptivním systémem a bez něj už jsou podstatně větší. Ceny všech čerpadel uvedené v předešlých grafech jsou převzaty od různých prodejců, se snahou vybrat vždy nejlevnější variantu nabízeného produktu napříč nabídkou na trhu. Samozřejmě tím mohou vznikat drobné rozdíly v cenách, způsobené různou marží daných prodejců. Nejlepší variantou by bylo vzít ceny přímo od výrobců jednotlivých čerpadel, to ovšem v některých případech není možné, protože ne všichni výrobci ceny uvádějí. Navíc u výrobců, kteří ceny uvádějí, narážíme velmi překvapivě na fakt, že ceny uváděné výrobcem jsou v mnoha případech vyšší než ceny, za které lze reálně daná oběhová čerpadla pořídit. Jsem si vědom i faktu, že efektivnější by bylo srovnávat čerpadla od stejných výrobců ve všech kategoriích, zde ovšem narážím na problém, že ne všichni výrobci vyrábějí všechny typy čerpadel. Můžeme si ovšem všimnout, že čerpadla Grundfos a Wilo jsou zastoupena ve všech kategoriích, proto jsou také použita ve finálním grafu srovnání.

### 3.9. Regulace podle teploty

Regulace tlakové diference v závislosti na teplotě je realizována prostřednictvím snímače zabudovaného v čerpadle, který snímá teplotu vody jím procházející. Výhodou je, že nepotřebujeme žádné další přídavné zařízení. Čerpadlo musí být umístěno do potrubí, ve kterém je pro nás rozhodující teplota teplotonosné látky; tímto potrubím je vratné potrubí. Čerpadlo snímá teplotu vratné vody a podle toho, zda je voda příliš chladná nebo příliš teplá, upravuje své otáčky na optimální teplotu vratné vody. Z předešlého plyne, že je-li vratná voda příliš chladná, čerpadlo na to zareaguje zvýšením otáček. Tím se zvýší objemový průtok, cirkulace vody v soustavě se zrychlí, do vratného potrubí, a tedy i k teplotnímu snímači v oběhovém čerpadle se vrací voda teplejší než před zvýšením otáček. Této regulace se ovšem v běžných otopných soustavách nevyužívá, protože teplota vratné vody pro nás v oblasti vytápění není rozhodující. Využití nachází v teplárenství, kde je důležitá teplota vratné vody. [9]



Obr. 3.15 Princip regulace na konstantní teplotu [9]

Ve všech předešlých případech jsme uvažovali o regulaci, bylo by proto namístě definovat rozdíl mezi ovládním a regulací. Ovládní je pojem vyjadřující řízení bez zpětné vazby, která by ovlivňovala vstupní parametry. Oproti tomu při regulaci je řídicí člen v regulačním obvodu neustále ovlivňován měřenou výstupní veličinou. Jako názorný příklad si uvedme regulaci na konstantní dopravní tlak, kdy čerpadlo neustále snímá rozdíl tlaků na čerpadle, což můžeme označit jako zpětnou vazbu a v závislosti na této zpětné vazbě upravuje otáčky na patřičnou úroveň.

## Závěr

První část práce je ryze teoretická a zabývá se základními pojmy, jako jsou otopná soustava a oběhové čerpadlo. Rozebírám v ní, jaké jsou části otopných soustav a základní rozdělení takových soustav: rozbor čerpadla, z čeho se skládá oběhové čerpadlo, jak správně vybrat čerpadlo. Tato část má sloužit hlavně jako úvod, který pokládám za nezbytný k pochopení funkce čerpadla v otopné soustavě a dalšímu pochopení nutnosti jeho regulace. Ta je ostatně dána i směrnicí evropské unie Erp z roku 2015, která svými požadavky na energetickou účinnost vlastně nutí k použití některé z regulací oběhového čerpadla.

V další části práce se již zabývám samotnou regulací čerpadel. Od možností regulací, které se používají pouze v laboratorních podmínkách nebo se používaly hlavně v minulosti, až po elektronické regulace, které jsou již z energetického i ekonomického pohledu velmi výhodné a pro splnění směrnice evropské komise i nezbytné.

Na předešlou část plynule navazuje konkrétní příklad, který je velmi důležitý pro názornou ukázkou a představu běžného uživatele o úsporách elektrické energie a finančních prostředků při instalaci nového energeticky řízeného čerpadla nebo výměně starého neregulovaného čerpadla.

V poslední části je vypracován průzkum trhu, který je přehledně znázorněn v grafech, které jasně ukazují cenové rozložení jednotlivých produktů na trhu.

Velkým skokem vpřed v otázce energetické úspory bylo již instalování elektronické regulace čerpadel jak na konstantní dopravní tlak, tak na variabilní dopravní tlak. Přidáním funkce automatické adaptace jsme se posunuli ještě o další kousek dopředu, změna už ovšem nebyla tak markantní jako mezi neregulovaným čerpadlem a čerpadlem alespoň nějak elektronicky regulovaným. Obecně se dá říci, že čerpadla, která mají systém automatické adaptace, jsou energeticky nejvýhodnější a při dlouhodobém používání, když se srovnají pořizovací a provozní náklady, vycházejí nejlépe i z ekonomického hlediska. Velkou výhodou je jejich snadné uvedení do provozu, kdy prováděcí firma nemusí nic nastavovat a „chytré“ čerpadlo si vše nastaví samo podle potřeby otopné soustavy. Samozřejmě v případě, kdy se průtok v soustavě mění jen výjimečně nebo vůbec je pořízení takového čerpadla zbytečný luxus.

## Použitá literatura

- [1] LUPTÁK, Ladislav a Lubomír ŠMARDA. Učební text pro obor Instalatér 2. ročník. *Publi* [online]. 2016 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/176/02.html>
- [2] VAVŘIČKA, Roman. *Teplovodní otopné soustavy* [online]. In: . Praha, b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Kurz%20Vytapeni/Otopne%20soustavy%20teplvodni%20-%20Kurz%20vytapeni.pdf>
- [3] PATÁK, Jiří. *Hydraulika otopných soustav* [online]. Brno, 2013 [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=78482](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=78482). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [4] BAŠTA, Jiří a Karel KABELE. *Otopné soustavy teplovodní*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2008. ISBN 978-80-02-02064-6.
- [5] Oběhová čerpadla. *Čerpadla bez starostí* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://www.cerpadlabezstarosti.cz/149-obehova-cerpadla>
- [6] Oběhová čerpadla v otopných soustavách. *ELUC* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2059>
- [7] VÁCLAVÍKOVÁ, Eva. Oběhová čerpadla. In: *SkolaLipa* [online]. b.r. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <http://moodle.skolalipa.cz/mod/folder/view.php?id=2534>
- [8] HRDLIČKA, Luboš. Možnost snižování spotřeby energie oběhových čerpadel. In: *Konference vytápění*. Třeboň: Společnost pro techniku prostředí, 2007, s. 131-137. ISBN 978-80-02-01926-8.
- [9] BAŠTA, Jiří. *Hydraulika a řízení otopných soustav*. 1.vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02808-9.
- [10] *NAŘÍZENÍ KOMISE (ES)*. In: . Brusel, b.r., ročník 2009, číslo 641. Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:191:0035:0041:CS:PDF>
- [11] ČEPEK, Lubomír a Vladimír VALENTA. *Úspory elektřiny na pohon topenářských oběhových čerpadel* [online]. Brno: Cech topenářů a instalatérů, 2009 [cit. 2018-04-05]. ISBN 978-80-86208-16-09. Dostupné z: [www.mpo-efekt.cz/upload/.../Uspory\\_elektriny\\_pohon\\_topenarskych\\_cerpadel.pdf](http://www.mpo-efekt.cz/upload/.../Uspory_elektriny_pohon_topenarskych_cerpadel.pdf)
- [12] ČEPEK, Lubomír. Unikátní funkce Grundfos AUTOADAPT. *Tzb info* [online]. 2009 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/uspory-vytapeni/5418-unikatni-funkce-grundfos-autoadapt>
- [13] ČEPEK, Lubomír. Úspory elektrické energie při užívání energeticky úsporných čerpadel. *Tzb info* [online]. 2008 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/5180-uspory-elektricke-energie-pri-uzivani-energeticky-uspornych-cerpadel>

- [14] LUPTÁK, Ladislav. *Úspory energií a nové technologie v rozvodech technického zabezpečení budov* [online]. b.r. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/1752917-Studijni-material-k-modulu-uspory-energi-i-a-nove-technologie-v-rozvodech-technickeho-zabezpeceni-budov-k-projektu.html>
- [15] BAŠTA, Jiří. Úspory energie vhodným řízením oběhových čerpadel. *Vytápění, Větrání, instalace*. 2011, **2011**(4), 146-148.
- [16] Elektronická oběhová čerpadla. *Bola* [online]. b.r. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://www.bola.cz/elektronicka-obehova-cerpadla>
- [17] Oběhová čerpadla. *Čerpadla bez starostí* [online]. b.r. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://www.cerpadlabezstarosti.cz/149-obehova-cerpadla>
- [18] Oběhová čerpadla. *A-Kotle* [online]. b.r. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://www.a-kotle.cz/topeni/obehova-cerpadla/>
- [19] Čerpadla pro topení. *Topení levně* [online]. b.r. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/cerpadla-pro-topeni-c1312/>
- [20] AQUART TC ESP 25/4/180E. *Stavba EU* [online]. b.r. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.stavbaeu.cz/aquart-tc-esp-25-4-180e-ekonomicke-obehove-cerpadlo-189226>