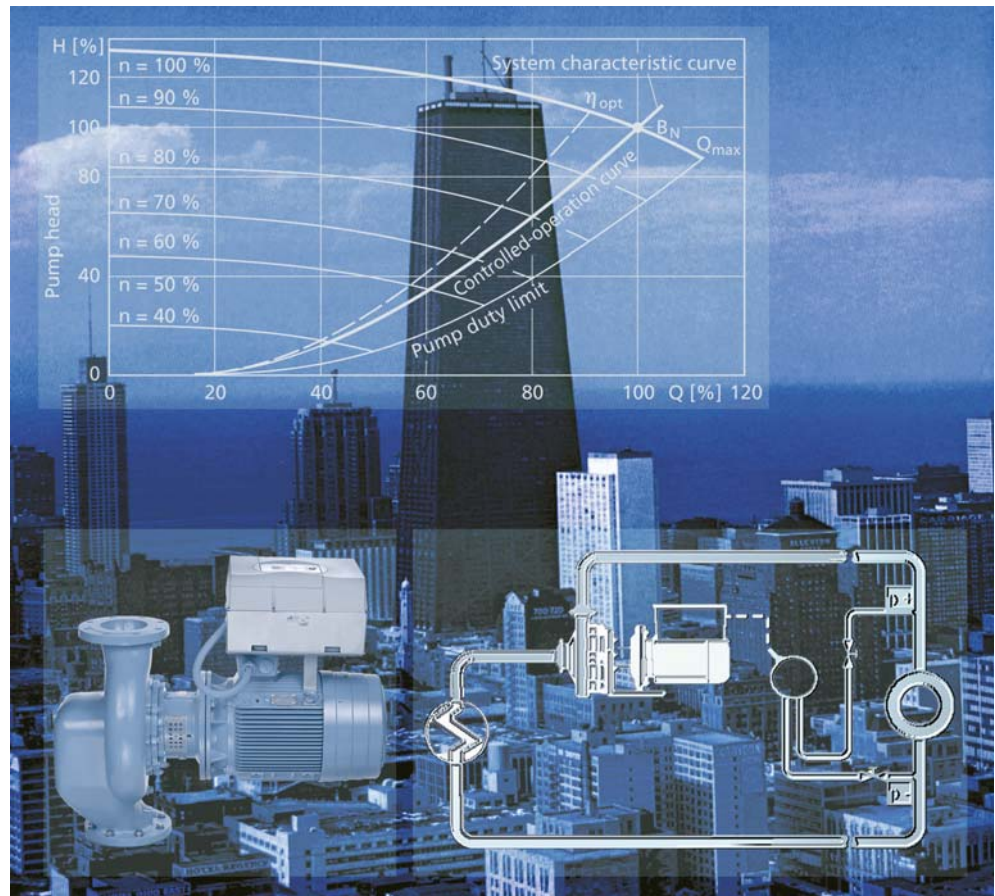


# POKYNY K PROJEKTOVÁNÍ: REGULACE A AUTOMATIZACE ČERPADEL



## Regulace a automatizace čerpadel

Vydání: listopad 2006

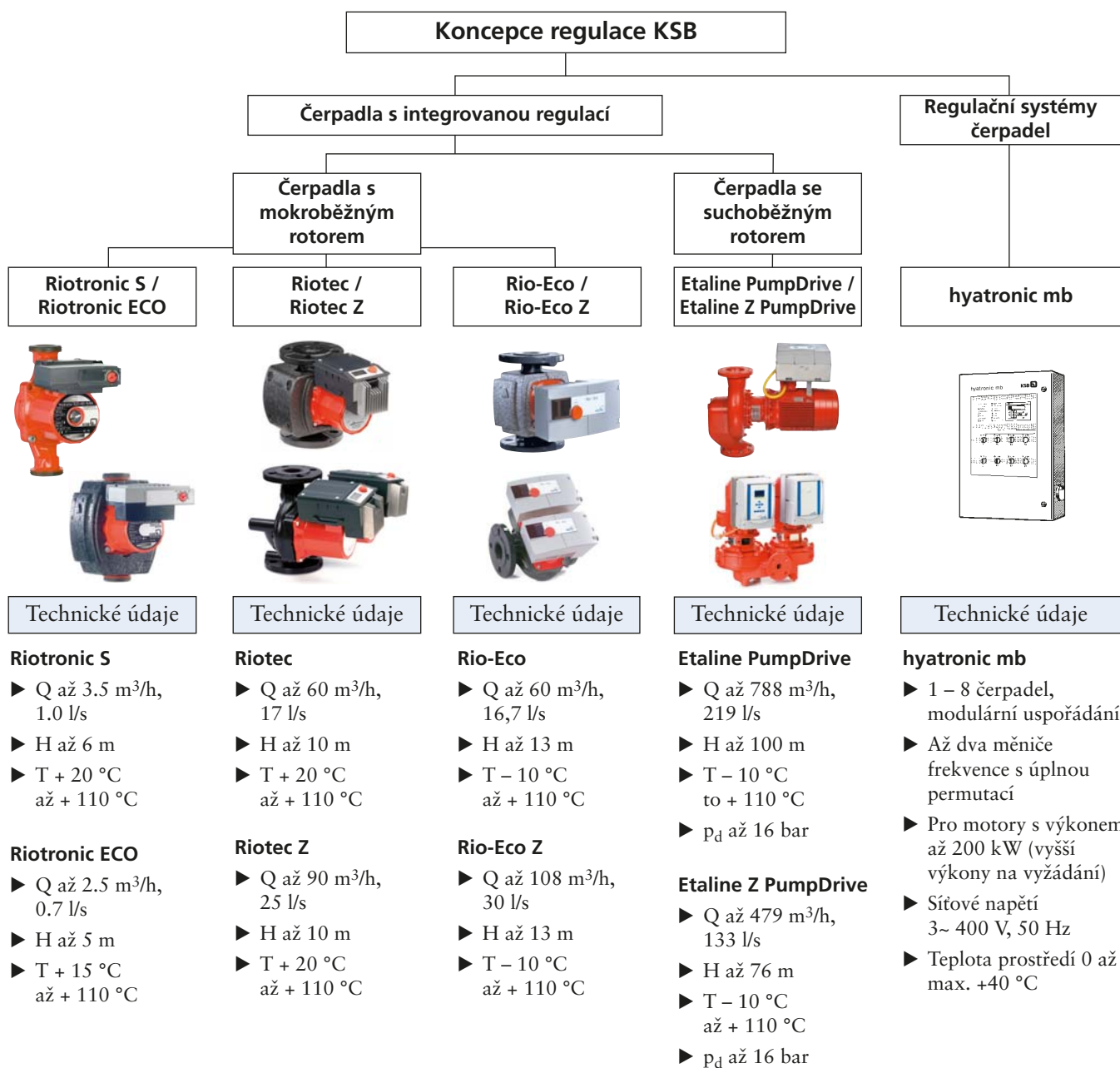
Technické změny vyhrazeny

© Copyright KSB Aktiengesellschaft

Vydavatel:  
KSB Aktiengesellschaft

Segment:  
Technika budov  
D-91253 Pegnitz

Všechna práva pro šíření, také prostřednictvím filmu, rozhlasu, televize, videa, fotomechanické reprodukce, zvukových a datových nosičů jakéhokoliv druhu, prokázaných dotisků nebo ukládání a obnovy dat v zařízeních na zpracování dat všeho druhu, pouze se svolením výrobce.



	str.
1	Základy ..... 4
1.1	Základy hydrauliky ..... 4
1.1.1	Základy čerpadel ..... 4
	Výtlačná čerpadla ..... 4
	Odstředivá čerpadla ..... 5
1.1.2	Přizpůsobení průtoku ..... 6
	Přizpůsobení průtoku škrcením ..... 6
	Přizpůsobení průtoku regulací přepouštěním ..... 7
	Přizpůsobení průtoku paralelním zapojením čerpadel .... 8
	Přizpůsobení průtoku nastavováním otáček ..... 9
	Přizpůsobení průtoku kombinací paralelního zapojení a regulace čerpadel ..... 10
1.1.3	Přepočet charakteristiky při proměnném počtu otáček .. 11
	Výpočet regulační křivky potrubní sítě podle rovnice 5 .. 12
	Výpočet regulační křivky ..... 12
	Výběr čerpadla ..... 13
	Výpočet afinitní paraboly pomocí $B'_2 (Q'_{B2}, H'_{B2})$ ..... 13
	Výpočet afinitní paraboly pomocí $B'_1 (Q'_{B1}, H'_{B1})$ ..... 14
	Charakteristika čerpadla pomocí $B_2$ s počtem otáček $n_2$ .. 14
	Charakteristika čerpadla podle $B_1$ s počtem otáček $n_1$ .. 15
	Sčítání charakteristik čerpadla ..... 15
	Stanovení pomocných bodů a mezicharakteristik ..... 16
	Sčítání charakteristik stejně velkých čerpadel 1 a 2 při jmenovitém počtu otáček ..... 17
	Příkon dvou paralelně provozovaných čerpadel při jmenovitém počtu otáček ..... 17
	Minimální žádaná hodnota při paralelním provozu stávajících čerpadel ..... 19
1.1.4	Výpočet hospodárnosti systémů s plynulým nastavováním otáček s měničem frekvence ..... 20
	Vlivy prostřednictvím provedení systému ..... 20
	Vlivy způsobené dočasným zatížením systému ..... 20
	Vlivy čerpadla ..... 21
	Příkon čerpadla odebíraný z elektrické sítě ..... 22
	Porovnání tří systémů s a bez regulace čerpadel ..... 23
	Výpočet hospodárnosti ..... 26

1.2	Základy regulační techniky . . . . .	28
1.2.1	Definice . . . . .	28
1.2.2	Další pojmy regulační techniky . . . . .	28
1.2.3	Pojmy regulační techniky na příkladu regulace čerpadla .	29
1.2.4	Regulované veličiny uzavřených hydraulických okruhů .	29
	Regulace závislá na tlakové diferenci . . . . .	29
	Regulace závislá na rozdílu teplot ( $\Delta T$ ) . . . . .	32
	Regulace závislé na teplotě zpátečky ( $T_R$ ) . . . . .	33
	Řízení/regulace závislé na teplotě přívodu ( $T_V$ ) . . . . .	34
1.2.5	Regulační veličiny otevřených okruhů . . . . .	35
	Regulace v závislosti na tlaku . . . . .	35
	Regulace v závislosti na výši hladiny . . . . .	36
	Regulace v závislosti na průtoku . . . . .	37
1.2.6	Kompenzace (vyrovnání) dodatečných poruchových veličin . . . . .	38
	Kompenzace výběrem vhodného místa měření . . . . .	38
	Kompenzace prostřednictvím dodatečné měřící veličiny (průtoku) . . . . .	40
1.3	Základy integrovaného pohonu . . . . .	42
1.3.1	„Inteligentní“ integrované pohony čerpadel . . . . .	42
1.3.2	Výhody integrace . . . . .	42
1.3.3	Požadavky . . . . .	42
1.3.4	Specifické funkce čerpadel . . . . .	43
1.3.5	Hospodárnost / redukce Life-Cycle-Costs . . . . .	44
1.4	Základy komunikačních technik . . . . .	45
2	Pojmy z automatizace zařízení a pokyny pro projektování . . . . .	47
2.1	Všeobecné pokyny k elektrickému zapojení . . . . .	48
	Druhy sítí . . . . .	48
	Ochranná zařízení před unikajícím proudem (ochranné spínače FI) . . . . .	49
	Ochranná opatření závislá na síti . . . . .	49
	Teplota prostředí . . . . .	49
	Způsob zapojení (postup spouštění) motorů s kotvou nakrátko . . . . .	49

2.2	Regulační funkce . . . . .	50
	Regulovaná veličina (žádaná hodnota) . . . . .	50
	Žádaná hodnota / přepínání žádané hodnoty . . . . .	52
	Optimalizace regulační křivky prostřednictvím . . . . .	52
	Kontrola čerpadel a hydraulického systému při automatickém způsobu provozu . . . . .	53
	Příslušenství měřicí techniky . . . . .	54
	Dokumentace . . . . .	55
	Montáž . . . . .	55
	Uvedení do provozu . . . . .	56
3	Příklad projektování . . . . .	57
3.1	Popis systému . . . . .	57
3.2	Výpočet potrubní charakteristiky (viz rovněž str. 9, obr. 14) . . . . .	57
3.3	Další kroky odpovídající „Plánu průběhu projektových prací“ . . . . .	58
4	Důvody pro automatizaci a regulaci čerpadel . . . . .	65
4.1	Provozní spolehlivost . . . . .	65
4.2	Zlepšení provozního chování . . . . .	65
4.3	Zvyšování kvality produktu . . . . .	66
4.4	Snížení provozních nákladů / Life-Cycle-Costs Reducing	66
4.5	Zlepšení informovanosti o systému . . . . .	66
5	Automatizační koncepce v přehledu . . . . .	68
5.1	Paralelní zapojení stejných čerpadel s jedním měničem frekvence . . . . .	68
5.2	Paralelní zapojení stejných čerpadel se dvěma měniči frekvence . . . . .	69
5.3	Paralelní zapojení nestejných čerpadel . . . . .	70
5.4	Další koncepce elektrického zapojení z programu KSB . .	71
	Přehled průběhu projektování . . . . .	72

## 1 Základy

### 1.1 Základy hydrauliky

#### 1.1.1 Základy čerpadel

Úkolem každého čerpadla je v kapalině vyvinout tlak a tím vyvolat průtok kapaliny. Ke splnění tohoto úkolu byly vytvořeny různé druhy čerpadel. Nejdůležitějšími konstrukčními druhy jsou objemová a odstředivá čerpadla.

#### Výtlačná čerpadla

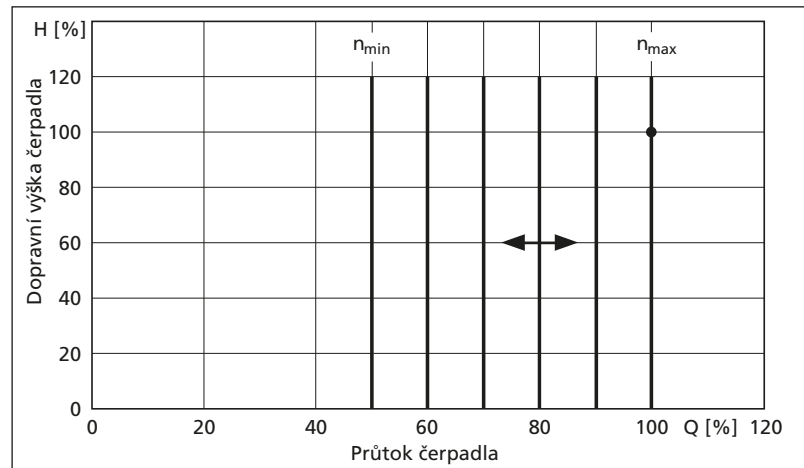
Tato čerpadla se používají především v případech, kdy se vyžaduje malý průtok při vysokých dopravních výškách. Princip jejich činnosti spočívá v periodické změně objemu pracovního prostoru, který je oddělen od sacího a výtlačného vedení oddělovacími prvky.

Typickým příkladem je:

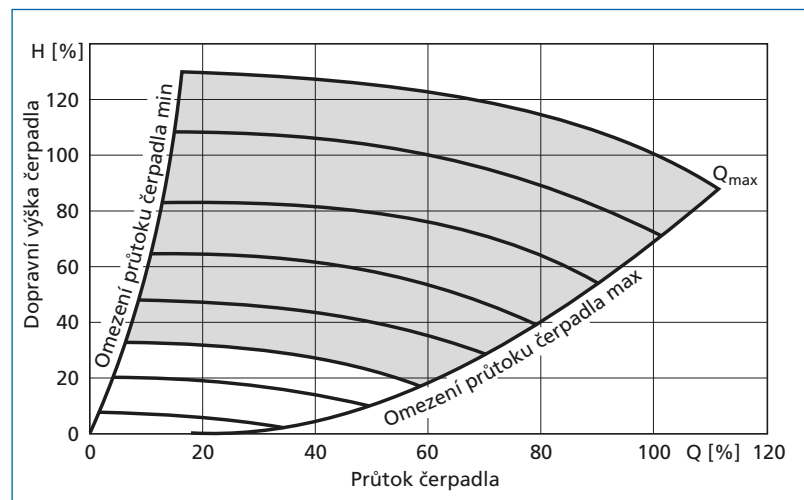
- Pístové čerpadlo
- Objemové čerpadlo
- Membránové čerpadlo
- Zubové čerpadlo
- Vřetenové čerpadlo
- Křídlové čerpadlo
- Hadicové čerpadlo atd.

Jejich společné znaky jsou:

Průtok se mění podle počtu otáček, případně podle počtu zdvihů. Naproti tomu je čerpací výška od těchto znaků nezávislá. Z toho důvodu je třeba výtlačná čerpadla chránit před



Obr. 1: Typické charakteristiky objemového čerpadla pro různé otáčky



Obr. 2: Typický pracovní rozsah odstředivého čerpadla s jeho charakteristikami při různých otáčkách

nepřípustně vysokým tlakem. Změna průtoku je možná pouze změnou počtu otáček nebo zdvihů nebo dodatečným přídatným systémem (obtok s přepouštěním). Charakteristika čerpadla při konstantních otáčkách ukazuje vzájemný vztah mezi průtokem a dopravní výškou (tlakem čerpadla).

Při změně počtu otáček se proporcionálně mění průtok.

**Odstředivá čerpadla:**

Pro většinu technických aplikací se používají odstředivá čerpadla. To je dáno především následujícími vlastnostmi:

- robustní konstrukce
- jednoduchá instalace
- cenově výhodná výroba
- „přátelské“ provozní chování
- dobrá regulovatelnost

Pracovní princip je založen na přenosu energie prostřednictvím změny směru proudění kapaliny spolupůsobením přídavné odstředivé síly u radiálních oběžných kol.

Na rozdíl od výtlačných čerpadel je maximální tlak čerpadla omezen již pracovním principem.

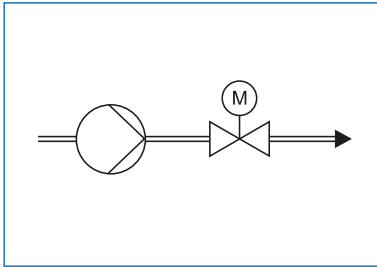
Zvláštní ochranná opatření proti vysokému tlaku jsou zapotřebí jen zřídka .

Za předpokladu konstantního počtu otáček pohonu je možné nastavit rozdílné průtoky jednoduše pomocí škrtecích armatur. Přípustný pracovní rozsah je dán charakteristikou čerpadla.

### 1.1.2

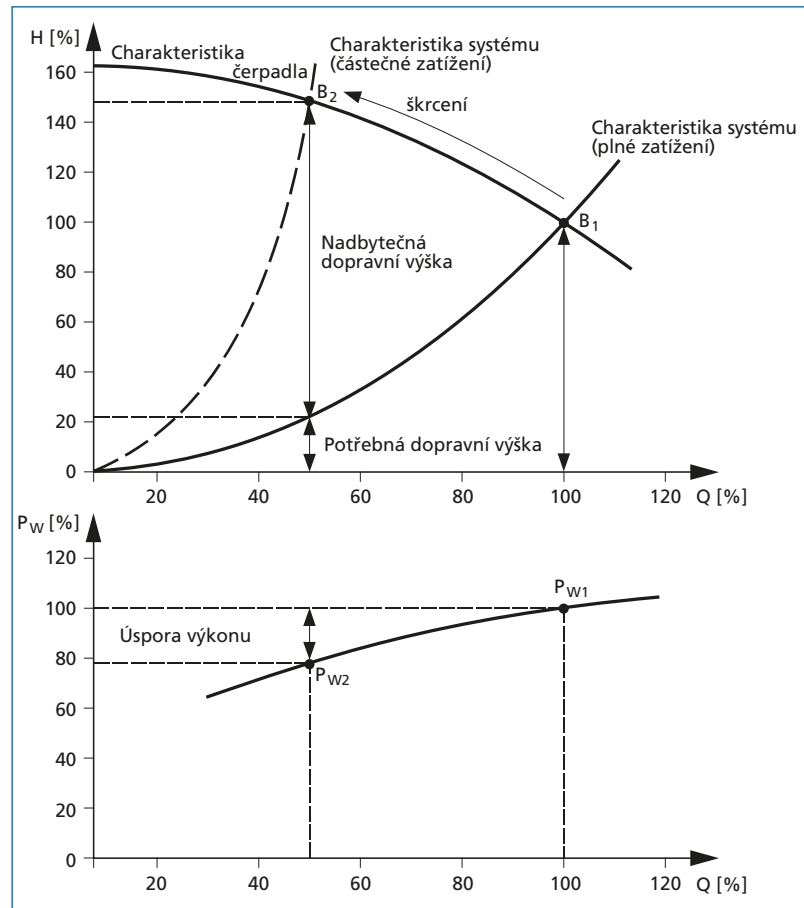
#### Přizpůsobení průtoku

#### Přizpůsobení průtoku škrcením



Obr. 3: Schéma škrcení

Cíleným zvětšením odporu systému – škrtící armaturou – se stává výsledná charakteristika systému strmější. Při konstantních otáčkách čerpadla se dopravované množství (průtok) snižuje podle charakteristiky čerpadla. Čerpadlo při tom vytváří vyšší tlak (dopravní výšku), než je pro systému potřeba. Tím vznikající nadměrná dopravní výška se odstraní škrtící armaturou ve formě tlakového spádu.

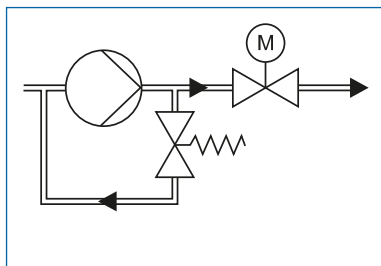


Obr. 4: Charakteristika křivka čerpadla a výkonová charakteristika

#### Hodnocení

- + nižší náklady na regulační techniku
- + výhodné při převažujícím provozu s plným zatížením
- + vhodné pro použití s omezenou provozní dobou
- + velmi vhodné při ploché charakteristice čerpadla
- příliš vysoký tlak čerpadla, především při strmé charakteristice čerpadla
- špatná účinnost čerpadla při částečném zatížení
- omezená úspora výkonu při částečném zatížení
- nepříznivé regulační chování při vysokém převýšení dopravní výšky
- je zapotřebí škrtící armatura
- mechanické namáhání škrtící armatury
- nebezpečí hlučnosti proudění při silném zaškrcení (např. u termostatických ventilů).

## Prizpůsobení průtoku regulací přepouštěním

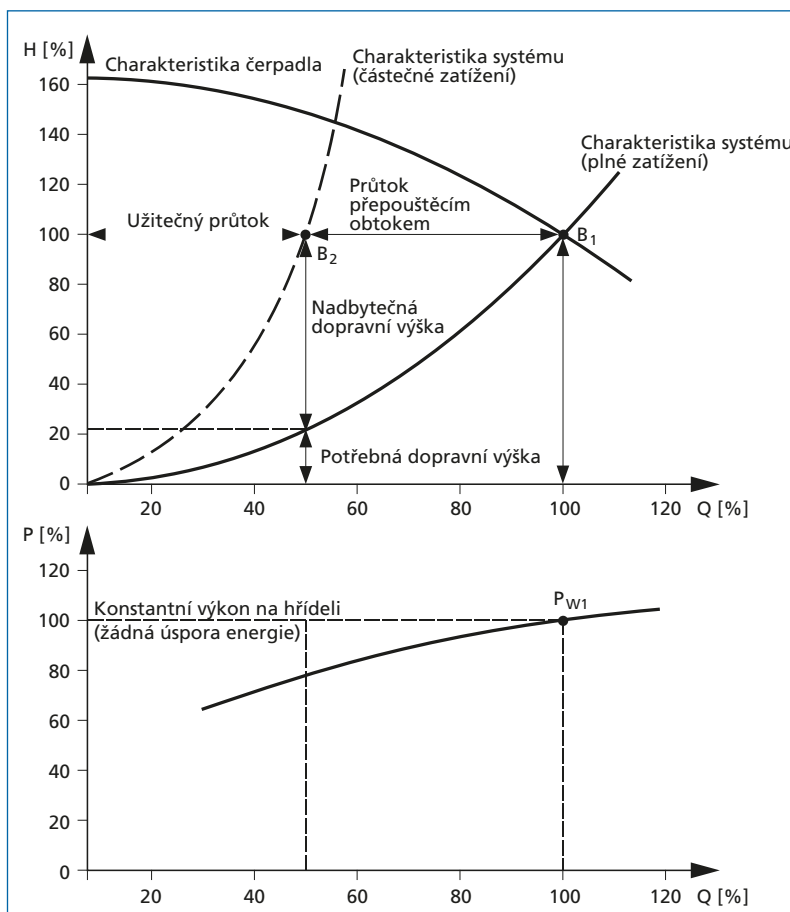


Obr. 5: Schéma regulace přepouštěním

Obtokové potrubí je uspořádáno souběžně s čerpadlem. Průtok se při tom dělí na užitečný průtok, vtékající do systému, a na průtok přepouštěcím obtokem, který se přímo nebo nepřímo vede zpět na vstup čerpadla (viz obr. 5). Změnou průtoku přepouštěcím obtokem, resp. potrubní charakteristiky obtoku s přepouštěním se za použití regulačního ventilu může měnit užitečný průtok. Čerpadlo při tom běží téměř ve stejném provozním bodu, tj. v dimenzovaném provozním bodu systému za provozu při plném zatížení.

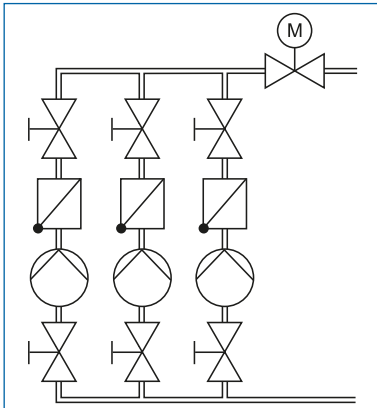
## Hodnocení

- + ani při částečném zatížení nedojde ke zvýšení dopravní výšky
- + na rozdíl od škrcení zůstává při nastavování průtoku tlak čerpadla konstantní
- + významné při malé dopravní výšce s velkými průtoky
- + velmi vhodné při převažujícím provozu s plným zatížením
- zvýšené stavební náklady (připojení obtoku s přepouštěním)
- žádné snížení příkonu při částečném zatížení
- při částečném zatížení ještě nadbytečná dopravní výška
- energeticky nevhodné přizpůsobení průtoku



Obr. 6: Charakteristika čerpadla a výkonová charakteristika

## Prizpůsobení průtoku paralelním zapojením čerpadel



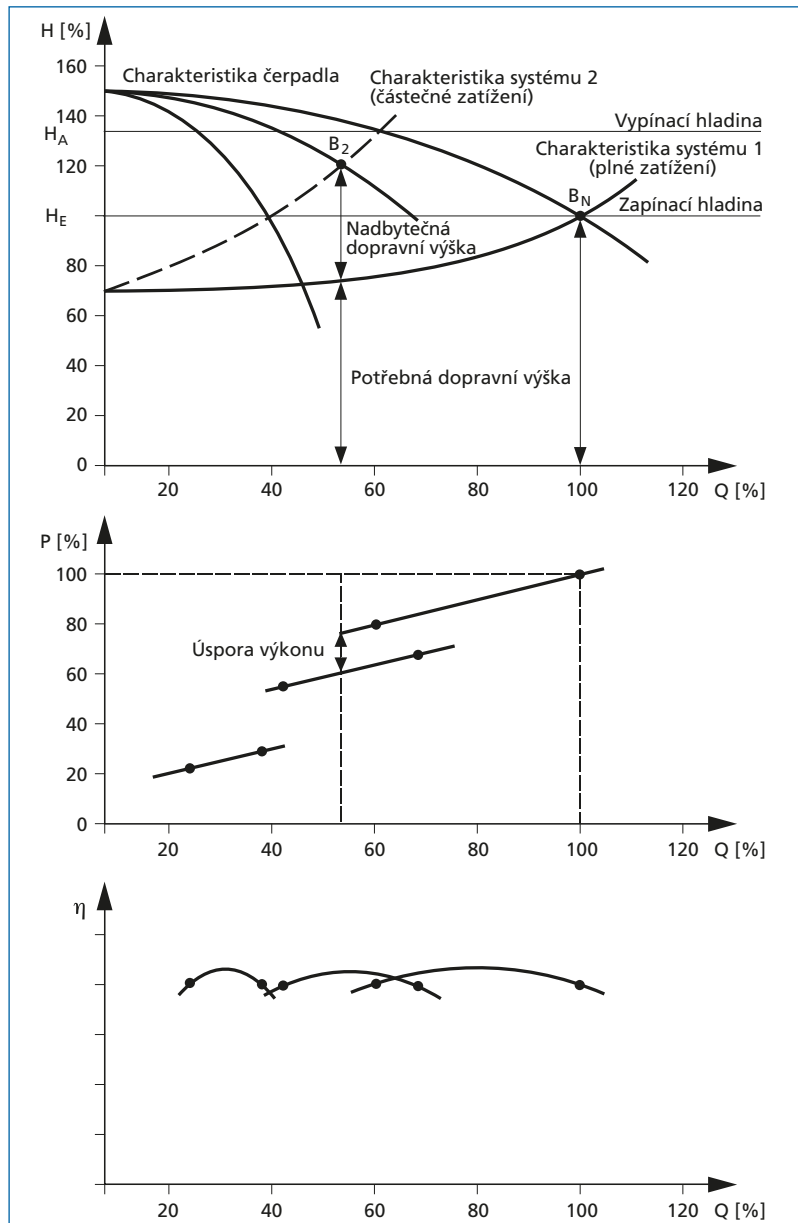
Obr. 7: Schéma paralelního zapojení čerpadel

Pokud se čerpadla zapojí paralelně podle obr. 7, sčítají se jejich dílčí průtoky.

Při konstrukci pracovních charakteristik pro paralelní zapojení se dílčí průtoky všech zúčastněných čerpadel s více rozdílnými úrovněmi (mezi nulou a minimální dopravní výškou) sčítají. Paralelní charakteristika vychází ze součtu průtoků při stejné dopravní výšce. V praxi je zde třeba věnovat pozornost tomu, že při stoupajícím průtoku rostou i odpory systému a že tak skutečný pracovní bod při tomto paralelním provozu leží na vyšší tlakové hladině. To vede k tomu, že přírůstek průtoku je menší, než se původně očekávalo.

### Hodnocení

- + velmi vhodné při ploché charakteristice systému s vysokým statickým podílem dopravní výšky
- + dobré přizpůsobení při částečném zatížení
- + vysoká účinnost systému
- + malé náklady na regulační



Obr. 8: Charakteristika čerpadla, výkonová charakteristika a charakteristika účinnosti pro jedno, dvě a tři čerpadla v paralelním provozu.

- techniku při zapojení čerpadel v závislosti na tlaku (potřebný prostor)
- při nevhodném dimenzování vysoká četnost spínání
- + velká provozní spolehlivost pomocí většího počtu čerpadel (redundance)
- Při ploché charakteristice čerpadla/ systému je zapojení čerpadel závislé na průtoku
- zvýšené stavební náklady (potrubí, armatury, čerpadla, problematické při velkém kolísání tlaku na sání)

## Prizpůsobení průtoku nastavováním otáček

### Zákonitosti při plynulé změně nastavení otáček odstředivých čerpadel

Na rozdíl od dosud popisovanému způsobu prizpůsobení průtoku umožňuje plynulé nastavování otáček změnu charakteristiky čerpadla a stále prizpůsobení výkonu čerpadla potřebám systému. Při lineárním zvyšování průtoku se odpor systému (potrubní charakteristika) zvyšuje kvadraticky. Odstředivé čerpadlo se chová obdobně. Při lineárním vzestupu průtoku a lineárním zvyšování počtu otáček roste výsledná dopravní výška rovněž kvadraticky. Využitím těchto zákonitostí se dosahuje široký pracovní rozsah s již relativně malými změnami otáček. Podle zákona podobnosti platí pro odstředivá čerpadla následující závislosti (viz obr. 9):

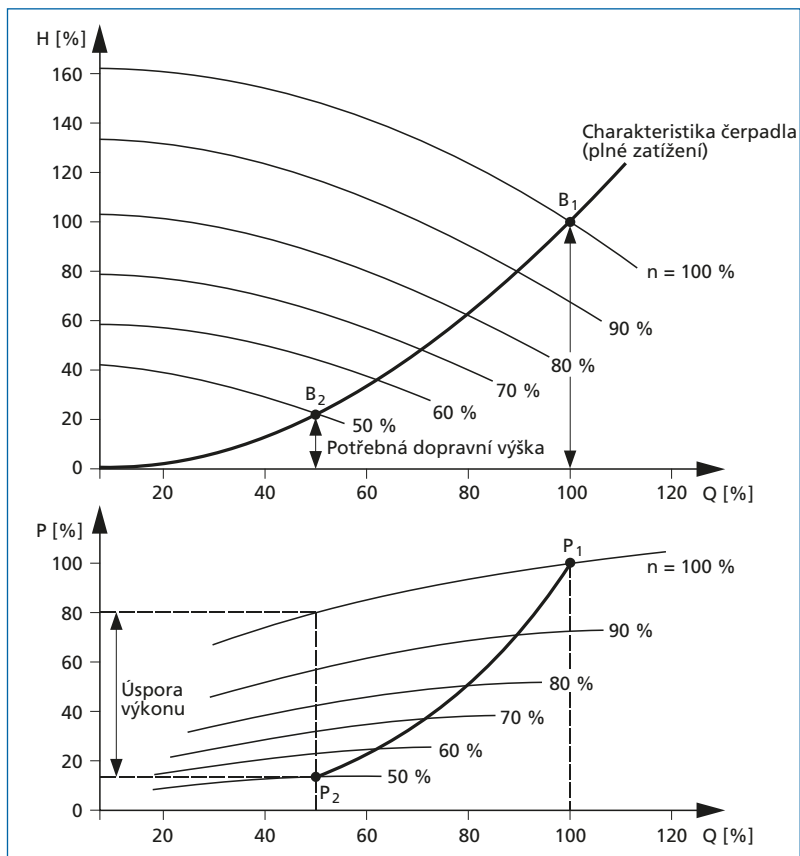
Průtok	$Q_2 = Q_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)$
Dopravní výška	$H_2 = H_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$
Příkon	$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$

### Reálné systémy

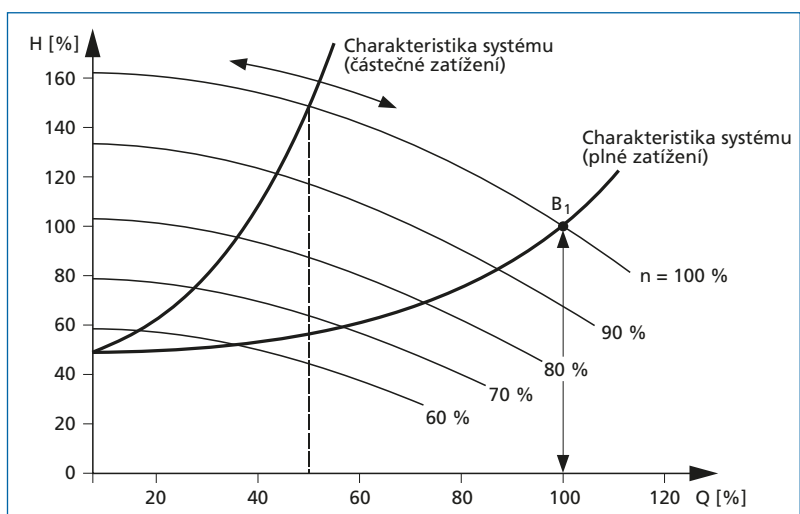
V praxi se běžně vyskytují systémy, u kterých se charakteristika spotřeby (příkonu) projevuje proměnným škracením nebo proměnnými směšovacími postupy.

### Hodnocení

- + zamezení nadbytku tlaku
- + pozvolný rozběh čerpadla pomocí měniče frekvence
- + viz rovněž kapitola 4
- + šetření (snížení opotřebení) mechanických konstrukčních částí
- + redukce hydraulického zpětného účinku
- + úspora výkonu
- + nízké zatížení sítě v důsledku redukováných rozběhových proudů
- + nízké náklady za cyklus životnosti
- vyšší náklady na regulační techniku



Obr. 9

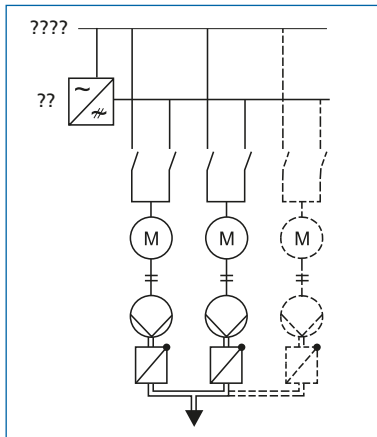


Obr. 10: Provoz čerpadla s nastavitelnými otáčkami pro různé charakteristiky systému

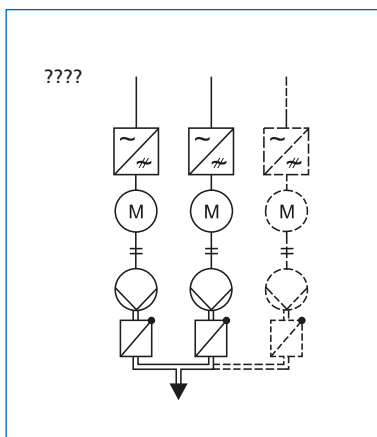
## Prizpůsobení průtoku kombinací paralelního zapojení a regulace čerpadel

Rozdělení průtoku mezi více čerpadel přichází k uplatnění vždy v případě silně kolísající spotřeby ve spojení s následujícími požadavky:

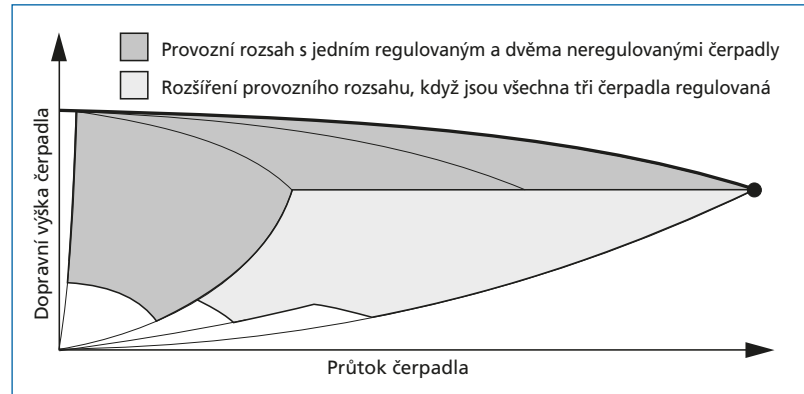
- Minimalizace příkonů
- Snížení investičních nákladů
- Dodržování minimálního průtoku čerpadla



Obr. 12: Regulované čerpadlo



Obr. 13: Několik regulovaných čerpadel



Obr. 11

První hrubé přizpůsobení výkonu čerpadla potřebám systému se uskuteční paralelním provozem.

Jemné přizpůsobení se uskuteční plynulou regulací otáček jednoho nebo několika odstředivých čerpadel.

### Hodnocení regulovaného čerpadla

- |  |   |
|--|---|
| + široký rozsah regulace s ohledem na přizpůsobení průtoku (s omezením rozpětí pásma dopravních výšek) | + snížené náklady na energii pohonu             |
| + vysoká kvalita regulace  | + možné střídání regulovaných čerpadel          |
| + redundance na straně čerpadla  | - omezené použití při kolísání sacího tlaku     |
| + snížená četnost spínání  | - omezený pracovní rozsah v regulovaném provozu |
| + snížené mechanické zatížení  | - středně vysoké pořizovací náklady             |
| + snížené hydraulické zpětné působení  |   |

### Hodnocení většího počtu regulovaných čerpadel

- |  |  |
|--|--|
| + zvětšený regulační rozsah vzhledem k průtoku a přizpůsobení dopravní výšky | + silně redukováná četnost spínání                       |
| + použití při velkém kolísání vstupního tlaku                                | + silně redukováné mechanické zatížení                   |
| + nízká spotřeba energie nejlepším možným využitím tlaku na přívodu          | + silně redukováné hydraulické zpětné působení           |
| + možné velké změny v rozsahu žádané hodnoty                                 | + nízké energetické náklady                              |
| + nejvyšší kvalita regulace  | + příznivější připojovací tarif                          |
| + plná redundance (čerpadla a měniče frekvence)                              | + možné střídání čerpadel bez ovlivnění kvality regulace |
|  | - vysoké pořizovací náklady                              |

## 1.1.3

**Přepočet charakteristiky při proměnném počtu otáček**

U stejného čerpadla a dopravované kapaliny se mění dopravní data odstředivého čerpadla při proměnném počtu otáček podle následujících modelových/afinitních zákonů:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Rovnice 1

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$$

Rovnice 2

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

Rovnice 3

V následujícím je jako příklad uveden výpočet charakteristiky pro paralelní provoz dvou čerpadel (jedno čerpadlo s plynulým nastavováním otáček, druhé se stabilním počtem otáček).

Pro zjednodušení se vychází z uzavřeného okruhu bez statického protitlaku. S uvedenými výpočetními metodami může uživatel řešit případy systému s jedním čerpadlem nebo s více čerpadly. Pro hlubší porozumění hydraulické souhry mezi charakteristikou čerpadla a charakteristikou systému se doporučuje samostatně propočítat několik případů podle uvedeného vzoru. Pro každodenní využívání je možné pro výpočet použít pohodlné programy pro zpracování dat.

Dále uvedené výpočetní postupy mají za cíl výpočet pole charakteristik čerpadla se všemi důležitými charakteristikami.

- Potrubní charakteristika (charakteristika systému)
- Regulační křivka
- Charakteristika čerpadla (jmenovité otáčky)
- Afinitní paraboly
- Charakteristika čerpadla (pro snížené otáčky)
- Charakteristiky čerpadel v paralelním provozu
- Výkonové charakteristiky, neregulované, regulované pro provoz jednoho čerpadla a pro paralelní provoz

Tyto výsledky jsou základem pro případné provedení výpočtu hospodárnosti provozu.

V dalším výpočetním postupu je účelné odvodit rovnici vyjadřující vztah mezi dopravní výškou a průtokem. K tomu účelu se rovnice 1 umocní a dosadí do rovnice 2 (rovnice 4).

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$$

Rovnice 4

Opakovanou změnou získáme rovnici 5.

$$H_1 = H_2 \cdot \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2$$

Rovnice 5

Touto rovnicí je možné v diagramu Q/H vypočítat parabolu druhého stupně, vedenou z počátku ( $Q = 0, H = 0$ ) a procházející bodem  $B_2 (H_2, Q_2)$ . Hodnoty veličin  $H_2$  do  $Q_2$  jsou známy, protože parabola má tento bod protínat.

$H_1$  a  $Q_1$  jsou neznámé a jsou proto dále označeny jako  $H_x$  a  $Q_x$ .

Průtok  $Q_x$  je podle požadované přesnosti uveden pro více bodů na parabole a hodnota  $H_x$  je vypočtena podle odvozené rovnice.

Dvojice hodnot  $Q_x$  a  $H_x$  jsou pro lepší přehled sestaveny do tabulky.

Legenda:

B:	Provozní bod
H:	Dopravní výška
Q:	Průtok
n:	Otáčky
P:	Příkon na hřídeli čerpadla
x:	Hledaná veličina

Indices:

N:	Jmenovitý
0:	Při nulovém průtoku
1; 2:	Čerpadlo 1; čerpadlo 1+2 paralelně
...':	Neregulovaný provoz
W:	Řídící veličina
Z:	Mezilehlé body

### Výpočet regulační křivky potrubní sítě podle rovnice 5

Charakteristika potrubní sítě probíhá v uzavřeném systému od nulového bodu až do provozního bodu  $B_N$  (plné zatížení).

$$H_x = H_N \cdot (Q_x / Q_N)^2$$

$$H_x = 100 \% \cdot (Q_x / 100 \%)^2$$

Zadáno	Hledáno
$Q_x$	$H_x$
25	6
50	25
75	56
110	121

#### Poznámka:

Charakteristiky potrubí/systému pro otevřené systémy se statickým protitlakem jsou vysvětleny v kapitole 1.2.5.

### Výpočet regulační křivky

Počátek křivky se malým rozšířením rovnice posune na výši žádané hodnoty (viz str. 27, obr. 55 a str. 50, obr. 77)

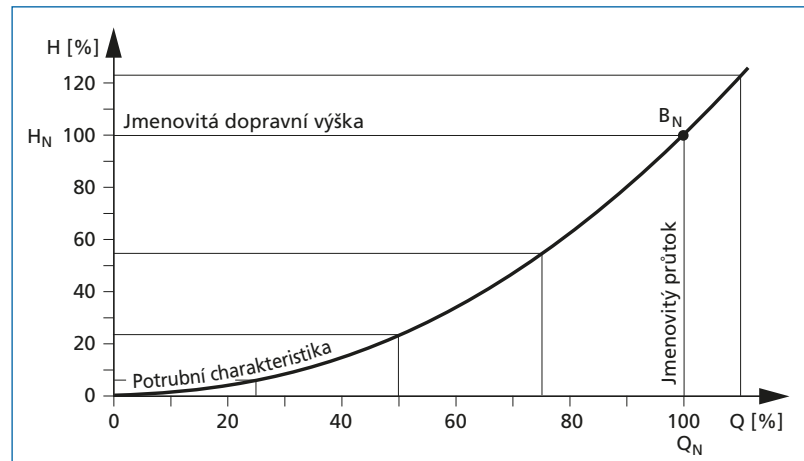
$$H_x = (H_N - H_W) \cdot (Q_x / Q_N)^2 + H_W$$

$$H_x = 35 \% \cdot (Q_x / 100 \%)^2 + 65 \%$$

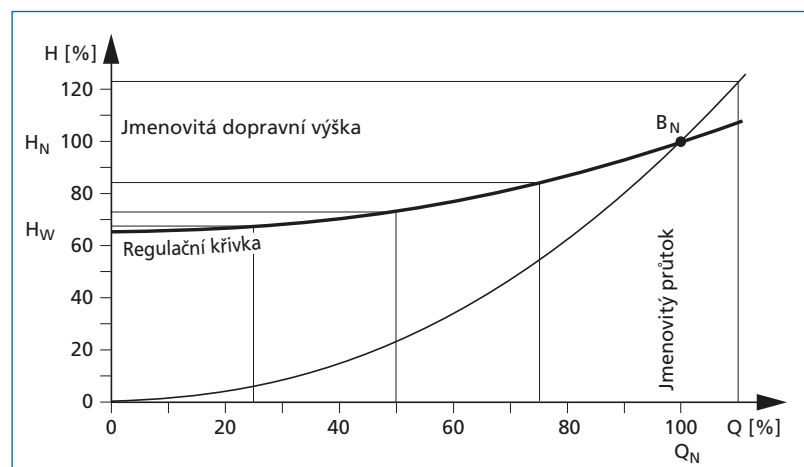
Zadáno	Hledáno
$Q_x$	$H_x$
25	67
50	74
75	85

Regulační křivka/parabola je teoretická charakteristika, po které se má pohybovat provozní bod.

Určuje, že od minimálního až po jmenovitý průtok je vždy k dispozici dostatečný dopravní



Obr. 14



Obr. 15

výška ke krytí aktuálních ztrát v potrubí a užitkového síťového tlaku na spotřebiči.

Hodnota  $H_W$  závisí na následujících ovlivňujících faktorech:

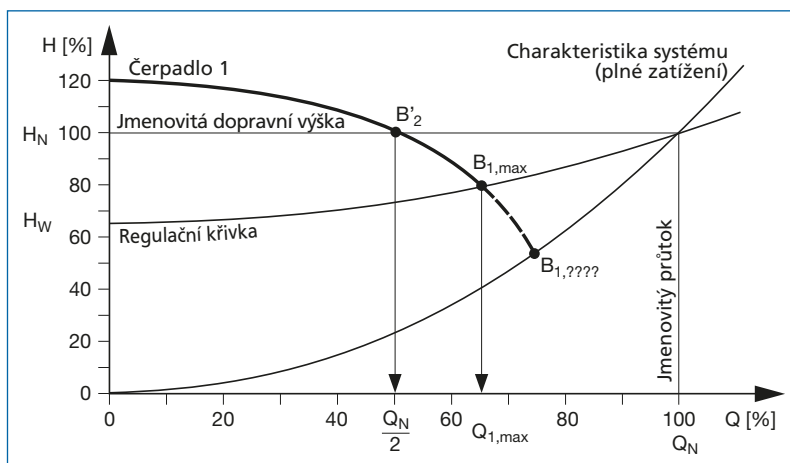
- provozní chování spotřebičů
- časově podobné nebo nezávislé chování zatížení
- Dimenzování systému

## Výběr čerpadla

Zvolí se takové čerpadlo, které při polovině jmenovitého průtoku dosáhne jmenovitou dopravní výškou ( $B'_2$ ).

Kromě toho musí charakteristika čerpadla alespoň protínat regulační křivku ( $B_{1,max}$ ) (viz kapitolu 1.1.1).

U systému se dvěma čerpadly (bez rezervního čerpadla) a výpadku jednoho čerpadla musí minimálně dojít k protnutí charakteristiky systému ( $B_{1,porucha}$ ), protože by zbývající čerpadlo bylo přetížené.



Obr. 16

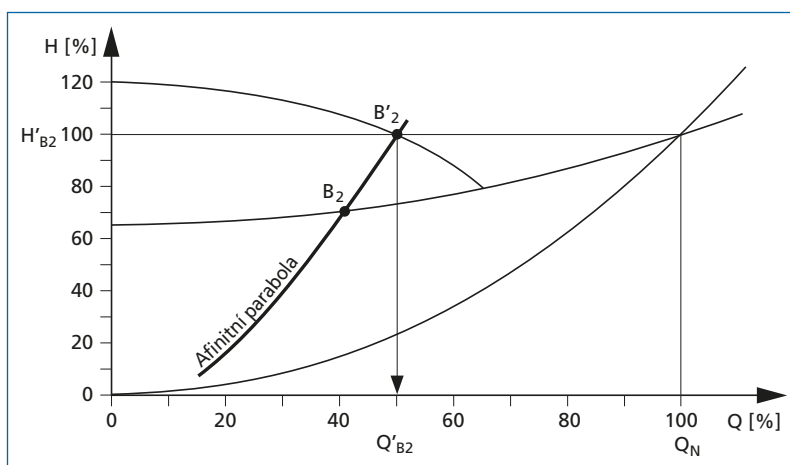
## Výpočet afinitní paraboly pomocí $B'_2$ ( $Q'_{B2}$ , $H'_{B2}$ )

Podle zákonů afinity se mění provozní bod  $B'_2$  snížením počtu otáček čerpadla podél afinitní paraboly. Na základě níže uvedené rovnice se zjistí průběh afinitní paraboly. Vyplývá z pracovního bodu  $B_2$  na regulační křivce.

$$H_x = H_N \cdot (Q_x / Q'_{B2})^2$$

$$H_x = 100 \% \cdot (Q_x / 50 \%)^2$$

Zadáno	Hledáno
$Q_x$	$H_x$
15	9
25	25
35	56



Obr. 17

### Výpočet afinní paraboly pomocí $B'_1$ ( $Q'_{B1}$ , $H'_{B1}$ )

Stejným výpočetním postupem jako v předešlém případě se zjistí další bod ( $B_1$ ) na regulační křivce.

V mnohých případech je smyslné volit bod  $B_1$  při polovičním průtoku čerpadla.

$$H_x = H'_{B1} \cdot (Q_x / Q'_{B1})^2$$

$$H_x = 115 \% \cdot (Q_x / 25 \%)^2$$

Zadáno	Hledáno
$Q_x$	$H_x$
10	18,4
15	41,4
20	73,6
25	115,0

### Charakteristika čerpadla pomocí $B_2$ s počtem otáček $n_2$

Přesné hodnoty lze rovněž určit výpočtem. Pro praktické využití plně postačí odečtené hodnoty.

Odečítáme:

$$Q_{B2} = 42 \% ; H_{B2} = 71 \%$$

Pomocí níže uvedených rovnic vypočteme napřed z poměrů dopravních výšek redukované otáčky pro pracovní bod  $B_2$ .

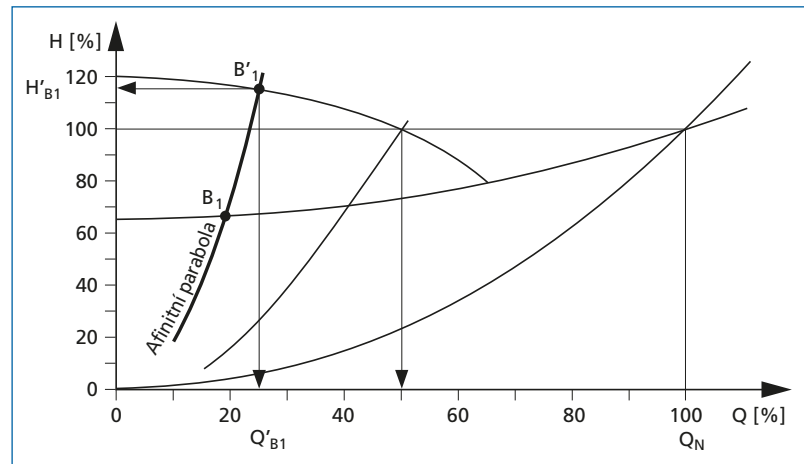
Otáčky pro  $B_2$ :

$$(Q_{B2} = 42 \%, H_{B2} = 71 \%)$$

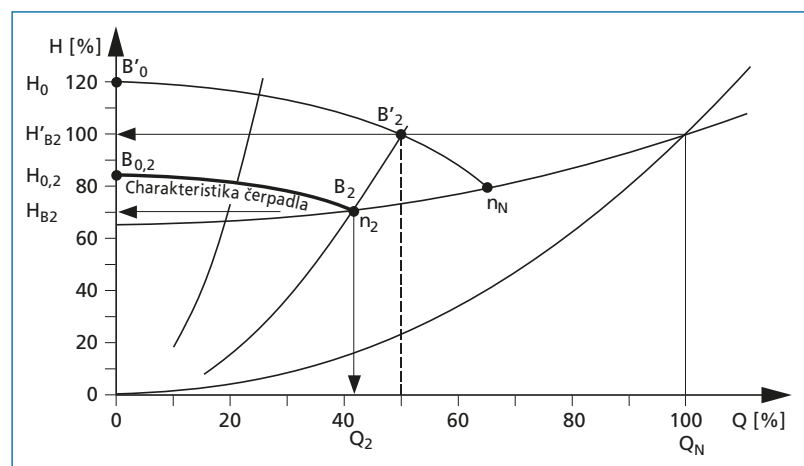
$$n_2 = n_N \cdot \sqrt{\frac{H_{B2}}{H'_{B2}}}$$

$$n_2 = 100 \cdot \sqrt{\frac{71 \%}{100 \%}} = 84 \%$$

Ve druhém kroku se pro tyto otáčky  $n_2$  vypočte dopravní výška v bodě s nulovým průtokem  $H_{0,2}$ . Tím je možno vy-



Obr. 18



Obr. 19

značit charakteristiku čerpadla s dostatečnou přesností.

Dopravní výška při

$$Q = 0 \text{ a } n = n_2$$

$$H_{0,2} = H_0 \cdot (n_2 / n_N)^2$$

$$H_{0,2} = 120 \% \cdot (84 \% / 100 \%)^2 = 85 \%$$

### Charakteristika čerpadla podle $B_1$ s počtem otáček $n_1$

Charakteristika čerpadla v pracovním bodu  $B_1$  se vypočte stejným postupem, jak bylo uvedeno dříve.

Otáčky pro  $B_1$ :  
( $Q_1 = 19 \%$ ,  $H_1 = 66 \%$ )

$$n_1 = n_N \cdot \sqrt{\frac{H_{B_1}}{H'_{B_1}}}$$

$$n_1 = 100 \cdot \sqrt{\frac{65\%}{115\%}} = 76 \%$$

Dopravní výška při  
 $Q = 0$  a  $n = n_1$

$$H_{0,1} = H_0 \cdot (n_1 / n_N)^2$$

$$H_{0,1} = 120\% \cdot (76\% / 100\%)^2 = 69\%$$

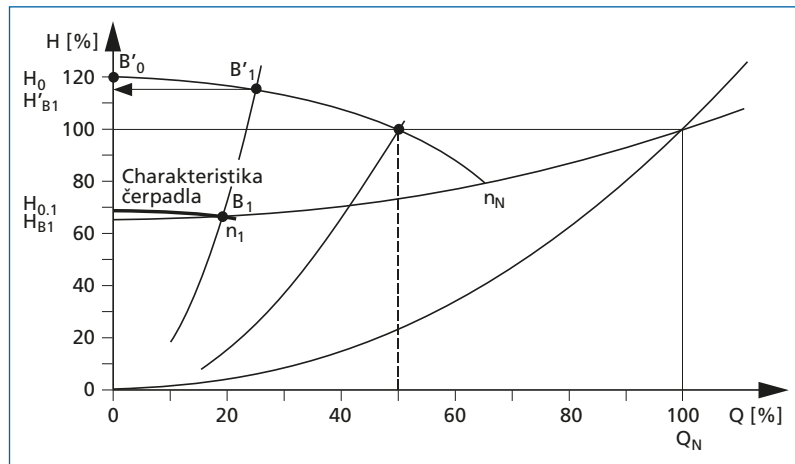
### Sčítání charakteristik čerpadla

Paralelní pracovní charakteristika se zjistí součtem průtoků obou jednotlivých charakteristik:

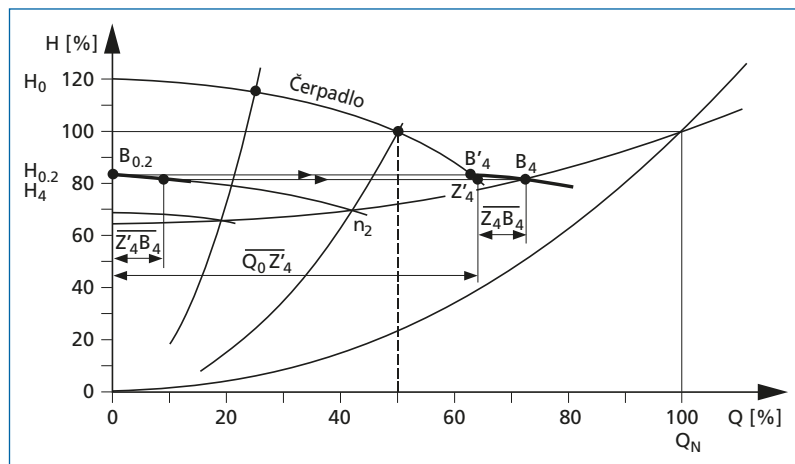
Čerpadlo 1, neregulované  
s jmenovitým  
počtem otáček  $n_N$

Čerpadlo 2, regulované  
s počtem otáček  $n_2$

Vycházejíc z nulové dopravní výšky  $H_0$  až do dopravní výšky  $H_{0,2}$  je průtok vytvářen jen čerpadlem 1. Čerpadlo 2 započne se svou činností v bodě  $B'_4$  se snižujícím se protitlakem. Průsečík součtové charakteristiky obou čerpadel s regulační charakteristikou je v bodě  $B_4$  při dopravní výšce  $H_4$ .



Obr. 20



Obr. 21

Na této tlakové úrovni je průtok čerpadla 1 od  $Q_0$  do  $Z'_4$  a průtok čerpadla 2 od  $Z'_4$  do  $B_4$ .

### Stanovení pomocných bodů a mezicharakteristik

#### a) Provozní bod $B_3$ s pomocným bodem $Z_3$

Protože provozní body  $B_N$  a  $B'_4$  leží relativně daleko od sebe, vloží se mezi ně dodatečný provozní bod  $B_3$ . Tento bod byl zvolen při  $Q_{B_3} = 85\%$  s příslušnou dopravní výškou  $H_{Z_3}$ . V tomto provozním bodu  $B_3$  dopravuje čerpadlo se sníženým počtem otáček průtok, který je znázorněn vzdáleností mezi body  $Z_3$  a  $B_3$ .

Ke konstrukci charakteristiky čerpadla se sníženým počtem

#### b) Výpočet afinitní paraboly pomocí $Z_3(Q_{Z_3}, H_{Z_3})$

Ke konstrukci mezicharakteristiky je potřebné přepočítat bod  $Z_3$  na jmenovité otáčky  $B_3$ . K tomu se proloží afinitní parabola bodem  $Z_3$ .

Odečteme:  $H_{Z_3} = 90\%$ .

$$H_x = H'_{Z_3} \cdot (Q_x / Q_{Z_3})^2$$

$$H_x = 90\% \cdot (Q_x / 26\%)^2$$

Zadáno	Hledáno
$Q_x$	$H_x$
20	53
30	120

#### c) Charakteristika čerpadla pomocí $B_3$ ( $Z_3$ ) s počtem otáček $n_3$

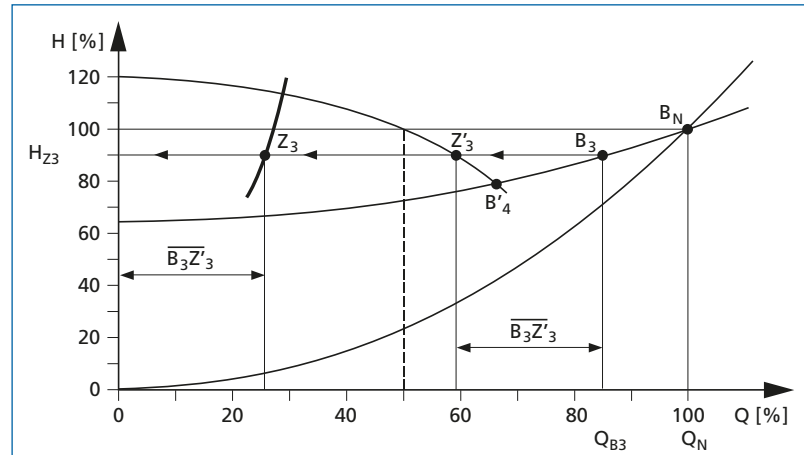
Stanovení počtu otáček při  $n_3$

$H'_{B_3} = 113\%$  (odečteno)

( $Q_{Z_3} = 26\%$ ,  $H_{Z_3} = 90\%$ )

$$n_3 = n_N \cdot \sqrt{\frac{H_{Z_3}}{H'_{B_3}}}$$

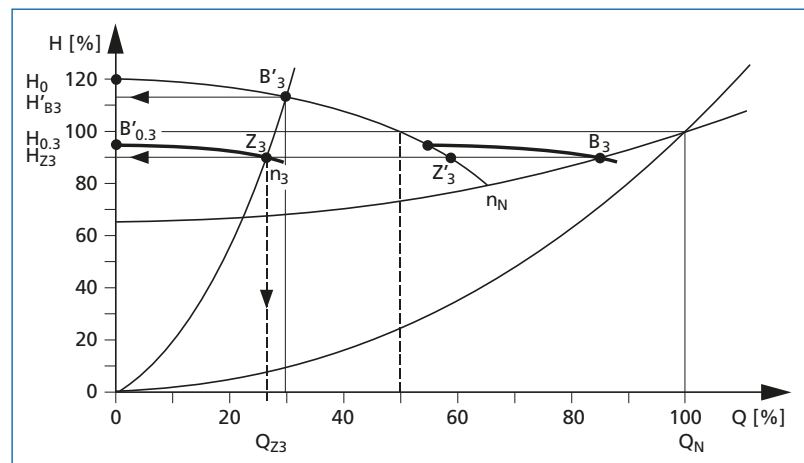
$$n_3 = 100 \cdot \sqrt{\frac{90\%}{113\%}} = 89\%$$



Obr. 22

otáček je tento úsek na dopravní výšce  $H_{Z_3}$  posunut až na počátek doleva. Konečný bod je  $Z_3$ .

Odečítáme:  
úsečka  $\overline{Z_3 B_3} = 26\%$ .



Obr. 23

Stanovení dopravní výšky při

$Q = 0$  a  $n = n_3$

$n_3$  (vypočteno)

$H_0$  (odečteno)

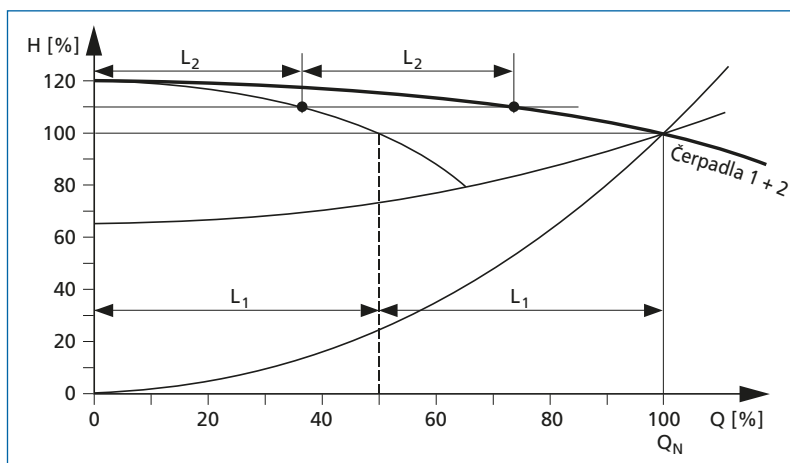
$$H_{0.3} = H_0 \cdot \left(\frac{n_3}{n_N}\right)^2$$

$$H_{0.3} = 120\% \cdot \left(\frac{89\%}{100\%}\right)^2 = 95\%$$

### Sčítání charakteristik stejně velkých čerpadel 1 a 2 při jmenovitém počtu otáček

Při dopravní výšce např. 100 % se změří úsečka až do průsečíku s charakterickou křivkou čerpadla 1 a stejná úsečka od průsečíku vpravo se odstraní.

Podle tohoto způsobu se podle požadované přesnosti stanoví další body součtové charakteristiky obou stejně velkých čerpadel 1 a 2.

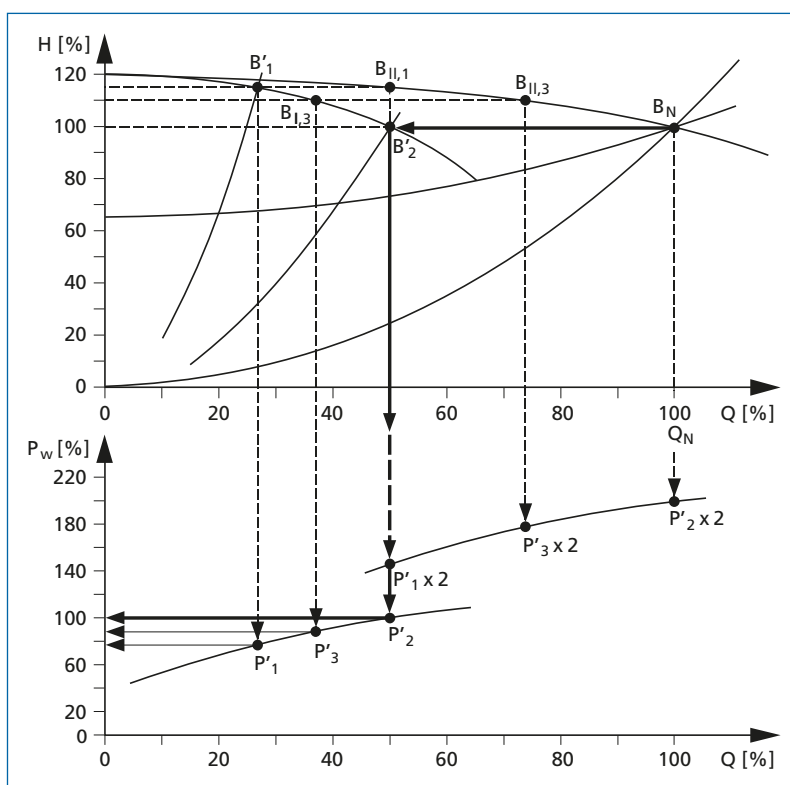


Obr. 24

### Příkon dvou paralelně provozovaných čerpadel při jmenovitém počtu otáček

Příkon jednoho čerpadla je považován za známý. Hledá se celkový příkon při paralelním provozu. V bodu  $B_N$  mají obě čerpadla vždy příkon  $P'_2$ . To znamená, že obě čerpadla odebírají dvojitý příkon  $P'_2 \times 2$ . Tímto postupem byly nalezeny body  $P'_3 \times 2$  a  $P'_1 \times 2$ .

$P_w$  = příkon na hřídeli



Obr. 25

### Příkon čerpadla 1 při regulačním provozu

Předcházejícím postupem byly zjištěny redukované otáčky. Protože příkon v neregulovaném provozu je známý, lze vypočítat aktuální příkon v regulačním provozu.

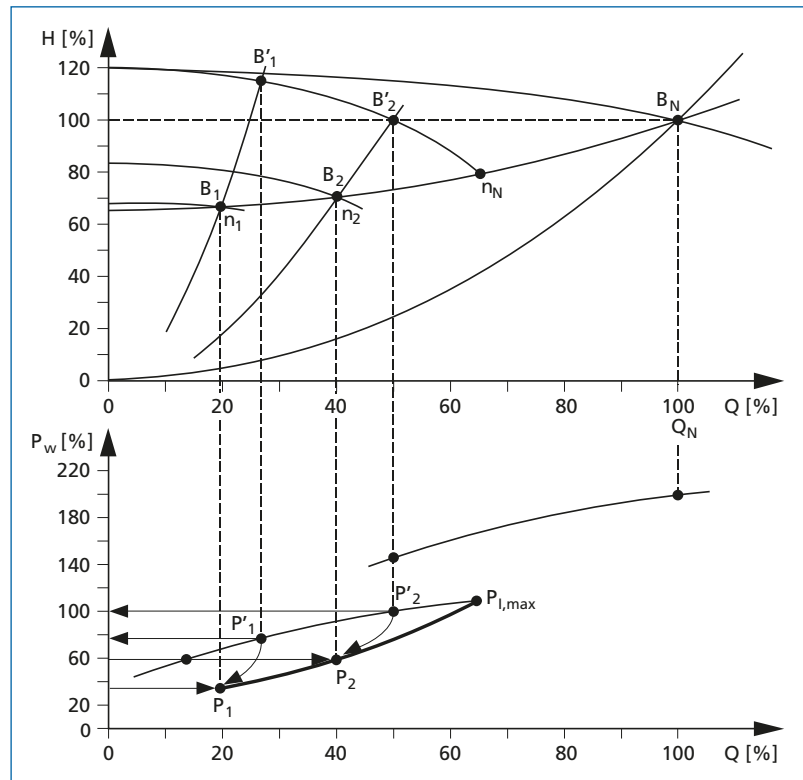
$$P_1 = P'_1 \cdot \left(\frac{n_1}{n_N}\right)^3$$

$$P_1 = 74 \% \cdot \left(\frac{76 \%}{100 \%}\right)^3 = 32.5 \%$$

$$P_2 = P'_2 \cdot \left(\frac{n_2}{n_N}\right)^3$$

$$P_2 = 100 \% \cdot \left(\frac{84 \%}{100 \%}\right)^3 = 59.3 \%$$

$P_{l,max}$  = Příkon jako neregulovaný, protože otáčky jsou 100 % =  $n_N$



Obr. 26

### Příkon v paralelním provozu

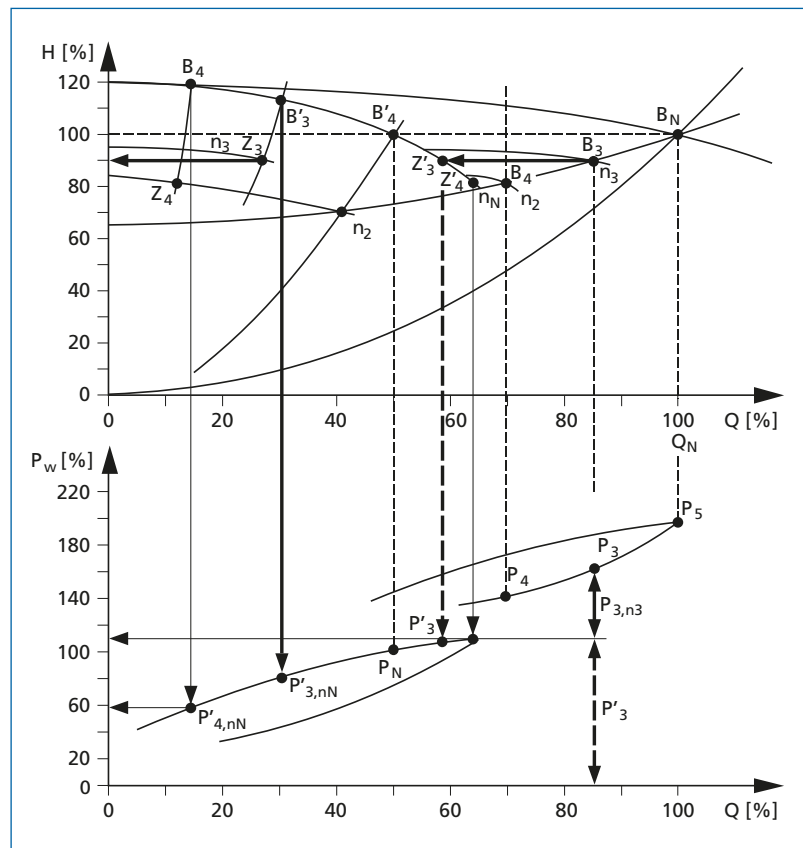
#### (Čerpadlo 1 s $n_N$ , čerpadlo 2 s proměnným $n$ )

Při postupu z bodu  $B_3$  vodorovně až do  $Z'_3$  a odtud kolmo dolů až k  $P'_3$ .  $P'_3$  je přítom příkon neregulovaného čerpadla.

$$P_3 = P'_3 + P_{3,n_3}$$

Ke stanovení dílčího příkonu regulovaného čerpadla  $P_{3,n_3}$  použijeme rovnici 3 (str. 8). Tak platí:

$$P_{3,n_3} = P'_{3,n_N} \cdot \left(\frac{n_3}{n_N}\right)^3$$



Obr. 27

Další body se zjistí podle stejného schématu:

$$P_3 = P'_3 + P'_{3,n_N} \cdot \left(\frac{n_3}{n_N}\right)^3$$

$$P_3 = 108 \% + 80 \% \cdot \left(\frac{89 \%}{100 \%}\right)^3$$

$$P_3 = 164.4 \%$$

$$P_4 = P'_4 + P'_{4,n_2}$$

$$P_4 = P'_4 + P'_{4,n_N} \cdot \left(\frac{n_4}{n_N}\right)^3$$

$$P_4 = 112 \% + 52 \% \cdot \left(\frac{84 \%}{100 \%}\right)^3$$

$$P_4 = 143 \%$$

$$P_5 = 2 \cdot P_N = 2 \cdot 100 \% = 200 \%$$

### Minimální žádaná hodnota při paralelním provozu stávajících čerpadel

Při daném maximálním průtoku čerpadel (Pozor: rezerva výkonu motoru) je možné vypočítat minimální nastavitelnou žádanou hodnotu následujícím postupem:

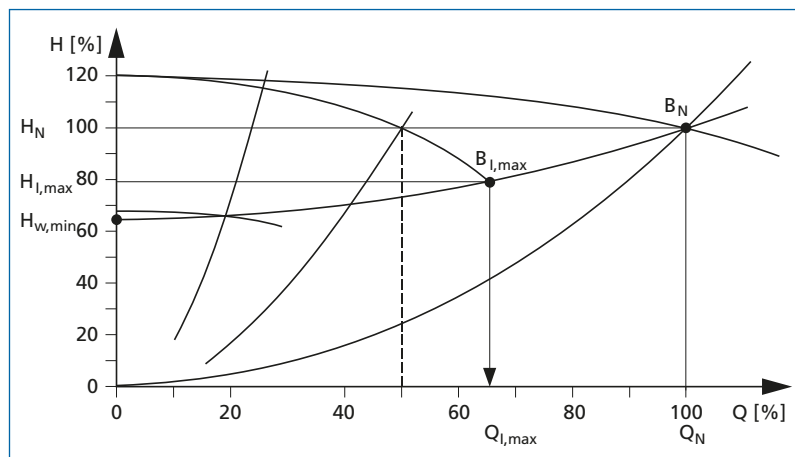
$$H_{w,\min} = H_N - \left(\frac{H_N - H_{l,\max}}{Q_N^2 - Q_{l,\max}^2}\right) \cdot Q_N^2$$

$$H_{w,\min} = 100 \% - \left(\frac{100 \% - 80 \%}{100 \%^2 - 65 \%^2}\right) \cdot 100 \%$$

$$H_{w,\min} = 65 \%$$

### Poznámky: Příkon při změně počtu otáček

Při změně počtu otáček se body škrťací křivky na parabolách druhého stupně přesouvají na jinou škrťací křivku.



Obr. 28

Při snížení počtu otáček o méně než 20 % jmenovitého počtu otáček zůstávají účinnosti téměř konstantní. Při větších odchylkách se účinnost o něco málo zhoršuje. Protože se příkon čerpadla při snižujícím se počtu

otáček snižuje s 3. mocninou, nepřipadá snížení účinnosti v úvahu. V propočítaném příkladu nebyla provedena oprava na účinnost.

### 1.1.4

#### Výpočet hospodárnosti systémů s plynulým nastavováním otáček s měničem frekvence

Jak je možné dokázat užitečnost regulačních systémů čerpadel? Pro provedení důkazu je třeba znát ovlivňující faktory a jejich význam. Pro hospodárnost

#### Vlivy prostřednictvím provedení systému

Provozní bod odstředivého čerpadla je vždy průsečíkem charakteristiky systému s charakteristikou čerpadla. Všechny způsoby regulace mění proto buď charakteristiku čerpadla nebo charakteristiku systému.

Charakteristika systému označuje potřebu tlaku v systému v závislosti na průtoku.

#### Vlivy způsobené dočasným zatížením systému

Průtok  $Q$  systému s odstředivým čerpadlem může v krajním případě kolísat mezi maximální hodnotou a nulou. Pokud se potřeba průtoku během jednoho roku řadí podle velikosti, vznikne uspořádaná roční křivka. Přesný průběh této roční křivky je závislý na daném systému a může se rok od roku lišit.

Na vedlejším obrázku jsou zakresleny dvě možné křivky. Čím delší je provozní doba a čím menší je plocha pod roční křivkou, tím větší je možný úsporný potenciál.

čerpacího systému s ohledem na používaný dopravní výkon to jsou:

1. Provedení systému
2. Časové rozložení zatížení systému
3. Čerpadlo
4. Příkon čerpadla odebíraný z elektrické sítě

Obsahuje vždy dynamické podíly, které působením odporů v proudění narůstají kvadraticky s průtokem – jako např. u cirkulačních systémů (topení).

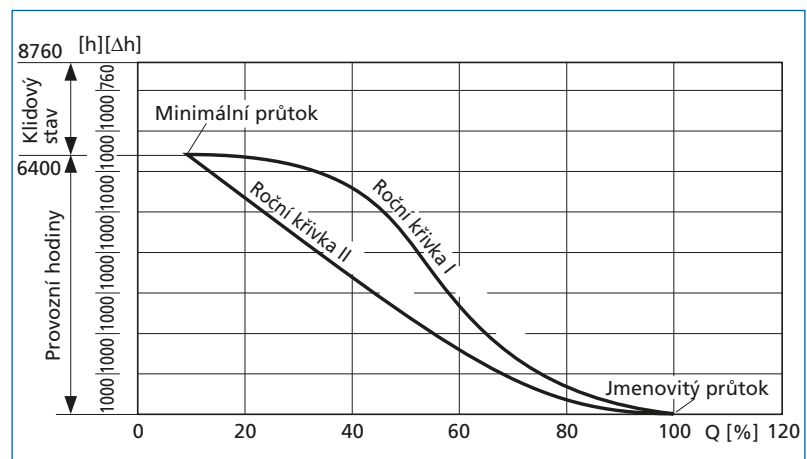
Může však obsahovat i dočasné statické podíly, jako geodetické výškové rozdíly nebo jinými příčinami způsobené rozdíly tlaků – např. v dopravních systémech (zvýšení tlaku). V cirkulačních systémech neobsahuje charakteristika systému žádné statické podíly,

Následující vývody ukazují dopodrobna způsob, jak jednotlivé faktory působí.

začíná tedy v počátku ( $H = 0$ ).

Aby proto v praxi nedošlo u spotřebičů k nedostatečnému zásobování, leží potřebný průběh tlaku nad charakteristikou systému. Jeho přesný průběh je vždy závislý na daném systému.

Regulační křivka, na které se bude nakonec provozní bod posunovat, musí proto ležet na nebo nad požadovaným průběhem tlaku.



Obr. 29:

*Zátěžový profil (příklad): Čerpadlo je dimenzováno na 100% průtok. Takový výkon je však během roku zřídka kdy potřebný. Většinu času se vyžaduje menší průtok. Pro úspory příkonu čerpadla regulační systém automaticky přizpůsobuje otáčky čerpadla podle dané potřeby systému.*

## Vlivy čerpadla

Čerpadlo může hospodárnost regulace ovlivňovat různým způsobem: průběhem své charakteristiky, rozdílnou velikostí potřebných motorů a na konstrukčním uspořádáním čerpadla. Průběh výkonu na hřídeli čerpadla závisí na zvyšování

## Příkon čerpadla odebíraný z elektrické sítě

Kapitola 1.1.3 pojednávala o rozdílných výkonech na hřídeli čerpadla. Pokud je ale třeba přesně stanovit uspořenoou elektrickou energii pohonu, jsou důležité ještě následující souvislosti:

### Neregulovaný příkon ( $P_{E,u}$ )

Příkon v neregulovaném provozu se proti výkonu na hřídeli čerpadla ( $P_{E,u}$ ) zvyšuje o ztrátový výkon motoru.

### Regulovaný příkon ( $P_{E,g}$ )

Příkon v regulovaném provozu je určen výkonem na hřídeli čerpadla  $P_{W,g}$  plus ztrátový výkon měniče frekvence plus ztrátový výkon motoru (v závislosti na typu měniče frekvence se může ztrátový výkon motoru nepatrně zvýšit).

Dodatečné ztráty vznikající regulací provozu jsou zanedbatelné, protože vzniká úspora příkonu při podkročení průtoku ve výši cca 95 % oproti neregulovanému provozu (viz obr. 30).

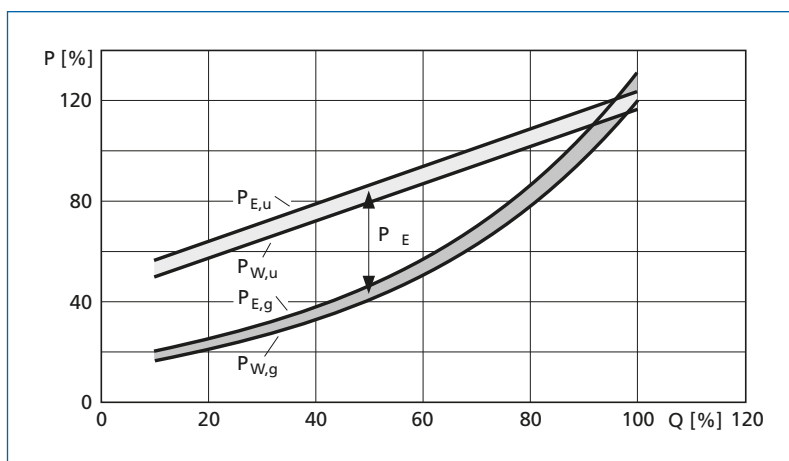
Pro praktické využití není třeba detailně určovat příkon. Plně dostačuje počítat s danými výkony na hřídeli. To lze

dopravní výšky a průběhu účinnosti čerpadla. Obecně platí: Čím příkřejší charakteristika čerpadla, tím plošší je charakteristika výkonu.

Konstrukční velikost motoru čerpacího agregátu má vliv proto, že poměr mezi investicí a velikosti motoru (Euro/kW) se

podle zkušeností vždy zmenšuje se zvyšujícím se výkonem.

U systému s více čerpadly (jako v našem příkladu se 2 provozními čerpadly) se uskutečňuje výpočet hospodárnosti podle stejného schématu, které je popisováno dále.



Obr. 30:

### Uspořené příkon

Na obrázku znázorňují šrafované plochy, že absolutní elektrické ztrátové výkony jsou v neregulovaném a regulovaném provozu skoro stejné. Přiměřeně vyšší ztráty při plynulé regulaci čerpadla při plném zatížení budou vyrovnávány při provozu s částečným zatížením.

zdůvodnit tím, že, jak je uvedeno na obr. 30, jsou absolutní elektrické ztrátové výkony na hřídeli v regulovaném a neregulovaném provozu skoro stejné.

### Legenda:

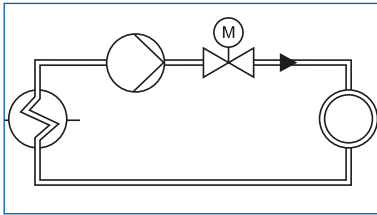
$P_W$	= výkon na hřídeli
$P_E$	= příkon
u	= neregulovaný
g	= regulovaný
$\Delta P_E$	= uspořené příkon

## Porovnání tří systémů s a bez regulace čerpadel

Na následujících stránkách jsou porovnávány systémy s regulací čerpadel a bez ní:

- Podle diagramu Q/H

### 1) Škrťací zapojení s/bez regulace čerpadla



Obr. 31

### Diagram: Dopravní výkon Q/H

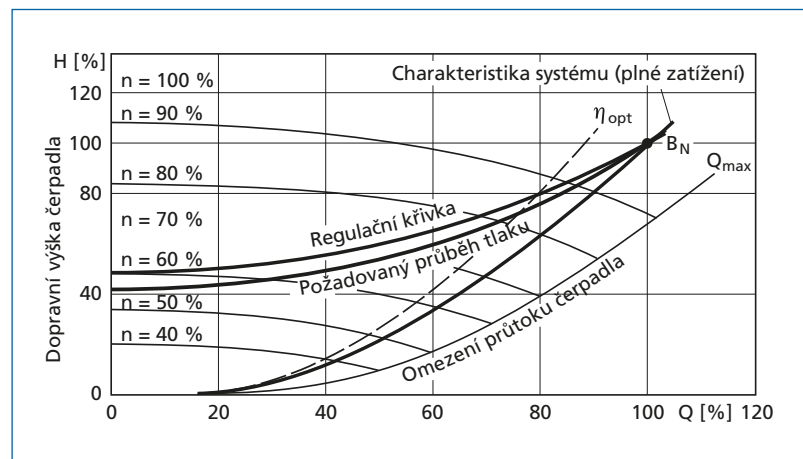
Jmenovitý průtok, jmenovitá dopravní výška a jmenovité otáčky jsou vždy označeny jako 100 %. Charakteristika čerpadla je pro více počtů otáček vyznačena v 10% krocích od jmenovitého počtu otáček směrem dolů. Charakteristika systému začíná v počátku diagramu Q/H, protože se jedná o uzavřený systém, jehož průběh odpovídá parabolické křivce. Vzestup parabolické křivky systému je závislý na ztrátách v potrubí a tím také na škrťacích postupech spotřebičů. Čerpadlem dovolené kolísání charakteristiky systému je ohraničené minimálním a maximálním průtokem.

Potřebný průběh tlaku leží v praxi nad charakteristikou systému. Aby na straně spotřebiče nedošlo nedostatečnému zásobování, musí být tlak čerpadla vždy nad touto křivkou. Z hydraulických a energetických

- Podle křivek příkonu
- Podle diagramu úspor

U sledovaných systémů se jedná o uzavřené cirkulační systémy. Provedené úvahy a výpovědi se však beze všeho nechají aplikovat

na otevřené dopravní systémy, jako jsou např. systémy na zásobování vodou nebo na kanalizační systémy.



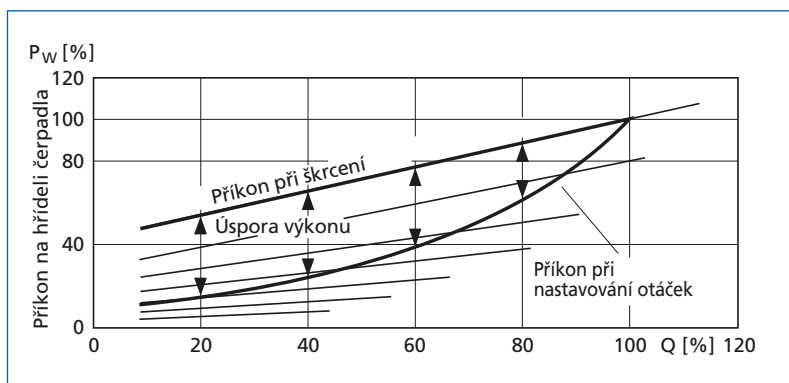
Obr. 32

důvodů by měl ležet tlak čerpadla v těsné blízkosti této hranice. To znamená, že regulační křivka, na které se pohybuje provozní bod (průsečík charakteristiky systému a charakteristiky čerpadla při daném počtu otáček), by měla ležet pokud možno co nejnižší nad potřebným průběhem tlaku.

### Diagram: Příkon

Analogicky k diagramu Q/H se při jmenovitém průtoku a jmenovitém počtu otáček příkon vždy označuje jako 100 %. V souladu s charakteristikami čerpadla jsou příkony vyznačeny po 10% krocích.

Posune-li se provozní bod z dimenzovaného bodu na regulační křivce k nižšímu průtoku, je možné lehce zjistit příslušný výkon na hřídeli čerpadla. Průsečík regulační křivky s příslušnou charakteristikou čerpadla se tím v diagramu Q/H posouvá směrem dolů, dokud ve výkonovém diagramu neprotne výkonovou křivku, odpovídající počtu otáček. Stejně se po-



Obr. 33

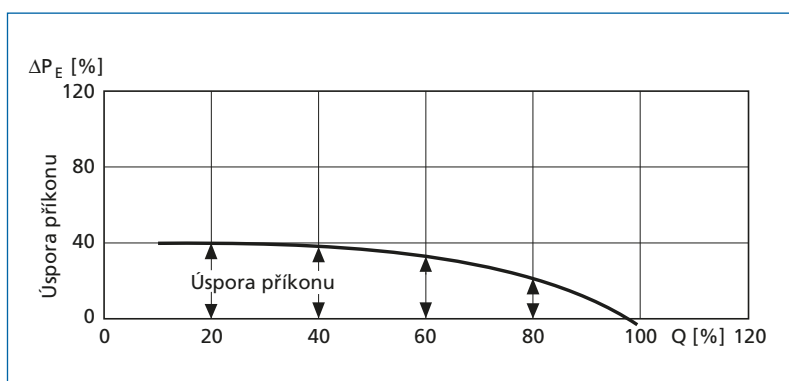
stupuje se všemi ostatními průsečíky.

Ve výkonovém diagramu je pak možné propojit všechny průsečíky a stanovit tak příkon na hřídeli při změně počtu otáček. Mezi touto křivkou

a křivkou pro příkon při škrcení a při konstantním počtu otáček leží úspory výkonu na hřídeli, dosahované přizpůsobením počtu otáček.

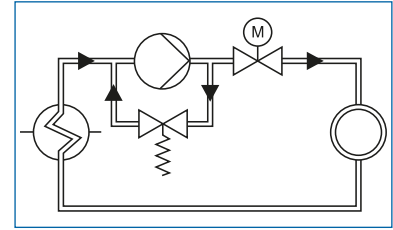
### Diagram: Úspora

Nyní se přeneseme úspora zjištěná z výkonového diagramu. Účinnosti motoru při neregulovaném provozu, resp. při regulovaném provozu současně s účinností měniče frekvence jsou v tomto diagramu již zohledněny. Při jmenovitém průtoku je úspora samozřejmě téměř nulová, resp. dokonce záporná, ale při sníženém průtoku značně stoupá.



Obr. 34

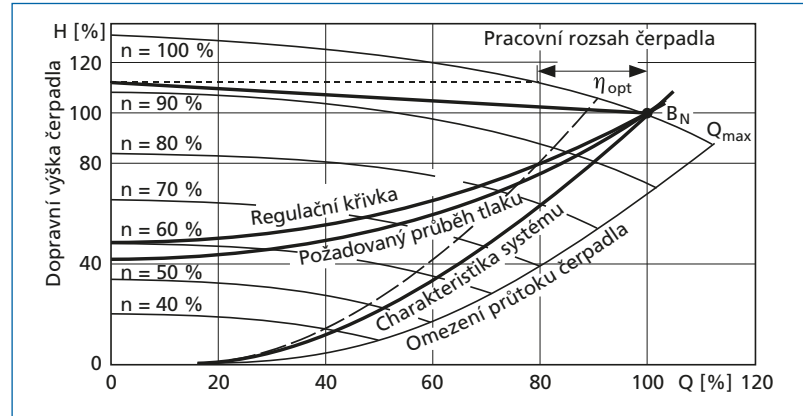
## 2) Škrťací zapojení s vestavěným přepouštěcím ventilem s/bez regulace čerpadla



Obr. 35

### Diagram: Dopravní výkon Q/H

Jmenovitý průtok, jmenovitá dopravní výška a jmenovité otáčky jsou vždy označeny jako 100 %. Charakteristika čerpadla je pro více hodnot otáček vyznačena v 10% krocích od jmenovitého počtu otáček směrem dolů. Charakteristika systému začíná v počátku diagramu Q/H, protože se jedná o systém uzavřený, jehož průběh je parabolický a má při plně otevřených spotřebičích procházet dimenzovaným bodem (100 %). Je-li průtok škrťcen spotřebiči, otevře se přepouštěcí ventil a povolí odtok nepotřebného dopravovaného



Obr. 36

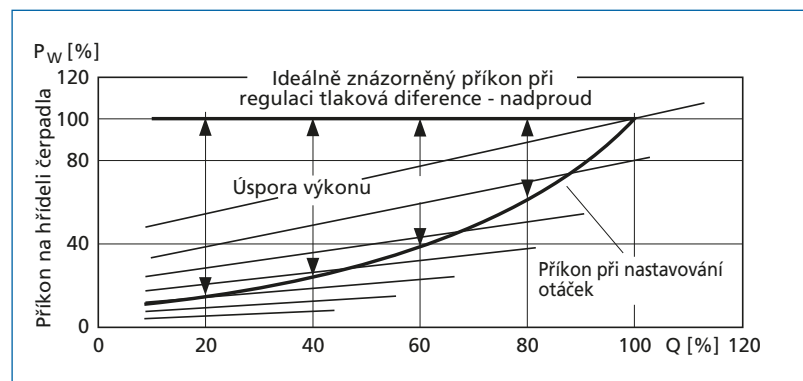
media. Pro čerpadlo to znamená, že pracuje téměř neustále blízko plného výkonu. Bez přizpůsobení počtu otáček je možný vzestup tlaku na charak-

teristice čerpadla ohraničen přepouštěcím ventilem – s velkou nevýhodou, že se téměř neustále promrhá příliš mnoho energie pro pohon.

### Diagram: Příkon čerpadla

Také v tomto případě je příkon pro dimenzovaný provozní bod roven 100 %. Přepouštěcím ventilem podmíněný relativně úzký pracovní rozsah čerpadla vede u neregulovaného čerpadla k téměř konstantnímu příkonu. U regulovaného čerpadla může být obtok s přepouštěním ponechán uzavřený, musí však být zajištěn minimální průtok čerpadla.

Příkon při přizpůsobení počtu otáček se zjistí stejně jako u čistého škrťcení. To znamená, že průsečíky regulační křivky s příslušnou charakteristikou čerpadla budou v diagramu Q/H spouštěny dolů, dokud se



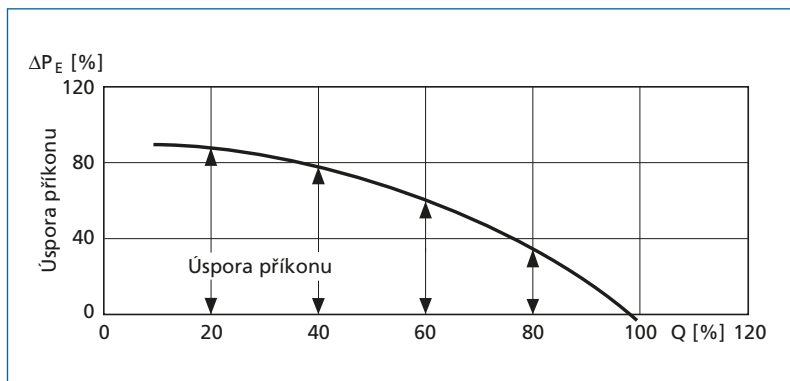
Obr. 37

v příkonovém diagramu neprotou s příslušnou příkonovou křivkou (při stejném počtu otáček). Spojením se získá odbíraný výkon na hřídeli při přizpůsobeném počtu otáček. Úspory výkonu představují

rozdíl mezi vodorovnou charakteristikou neregulovaného příkonu a křivkou příkonu na hřídeli při regulovaném provozu.

**Diagram: Úspora**

Tyto příkonové úspory je možné ukázat na vlastním diagramu. Zde se jasně ukazuje, že v systému s regulací a s přepouštěcím ventilem je potenciál úspor podstatně vyšší než při čistém škrcení.



Obr. 38

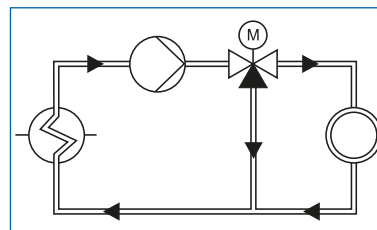
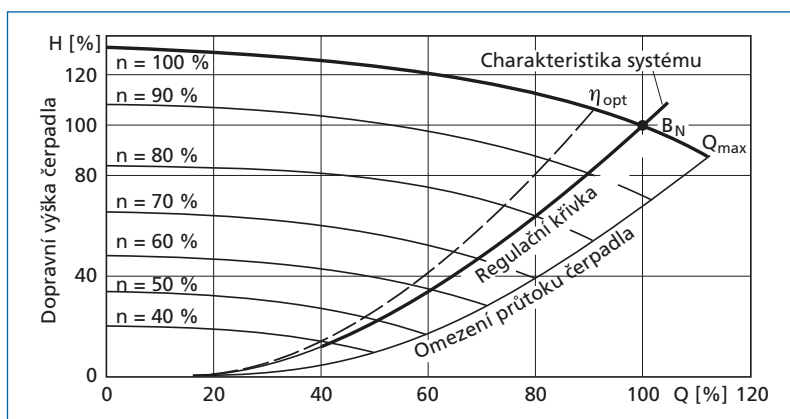
**3) Obtok s přepouštěním s/bez regulace čerpadla**

Fig. 39

**Diagram: Dopravní výkon Q/H**

Jmenovitý průtok, jmenovitá dopravní výška a jmenovitá otáčky jsou vždy propočteny na 100 %. Charakteristika čerpadla je pro více hodnot otáček vyznačena v 10% krocích od jmenovitého počtu otáček směrem dolů. Charakteristika systému začíná v počátku diagramu Q/H, protože se jedná o uzavřený systém. Její průběh je parabolický. Průtok od čerpadla se dělí na užitečný průtok a průtok přepouštěcím obtokem. Oba průtoky mohou kolísat v rozsahu 0 – 100 %, ale v součtu činí vždy 100 %. To znamená, že charakteristika systému je pro čerpadlo vždy konstantní a provozní bod čerpadla leží vždy na dimenzovaném provozním bodu. Přizpůsobí-li se otáčky čerpadla potřebě systému, posunuje se provozní bod při provozu s částečným za-



Obr. 40

tížením na charakteristice systému směrem dolů.

Poznámka:

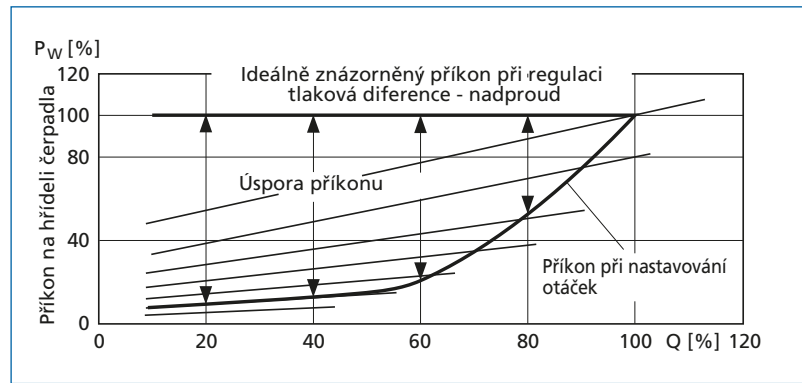
U tohoto hydraulického systému je (diferenční) tlak jako jediná regulační veličina nepoužitelný. V takovém případě se reguluje např. v závislosti na teplotním rozdílu.

### Diagram: Příkon

Příkon v dimenzovaném provozním bodu odpovídá 100 %. Pokud nedojde k nastavování otáček, zůstává v celém rozsahu průtoku příkon konstantní.

Příkon se při změně nastavení otáček zjistí posunem průsečíků regulační křivky (zde se rovná charakteristice systému) s křivkami čerpadla při různých otáčkách směrem dolů.

Propojením průsečíků se získá příkon na hřídeli při přizpůsobení počtu otáček.

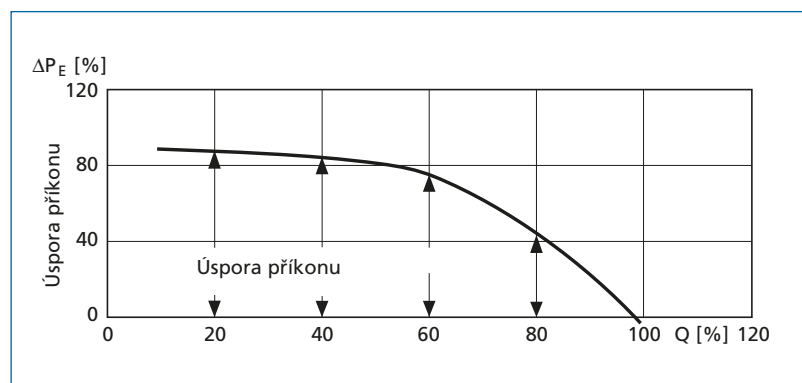


Obr. 41

Úspory příkonu kolísají mezi jmenovitým výkonem a přeji-maným příkonem při minimálním počtu otáček.

### Diagram Úspora

Úspory mezi neregulovanou a regulovanou charakteristikou výkonu na hřídeli jsou zřetelně patrné na diagramu úspor. Možný potenciál energetických úspor je ze tří zde představených systémů v tomto případě největší.

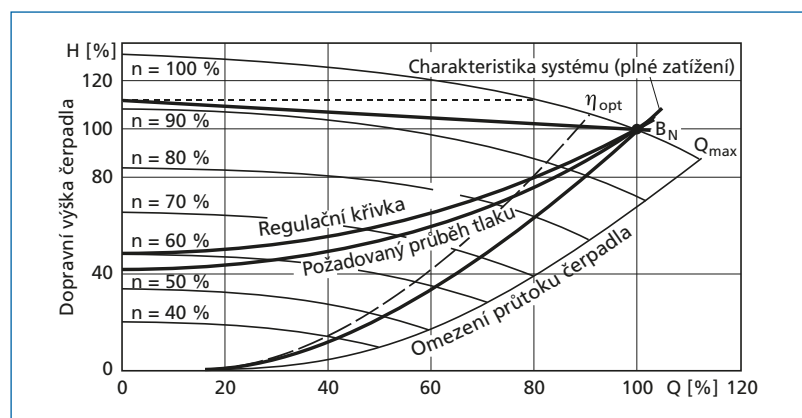


Obr. 42

### Výpočet hospodárnosti

#### Porovnání: Zapojení škrcení s a bez plynulé regulace čerpadla

Základem je zde diagram Q/H (obr. 43), výkonnostní diagram (obr. 44) pro příkon na hřídeli čerpadla, diagram pro úsporu příkonu (obr. 45) a zátěžový profil (obr. 46)1). Proud je uvažován v ceně 0,10 Euro/kWh. Roční křivka je z důvodu lepšího vyhodnocení přeměněna na pravoúhlé bloky. Uvažuje se vždy průměrný průtok za 1000 provozních hodin.



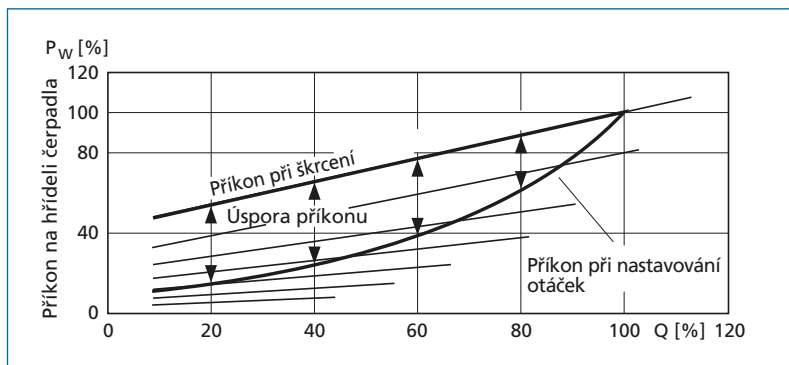
Obr. 43

Každému průměrnému průtoku může být z diagramu úspor přiřazen uspořený příkon.

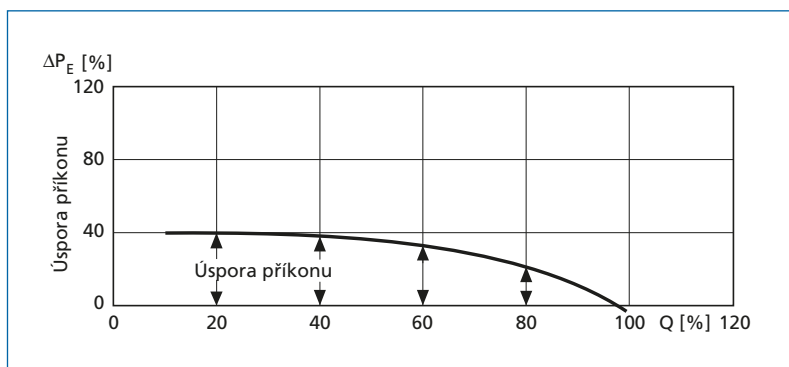
V našem příkladu se permanentně potřebuje 50 % průtoku po dobu 1000 hodin; úspora

příkonu je při tom v průměru cca 38 %. Násobením vždy aktuálně uspořených elektrických výkonů příslušnými provozními hodinami a cenou proudu získáme úspory pro daný časový úsek. Nyní je třeba připočítat i dílčí úspory. Jako výsledek dostaneme úsporu zhruba 232,- Euro za rok (vztaženo na 1 kW jmenovitého příkonu).

Tento příklad byl pro lepší porovnatelnost počítán bezrozměrově. Podle stejného vzoru je možné počítat se skutečnými čísly pro každý speciální případ využití. Činí-li např. příkon na hřídeli při jmenovitém zatížení 10 kW, je možné uspořit za rok cca 2320,- Euro.



Obr. 44



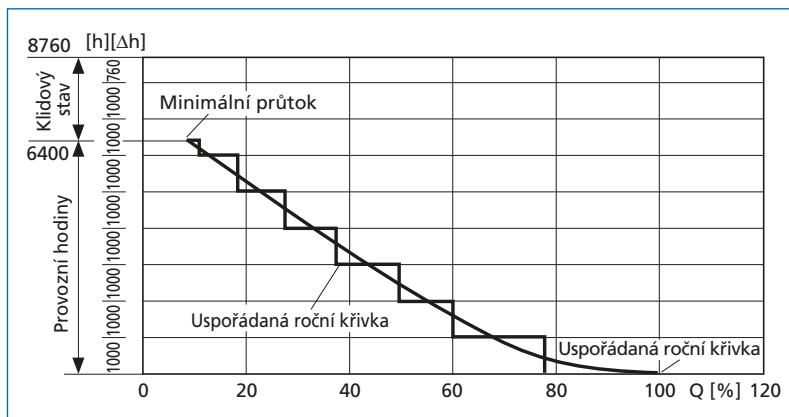
Obr. 45

### Posouzení hospodárnosti

(vztaženo na 1 kW jmenovitého příkonu)

$\frac{\Delta P_E}{\text{kW}}$ (kW)	B h/a	S Euro/kWh	$\frac{\Delta E_E}{\text{Euro/a}}$ (kW)
0.23	1000	0.10	23.--
0.35	1000	0.10	35.--
0.38	1000	0.10	38.--
0.40	1000	0.10	40.--
0.40	1000	0.10	40.--
0.40	1000	0.10	40.--
0.40	400	0.10	16.--
$\Sigma$			232.--

$\Delta P_E$  : uspořený příkon  
 B : provozní hodiny  
 S : náklady za proud  
 $\Delta E_E$  : úspory nákladů za proud  
 $\Delta E_E = \Delta P_E \cdot B \cdot S$



Obr. 46

**Poznámka:** Zde provedený výpočet se zakládá na 100% správném propočtu potrubní sítě a dimenzování čerpadla. V praxi je však výkon čerpadla často silně předdimenzovaný. Následkem toho bývají úspory ještě vyšší.

<sup>1)</sup> V diagramu úspor (obr. 45) jsou zohledněny účinnosti motoru při neregulovaném, resp. regulovaném provozu, případně i účinnosti měniče frekvence. V zátěžovém profilu (obr. 46) je zanesen potřebný průtok systému během jednoho roku – v uspořádaný podle velikosti. Tato křivka je nazývána „uspořádaná roční křivka“. Čím delší je provozní doba a čím větší je plocha nad uspořádanou roční křivkou, tím větší je možný potenciál energetických úspor.

## 1.2

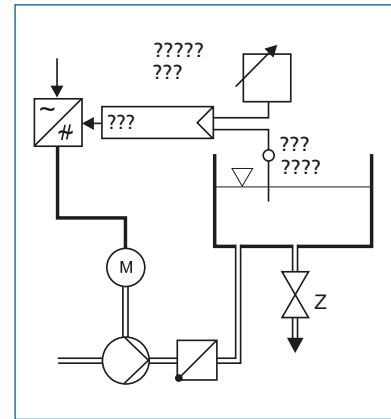
### Základy regulační techniky

#### 1.2.1

##### Definice

Regulace je postup, při kterém je regulovaná veličina (např. stav kapaliny v nádrži) průběžně měřena a porovnávána s žádanou hodnotou (požadovaná výše hladiny). Pokud při porovnání mezi žádanou hodnotou a skutečnou naměřenou hodnotou regulované veličiny vznikne rozdíl, dochází k automatickému přizpůsobení na-

stavené hodnoty (zde otáčky čerpadla), které odstraní odchytku regulace. Tento postup je uzavřený sám do sebe, hovoříme tedy o uzavřeném regulovaném okruhu.



Obr. 47

#### 1.2.2

### Další pojmy regulační techniky

#### Řízení

Postup v daném systému, při kterém jedna nebo více veličin, označených jako vstupní, a jiných veličin, označených jako výstupní, se na základě zákonitostí vlastních danému systému vzájemně ovlivňují – otevřený průběh účinnosti.

#### Regulovaná veličina $x$

Velichina, která má být udržována konstantní.

#### Žádaná hodnota $X_s$

Konstantní řídicí velichina. Žádaná hodnota při regulaci pevného bodu.

#### Nastavená hodnota $y$

Velichina, kterou je regulovaná velichina požadovaně ovlivněna (např. otáčky).

#### Poruchová velichina $z$

Velichina, která z venku nežádoucím způsobem mění regulovanou velichinu (např. proměnný průtok).

#### Regulovaný úsek $S$

Část systému, ve kterém má být regulovaná hodnota udržována na konstantní hodnotě (všechny součásti mezi místem nastavení a místem měření).

#### Skutečná hodnota $x$

Okamžitá hodnota regulované velichiny (např. tlaková diference měřená čidlem skutečné hodnoty s převodníkem).

#### Řídicí velichina $w$

Proměnná žádaná velichina (řízená např. vnější teplotou nebo průtokem, resp. časovým harmonogramem).

#### Regulační odchyška

$$x_w = x - w$$

Odchyška od řídicí velichiny (od žádané hodnoty).

#### Místo měření

Místo na systému, ve kterém se měří regulovaná velichina.

#### Regulační prvek

Přístroj, kterým se mění nastavovaná hodnota (např. čerpadlo, ventil).

#### Pohon regulačního prvku

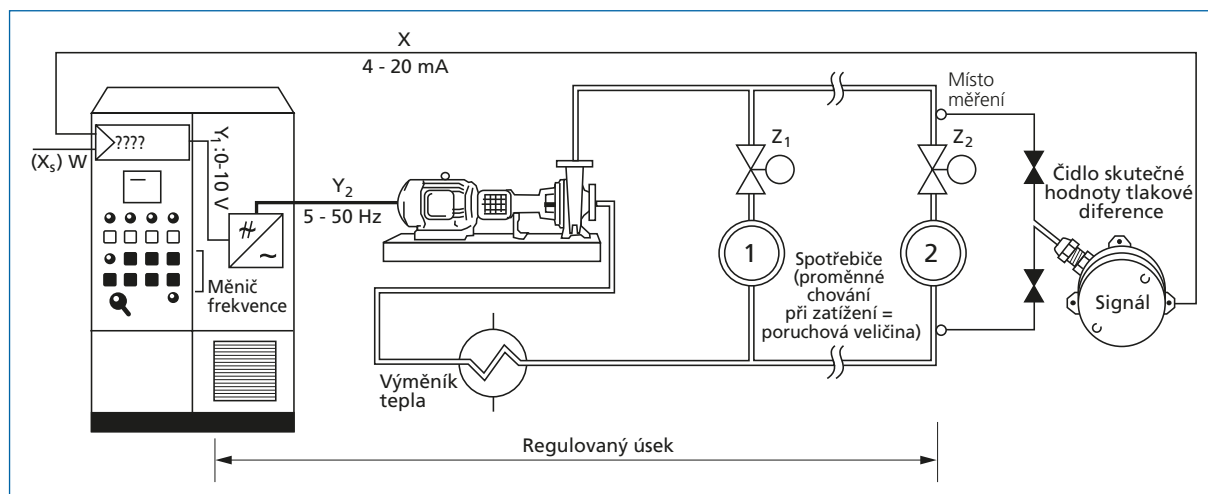
Pohon regulačního prvku (např. elektromotor, měnič frekvence).

#### Čidlo skutečné hodnoty s převodníkem

Přeměňuje regulovanou velichinu na elektrický normovaný signál (např. 0/4 – 20 mA nebo 0/2 – 10 V).

## 1.2.3

## Pojmy regulační techniky na příkladu regulace čerpadla



Obr. 48

## 1.2.4

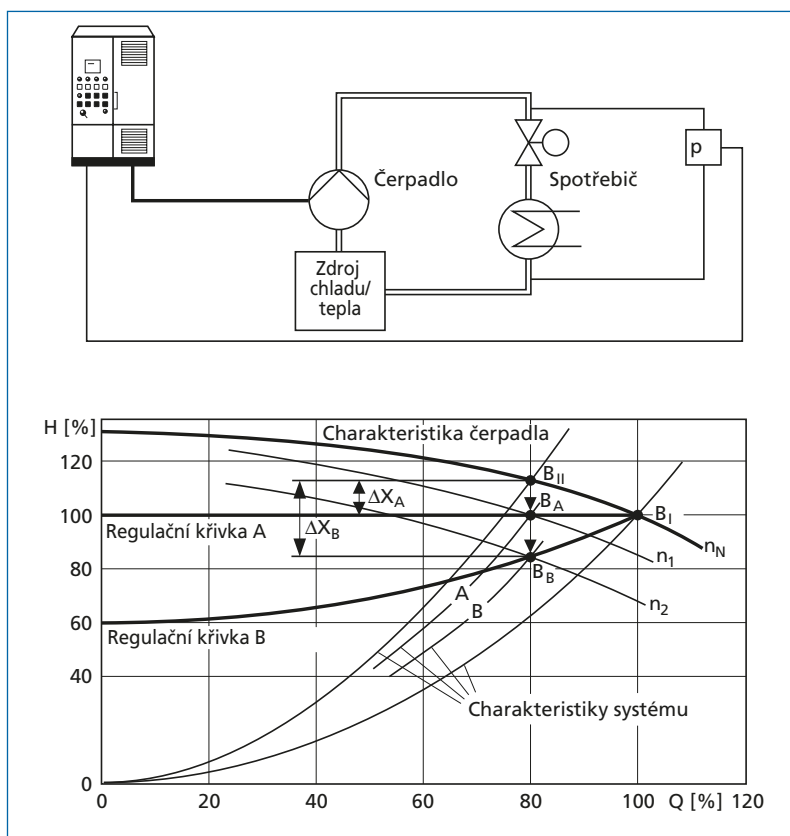
## Regulované veličiny uzavřených hydraulických okruhů

## Regulace závislá na tlakové diferenci

Při proměnném průtoku je tlaková diference správnou regulační veličinou. Skutečnost, že se změna tlaku ve vodou naplněném potrubí šíří rychlostí cca 1000 m/s, vede k téměř nezpožděnému hlášení měnicí se tlakové difference. Tak může čerpadlo rychle reagovat na různé zatížení změnou otáček.

V uzavřeném okruhu pracuje čerpadlo pouze proti odporu proudění. Geodetické dopravní převýšení nebo tlak v systému se nesmí zohledňovat. Tyto vlivy se mohou lehce eliminovat, pokud se jako regulační veličina použije tlaková diference.

Na obr. 49 se průtok sníží škrcením ze 100 % na 80 %. Při neregulovaných otáčkách čer-



Obr. 49

padla se provozní bod posouvá z B I do B II. Leží-li měřící místo na čerpadle, má regulační křivka přímý průběh a odpovídá regulační křivce A (viz kapitola 1.2.6). V našem příkladu to zna-

mená, že dochází ke zvýšení tlakové difference  $X_A$ , které se zredukuje snížením otáček z  $n_N$  na  $n_1$ . Nový provozní bod pak leží v  $B_A$ . Při zcela ploché charakteristice čerpadla (např. dimenzovaný provozní bod v oblasti částečného zatížení) se může stát, že  $X_A$  je pro bezvadnou regulaci příliš malé.

K nápravě mohou posloužit následující opatření:

1. Položit dimenzovaný provozní bod do poslední třetiny charakteristiky čerpadla.
2. Použít čerpadlo se strmější charakteristikou.
3. Oddálit měřící bod od čerpadla dále do systému.
4. Dodatečně zařadit k měření tlakové difference řídicí veličinu, např. průtok (nebo venkovní teplotu ve vytápěcích soustavách).

Opatření 3 a 4 vedou k regulační křivce s kvadratickým průběhem, jako je např. regulační křivka B. Odchylka tlakové difference odpovídá u uvedeného příkladu veličině  $X_B$ . Provozní bod regulovaného čerpadla pak leží v  $BB$  s počtem otáček  $n_2$ . Další podrobnosti viz str. 32.

„Místo měření“. I za předpokladu extrémně ploché charakteristiky čerpadla vede škrcení průtoku na 80 % (u používané regulační křivky B) k regulační odchylce ( $X_B - X_A$ ), která pak umožňuje vyregulování (na  $n_2$ ).

Kromě toho mají opatření 3 a 4 ještě další pozitivní účinky:

- Otáčky  $n_2$  jsou podstatně nižší než  $n_N$  a  $n_1$ .
- Přebytek tlakové difference, který musí být zlikvidován v armaturách, je menší.
- Příkon se snižuje silněji.

**Použití:**

**Použití u okruhů s proměnným průtokem (regulace škrcení na spotřebičích), např. u:**

- 2-trubkových soustav s termostatickými ventily
- primárních okruhů výměňkových stanic tepelných soustav
- klimatizačních/větracích systémů.

**Poznámka**

**Nepoužívat u oběhových systému s konstantním průtokem, jako např. u:**

- jednotrubkových soustav
- čerpadel na straně spotřebiče v systémech přimíchávání na zpátečce a v systémech vstřikování, u kterých není na straně spotřebiče žádné škrcení.

## Základy

U regulace tlakové difference se dnes u topenářských čerpadel principiálně rozlišuje mezi způsoby regulace  $\Delta p$  konstantní a  $\Delta p$  proměnné.

### Způsob regulace

#### $\Delta p$ -konstantní

Elektronika udržuje čerpadlem vytvořenou tlakovou difference v přípustném rozsahu průtoku konstantně na nastavené žádané hodnotě tlakové difference  $H_S$ .

#### Použití:

V dvoutrubkových soustavách s termostatickými ventily s vysokou tepelnou kapacitou spotřebiče (dřívější gravitační systémy), ve velkoryse dimenzovaných soustavách (odpor potrubní je v porovnání s odporem termostatických ventilů malý).

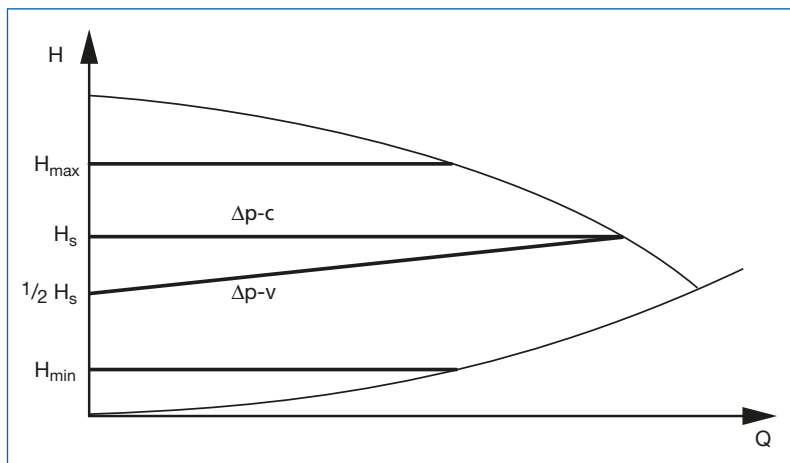
Podlahové soustavy s regulací teploty pro jednotlivé místnosti.

#### Způsob regulace $\Delta p$ proměnné

Elektronika mění lineárně tlakové difference udržované čerpadlem. Žádaná hodnota tlakové difference se automaticky snižuje se zmenšujícím se průtokem. Tím se opět nabízí možnost snížení spotřeby energie.

#### Použití v dvoutrubkové soustavě:

S termostatickými ventily s nízkou kapacitou spotřebičů, např. těsně dimenzované soustavy (odpor potrubí velký/malý podobně jako odpor termosta-



Obr. 50: Způsoby regulace s  $\Delta p$ -konst a  $\Delta p$ -var

tických ventilů, u soustavy s velmi dlouhým rozvodným potrubím).

#### Optimální způsob regulace

Konstantní tlaková difference v nejméně vhodném bodu soustavy (jen těžce realizovatelné).

#### Jednoduchá alternativa

Konstantní tlaková difference  $\Delta p$ -konst na čerpadle.

#### Problém

Vzniká-li i při  $\Delta p$ -konst hluk při malém průtoku, je možné zvolit  $\Delta p$ -var .

$\Delta p$ -var umožňuje rozšíření regulované oblasti s dodatečným potenciálem energetických úspor.

#### Pozor:

Při  $\Delta p$ -var může dojít k nedostatečnému zásobování.

## Regulace závislá na rozdílu teplot ( $\Delta T$ )

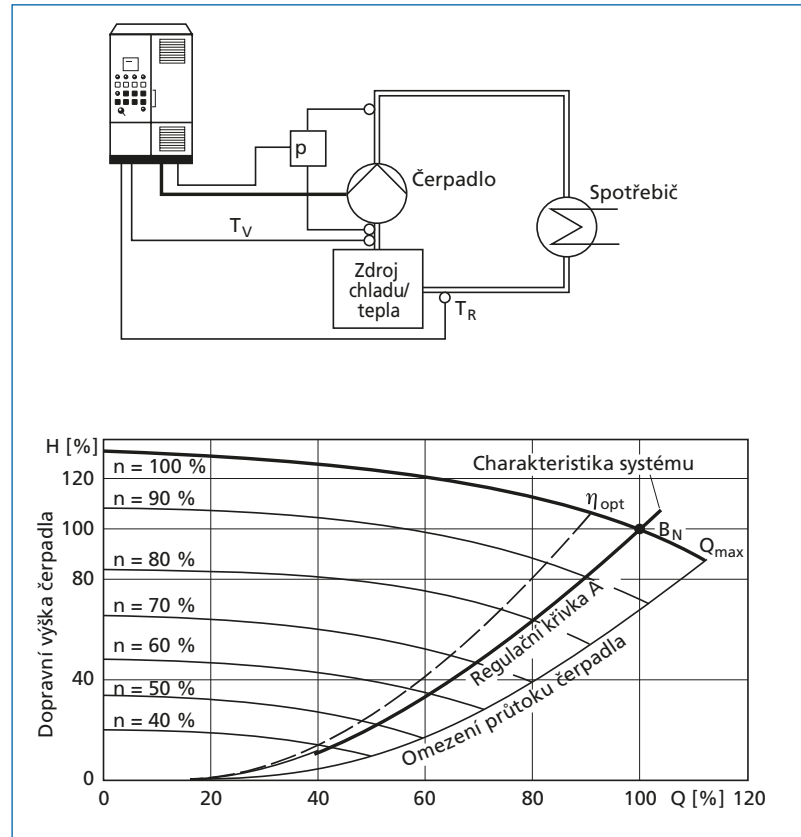
Regulace čerpadel závislá na změně teploty je závislá na spotřebě a nezávislá na provozním bodu čerpadla. Je účelné ji použít v případech, kde neexistuje proměnná charakteristika potrubí (části soustavy s konstantním průtokem).

Teplotní rozdíl mezi přívodem a zpátečkou vystihuje přímo stav zatížení (potřeba spotřebiče).

Pro regulaci výkonu čerpadla platí:

- Plné zatížení čerpadla jen při maximální spotřebě tepla.
- Automatické snížení otáček a průtoku při klesajícím rozdílu teplot a souběžně k tomu malé zvýšení příkonu čerpadla.

Dopravními časy dopravované látky mohou vznikat dlouhé mrtvé časy, které mohou ovlivňovat bezvadnou regulaci. Dodatečnými opatřeními, jako např. **podložená regulace tlakové difference**, je možné takové soustavy dobře zvládnout.



Obr. 51

### Použití:

Použití v okruzích s konstantním průtokem s konstantní nebo proměnnou teplotou na přívodu, např.

- na primární straně
  - Přepojování
  - Vstřikovací zapojení
  - Rozdělovač s nízkou tlakovou diferencí
- na sekundární straně
  - Zapojení s přimícháváním na zpátečce a vstřikovací zapojení (bez škrcení na straně spotřebiče)

### Poznámka:

Nepoužívat u cirkulačních systémů (např. u vytápěcích soustav) s proměnným průtokem.

Protože při škrcení se topná voda v otopných tělesech při delší době setrvání silněji ochladí. Větší teplotní rozdíly vedou k vyššímu počtu otáček, což má za následek obrácení požadovaného efektu, protože škrcení znamená, že se bude potřebovat menší topný výkon a tím i menší průtok, dopravní výška a nižší otáčky.

## Regulace závisící na teplotě zpátečky ( $T_R$ )

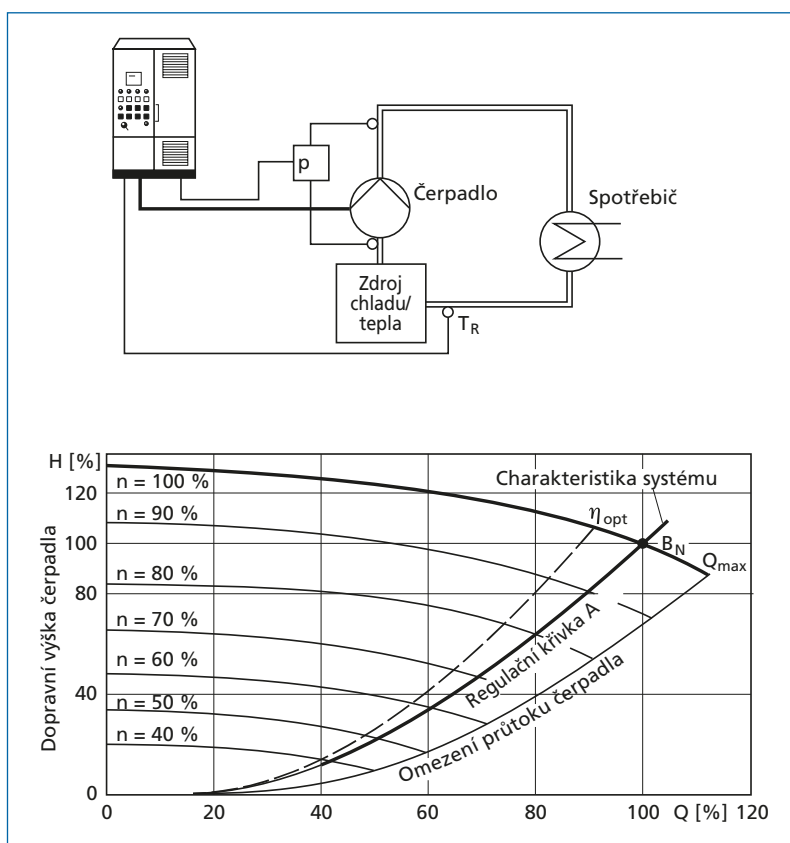
Regulace čerpadel závislá na teplotě zpátečky je zpravidla používána u výměníků tepla u systémů topení/chlazení s výměníky tepla bez škrcení a při stejné teplotě na přívodu. Předpokladem je na zatížení závislá proměnná teplota zpátečky.

U chladících systémů musí být účinek regulace opačný, tj. při nižších teplotách zpátečky – nízké otáčky čerpadla, při vysokých teplotách zpátečky – vysoké otáčky čerpadla. Cílem této regulace je udržovat teplotu zpátečky konstantní. Tím se dosáhne, že zvláště při provozu s částečným zatížením se obíhající průtok zredukuje na potřebnou hodnotou. Z důvodu snížení teploty zpátečky se snižují i tepelné ztráty ve zpětném potrubí. Tento pracovní způsob vytváří nejlepší předpoklady pro moderní zdroje tepla s vysokým výkonem.

### Použití:

Velmi vhodné pro systémy bez škrtících orgánů a stejnou teplotou na přívodu.

Pro regulaci výkonu čerpadla u tepelných soustav platí :



Obr. 52

### Poznámka:

- Pro spolehlivou funkci je třeba vždy zajistit minimální cirkulující průtok (viz obr. 2).
- Je třeba dodržovat provozní limity zdroje chladu/tepla.

### Řízení/regulace závislé na teplotě přívodu ( $T_v$ )

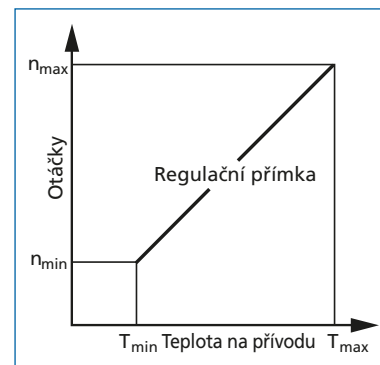
Řízení čerpadel závislé na teplotě přívodu se používá převážně u vytápěcích soustav s konstantním průtokem a je v takovém případě použitelné



skoro u každého systému. Předpokladem je teplota přívodu zajišťovaná v závislosti na počasí automatickou regulací přimíchávání nebo klouzavě provozovaným nízkoteplotním kotlem. Teplota na přívodu se tím přizpůsobí zatížení soustavy.

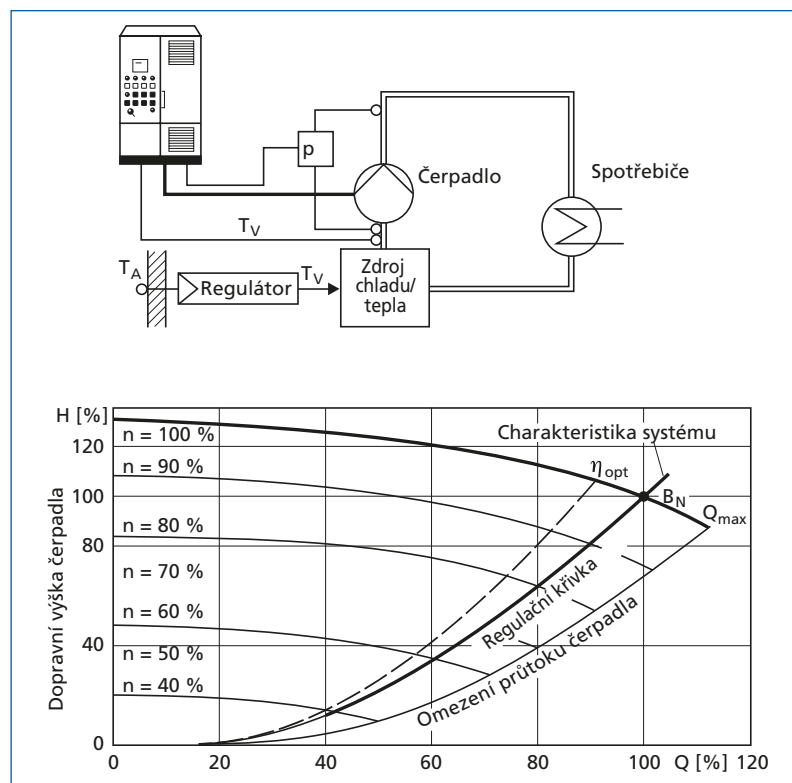


Otáčky čerpadla a tím i dopravní výkon se opětovně nastaví podle teploty na přívodu:



Obr. 53

Kromě shora popsaného řízení, závislého na teplotě přívodu, existuje ještě regulace závislé na teplotě přívodu, při které se teplota přívodu musí udržovat konstantní. To je např. případ zařízení na regeneraci tepla. Zde má zůstat teplota přívodu konstantní i při rozdílných příslušných teplotách. To znamená, že při vyšší dodávce tepla stoupají otáčky čerpadla, při nižší dodávce tepla otáčky čerpadla klesají.



Obr. 54

#### Použití:

V každém systému, ve kterém je teplota na přívodu nastavena v závislosti na zatížení.

Řízení průtoku čerpadla, závislé na teplotě přívodu, tuto regulační funkci podporuje.

Zejména při částečném zatížení se dosáhne většího otevíracího zdvihu regulačního ventilu a tím se dosáhne lepší stability teplotního regulačního okruhu.

#### Poznámka:

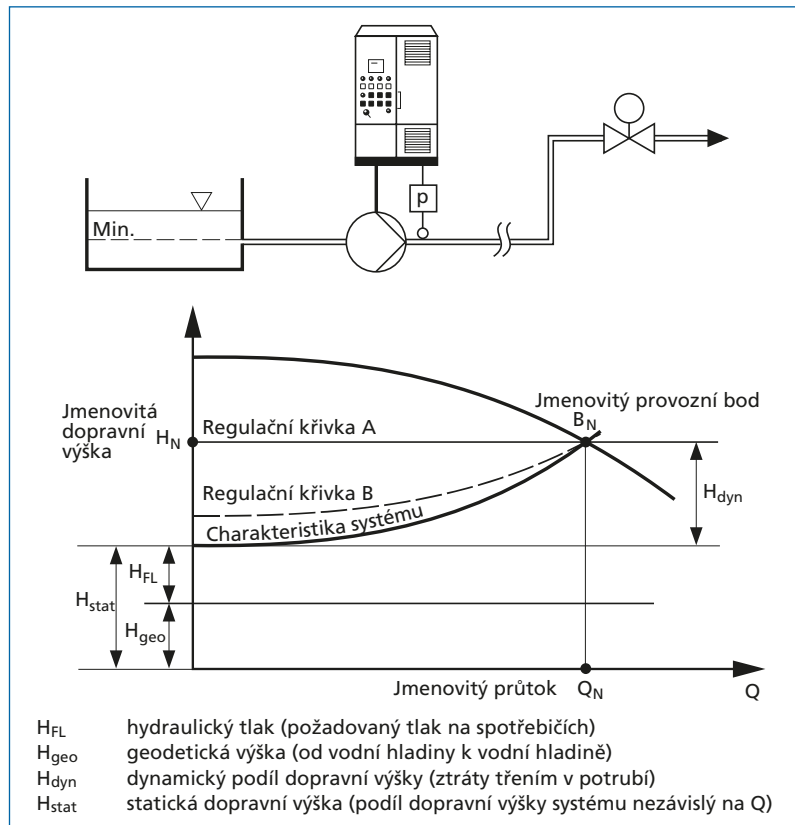
Pro spolehlivou funkci je nutno zajistit vždy minimální cirkulační průtok (viz obr. 2).

## 1.2.5

## Regulační veličiny otevřených okruhů

## Regulace v závislosti na tlaku

Regulace v závislosti na tlaku je zvláště vhodná pro otevřené systémy s proměnným průtokem. To je vyvoláno různými odběry (škrcením) na spotřebičích. Regulované čerpadlo má v takovém případě za úkol vyvinout dostatečný tlak (hydraulický tlak) na místech spotřeby. Na základě rozdílných průtoků vznikají v potrubí variabilní tlakové ztráty. Je-li měřící bod umístěn na čerpadle, má charakteristika konstantní (horizontální) průběh. Dobrá regulace tlaku vytváří jen tolik tlaku, kolik je ho třeba při daném zatížení. To je možno dosáhnout vhodnou volbou místa měření tlaku v systému daleko od čerpadla nebo inteligentním systémem regulace čerpadla (regulační křivka B).



Obr. 55

## Použití:

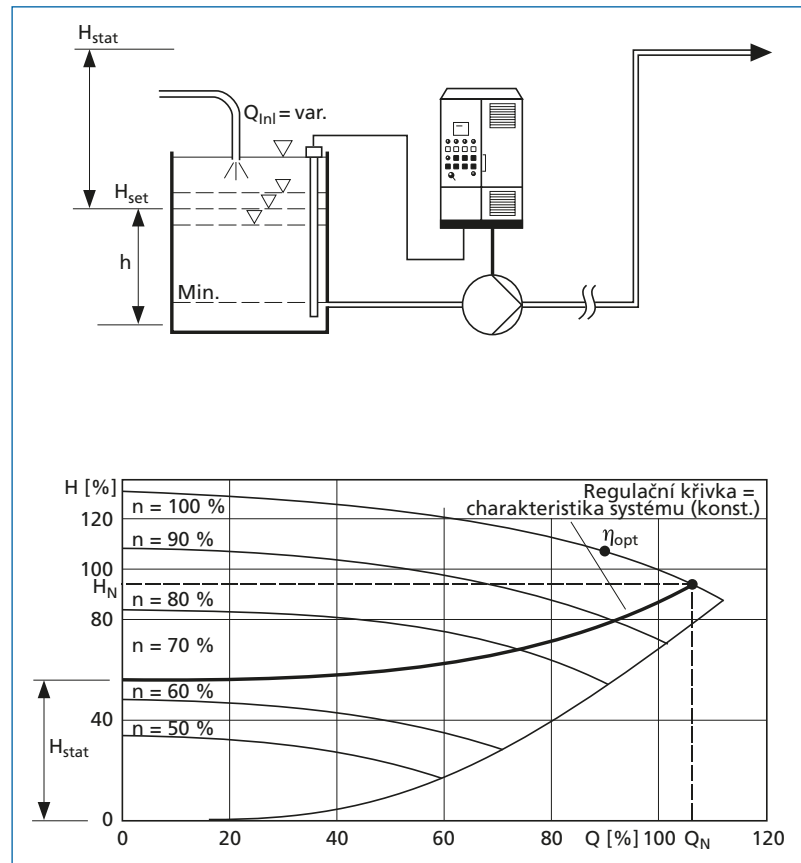
- Vodovodní systémy  
pitná voda  
zvýšení tlaku  
hasící zařízení
- Průmyslové procesy
- Chladicí zařízení

## Poznámka:

Pro dimenzování čerpadla a regulačního zařízení musejí být kromě jiného zohledněny příp. proměnný tlak na přívodu a geodetické výškové rozdíly, resp. protitlaky.

## Regulace v závislosti na výši hladiny

Požaduje-li se v nějaké nádrži konstantní výše hladiny kapaliny, je tato výše hladiny vhodnou řídicí veličinou. Změna přítoku nebo odtoku vyvolá odchylku ve výši hladiny. Při překročení výše hladiny se zvýší otáčky čerpadla (čerpadlo dopravuje více), při podkročení se otáčky sníží (čerpadlo dopravuje méně). Tlak čerpadla je při tom pouze tak velký, aby se vyrovnalo geodetické převýšení a tření v potrubí. Při konstantní geodetické výšce a nezměněném potrubí se získá kvadratická charakterická dopravní křivka.



Obr. 56: Systém odvodňovacího zařízení

### Použití:

Např. v

- úpravě odpadních vod
- chladících systémech
- procesní technice

Při dimenzování koncepcí čerpadla/dopravování je třeba věnovat pozornost vzájemnému spolupůsobení a vzájemnému ovlivňování mezi následně uvedenými veličinami:

**Přítok, odtok, spínací objem nádrže, konstrukční velikost čerpadla, rychlost regulace.**

### Poznámka:

V nádrži se kromě čidla signálu s převodníkem pro regulaci musí zajistit i zařízení, chránící před překročením a podkročením minimálního naplnění nádrže.

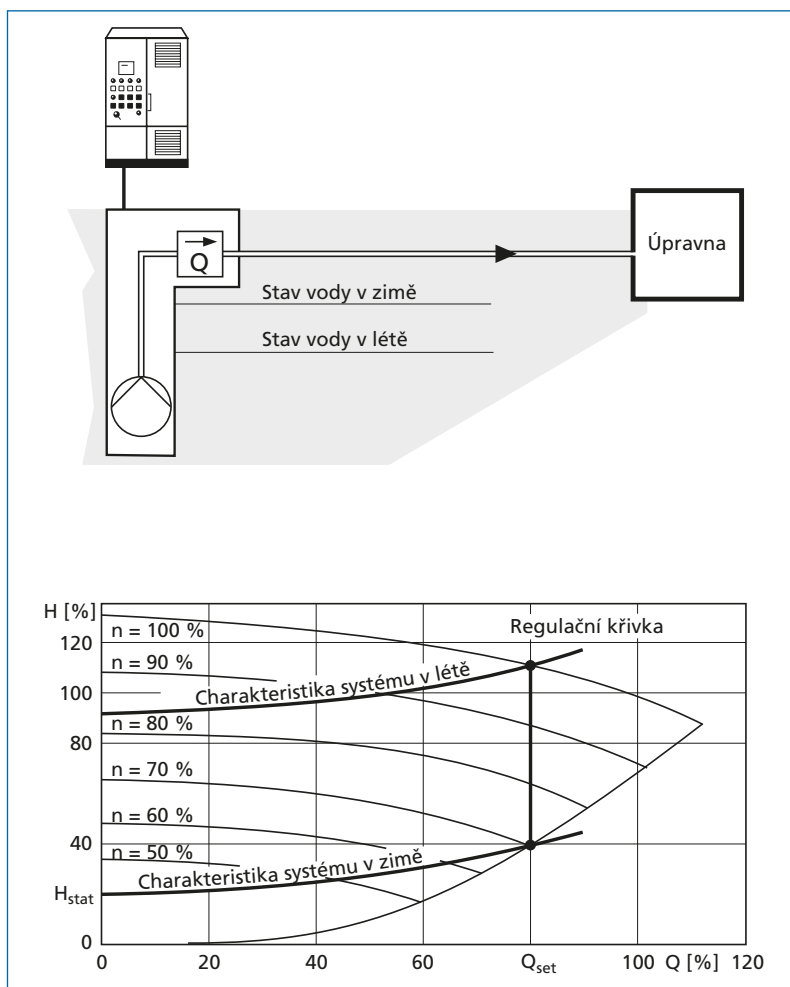
Tato ochranná zařízení by měla být zásadně nezávislá na čidle signálu regulace (v nejjednodušším případě prostřednictvím oddělených plovákových spínačů).

Při nebezpečí ucpání nebo chybné obsluhy se doporučuje dodatečně kontrolovat i průtok čerpadlem.

Je-li celkový průtok rozdělen mezi několik čerpadel (čerpadla pro špičkové zatížení), je třeba věnovat zvláštní pozornost způsobu fungování regulačního zařízení.

### Regulace v závislosti na průtoku

Cílem je udržet průtok na požadované hodnotě. Rušivé vlivy, jako např. proměnný tlak vstupu nebo odpor (např. v důsledku znečištění filtru), by se měly vyrovnávat. Dopravní charakteristiku/regulační křivku má představovat svislá linie na diagramu  $Q/H$ .



Obr. 57: Systém zařízení pro úpravu vody

#### Použití:

- zařízení pro úpravu vody
- chladičí procesy
- směšovací úkoly
- úprava odpadní vody

#### Poznámka:

Pro dimenzování čerpadla a regulačního systému musí být zohledněny změny, v daném případě tlaku na přítoku a geodetické výškové rozdíly, resp. protitlaky.

Průtoková čidla s převodníkem je třeba volit podle požadavků dopravované kapaliny a podle vnějších provozních podmínek.

### 1.2.6 Kompenzace (vyrovnání) dodatečných poruchových veličin

Regulace má za úkol zajistit

#### Kompenzace výběrem vhodného místa měření

Příklad z tepelné techniky ukazuje význam vlivu místa měření na provozní chování při regulaci tlaku/tlakové diference. Umístění místa měření má rozhodující vliv na tlakové poměry a provozní náklady systému. Je-li čidlo tlakové ztráty s převodníkem umístěno bezprostředně u čerpadla, potom se pracuje při menším zatížení než 100 % s příliš vysokou tlakovou diferencí. Spotřeba energie je vyšší, než je třeba.

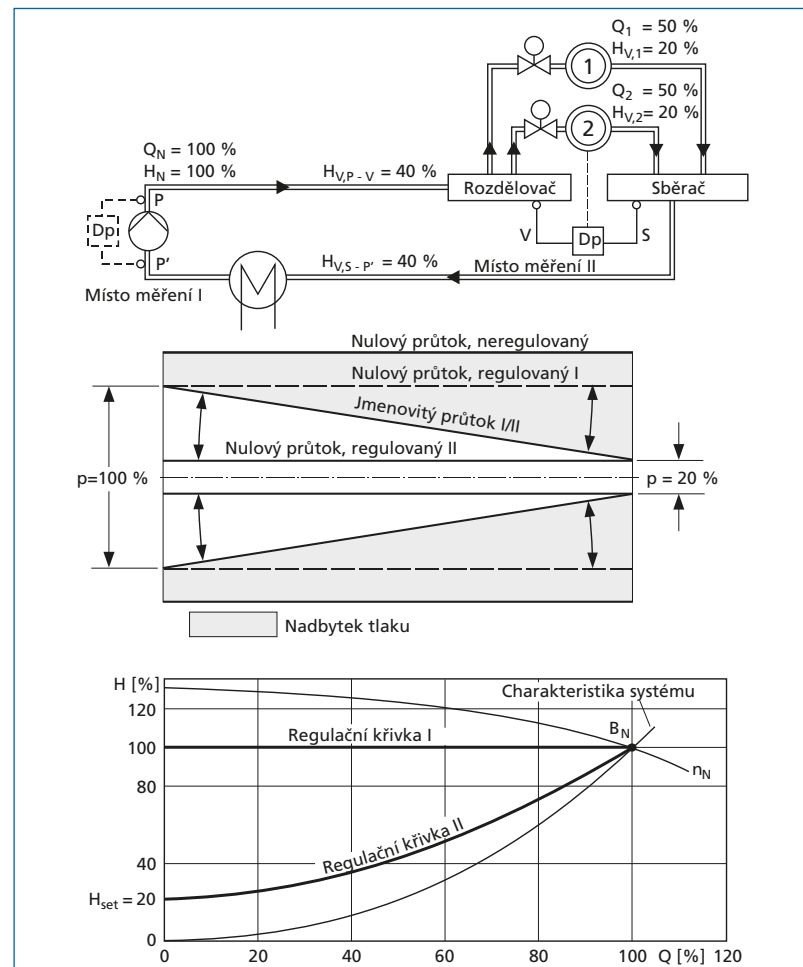
Daleko příznivější jsou poměry, když je bod měření umístěn daleko od čerpadla v zásobovacím potrubí.

#### Konstrukce systému

Existují dva spotřebiče, které jsou dimenzovány právě na poloviční jmenovitý průtok. Spotřebiče zasobuje jedno čerpadlo, vhodně dimenzované pro údaje o jmenovitém průtoku. Údaje v diagramu  $Q/H$  jsou uvedeny bez rozměrů a vztahují se ke konstrukčním údajům. Jmenovitý průtok a jmenovitá dopravní výška jsou vždy 100 %. Místo měření pro porizování údajů o tlaku/tlakové diference leží volitelně blízko čerpadla nebo blízko spotřebiče. V našem případě blízko čerpadla, mezi sací a výtlakovou stranou (místo

optimální průběh procesu. Při tom je třeba vyrovnat účinky hlavních poruchových veličin. Ve dvou následujících příkladech představuje škrťící účinek spotřebiče hlavní poruchovou

veličinu. Proměnným průtokem vznikají různé velikosti tření v potrubí. Ke kompenzaci tohoto dodatečného rušivého vlivu jsou uvedeny dvě možnosti.



Obr. 58: Vliv místa měření na regulaci tlaku/tlakové diference.

měření I), resp. mezi rozdělovačem a sběračem (místo měření II).

U otevřených systémů (např. zásobování vodou) se bude místo tlakové diference měřit tlak. Také zde může být místo měření stanoveno blízko čerpadla (výtlaková strana) nebo blízko spotřebiče.

Legenda pro index:

- N = jmenovitý
- V = rozdělovač
- P = čerpadlo
- S = Sběrač
- P-V = úsek čerpadlo – rozdělovač
- S-P = úsek sběrač – čerpadlo

## Charakteristika systému

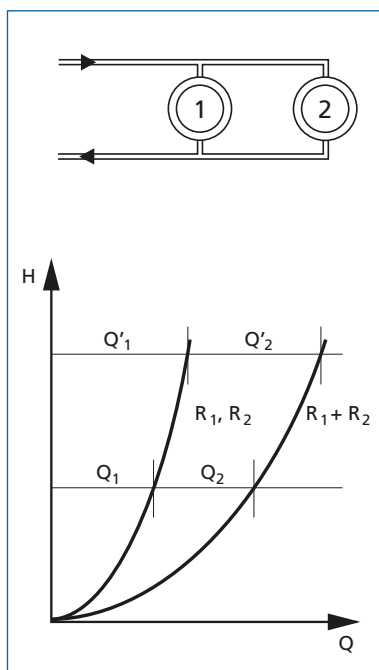
Vývoj:

Tlakové ztráty v potrubních úsecích budou vyneseny přes průtok. Při lineárně rostoucím průtoku rostou tlakové ztráty kvadraticky. V diagramu  $Q/H$  vznikají paraboly.

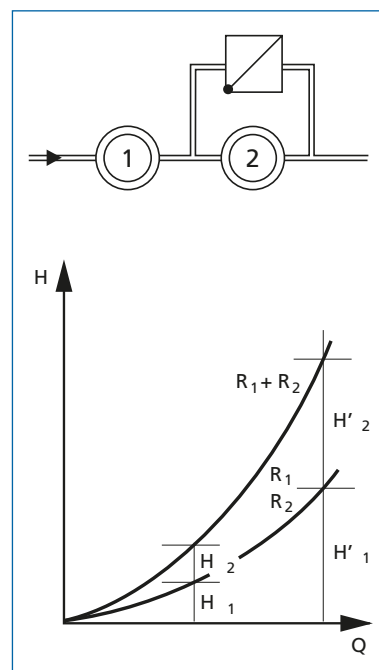
Na obr. 59 jsou okruhy spotřebičů zapojeny paralelně, takže se průtoky při stejném tlaku sčítají. Z toho vyplývá sumární charakteristika obou spotřebičů.

Na obr. 60 jsou okruhy spotřebičů řazeny sériově. To znamená, že se odpory průtoků sčítají.

Konečná charakteristika systému je dána součtem sumárních charakteristik odporů spotřebičů s odpory hlavního okruhu.



Obr. 59: Paralelní zapojení



Obr. 60: Sériové zapojení

## Potřebný průběh tlaku

### Místo měření II

Mezi rozdělovačem a sběračem musí být stále k dispozici dostatečná tlaková diference, aby mohly být spotřebiče vždy dostatečně zásobovány. Podle toho, o jaké spotřebiče se jedná, se mohou ustavit různé zátěžové stavy. Tak by například mohl být každý spotřebič nezávisle na druhém zatížen od 0 – 100 %.

Aby v každém okamžiku bylo zajištěno dostatečné zásobování spotřebičů, bude v uvedeném příkladu stanoven potřebný průběh tlaku tak, aby mezi rozdělovačem a sběračem byla zajištěna minimálně potřeba jmenovitého tlaku spotřebiče (zde  $H_{\text{žadáná}}$ ).

Jsou-li oba spotřebiče uzavřeny ( $Q/Q_N = 0$ ), neexistuje ani průtok, ani žádné tlakové ztráty. Čerpadlo pracuje s tak nízkými otáčkami, aby byla udržována nastavená žádaná hodnota ( $H_{\text{žadáná}}$ ). Když se otevře jen jeden spotřebič, dojde v hlavním potrubí k proudění a tím i k tlakové ztrátě. Aby se udržela žádaná hodnota, musí čerpadlo zvýšit své otáčky a vytvořit více tlaku. Protože tlaková ztráta roste s průtokem kvadraticky, získává regulační křivka II parabolický průběh. Čerpadlo vytvoří vždy tolik potřebného tlaku, kolik je ho zapotřebí k vyrovnání dynamických tlakových ztrát.

To je obzvláště patrné i v tlakovém diagramu. Tlak mezi rozdělovačem a sběračem je konstantní a stoupá v závislosti

na průtoku podél hlavního potrubí k čerpadlu. Až ke jmenovitému průtoku při jmenovité dopravní výšce. Regulace čerpadla (regulace tlaku/tlakové diference je optimální tehdy, když používaná regulační křivka leží na nebo jen nepatrně nad potřebným průběhem tlaku.

### Místo měření I na čerpadle

Měří-li se tlaková diference na čerpadle, musí se žádaná hodnota nastavit na jmenovitou dopravní výšku. To znamená, že v diagramu Q/H je tlak čerpadla nad celkovým rozsahem průtoku konstantní (vodorovná regulační křivka I). Je vidět, že především při malém částečném zatížení

tlak vyvolaný čerpadlem leží nad potřebným průběhem tlaku.

V takovém diagramu je tlak na čerpadle konstantní a klesá podle průtoku v hlavním potrubí.

Zde je zřetelně vidět, že i přes regulaci otáček při částečném zatížení je tlak na rozdělovači

příliš vysoký. Tento příliš vysoký tlak se může projevit nepříznivě na chování spotřebičů.

V každém případě se ale vynakládá příliš mnoho energie pro čerpadlo.

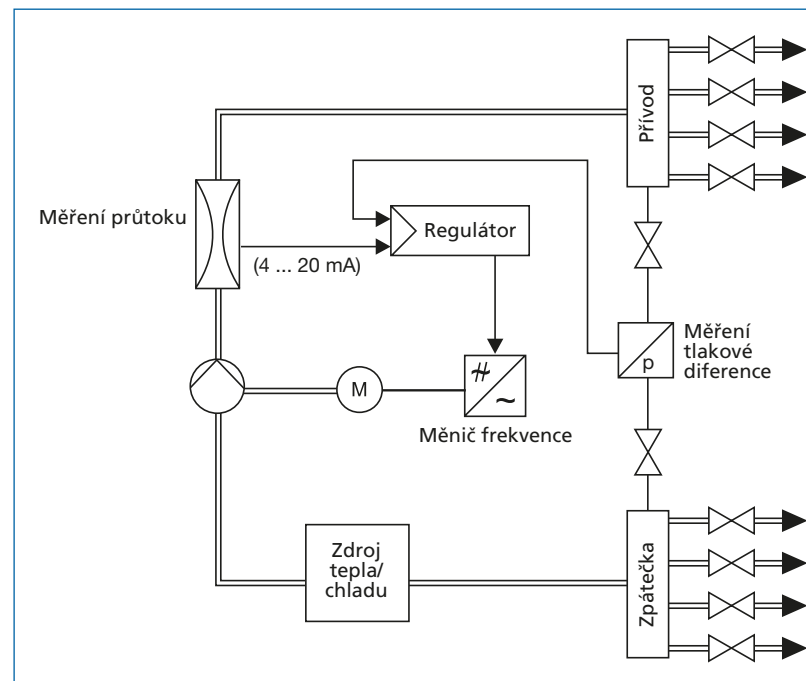
### Kompensace prostřednictvím dodatečné měřící veličiny (průtoku)

Z různých důvodů není možné vždy měřit dostatečně daleko od čerpadla a právě na nejméně příznivějších spotřebičích. To platí pro rozlehlé tepelné soustavy, ve kterých je třeba překonávat velké vzdálenosti, nebo např. u zařízení, která jsou konstruována podle schémat zobrazených na obrázcích 61 a 62.

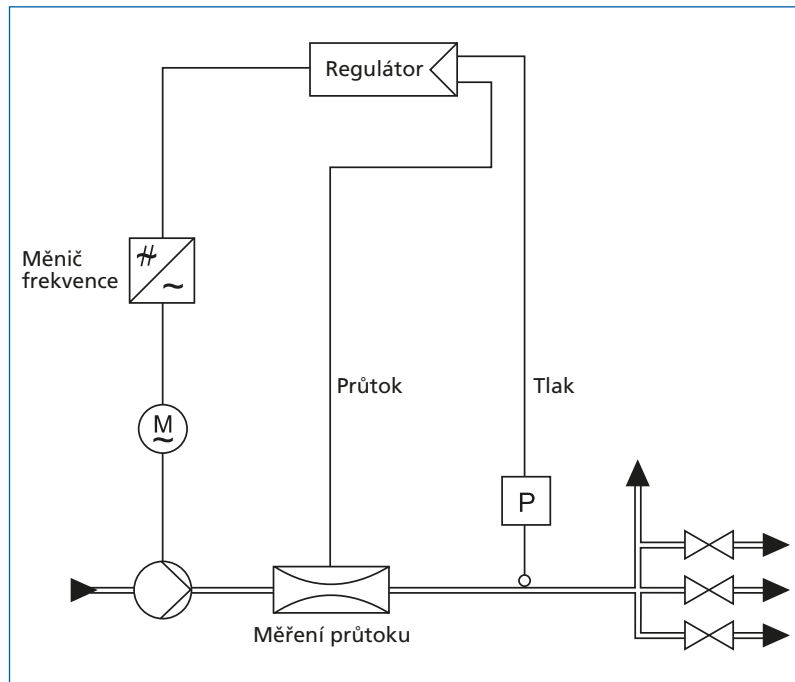
Kombinace měření tlaku a průtoku umožňuje měření obou veličin přímo na čerpadle.

Cílem je získat regulační křivku s kvadratickým průběhem (viz obr. 58 regulační křivka II, nazývaná také charakteristika dynamické kompenzace tlaku (DPC).

DPC: Regulace tlaku nastavením žádané hodnoty v závislosti na průtoku.



Obr. 61: Hydraulické schéma tepelné soustavy



Obr. 62: Hydraulické schéma (otevřeného) dopravního systému

#### Použití:

- při sanaci s nedostačujícími údaji o systému
- při nedostatečném zásobování v různých stavech zatížení (proměnnou regulační křivkou)
- při dlouhých cestách přenosu signálu

#### Poznámka:

**Moderní regulační systémy jsou schopné samostatně vypočítat optimální regulační křivku.**

K tomu se použijí následující provozní data:

- jmenovitá dopravní výška
- jmenovitý průtok

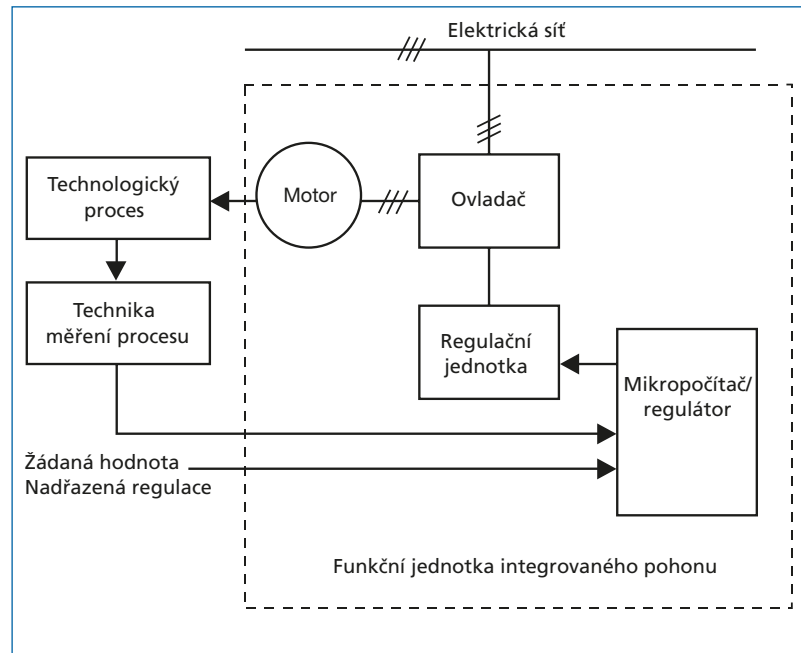
- požadavek tlaku spotřebičů.

To je samozřejmě možné i bez měření průtoku.

### 1.3 Základy integrovaného pohonu

#### 1.3.1 „Inteligentní“ integrované pohony čerpadel

Pod pojmem integrovaného pohonu čerpadel se rozumí kompaktní systém pohonu, pozůstávající z jednoho motoru (el. stroj), jednoho energetického ovládacího členu (měnič frekvence) a jednoho mikroprocesoru k řízení a regulaci. Na obr. 63 je znázorněn takový „Integrovaný pohon“ s procesem.



Obr. 63: Integrovaný pohon s procesem

#### 1.3.2 Výhody integrace

Integrace energetického ovladače (měnič frekvence) s motorem přináší mnoho výhod:

- jednoduché uvedení do provozu, protože parametry motoru a měniče jsou již předem nastaveny ve výrobním závodu

#### 1.3.3 Požadavky

Požadavky na inteligentní integrované systémy pohonu mohou být heslovitě uvedeny takto:

- uspokojivá a hospodárná doprava kapalin pomocí nastavování otáček
- vysoká spolehlivost a dostupnost
- mechanická kompatibilita s normovanými motory IEC
- elektromagnetická kompatibilita

- odpadá kabel spojující motor s měničem frekvence, tím se sníží nároky na spotřebu energie motoru, zmenší problémy s elektromagnetickou kompatibilitou
- regulace je integrovaná, není potřebný externí regulační přístroj
- snížené montážní náklady v porovnání s běžným řešením
- podstatně menší nebezpečí při (kabelovém) zapojení
- již v pohonu integrovaný filtr elektromagnetické kompatibility
- integrovaná ochrana čerpadla a motoru

- jednoduché přizpůsobení k použití parametrizací na místě
- jednoduchá obsluha, místní nebo dálková
- integrované ochranné funkce pohonu a funkce pro diagnostiku poruch
- regulační funkce specifické pro čerpadlo
- rozhraní pro komunikaci s nadřazeným systémem (technika řízení čerpadel)
- decentralizovaná „inteligence“

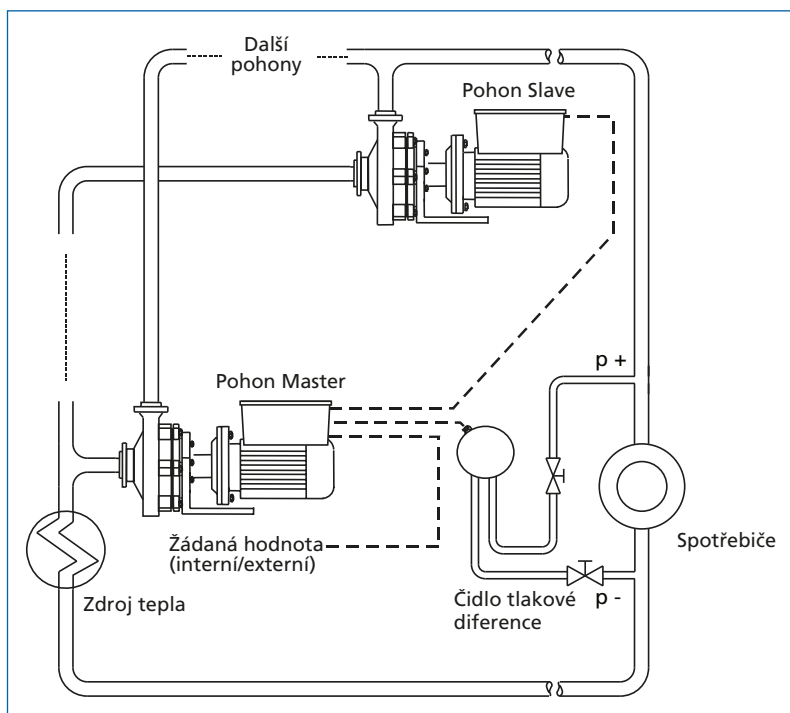
Pod pojmem decentralizovaná „inteligence“ se rozumí schopnost pohonu čerpadla přizpůsobit se změněným procesním podmínkám. Musí mít při tom schopnost kontrolovat sebe i čerpadlo a digitálně komunikovat s okolím a podle potřeby také samostatně reagovat, i jednat.

## 1.3.4

## Specifické funkce čerpadel

Důležité funkce pro integrované pohony čerpadel jsou kromě provozu s externím nastavením otáček a regulačního provozu mezi jiným dynamická tlaková kompenzace, funkce paměti, odpojení při minimálním množství, ochrana proti chodu na sucho, funkce „vytrásání“ a funkce reálného času.

- Prostřednictvím dynamické kompenzace tlaku při regulačním provozu je možné ztráty vzniklé třením v potrubí za použití tlakového senzoru v blízkosti čerpadla kompenzovat tak, aby na spotřebiči byl stálý tlak
- Prostřednictvím funkce paměti se určuje výkonová křivka při uzavřeném škrticím orgánu na straně výtaku u čerpadla. Tato data jsou potřebná pro realizaci funkcí „Odpojení při minimálním množství“ a „Ochrana proti chodu na sucho“.
- Odpojení při minimálním množství (funkce pro úsporu energie) se stará o to, aby se pohon v regulačním provozu při podkročení určitého minimálního dopravovaného množství zastavil, aby se tak šetřilo čerpadlo, a při potřebě dalšího výkonu se opět automaticky zapojí
- Když se aktivuje chod na sucho, odpojí se pohon k ochraně čerpadla pohon při podkročení uložené výkonové křivky za běhu na sucho nebo za běhu naprázdno (mechan-



Obr. 64: Čerpadla s integrovaným pohonem Master-Slave

ická ucpávka) a přejde do stavu poruchy

- Funkce pro uvolnění vytrásáním umožňuje v případě blokování čerpadla automatickým „vytrásáním“ čerpadlo zase uvolnit
- Interními vlastními hodinami reálného času pohonu se volitelně řídí časově závislé funkce, jako např. časové a týdenní programování, střídání čerpadel nebo noční pokles.

Integrovaný pohon čerpadel se může obecně použít jako regulovaný/neregulovaný provoz jednoho čerpadla nebo jako provoz „Master-Slave“.

Při provozu Master-Slave je možno provozovat několik pohonů paralelně. V případě závady může funkci Master převzít jiný pohon. Potřebná výměna dat se uskuteční vnitřním systémem sběrnic. Pro toto použití není potřeba jiné dodatečné regulační zařízení.

Obr. 64 ukazuje regulaci na základě tlakových změn v tepelné soustavě, ve které může pracovat více pohonů v provozu Master-Slave.

### 1.3.5

#### Hospodárnost / redukce Life-Cycle-Costs

Vícenáklady za integrovaný pohon čerpadla se stejně jako u jiných pohonů s regulovaným počtem otáček čerpadla, vrátí v několika málo letech ve formě úspor energie. Integrovaný pohon čerpadel nabízí navíc ještě jiné úsporné potenciály.

Mohou být uvedeny následující významné body:

- velmi malé náklady za instalaci a uvedení do provozu
- menší potřeba místa
- další úspory energie vypnutím při minimálním množství dopravované látky, časové programování, pokles při nočním provozu
- žádné výpadkové časy díky paralelnímu provozu čerpadel

Na základě těchto úsporných potenciálů a možností, které nabízí moderní integrovaný pohon, se ukazují jasné přednosti integrovaného pohonu v porovnání s konvenčními řešeními, což se týká veškerých Life-Cycle-Costs.

Náš LCC-kalkulátor a další podrobné informace naleznete pod [www.ksb.de/life-cycle-costs](http://www.ksb.de/life-cycle-costs)

#### 1.4 Základy komunikačních technik

- Moderní systémy managementu budov se používají na velkostavbách.
- Systémy managementu budov rozdělují inteligenci na Provozně technická zařízení (PTZ) a na Technické vybavení budov (TVB)
- Systémy domovního managementu vytvářejí otevřenou komunikaci mezi automatizačními a řídicími systémy.

Technické vybavení budov se skládá z rozličných řemesel (HVAC = Heating Ventilation Air Conditioning), jako např.

- vytápění
- sanitární (zásobování a odstraňování)
- klima/větrání
- elektro
- měřicí, řídicí a regulační technika

Při tom vystávají mimo jiné následující úkoly:

- řízení provozu
- kontrola provozu
- automatizace systémů
- management energie
- management údržby
- archivace dat
- analýza provozu

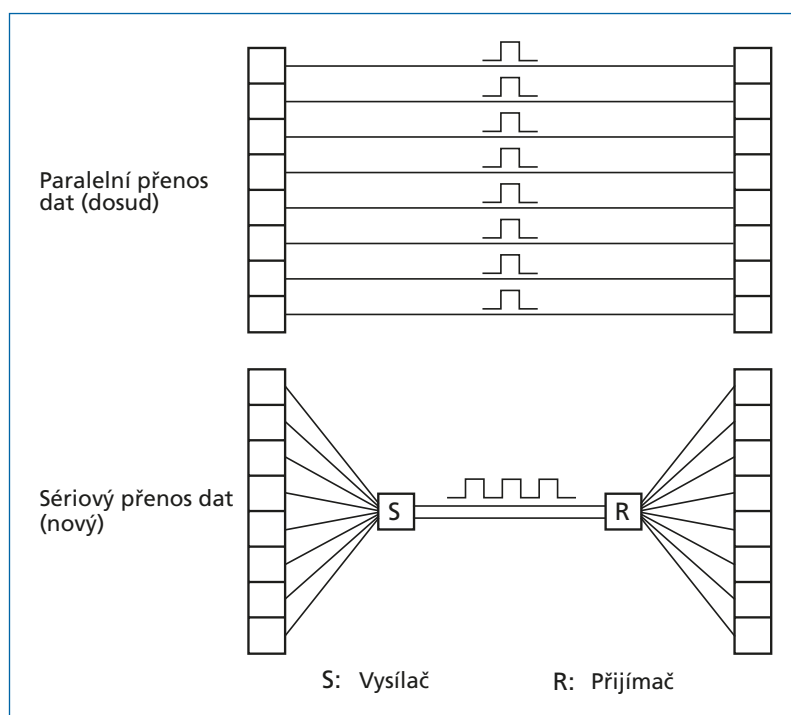
Jen s plánováním přesahujícím jednotlivé obory mohou být vytvořeny neutrální systémy managementů budov, které splňují očekávání provozovatele.

#### Paralelní přenos dat (dosud)

Současný přenos informací se provádí velkým počtem paralelních vedení.

#### Sériový přenos dat (nové)

Přenos informací pomocí dvou vedení. Informace se přenášejí sériově v digitální formě.



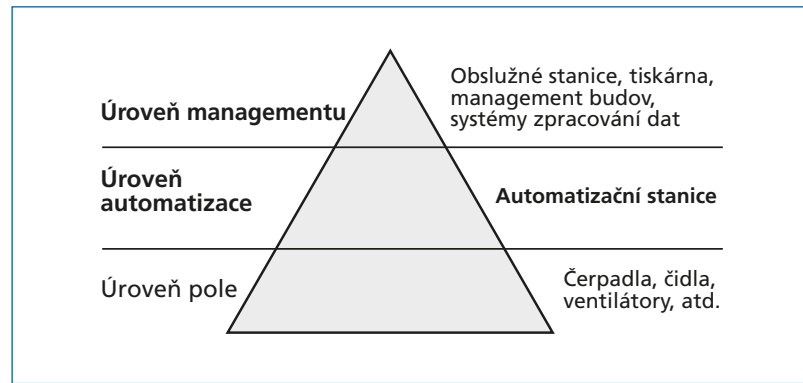
Obr. 65: Paralelní a sériový přenos dat

## Úrovňový model automatizace

Komunikace při automatizaci se obvykle definuje pomocí úrovňového modelu. Data se přenášejí vertikálně normovanými – tzv. otevřenými sběrníčovými systémy.

Účelné údaje o čerpadlech:

- start/stop
- žádané hodnoty  
hodnoty/skutečné hodnoty
- otáčky
- stavová hlášení
- hlášení závad

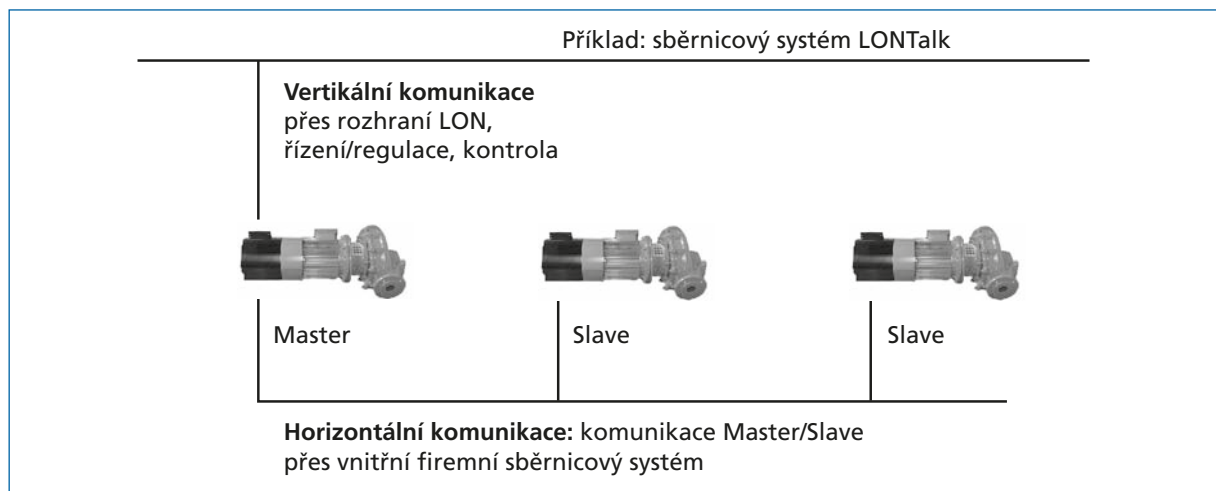


Obr. 66: Úrovňový model automatizace

## Funkce úrovní a relevantní sběrníkové systémy

Úroveň	Úkol	Použité sběrníkové systémy
Úroveň managementu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Správa informací celého systému</li> <li>• Kontrola zařízení</li> <li>• Parametrizace programů</li> <li>• Zajištění dat</li> <li>• Odečítání</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BACnet</li> <li>• FND</li> </ul>
Automatizační úroveň	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Základní funkce a funkce zpracování dat</li> <li>• Zahrnutí vstupů a výstupů</li> <li>• Průběh komplexních regulačnětechnických postupů</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BACnet</li> <li>• World FIB (Francie)</li> <li>• PROFIBUS</li> <li>• EIB on Automation Net</li> </ul>
Field level	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Specifická aplikace pro řízení/regulaci</li> <li>• Shromažďování měřených hodnot a jejich předběžné zpracování</li> <li>• Poplachová hlášení</li> <li>• Hlášení událostí</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BATibus</li> <li>• EIB</li> <li>• EHS</li> <li>• LON</li> </ul> <p>} Konnex</p>

Typická komunikační struktura skupiny čerpadel



Obr. 67: Komunikační struktura skupiny čerpadel

## 2

**Pojmy z automatizace zařízení a pokyny pro projektování**

Projektování spínacích zařízení všech napěťových úrovní zahrnuje soubor provozních podmínek, stanovení koncepce zařízení jakož i používané projektové zásady pro provedení. Fáze projektování představuje časový úsek intenzivní spolupráce mezi zadavatelem, jeho inženýrskými poradci a zhotovitelem.

Provozní podmínky jsou dány podmínkami okolí (místo instalace, lokální klimatické faktory, ovlivnění okolí), nadřazené sítě (úroveň napětí, výkon při zkratu a nakládání s nulovým bodem), četnost spínání, potřebná dostupnost, bezpečnostně-technické požadavky a specifické provozní podmínky.

S ohledem na provozní prostředky a náklady na systém musí být každé opatření posuzováno z hlediska jeho nezbytnosti a hospodárnosti.

Systémy automatizace čerpadel jsou dnes standardem, který lze pomocí moderních prostředků (CAD) snadno přizpůsobit dalším požadavkům

Pokud má být řešen úkol dopravy čerpadlem, je třeba vzít do úvahy různé provozní podmínky, např. pořizovací a provozní náklady, provozní spolehlivost (rezervní přístroje), procesní podmínky, požadované provozní chování atd.

**Pro projektování lze doporučit následující pořadí:**

- a) rozdělení průtoku na jedno nebo více čerpadel
- b) jeden nebo více měničů frekvence
- c) s/nebo bez rezervního čerpadla
- d) dimenzování čerpadel
- e) stanovení výkonu na hřídeli
- f) stanovení potřebného výkonu motoru

**K a)**

Největší podíl nákladů na plynulý regulační systém tvoří náklady na měnič frekvence. Rozdělením jmenovitého průtoku na více než jedno čerpadlo je možné pořizovací náklady při skoro stejném regulačním komfortu podstatně redukovat. Při tom se pomocí měniče frekvence provozuje jen jedno čerpadlo. Podle potřeby se zapínají a vypínají další čerpadla napájena přímo ze sítě.

Protože čerpadla dopravují látku do jednoho hydraulického systému, je tlak řízen regulovaným čerpadlem. Provozní bod se pohybuje po regulační křivce.

**K b)**

Pokud na základě technických požadavků není smysluplné pracovat jen s jediným měničem frekvence, je možné osadit více provozních čerpadel měniči frekvence. Tím se umožní, kromě zvýšení provozní bezpečnosti, spolehlivě a hospodárně zvládat i obtížné poměry instalovaného zařízení (např. silně kolísavý tlak na přítoku, častý provoz při částečném zatížení).

**K c)**

Jak je patrné z obr. 77, dosahuje se při této regulační křivce již jedním čerpadlem 75 % jmenovitého průtoku. V takovém případě je dodatečné rezervní čerpadlo (3. čerpadlo) potřebné jen u zařízení, u kterého je nutné v každém čase dosáhnout plný hydraulický výkon (např. při zásobování provozní nebo procesní vodou).

**K d)**

Potřebný průtok  $Q_N$  v jmenovitém provozním bodě může být dosažen jedním čerpadlem nebo dvěma nebo více čerpadly v paralelním provozu. Při tom je třeba dbát na dimenzování instalovaných čerpadel, protože zúčastněná čerpadla musí být schopná protnout regulační křivku. V praxi vedou příliš velké bezpečnostní přídatky při výpočtu odporu potrubí k tomu, že se čerpadla mohou dostat mimo spolehlivý pracovní rozsah.

K e)

Ke stanovení potřeby výkonu na hřídeli čerpadla může být využit níže uvedený obrázek 77.

Vychází-li se z největšího možného průtoku čerpadla se základním zatížením (průsečík regulační křivky s charakteris-

tickou čerpadla při maximálních otáčkách), je potřebný výkon na hřídeli určen spuštěním kolmice na výkonovou charakteristiku čerpadla.

K f)

Pro potřebný výkon motoru ( $P_2$ ) by měly kvůli tolerancím

charakteristiky čerpadla a charakteristiky zařízení, jakož i dodatečných motorových ztrát způsobených provozem měniče frekvence, být započteny bezpečnostními přírůbky ve výši 5 – 10 %.

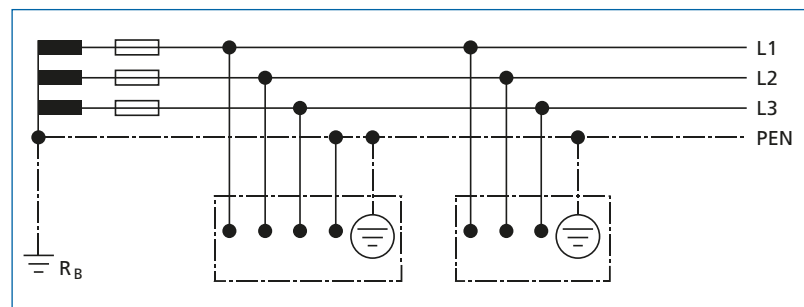
## 2.1

### Všeobecné pokyny k elektrickému zapojení

#### Druhy sítí:

##### Síť TN-C

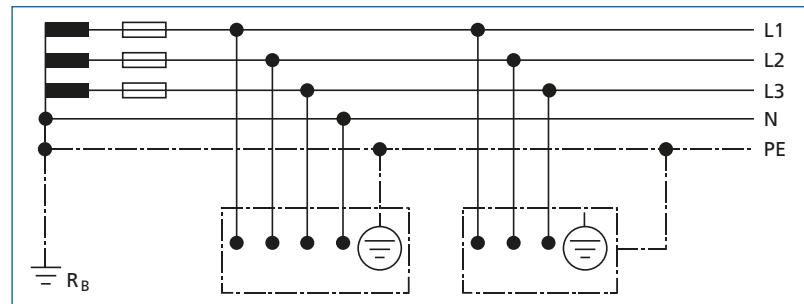
Nulový bod zdroje napětí je přímo uzemněn. Skříně připojených provozních prostředků (rozvaděče, motory atd.) jsou s nulovým bodem propojeny kombinací ochranných, resp. neutrálních vodičů (PEN).



Obr. 68: Síť TN-C

##### Síť TN-S

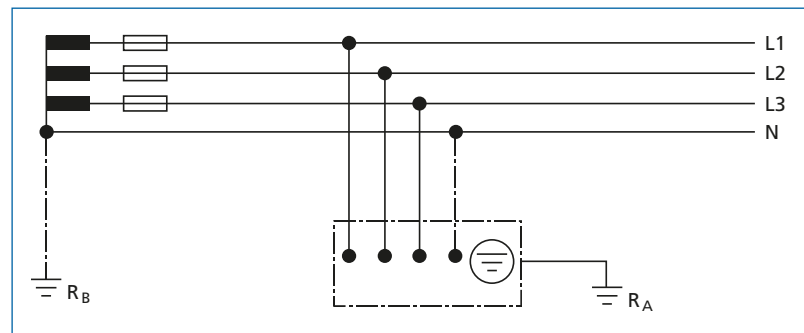
Jako nahoře, ale ochranný vodič PE a neutrální vodič N jsou uloženy odděleně.



Obr. 69: Síť TN-S

##### Síť TT (častá ve Francii)

Nulový bod zdroje napětí je přímo uzemněn. Skříně provozních systémů jsou propojeny vlastními zemněními, která jsou na zdroji napětí nezávislá.



Obr. 70: Síť TT

### Ochranná zařízení před unikajícím proudem (ochranné spínače FI)

Úkolem ochranných spínačů FI je odpojit provozní prostředky na všech pólech během 0,2 s, jakmile se následkem vadné izolace vyskytne nebezpečné dotykové napětí.

Ochranné spínače FI jsou vyráběny pro různé jmenovité unikající proudy.

Provedení s vypínacím proudem 30 mA slouží i jako ochrana osob. Při vyšších vypínacích proudcích převažuje ochrana před požáry, které by mohl zapálit unikající proud.

Přístroje se zapojením usměrňovačů (jako např. měniče frekvencí), u kterých se v případě závady objevují stejnosměrné unikající proudy, nesmějí být provozovány za ochrannými spínači FI. V takových případech se musí použít univerzální spínače FI s vyšším vypínacím proudem.

### Ochranná opatření závislá na síti

Ochranná opatření závislá na síti jsou ochranná opatření s ochranným vodičem. Ochranný vodič (PE) je propojen s neaktivními částmi elektrických provozních prostředků. Ochranný vodič a vodič PEN jsou označeny zelenožlutě.

Na síti závislá ochranná opatření způsobí v případě poruchy odpojení prostřednictvím předřazených zařízení, chránících proti nadměrnému proudu, resp. v síti TT vyvolají hlášení o závadě.

### Teplota prostředí

Na základě příslušných pokynů uvedených v DIN a VDI je možné zařízení zjednodušeně rozřadit na:

- Větrací přístroje a zařízení k větrání a odvětrání, např. v případě, že přípustná teplota prostředí je vyšší než (maximální) vnější teplota.
- Chladicí přístroje a zařízení k pouhému odvádění tepla, např. když přípustná teplota prostředí je stejná nebo nižší než (maximální) vnější teplota.
- Klimatizační přístroje nebo zařízení pro klimatizaci místností, když je třeba k odvodu tepla dodržet navíc určité klimatické podmínky v daných prostorách (teplota, vlhkost, kvalita ovzduší atd.)

### Způsob zapojení (postup spouštění) motorů s kotvou nakrátko

Motory s kotvou nakrátko (DAM) vyžadují vysoké rozběhové proudy. K zamezení rušivého kolísání napětí předepisují EVU (podniky zásobující energií) pro motory s vyšším výkonem postupy pro jejich spouštění. Při výkonu motoru přes 4 kW jsou pro motory na střídavý proud zapotřebí spouštěcí postupy.

### Postup spouštění hvězda-trojúhelník

Při rozběhu v zapojení do hvězdy se snižuje rozběhový proud i rozběhový moment třífázových motorů na jednu

třetinu hodnoty provozu při zapojení do trojúhelníku.

Tento způsob spouštění je nejčastější. (Při velkém zátěžovém momentu a malém momentu setrvačnosti je tento způsob méně vhodný kvůli značnému poklesu otáček v prodlevě při přepínání).

### Pozvolný rozběh

Prostřednictvím plně elektrotechnických přístrojů pro pozvolný rozběh je možné pozvolna rozbíhat třífázové asynchronní motory. Při tom se dávkováním napětí (metodou nařezávání fází) cíleně ovlivní záběrový proud i záběrový moment.

Je třeba rozlišovat:

- Pozvolné spouštěče s nastavitelnou rozběhovou dobou (proudové omezení je možné jen při delším trvání rozběhové doby).
- Pozvolné spouštěče s nastavitelným maximálním záběrovým proudem (při tom se nastaví doba rozběhu prostřednictvím momentové bilance motorového momentu k zátěžovému momentu).
- Pozvolné spouštěče s možností kombinovaného nastavení doby rozběhu a max. záběrového proudu.

## 2.2 Regulační funkce

Čidlo s převodníkem, instalované v systému, předává regulátoru okamžitou skutečnou hodnotu. Ten kontinuálně porovnává skutečnou a žádanou hodnotu a koriguje vzniklé odchylky. Regulační funkce je zajištěna jen případě, že je vhodně nastaven smysl působení.

Při výběru regulačního zařízení by se mělo dbát na to, aby bylo možné volit smysl působení. Při tom je třeba rozlišovat dvě možnosti:

**Smysl působení regulačního systému:**

### 1. Pozitivní

Při překročení žádané hodnoty se sníží otáčky (např. při regulaci tlaku)

### 2. Negativní

Při překročení žádané hodnoty stoupají otáčky (např. při regulaci hladiny na straně přítoku).

## Regulovaná veličina (žádaná hodnota)

- Tlak [bar]
- Tlaková diference [bar]
- Průtok [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]
- Hladina [m]
- Tlaková diference v důsledku vnější teploty [bar]
- Tlaková diference způsobená průtokem [bar]
- Tlaková diference v důsledku vnitřních průtokových funkcí (možný jen v případě jediného provozního čerpadla) [bar]
- Teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- Rozdíl teplot [K]
- Rozdíl teplot podmíněný tlakovou diferencí [K]
- Čistě provoz s externím nastavováním otáček, signál od externího regulátoru (externí špičková zátěž)

## Volba regulované veličiny

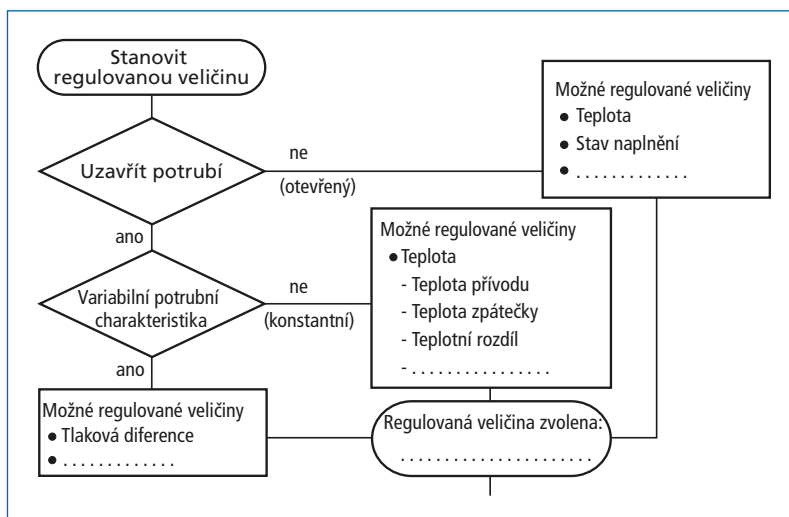
Cílem následujících úvah je nalézt takovou regulovanou veličinu, která dovoluje čerpadlu nastavováním otáček se přizpůsobit požadavkům systému.

Kolísavá potřeba systému představuje hlavní poruchovou veličinu. Úkolem regulace je i přes rušivé veličiny pokrýt potřeby systému a z větší části eliminovat negativní účinky, např. nežádoucí zvýšení tlaku.

Proto by se mělo místo měření regulované veličiny nacházet pokud možno blízko vzniku poruchy (např. reprezentační spotřebič). Proti tomuto ideálnímu případu existují v praxi následující problémy:

- a) Velké vzdálenosti mezi regulačním systémem a ideálním (reprezentativním) místem měření.
- b) Rozvětvené systémy s proměnnými, resp. nevyhraněnými nejméně vhodnými body (reprezentativní spotřebič).

Také tyto problémy je možné řešit vyzkoušenými optimalizačními funkcemi (viz optimalizační funkce).



Obr. 71:

Obě nejdůležitější rozhodovací kritéria pro výběr regulované veličiny vytváří následující otázky:

1. Jedná se u potrubního systému o uzavřený cirkulační okruh nebo o otevřený dopravní systém?
2. Je potrubní charakteristika proměnná nebo konstantní, tj. pracuje systém s konstantním nebo proměnným průtokem?

Jestliže jsou tyto dvě otázky zodpovězeny, je již provedeno předběžné rozhodnutí pro vhodnou regulovanou veličinu.

U otevřených dopravních systémů jsou nejpoužívanějšími veličinami

- Tlak
- Stav naplnění
- Průtok

U uzavřených cirkulačních systémů to jsou

- Tlaková diference
- Teplota

V dalších případech budou regulované veličiny pojednávány podrobně.

### Žádaná hodnota / přepínání žádané hodnoty

U systémů, kde se nekladou velké nároky na regulovanou veličinu, se často používá regulace s pevnou žádanou hodnotou. Protože ale také u takových jednoduchých systémů se může zátěžové chování silně měnit, umožňuje přepínání žádané hodnoty mezi dvěma nastavenými žádanými hodnotami jednoduché přizpůsobení zatížení systému.

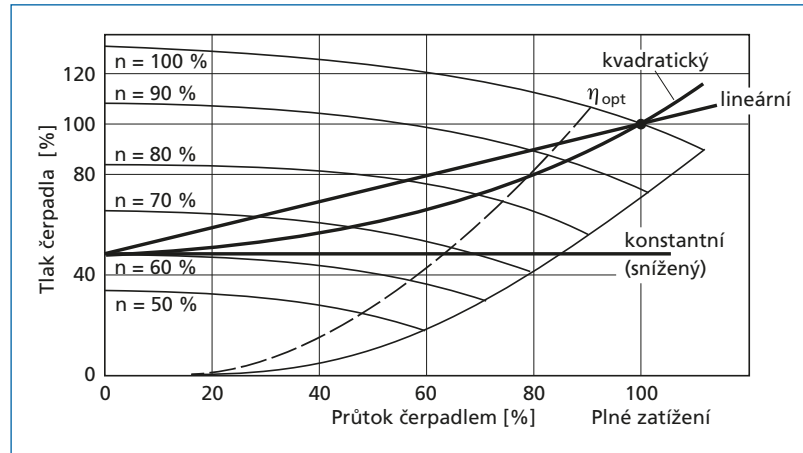
Kriteria k přepínání mohou být:

- ruční předvolba
- signál vycházející z procesu (čidlo mezní hodnoty)
- časová závislost.

### Optimalizace regulační křivky prostřednictvím:

- interní veličiny (možná s jedním provozním čerpadlem) v
  - lineární závislosti
  - kvadratické závislosti
- externí vstup v
  - lineární závislosti
  - kvadratické závislosti, charakteristika DPC – dynamické nastavování tlaku, nastavování žádané hodnoty v závislosti na průtoku; potřebné je průtokové čidlo s převodníkem).

Cílem optimalizačních funkcí je dopravní výkon čerpadel pokud možno redukovat, ale přitom ještě dostatečně zásobovat spotřebiče. Při tom je třeba dbát na dopravní limity čerpadel v celém rozsahu charakteristiky – a pokud možno – je vyčerpat.



Obr. 72: Podle chování spotřebiče je možno provozovat jednu z uvedených regulačních křivek

### Regulace s nastavováním žádané hodnoty:

dodatečně k regulované veličině se z regulovaného úseku získávají další veličiny ovlivňující regulační vstup. Regulační křivku je tak možno snadno přizpůsobit požadavkům systému (potrubní charakteristice). Je tak možno spolehlivě zamezit nadměrnému tlaku především při částečném zařízení i podkročení tlaku při plném zatížení.

### Přepínání sady parametrů

#### Přepnutí na 2. sadu parametrů:

Pro další přizpůsobení požadavkům systému existuje možnost přepnout na 2. regulátor (se samostatně nastavitelnými parametry). Tím je možné vyhovět změněnému chování v daném úseku.

### Kontrola čerpadel a hydraulického systému při automatickém způsobu provozu

Již ve fázi projektování je důležité počítat s vhodným bezpečnostní koncepcí celého systému. Cílem je omezit případně vznikající poruchy a systém pokud možno udržet co nejdéle ve správném provozu. Poruchové funkční skupiny se odpojí a nahradí rezervními skupinami nebo nouzovými funkcemi, pokud jsou k dispozici. Dále jsou vysvětleny nejdůležitější kontrolní funkce elektrických a hydraulických mezních hodnot.

### Kontrola nadměrného proudu

Základní ochranná funkce elektromotoru proti tepelnému přetížení při přímém provozu s připojením na síť. Ochranné systémy jsou závislé na proudu, kontrolují teplotu vinutí motoru prostřednictvím přitékajícího proudu. Při tom se vytváří obraz ohřevu motoru v závislosti na proudu. Používají se nadproudová relé (bimetal) s ochranným jističem nebo předřazenou pojistkou nebo nadproudový vypínač v motorovém ochranném spínači. Nadproudový vypínač za frekvenčním měničem je neúčinný, protože měnič frekvence omezuje výstupní proud pod hodnotu vypínacího proudu. Při tom se v extrémním případě napájí blokováný motor jmenovitým proudem a přehřeje se v důsledku chybějícího chlazení.

### Úplná ochrana motoru

Měření teploty poskytuje silně zvýšenou bezpečnost chráněného motoru.

Termistory a teplotní čidla zabudované v motorovém vinutí kontrolují bezprostředně teplotu motorového vinutí. Při dosažení jmenovité reakční teploty termistorového čidla silně stoupne jeho odpor a způsobí vypnutí. V některých případech se k ochraně motoru používá Klixon nebo jiné hlídače teploty na bázi bimetalu. Pokud se požaduje stálé měření teploty, lze použít rovněž čidla PT 100.

### Ochrana před chodem nasucho

Při ochraně čerpadel se kontroluje, zda je přítomno dostatečné množství dopravované kapaliny. K tomu byly ustaveny různé měřicí postupy. Při podkročení zadané mezní hodnoty se provede totální vypnutí systému s odpovídajícím hlášením. V takovém případě je možné volit mezi ručním a automatickým opětovným zapnutím systému.

V každém případě by takové poruchové hlášení mělo být uloženo pro provozní personál.

### Kontrola proudění

Pro ochranu čerpadel proti přehřátí při nulovém průtoku se používají čidla proudění. Krátkodobé podkročení mezní hodnoty je pro čerpadlo nepodstatné a proto se k němu nepřihlíží (např. během postupu rozběhu a doběhu).

Na základě hlavního cíle bezpečnostní koncepce udržet systém v dobrém provozním stavu je možné podle této koncepce volit mezi různými způsoby reakce. Nad všemi ochrannými a nouzovými funkcemi stojí požadavek ochrany člověka.

### Příslušenství měřicí techniky

Výběru příslušenství měřicí techniky (čidlům s převodníkem) je třeba věnovat obzvláštní pozornost. Spolehlivost provozu automatizovaného systému stojí a padá s bezvadnou funkcí čidel měřených hodnot. Pokud pro některé provozní podmínky budou ze strany provozovatele zařízení použita speciální měřicí čidla s převodníkem s dobrým úspěchem, měla by se taková čidla plánovat i v nově budovaných systémech. Nejsou-li k dispozici vlastní zkušenosti v různých čidlích, měl by dodavatel automatizovaného systému dodat také potřebná čidla. Tím je možné redukovat funkční problémy i záruční případy

**Obecně je třeba při výběru a montáži čidel měřených hodnot věnovat pozornost následujícímu:**

- nominálnímu provoznímu tlaku
- přípustnému přetlaku
- teplotním mezím prostředí a kapaliny
- alternativě pomocné energie prostřednictvím dálkového napájení (měřicí vedení) nebo napájecího přístroje na místě
- elektrickému přenosu signálu pro běžná použití
- druhu a maximální délce vedení měřeného signálu (počet žil, průřez, způsob stínění)
- optickému přenosu signálu při zvláštních podmínkách použití, např. při velkých vzdálenostech (1 km), v prostředí silně rušeném elek-

tromagnetickou kompatibilitou, ochraně proti explozi.

Zvolit místo instalace tak, aby

- žádné turbulence,
- žádné vzduchové pytle
- žádné znečištění

nemohly ovlivnit měření.

### Tlaková diference (tlak)

**Obvyklé principy měření**

- piezorezistivní měřicí můstky na křemíkové membráně
- induktivní měření dráhy kovové membrány

U piezoelektrických čidel je třeba věnovat pozornost tomu, aby maximální měřený tlak včetně statického tlaku systému zůstal v součtu menší než přípustný maximální tlak.

Při vysokých teplotách kapaliny by mělo být z důvodu chlazení potrubí pro měření tlaku dostatečně dlouhé. Měřicí přípojky je třeba uspořádat tak, aby se do měřicího vedení neměly možnost dostat žádné usazeniny (např. na straně nebo nahoře na hlavním potrubí).

### Měřená veličina: průtok

**Obvyklé principy měření**

- magnetická indukční měřicí čidla (MID)
- ultrazvuková měřicí čidla

**Je třeba věnovat pozornost:**

Elektronika je většinou složena ze dvou částí, převodníku s měřicí hlavou a z vyhodnocovacího systému.

Tato měřicí zařízení vyžadují minimální rychlosti průtoku. Z toho důvodu není možné měření až do nulového průtoku. Pro dimenzování průtokového čidla je rozhodující jak minimální, tak maximální průtok.

Často je jmenovitý průměr čidla menší než potrubí (menší náklady, vyšší rychlosti). Instalační polohu je třeba volit tak, aby v úseku měření nevznikl vzduchový pytel nebo turbulence. Pro MID je nutná minimální vodivost dopravované kapaliny. Vodivé usazeniny v oblasti měření (např. magnetit u cirkulačních okruhů) mohou vést k chybným výsledkům měření. Ultrazvukový princip měření je citlivý na znečištění dopravovaného média pevnými částicemi.

**Čidlo proudění****Obvyklé principy měření**

- kalorimetrické
- lopátkové čidlo

**Nutné věnovat pozornost:**

Čidla proudění se používají převážně jako hlásiče mezních signálů pro kontrolu a řízení (ochrana proti chodu nasucho, rozpoznání minimálního průtoku).

Jednodušeji instalovatelné lopátkové čidlo je citlivější na nečistoty a tlakové rázy dopravované kapaliny.

**Hladinová čidla****Obvyklé principy měření:**

- kapacitní
- hydrostatický tlak

**Poznámka:**

Kapacitní hladinová čidla s převodníkem předpokládají určité vlastnosti dopravované kapaliny (velkou dielektrickou konstantu, resp. vodivost).

Reagují citlivě na usazeniny na elektrodách. Při silném znečištění media se dobře osvědčilo měření dynamického tlaku pomocí bublinkového postupu.

**Teplotní čidla****Princip měření:**

Měření změny odporu v závislosti na teplotě

**Poznámka:**

Ponorná čidla vykazují relativně dlouhý reakční čas (pomalé reakce na změny teploty).

Musí se vyhledat provedení pro navrženou izolaci potrubí (délka čidla).

**Dokumentace**

Pro obsah a rozsáhlost dokumentace mají rozhodující význam náklady a komplexnost systému. U malých, resp. u výrobců standardizovaných systémů bývá obvykle sériová dokumentace postačující.

V případě systému specifických pro zákazníka, resp. u velkých projektů, bývá požadován popis. Především při plánování velkých objektů je často potřebné zhotovit dokumentaci odpovídající plánovanému stadiu a zahrnující nejnovější projektový postup.

Pro celkový časový plán je zapotřebí věnovat pozornost kromě dodacích lhůt výrobců schvalovacím řízením zákazníka.

**Montáž**

- Smontování (elektrické a mechanické) panelů rozvaděčů se uskuteční na stavbě.
- Pokládání a ukládání kabelů a vedení pro napájení, motory, čidla a připojení se provádí na stavbě.

Sestavení všech komponent do funkce schopného systému musí být na základě řady rozhraní pečlivě naplánováno. Následující souhrn obsahuje nejdůležitější elektroinstalační práce.

Smontování (elektrické a mechanické) panelů rozvaděčů se provede na stavbě:

na stavbě – od nabízejícího  
– viz zvláštní nabídka

Elektrické připojení je následující:

	Typ	Počet	Průřez
Proudový kabel	.....	.....	.....
Motorový kabel	.....	.....	.....
Kabel čidel	.....	.....	.....

Připojení (položení) všech kabelových spojů v rozvaděči

- Napájení  
Počet/přípojky
- Motorové kabely  
Počet/přípojky
- Kabely čidel  
Počet/přípojky
- .....

Připojení (položení) všech kabelových spojů na

- motorech počet/přípojky .....
- čidlech počet/přípojky .....
- .....

Položení kabelů zajistí

- stavebník
- nabízející

Dodání a položení kabelových vedení na straně stavby

- Zásobování proudem
- Přívody k motorům
- Sensorové kabely

Dodávka a položení elektrických kabelů včetně spojovacího a upevňovacího materiálu

- viz separátní nabídka

### Uvedení do provozu

První uvedení do provozu zahrnuje uvedení do provozu a funkční přezkoušení elektrického vodního připojení a řádně instalovaného systému a vyhotovení předávacího protokolu.

Systém musí být tak připravený, aby bylo možné testovat všechny zátěžové oblasti a provozní stavby.

Odhad potřebného času:

.....

- Náklady podle montážních podmínek KSB, tuzemsko
- Ceny jsou obsaženy v nabídce

Každý další čas potřebný k uvedení do provozu, který vyžadují okolnosti, a který nezavinila firma KSB, se vyúčtuje navíc podle příložených montážních podmínek KSB – tuzemsko.

Dodatečné náklady jako přenocování, denní cestovní časy a diety se vyúčtují podle skutečného rozsahu.

### Rozšířené uvedení do provozu

Zkušební provoz, zaškolení a optimalizace

Zkušební provoz všech rozvaděčů včetně předvedení všech blokování a bezpečnostních zařízení.

K tomu náleží také provedení všech potřebných přejímacích zkoušek jakož i zaškolení obsluhujícího personálu provozovatele. Provozovatel musí zohlednit, že uvedení do provozu a zkušební provoz není možno udělat ihned po skončení montáže a že eventuálně nelze provést všechny funkční zkoušky v daném čase jedna za druhou.

Náklady budou vyúčtovány podle vynaloženého času a rozsahu prací a podle montážních podmínek KSB -tuzemsko

### Zaškolení obsluhujícího personálu

Komplexní systémy nebo systémy s vysokými požadavky na provozní pohotovost předpokládají předem dobře vyškolený personál. Pro spolehlivý provoz systému jsou důležité následující instruktážní body:

Provozně-technické souvislosti a průběhy, obsluha systému, reakce na poruchy, rozpoznání závad a jejich odstranění. Toto zaškolení se uskutečňuje vždy po uvedení do provozu a převzetí systému.

## 3

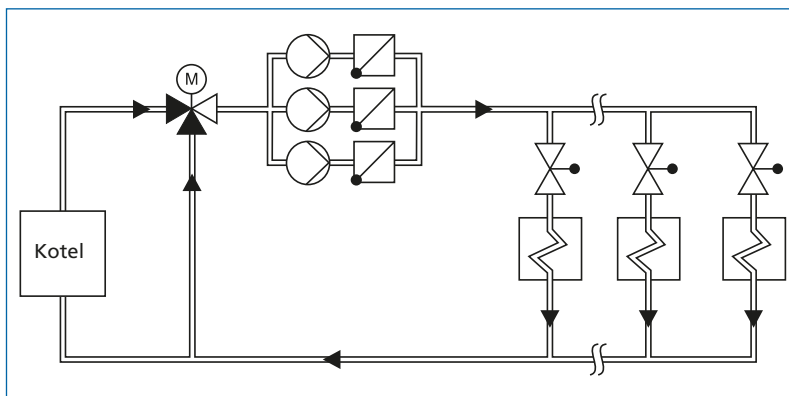
## Příklad projektování

## 3.1

## Popis systému

K dispozici jsou rozlehlé tepelné soustavy. Připojeno je 26 výměňkových stanic s potřebou tlakové diference 18 m na předávacích místech. Přizpůsobení výkonu na primární straně se uskutečňuje v závislosti na počasí pomocí škrtkící armatury. Tepelná soustava je dimenzována pro teplotu na přívodu 130 °C a teplotu zpátečky 80 °C. Pro plánovanou novostavbu je návrhový tepelný výkon maximálně 47 MW. Z maximálních hodnot tepelného výkonu a teplotního rozdílu se vypočítá průtok 861 m<sup>3</sup>/h.

Z propočtu potrubní sítě vychází při tomto průtoku



Obr. 73: Schéma systému

tlaková ztráta 24 m k ne-  
jvzdálenější výměňkové stanici.

Na základě potřebné tlakové  
diference výměňkové stanice  
 $H_W = 18$  m a na základě max-  
imálních ztrát na trase  $H_T = 24$   
m je třeba dodržet (dosáhnout)  
dopravní výšku  $H_N = 42$  m.

## 3.2

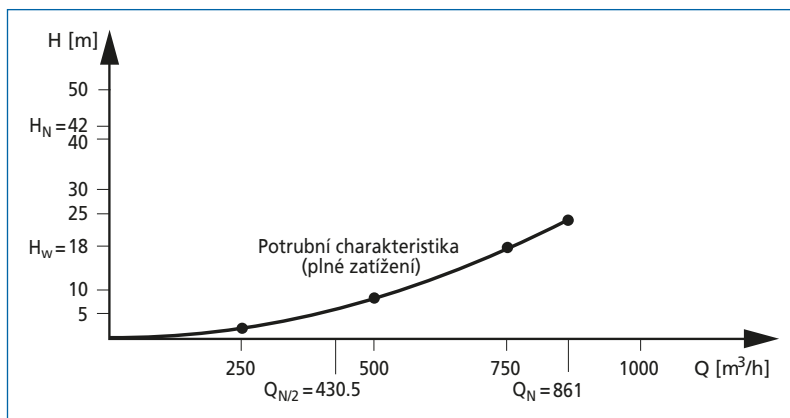
Výpočet potrubní  
charakteristiky

(viz rovněž str. 9, obr. 14)

Jsou-li pevně stanoveny jmen-  
ovitý průtok ( $Q_N$ ) a ztráty na  
trase ( $H_T$ ), je možné zkonstruo-  
vat charakteristiku potrubní sítě.

$$H_x = H_T \cdot (Q_x / Q_N)^2$$

$$H_x = 100 \% \cdot (Q_x / 861 \text{ m}^3/\text{h})^2$$



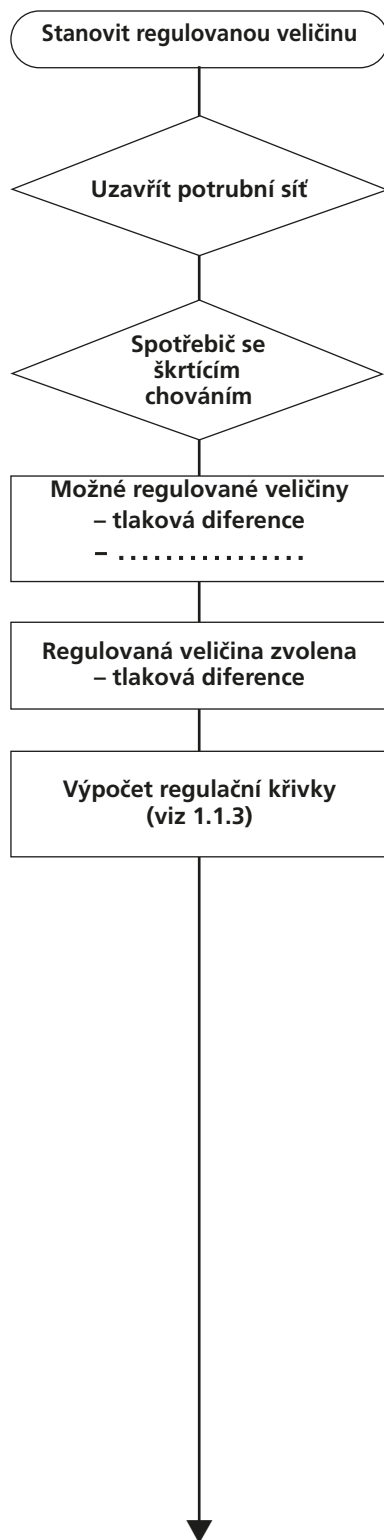
Obr. 74: Potrubní charakteristika

Nastaveno $Q_x$ [m <sup>3</sup> /h]	Hledáno $H_x$ [m]
250	2
500	8.1
750	18.2
861	24

## 3.3

### Další kroky odpovídající „Plánu průběhu projektových prací“

(Viz str. 71)

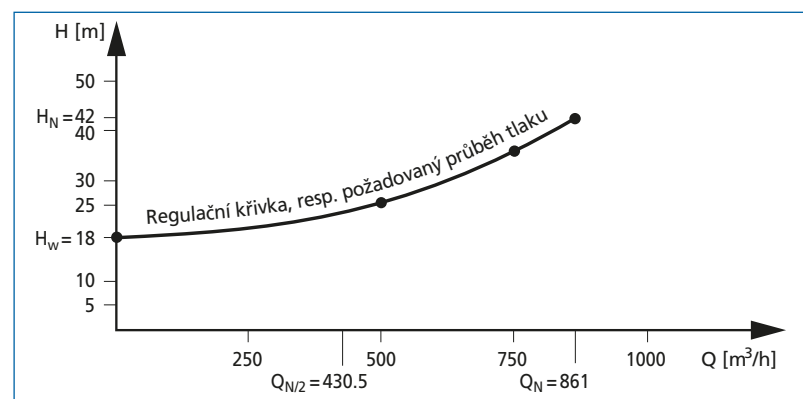


Podrobné vysvětlivky na str. 50

Uzavřená potrubní síť  
Uzavřená tepelná soustava

Prizpůsobení výkonu ve výměňkových stanicích prostřednictvím teploty na přívodu, řízené venkovní teplotou v okruhu spotřebičů

Protože chování spotřebiče řídí odpor systému, je tlaková diference správnou regulovanou veličinou

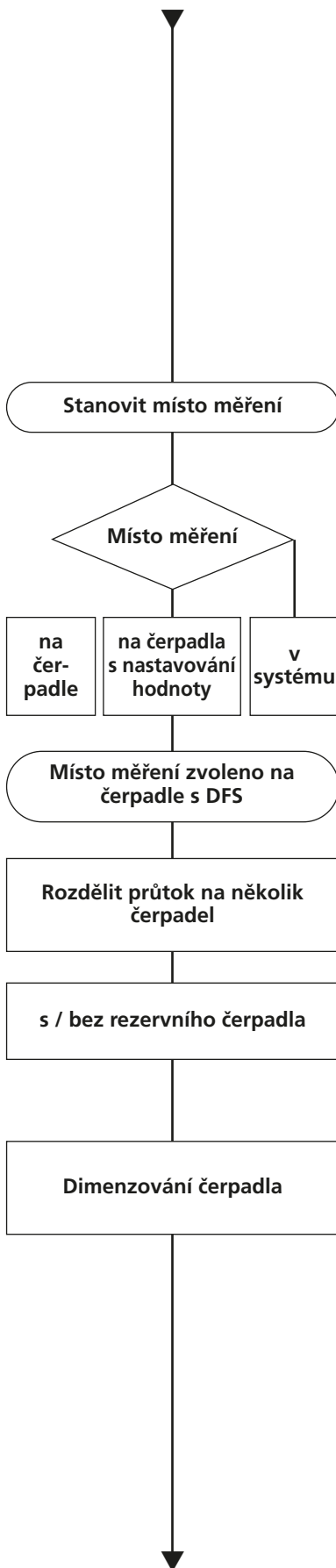


Obr. 75

$$H_x = (H_N - H_W) \cdot (Q_x / Q_N)^2 + H_W$$

$$H_x = (42 \text{ m} - 18 \text{ m}) \cdot (Q_x / 861 \text{ m}^3/\text{h})^2 + 18 \text{ m}$$

Zadáno $Q_x$ [m <sup>3</sup> /h]	Nalezeno $H_x$ [m]
0	18
250	20
500	26.1
750	36.2
861	42



V dalším kroku se musí určit průběh tlakové diference.

Aby se v žádné výměňkové stanici neprojevovalo nedostatečné zásobování, musí být minimální tlaková diference 18 m. Tj. také při minimální spotřebě  $\cong 0 \text{ m}^3/\text{h}$  musí být dodržen minimální tlak rozdíl  $H_W \cong 18 \text{ m}$ . Při stoupa-

jícím průtoku se k této hodnotě přičítají ztráty v potrubní síti (viz též charakteristiku potrubní sítě).

Počátek křivky se malým rozšířením vzorce posune na vyšší žádané hodnoty.

Z důvodu velmi rozvětvené potrubní sítě není měření tlakového rozdílu na nejméně vhodném bodě soustavy realizovatelné (náklady, stanovení na nejméně vhodném bodu soustavy).

Protože měření průtoku (počítání energie) je již stejně zavedené, měří se také tlaková diference ve výtopně. Využitím DFS, zahrnutého v moderních regulačních systémech KSB (viz str.40) je dána plnohodnotná náhrada pro měření nejméně vhodného bodu soustavy.

Na základě výkonových dat typického chování při zátěži (obvyklý provoz při částečném zatížení) je účelné rozdělit celkový průtok na dvě čerpadla.

Z bezpečnostních důvodů se instaluje třetí stejně veliké čerpadlo (výkon čerpadla  $3 \times 50 \%$ ). Rezervní čerpadlo je samozřejmě plně integrováno do automatizačního konceptu (bezpečnostní přepojování, střídání čerpadel).

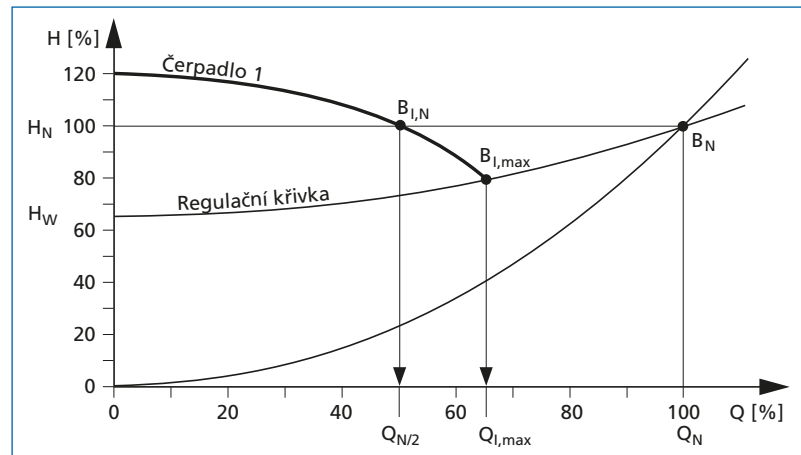
#### Bod plného zatížení (nově dimenzované systémy)

Jmenovitý průtok se rozdělí mezi dvě stejná čerpadla. Pro tento jmenovitý průtok ( $Q_N$ ) (viz obr. 76) je potřebná jmenovitá dopravní výška ( $H_N$ ). To znamená, že jednotlivé čerpadlo ( $P_1$ ) musí při polovičním jmenovitém průtoku ( $1/2 \cdot Q_N$ ) rovněž dosáhnout jmenovitou dopravní výšku ( $H_N$ ).

#### Provoz s částečným zatížením

Při provozu s částečným zatížením je třeba věnovat pozornost regulovanému čerpadlu pro základní zatížením, aby provozní body ležely vždy na tzv. regulační charakteristice. Regulační křivku je třeba nastavit tak, aby byl přinejmenším dosažen nastavený tlak. Pro bezpečný provoz čerpadla je důležité, aby daná charakteristika

čerpadla (při jmenovitých otáčkách) protínala regulační křivku. V daném příkladě by to byl bod  $B_{1,max}$ .



Obr. 76: Diagram  $Q/H$ , schematické znázornění

Stanovit výkon na hřídeli

Ze souvislostí zjištěných pro provozu s částečným zatížením je zřejmé, že jednotlivě provozované čerpadlo se základním zatížením podává svůj max. výkon na hřídeli ( $P_{W,max}$ ) v bodě  $B_{1,max}$ . Tuto hodnotu je třeba odečíst vždy z daného diagramu čerpadla nebo vypočítat pomocí výkonového vzorce.

**Pozor!** Maximální výkon na hřídeli při základním zatížení je větší než při  $Q_{N2}$ .

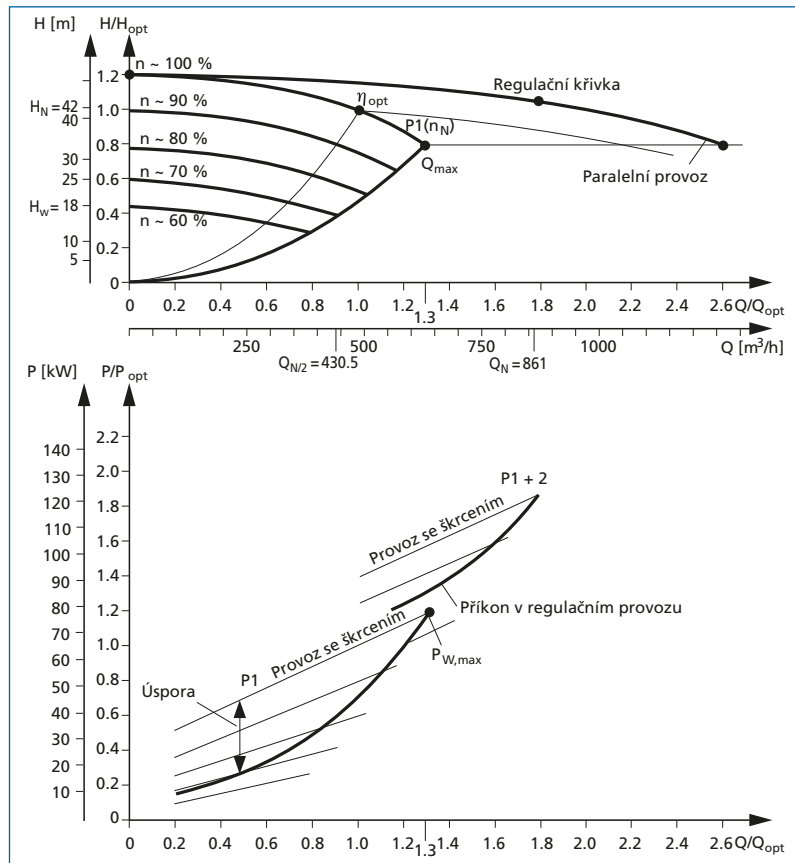
Stanovit požadovaný výkon motoru

Výkon na hřídeli voleného motoru musí být přinejmenším tak veliký, jako max. výkon na hřídeli čerpadla ( $P_{W,max}$ ) plus bezpečnostní přídávky. Bezpečnostní přídávky zohledňují tolerance charakteristik a dodatečné ztráty na motoru, podmíněné měničem frekvencí. Zde se počítá s bezpečnostním přírůstkem 5 %. Podle typu měniče frekvence a jeho konstrukce se doporučují různé bezpečnostní přídávky.

V našem příkladu platí:

Z výkonnostního diagramu:	$P_{w, max}$	=	78.2 kW
Bezpečnostní výkonový přírůstek	5%	=	3.9 kW
Požadovaný výkon motoru:	$P_2$	=	82.1 kW
<b>Nejbližší možná velikost motoru:</b>		=	<b>90 kW</b>

Na obr. 77 jsou shromážděny všechny nejdůležitější výsledky projektování. Na tomto místě je hydraulické dimenzování čerpadla jakož i určení provozního chování v regulovaném provozu uzavřeno.

Obr. 77: Diagram  $Q/H$  a výkonová charakteristika

## Zvláštní požadavky

Pro kompletní projektování je třeba zohlednit ještě řadu dalších provozních podmínek, resp. požadavků. Ty jsou uvedeny v popisech k jednotlivým součástem systému.

## Pro čerpadlo:

- Druh kapaliny
- Materiál
- Teplota
- Tlak atd.

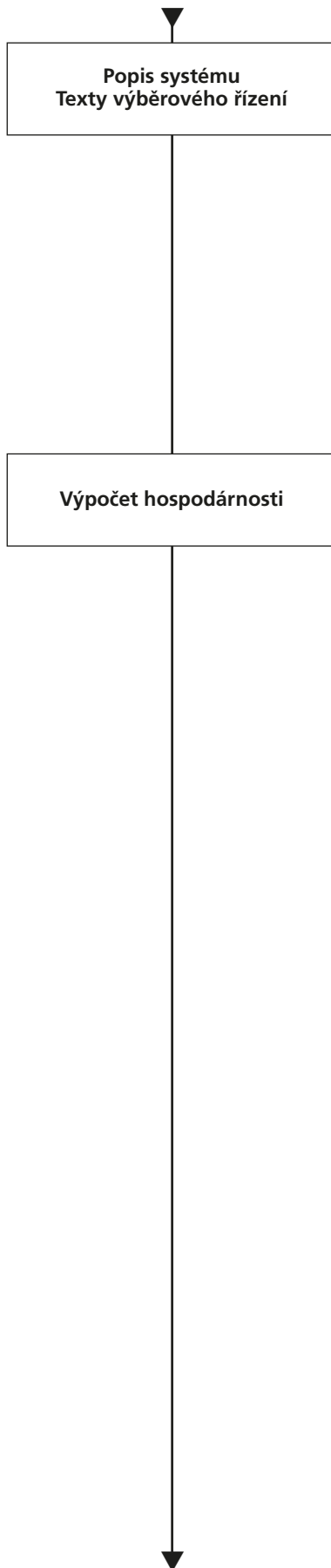
## Pro regulační systém:

- Znaky elektrického vybavení
- Mechanické provedení atd.
- Řídící technika – napojení

## Zvláštní technické

## požadavky na systém:

- Potřebná bezpečnostní opatření
  - Nouzová vypínání
  - Ochrana proti přetlaku
  - Nouzové elektrické napájení atd.
- Procesně-technické provozní podmínky
  - Postupy při rozběhu podle časového programu
  - Kvalita regulace (tolerance)
  - Možnosti ručního zásahu



Prostřednictvím automatické regulace čerpadel se technický systém uvede do požadovaného provozního stavu (např. v závislosti na spotřebě). Systém se musí sám kontrolovat, musí zamezit vzniku kritických provozních stavů a při poruchách přejít do bezpečného stavu.

Všeobecné funkční způsoby a spolupůsobení jednotlivých komponent a agregátů jsou uvedeny v popisu systému.

Popis k projektu fixuje požadovaná data o systému, provozu a výkonu. Dodatečně obsahuje rozpis přesné technické specifikace použitých přístrojů a komponent a příp. požadované komerční podmínky.

Pro posouzení hospodárnosti se porovná příkon dvou neregulovaných čerpadel s příkonem v regulovaném provozu. V tomto případě pracuje systém s jedním plynule regulovaným čerpadlem a jedním neregulovaným čerpadlem pro špičkové zatížení. Tepelná soustava uvažovaná v tomto případě vytápění má spotřebiče se škrtícím chováním.

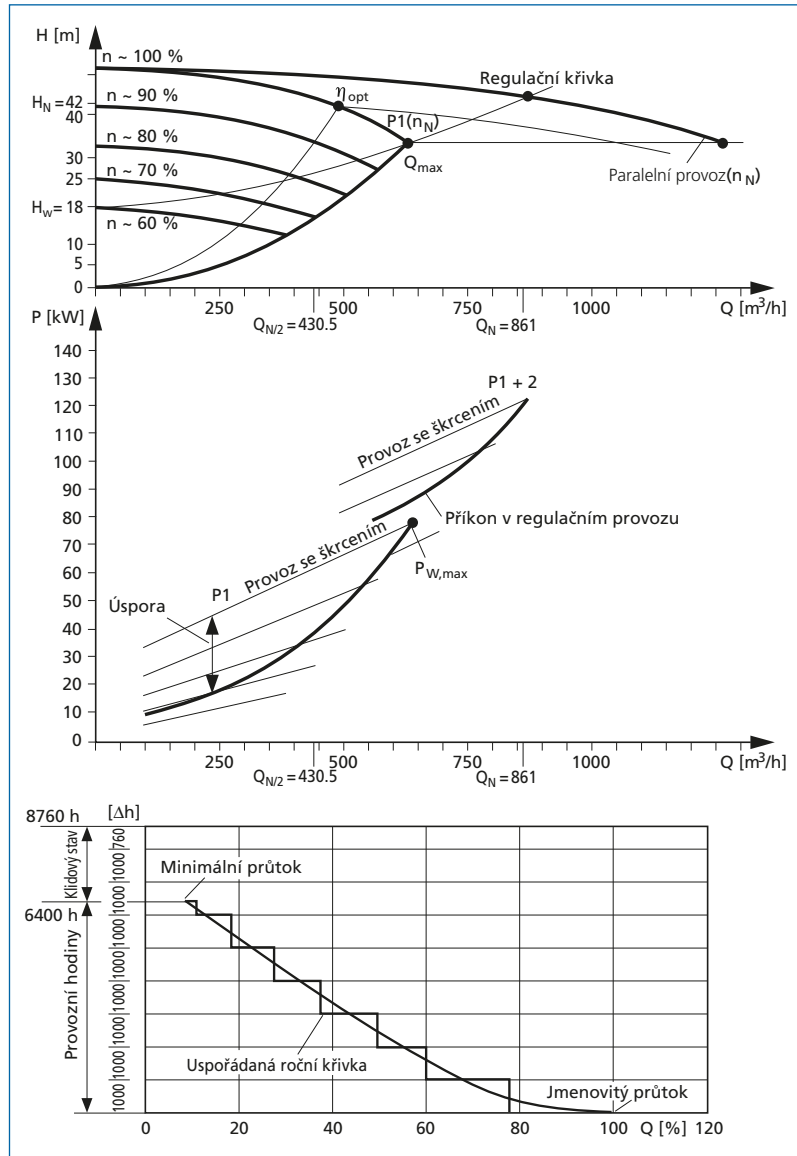
Podrobný popis posouzení hospodárnosti je uveden v základní části (kapitola 1.1.4). Navíc je tam popsán výpočet charakteristik čerpadel při nastavování otáček.

Způsob postupu:

Pomocí diagramu Q/H a zakreslené regulační křivky se graficky zjistí příkonové charakteristiky v regulovaném provozu (obr. 80).

Pro náš praktický příklad byla použita následující přípustná zjednodušení:

- Uspořený výkon na hřídeli PW je položen naroveň uspořenému elektrickému činnému výkonu.
- Různé spínací limity pro čerpadlo pro špičkové zatížení v neregulovaném a v regulovaném provozu nebudou zohledněny.
- Prostřednictvím zátěžových profilů budou přiřazeny určité zátěžové stavy ročním provozním dobám a v souladu s příslušnými úsporami příkonu diagramu přiřazeny příslušné úspory na příkonu. Ze zkušebních podmínek je získán standardizovaný zátěžový profil pro ekonomickou značku „Modrý Anděl“ pro topenářská oběhová čerpadla (RAL-UZ 105).



Obr. 78: Charakteristiky pro výpočet hospodárnosti

Výsledky jsou shrnuty v tabulce výpočtu hospodárnosti (viz str. 52). Pro stanovení amortizační doby jsou relevantní ještě následující ovlivňující faktory:

- Nový systém / starý systém (modernizace)
- Stupeň vybavenosti spínacího zařízení
- Specifické firemní metody výpočtu
- Cena proudu včetně vedlejších nákladů

Podle ovlivňujících faktorů je třeba počítat s amortizační dobou mezi 1,8 a 2,9 roku.

#### Výpočet hospodárnosti

$\Delta P_E$ kW	B h/a	S Euro/kWh	$\Delta E_E$ Euro/a
19	1000	0.10	1,900.--
15	1000	0.10	1,500.--
21	1000	0.10	2,100.--
26	1000	0.10	2,600.--
26	1000	0.10	2,600.--
28	1000	0.10	2,800.--
25.5	400	0.10	1,020.--
			$\Sigma$ 14,520.--

#### Výsledek:

Za předpokládaných provozních podmínek je možné počítat s roční úsporou nákladů za proud pro oběhová čerpadla ve výši cca 14.500 Euro. Podle jednotlivých ovlivňujících faktorů je možné počítat s amortizační dobou v rozmezí 1,8 až 2,9 roku.

#### Legenda:

$\Delta P_E$  : uspořený příkon  
 B : provozní hodiny  
 h/a : hodiny za rok  
 S : náklady za proud  
 $\Delta E_E$  : úspory nákladů za elektřinu  
 $\Delta E_E = \Delta P_E \cdot B \cdot S$

## 4

## Důvody pro automatizaci a regulaci čerpadel

## 4.1

## Provozní spolehlivost

a) Ochranná opatření	Např. • Střídání čerpadel pro jejich rovnoměrné zatížení • Zajištění minimálního průtoku čerpadel • Kontrola charakteristického pole čerpadel • k zamezení nepřípustných provozních stavů	Užitek: • Vyšší použitelnost systému
b) Přepnutí v případě poruchy	Např. • přepojení na – rezervní čerpadlo – rezervní frekvenční měnič – síťový provoz	Užitek: • Dopravní úkoly jsou nadále plněny
c) Kontrola	Např. • mezní hodnoty pro – nedostatek vody – teplota – regulovaná • vypnutí systému	Užitek: • Ochrana systému před větším poškozením

## 4.2

## Zlepšení provozního chování

a) Udržení procesních dat na konstantní hodnotě	Např. • Rozdíl tlaku v tepelných sítích • Tlaku v arízení na zvýšení tlaku • Stav naplnění v usazovacích zařízeních • Průtok při úpravě vody	Užitek: • Optimalizace procesního postupu zajišťuje stále stejně vysokou kvalitu
b) Snížení tlakových rázů	Např. • v systémech pro zásobování vodou	Užitek: • vyšší provozní spolehlivost • snížení otřesů, hluku a zničení materiálů
c) Snížení četnosti spínání	Např. • v systémech pro zásobování vodou	Užitek: • žádné spínání při třepotavé chvění zvuku
d) Snížení hlučnosti proudění	Např. • u termostatických ventilů otopných těles	Užitek: • vyšší komfort

## 4.3

## Zvyšování kvality produktu

- |                        |  |   |
|------------------------|--|---|
| a) u obráběcích strojů | Např. • konstantní tlaky v systémech chladících a mazacích prostředků<br>• zmenšení zanášení tepla do chladících a mazacích prostředků | <b>Užitek:</b><br>• rozměrově přesnější výrobky         |
| b) válcovací tratě     | Např. • přizpůsobení průtoků a tlaků u rozstřikovacích trysek  | <b>Užitek:</b><br>• zlepšená kvalita u tažených profilů |

## 4.4

## Snížení provozních nákladů / Life-Cycle-Costs Reducing

- |  |  |  |
|--|--|--|
| a) Efektivní optimalizace potřeby              | Např. • Přizpůsobení výkonu čerpadla k profilu potřeby systému   | <b>Užitek:</b><br>• snížené investiční náklady<br>• úspory na nákladech za elektřinu |
| b) Snížené náklady za elektřinu                | u • předimenzování výkonu čerpadel<br>• systému s provozními časy s převážně nízkou spotřebou<br>• velkých výkonů motorů | <b>Užitek:</b><br>• úspory na nákladech za elektřinu                                 |
| c) Šetření částí systému                       | Např. • na škrtkách orgánech, potrubí a čerpadlech   | <b>Užitek:</b><br>• úspory na nákladech za údržbu                                    |
| d) Snížení energetických ztrát systému         | Např. • u tepelných sítí reaguje přepouštěcí ventil jen zřídka, tím se ztratí menší množství tepla přestupem do země     | <b>Užitek:</b><br>• úspory na nákladech za palivo                                    |
| e) Přizpůsobení dopravaného množství (průtoku) | Při • nouzovém stavu vody snížením charakteristik žádané hodnoty   | <b>Užitek:</b><br>• šetření zásob vody   |

## 4.5

## Zlepšení informovanosti o systému

- |                                      |   |  |
|--------------------------------------|---|--|
| a) Provozní údaje čerpadel           | Např. • pořízení<br>• komprimování<br>• přiřazení<br>• vyhodnocení<br>• zobrazení   | <b>Užitek:</b><br>• určení slabých míst<br>• informace o provozních postupech<br>• optimalizace systému<br>• nové poznatky pro nové projektování systému |
| b) Procesní informace                | Např. • vyhodnocování čidel<br>• uložení měřených hodnot, chybových dat apod.<br>• provozní statistika<br>• detekce a diagnóza chyb<br>• rozbor poznání | <b>Užitek:</b><br>• snížení inspekčních a servisních nákladů<br>• včasné odhalení škody  |
| c) Přenos dat přes sběrníkový systém | Např. • start/stop<br>• žádaná hodnota/skutečná hodnota<br>• závady<br>• stav   | <b>Užitek:</b><br>• více informací<br>• jednodušší přenos<br>• jednodušší zpracování   |

## 5 Automatizační koncepce v přehledu

Podle požadavků na dopravní úkoly a s ohledem na provozní podmínky, kterým je třeba věnovat pozornost, mohou nejpříznivější řešení spočívat v různých koncepcích elektrického a hydraulického zapojení. Ty sahají od jednoho regulovaného čerpadla až po více stejných nebo nestejně velkých čerpadel s jedním nebo více měniči frekvence. Z hlediska hydrauliky existuje rozpětí od paralelního zapojení čerpadel sériové zapojení až po kombinaci obou způsobů.

Obr. 79 a 80 ukazují přehled nejčastějších možností spínací techniky. Na následujících stránkách jsou stručně popsána některá paralelní zapojení.

	Neregulovaný		Regulovaný		
			Měnič frekvence 1	Měnič frekvence 2	Několik měničů frekvence

Obr. 79: Schéma systému „Paralelní zapojení odstředivých čerpadel“

	Neregulovaný		Regulovaný	
			Měnič frekvence 1	Měnič frekvence 2

Obr. 80: Schéma systému „sériového zapojení odstředivých čerpadel“

### 5.1 Paralelní zapojení stejných čerpadel s jedním měničem frekvence (jedno čerpadlo střídavě regulované)

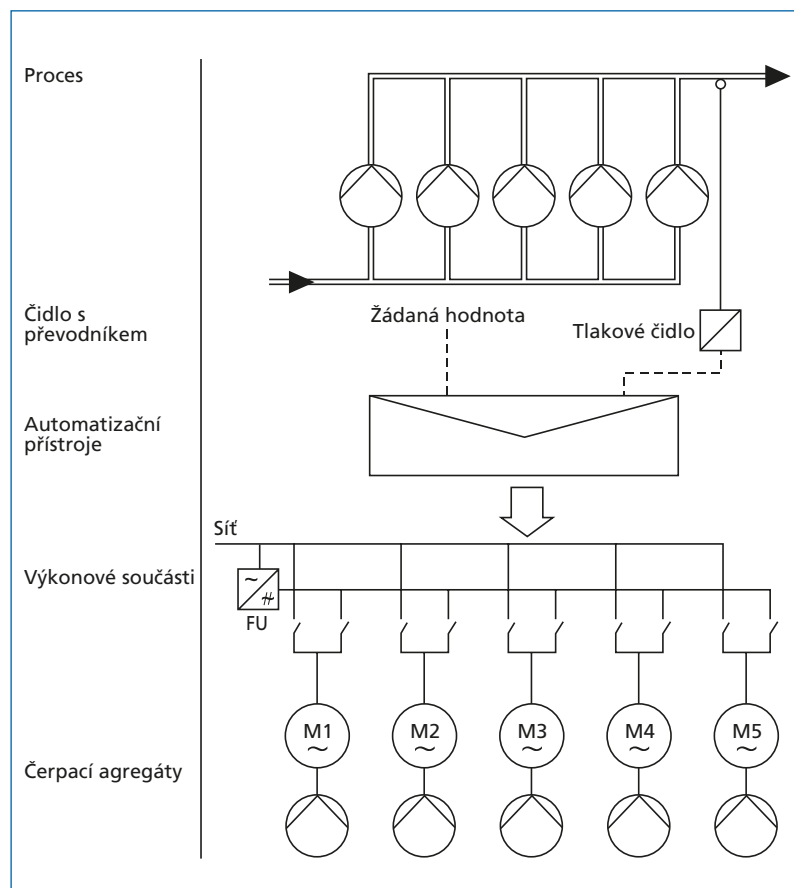
Rozdělení průtoku na několik stejně velkých čerpadel. Tím se dosáhne:

- dobré přizpůsobení potřebám
- jednoduchá konstrukce
  - elektrického systému
  - řídicí techniky
  - hydraulického systému

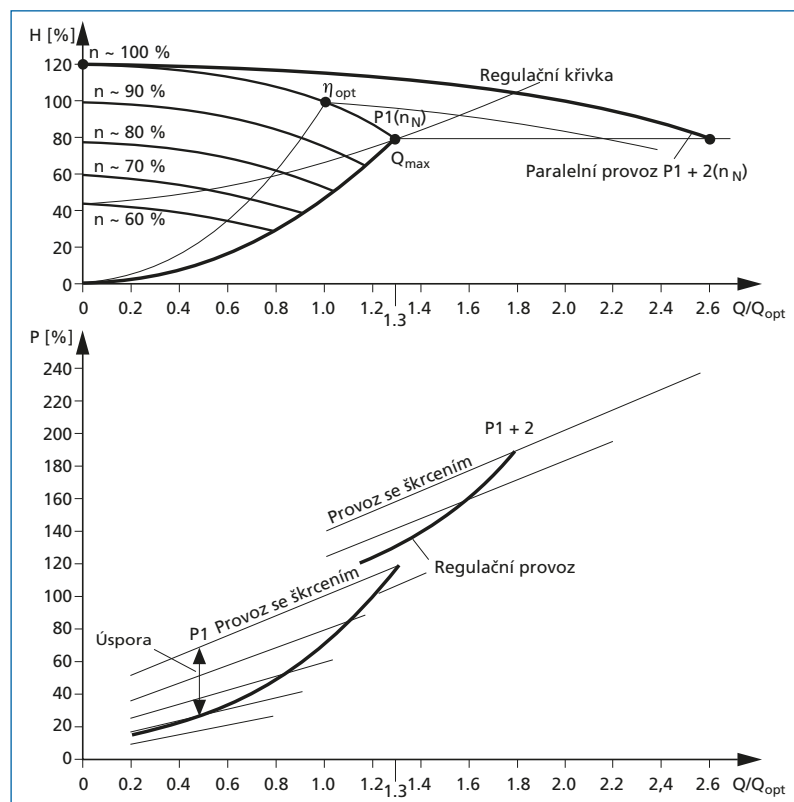
Každý čerpací agregát může být provozován jak s měničem frekvence, tak v síti s 50 Hz. Tím se dosáhne:

- provozní spolehlivost
- stejnoměrné zatížení střídáním regulovaného čerpadla
- neregulovaná čerpadla pro špičkové zatížení vedou k cenově výhodnému zvýšení průtoku
- stálá regulační křivka i při paralelním provozu s neregulovanými čerpadly, protože se tlak čerpacího systému řídí podle regulovaného čerpadla

Při snižování dopravního výkonu čerpadla – snížením otáček – bude zapotřebí jen ještě silně redukovaný výkon na hřídeli. Tento efekt se nastavuje také po připojení čerpadel pro špičkové zatížení.



Obr. 81: „Paralelní zapojení odstředivých čerpadel“



Obr. 82: Výkonový diagram při „paralelním zapojení odstředivých čerpadel“

## 5.2 Paralelní zapojení stejných čerpadel se dvěma měniči frekvence (2 střídavě regulovaná čerpadla)

Průtok je rozdělen mezi několik stejně velikých čerpadel. Každý čerpací agregát může být provozován jak s každým z obou měničů frekvence, tak i v síti 50 Hz.

Tím se dosáhne:

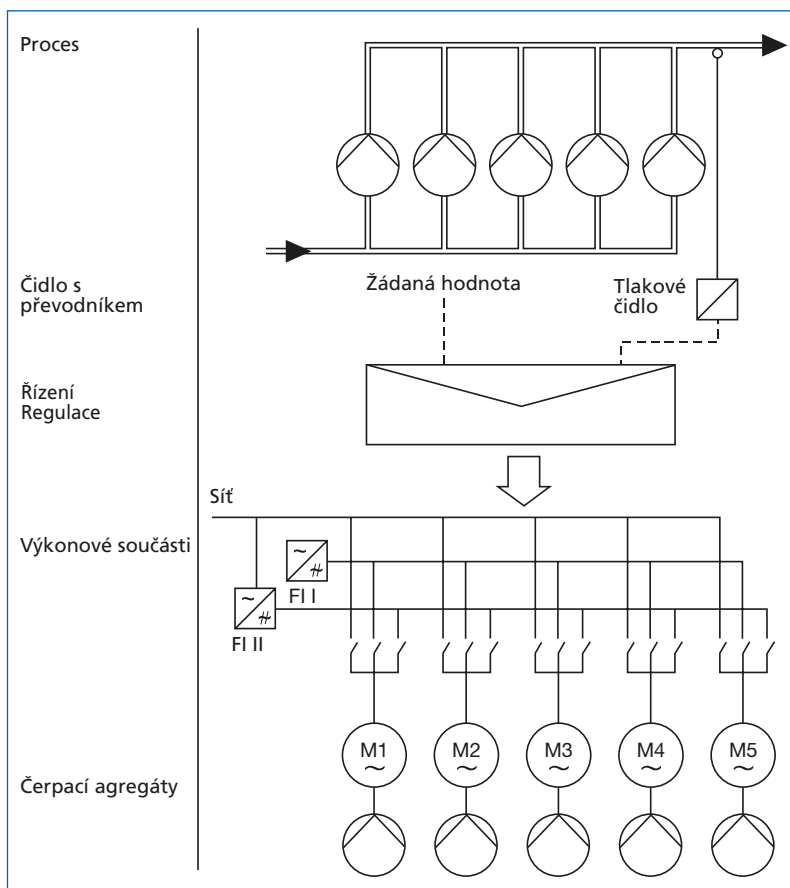
- velká provozní spolehlivost
- omezení rozběhového proudu regulovaných čerpadel na jmenovitý proud
- možná pozvolná elektrické a hydraulické střídání čerpadel

Možností provozovat dvě čerpadla prostřednictvím dvou měničů frekvence jsou dány následující hlavní hydraulické přednosti:

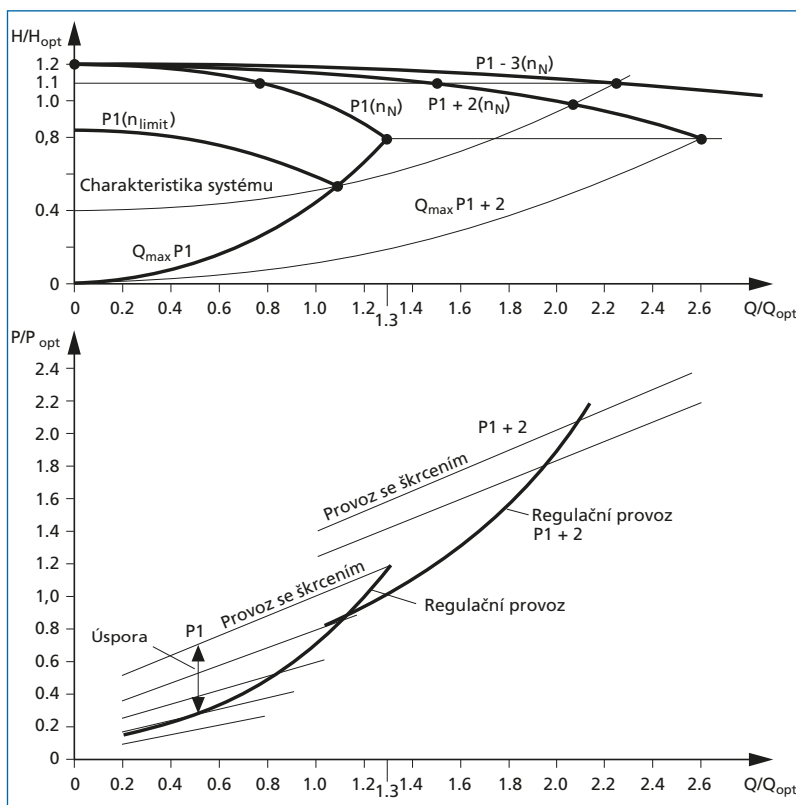
- silně rozšířený rozsah regulace
- zdvojení mezní křivky čerpadla  $Q_{\max} P1$  na  $Q_{\max} P1 + P2$
- Pozvolný hydraulický rozběh a doběh regulovaných čerpadel a silně tlumené chování u neregulovaných čerpadel

Oproti provozu jen s jedním měničem frekvence jsou možné další úspory. Ty jsou v podstatě zdůvodněné:

- větším rozsahem regulace, např. větším využitím tlaku na vstupu
- počínaje dvěma čerpadly lepší účinností při částečném zatížení



Obr. 83: Schéma systému „paralelního zapojení odstředivých čerpadel“



Obr. 84: Výkonový diagram při „paralelním zapojení odstředivých čerpadel“

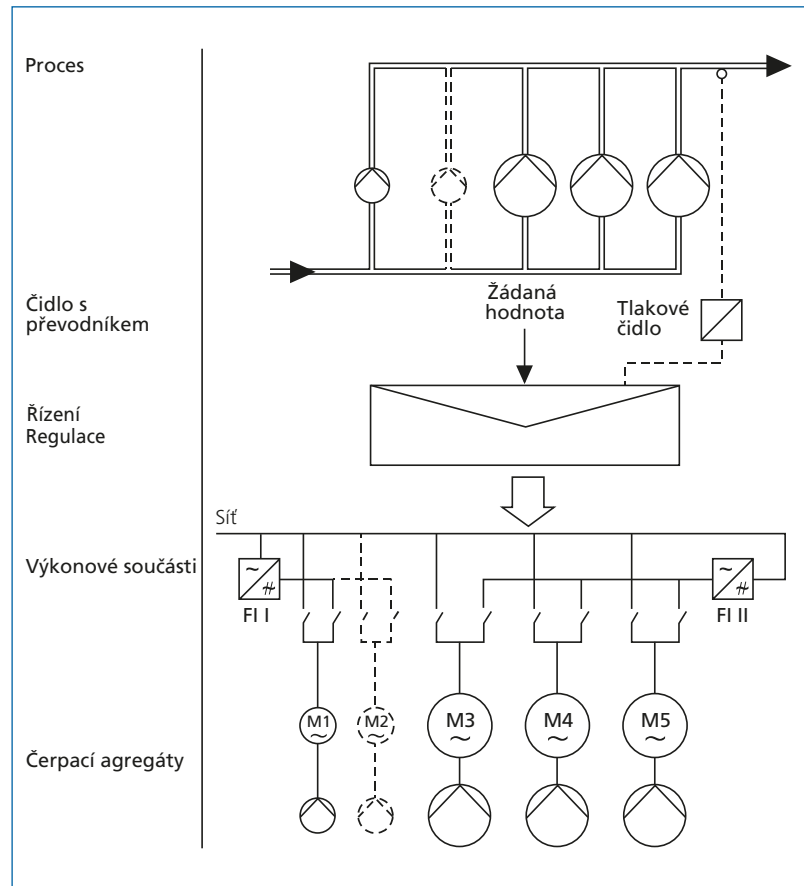
### 5.3 Paralelní zapojení nestejných čerpadel (3 hlavních čerpadel a jednoho, resp. dvou čerpadel se základním zatížením, z toho vždy jedno regulovatelné)

Celkový průtok je rozdělen na jedno čerpadlo s malým zatížením a několik čerpadel s hlavním zatížením. Použití takových systémů se uskutečňuje především u zařízení se silně kolísající spotřebou. To platí jak pro systémy např. s kolísáním spotřeby závislým na roční době, ale také pro systémy s častými změnami spotřeby během denního pracovního cyklu.

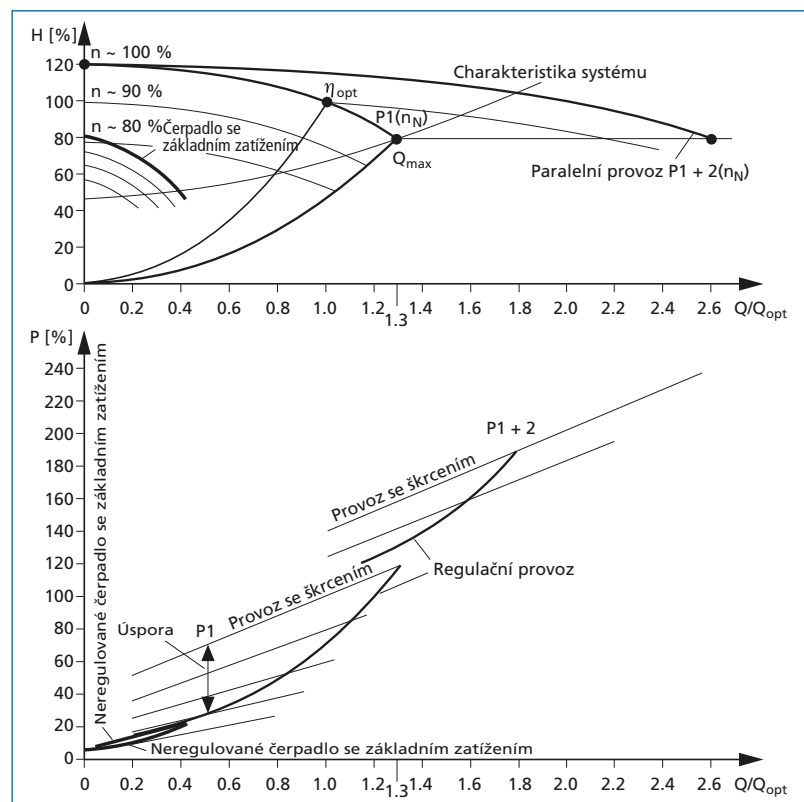
Systém může být koncipován tak, aby pro čerpadlo s malým zatížením bylo k dispozici stejné rezervní čerpadlo. Při omezení požadavků na bezpečnost je možné se tohoto čerpadla vzdát. Zásobování ve stavu nouzového provozu pak převezmou hlavní čerpadla.

Oblast slabého zatížení se pokryje malým čerpadlem. Tím se dosáhne následujícího:

- lepší účinnost čerpadel
- zajištění minimálního průtoku hlavních čerpadel
- při slabém zatížení snížení četnosti spínání



Obr. 85: Schéma systému „paralelního zapojení odstředivých čerpadel“

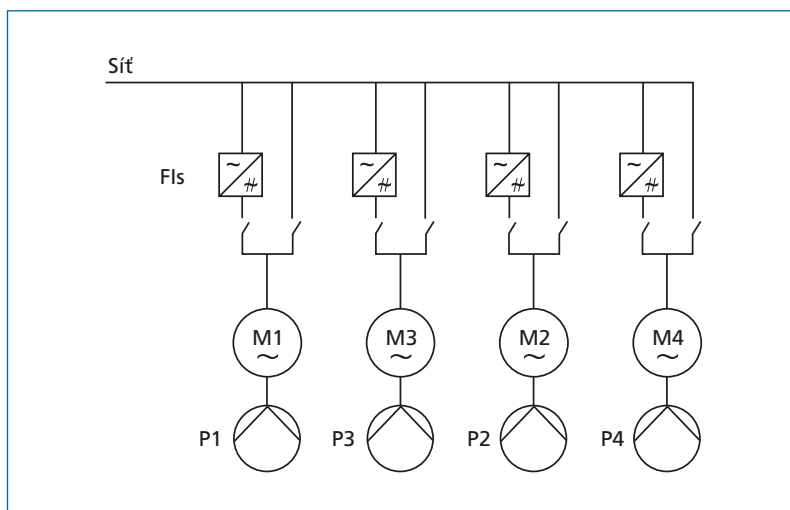


Obr. 86: Výkonový diagram při „paralelním zapojení odstředivých čerpadel“

## 5.4

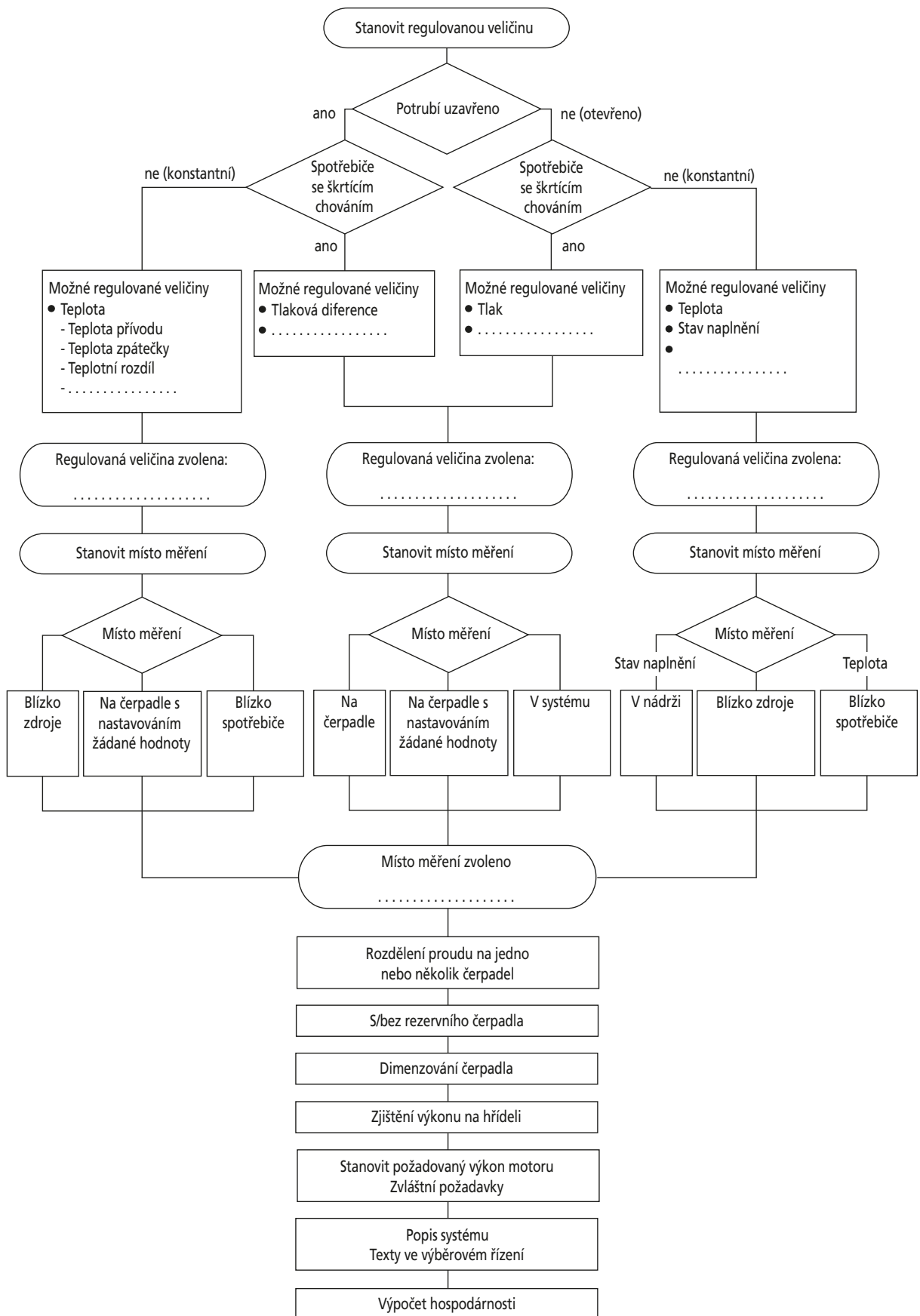
**Další koncepte elektrického zapojení z programu KSB**

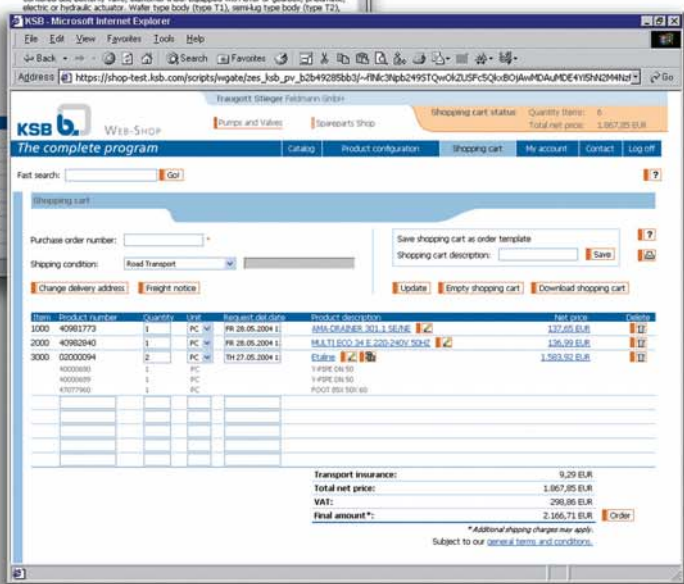
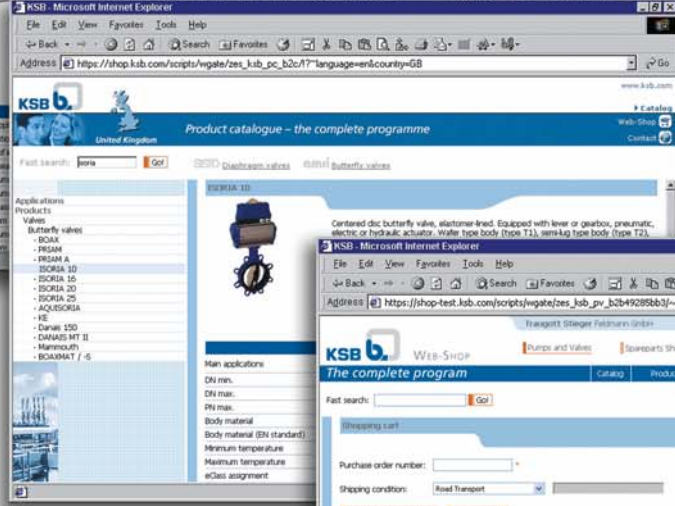
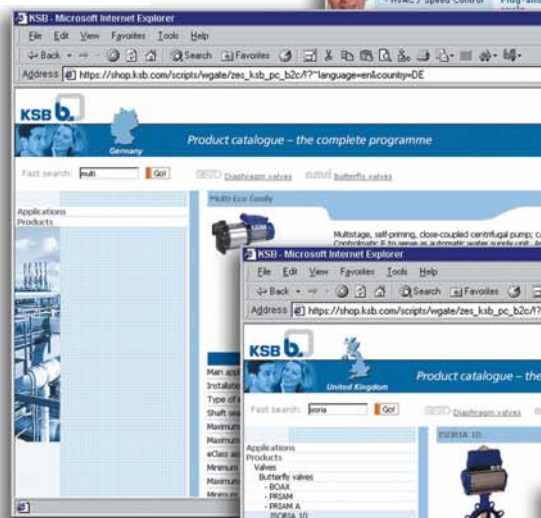
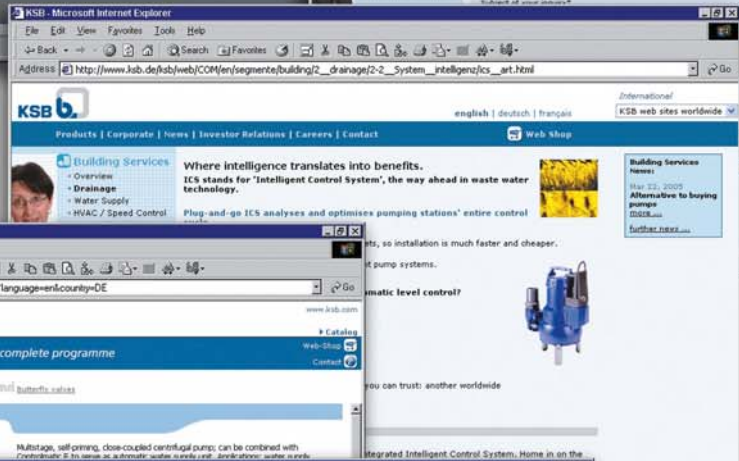
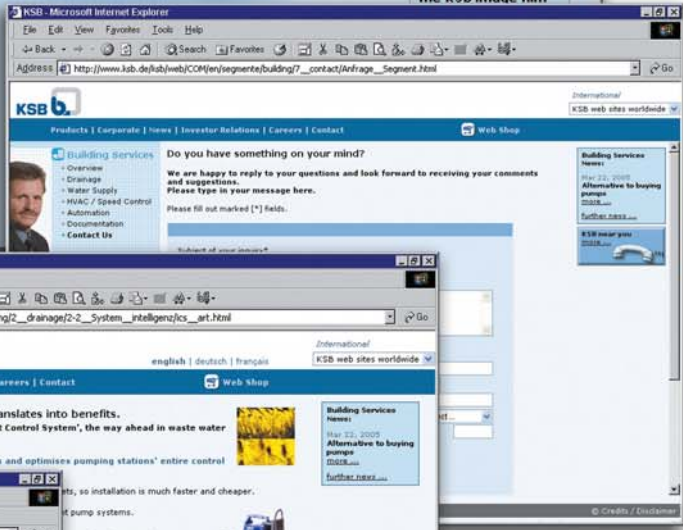
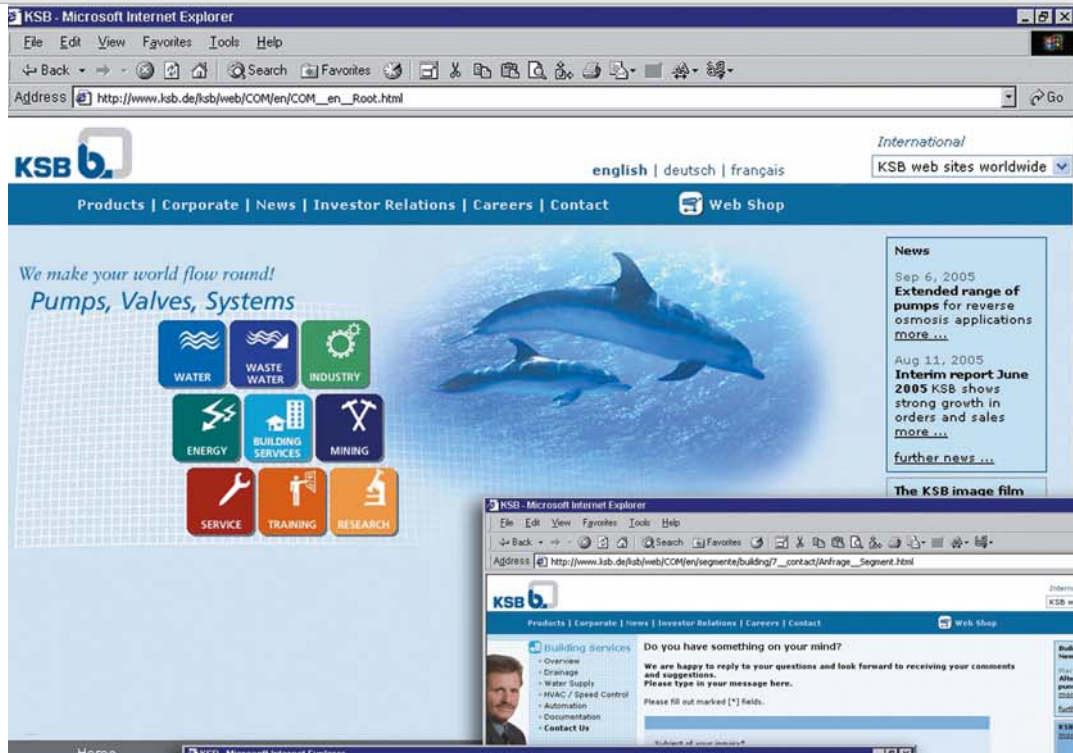
Optimální z hlediska regulační techniky je řešení, při kterém je každému čerpadlu/motoru přiřazen měnič frekvence. Nevýhodou jsou vysoké náklady na přístroje a větší potřeba místa. Pro určité případy použití (např. pro tepelné soustavy vždy se dvěma čerpadly pro přívod a zpátečku) je to nejvhodnější řešení.

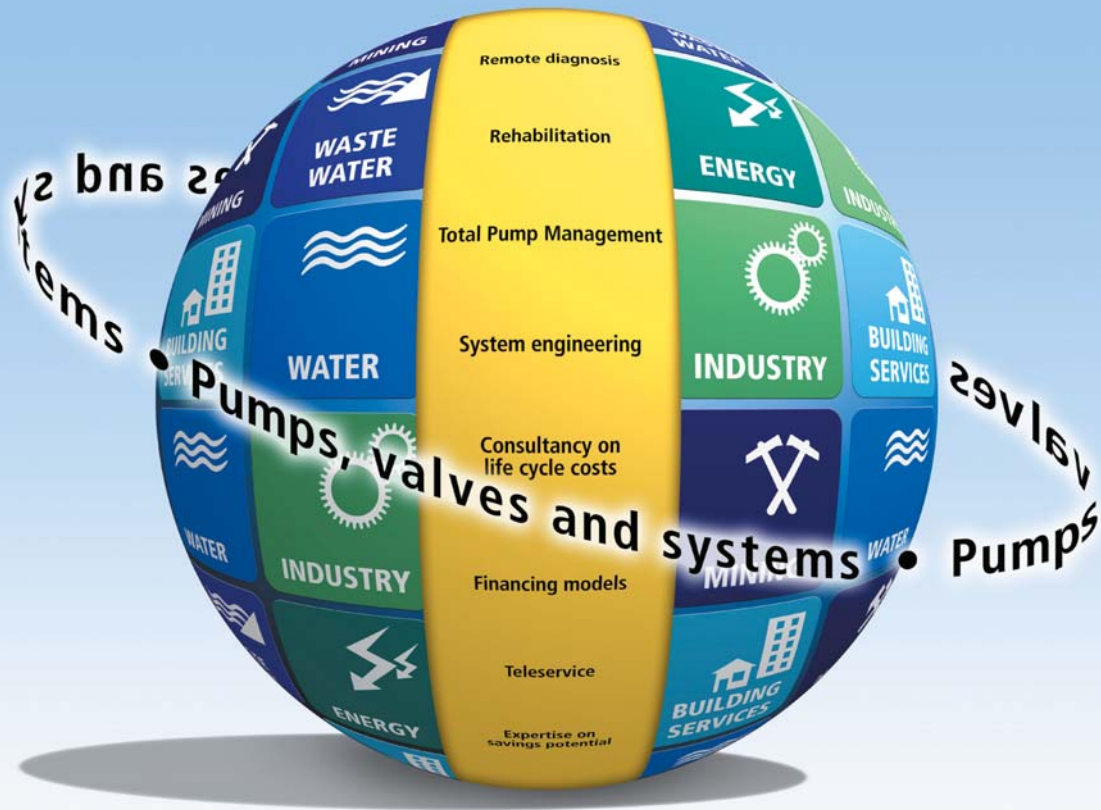


Obr. 87: Každému čerpadlu je přiřazen jeden měnič frekvence

## Přehled průběhu projektování







**Těšíme se na naši spolupráci.**



**KSB - PUMPY + ARMATURY s.r.o., koncern**

149 00 Praha 4 - Chodov • Klíčova 2300/6 • tel. 241 090 211, 241 480 129, 241 482 310 • fax: 241 480 123 • e-mail: sekretariat@ksbpumpy.cz  
 320 04 Plzeň • Pállova 10 • tel. + fax: 377 329 992, mobil 603 216 655 • e-mail: suva@ksbpumpy.cz  
 460 15 Liberec • Zimní 97 • tel. + fax: 482 750 127, mobil 602 482 569 • e-mail: ksbliberec@volny.cz  
 616 00 Brno • Kroftova 45 • tel. + fax: 541 244 117, mobil 602 618 688 • e-mail: ksbrno@volny.cz  
 710 00 Ostrava 2 • Bohumínská 61 • tel. + fax: 596 241 979, mobil 602 784 316 • e-mail: ksbostrava@volny.cz  
 772 00 Olomouc • třída Svobody 39 • tel. 585 208 511 • fax: 585 208 519 • e-mail: jana.kozakova@ksbgroup.cz

[www.ksbpumpy.cz](http://www.ksbpumpy.cz)