

Charakteristika čerpadla

Úvod:

Charakteristika čerpadla vyjadřuje závislostí jeho dopravní výšky h_c na dopravovaném průtoku \dot{V} jeho čerpací možnosti. Je rozhodujícím dokumentem dodávaným výrobcem pro volbu čerpadla splňujícího nároky na dopravu kapalin.

Úkol:

Změřit a vypočítat hodnoty veličin pro dopravní, příkonovou a výkonovou charakteristiku a charakteristiku účinnosti odstředivého čerpadla. Porovnat stanovené charakteristiky s charakteristikou výrobce.

Teoretický úvod:

Charakteristika čerpadla je množinou maximálních hodnot charakteristik potrubí téhož průměru s proměnlivou ztrátovou výškou simulovanou mírou otevření ventilu umístěného za manometrem na výtlačném potrubí. Základní charakteristikou čerpadla je jeho dopravní charakteristika vyjádřená závislostí dopravní výšky h_c čerpadla na průtoku \dot{V} jím uskutečňovaném. Dopravní výška se vypočítává nepřímo z manometrických měření a proto bývá nazývána manometrickou dopravní výškou. Čerpadlo musí splňovat nároky potrubí na čerpání kapalin. Nároky vyjadřuje charakteristika potrubí závislostí dopravní výšky potrubí h_p na průtoku \dot{V} . Pro čerpání průtoku \dot{V} z nádrže 1 o geometrické výšce h_1 nad vztažnou rovinou, tlaku p_1 a rychlosti v_1 do místa 2 s geometrickou výškou h_2 , tlakem p_2 a rychlostí v_2 potrubím s celkovou ztrátovou výškou h_{ztr} platí Bernoulliho rovnice pro reálnou kapalinu o hustotě ρ_v

$$h_c \geq h_p = h_2 - h_1 + \frac{p_2 - p_1}{\rho_v g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_{ztr}$$

Zvolíme-li potrubí s neměnným průměrem d , délky l se součinitelem tření λ a zabudovanými armaturními prvky se součtem součinitelů místních odporů $\sum \xi_i$, je $v_1 = v_2 = v$ a předchozí rovnice nabude tvaru

$$h_c \geq h_p = h_2 - h_1 + \frac{p_2 - p_1}{\rho_v g} + \frac{v^2}{2g} \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi_i \right)$$

Pro výpočet charakteristiky se předchozí rovnice zjednoduší podle níže uvedeného schématu zkrácením vzdálenosti l mezi měřicími místy 1 a 2 ($l \approx 0$), mezi kterými není zabudován žádný armaturní prvek ($\sum \xi_i = 0$), umístěním vztažné roviny do osy potrubí ($h_1 = 0$), změnou značení výšky měření tlaku deformačním manometrem M na výtlačném potrubí z h_2 na h_M a tlaku v tomtéž místě z p_2 na $p_M + p_{at}$ (deformační manometr M ukazuje přetlak p_M , takže tlak $p_2 = p_M + p_{at}$). Potom

$$h_c \geq h_M + \frac{p_M + p_{at} - p_1}{\rho_v g}$$

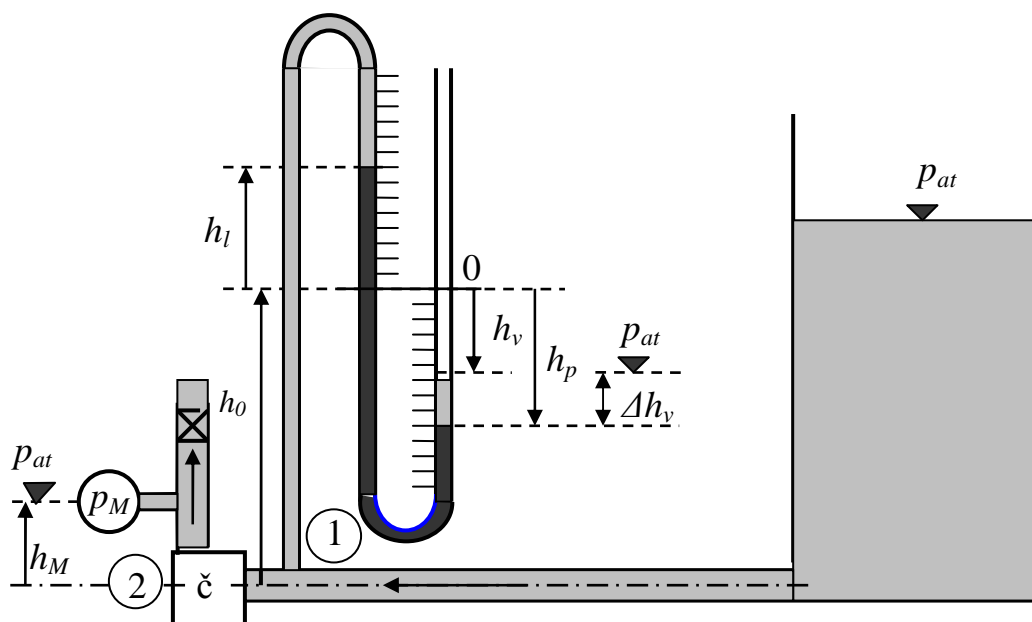


Schéma manometrických měření na čerpadle

Podle rov.(3) uvedené v úloze Hydrostatická měření je

$$p_1 = p_{at} + [(h_0 + h_l + h_p - h_v) \rho_v - (h_l + h_p) \rho_m] g$$

takže po dosazení za p_1 z předchozí rovnice, hodnoty gravitační konstanty $g = 9,807 \text{ m s}^{-1}$ a úpravami dostaneme pro minimální hodnotu dopravní výšky čerpadla

$$h_{\check{c}} = \frac{0,1020 \text{ m}^{-1} \text{ s}^2 \cdot p_M}{\rho_v} + h_M - h_0 - \Delta h_v - h_l + (h_l + h_p) \cdot \frac{\rho_m}{\rho_v}$$

Pro dané měření je konstantní hodnota trojčlenu

$$h_M - h_0 - \Delta h_v = h_k \quad (1)$$

Tím se předchozí rovnice zjednoduší na definitivní tvar

$$h_{\check{c}} = \frac{0,1020 \text{ m}^{-1} \text{ s}^2 \cdot p_M}{\rho_v} + h_k - h_l + (h_l + h_p) \cdot \frac{\rho_m}{\rho_v} \quad (2)$$

Sestava aparatury:

Hodnoty potřebné k výpočtu charakteristiky čerpadla se měří na čerpacím okruhu sestaveném podle schématu v předchozím odstavci. Elektrický obvod je vybaven wattmetrem.

Postup při měření:

1) Stanovíme hustotu manometrické kapaliny podle návodu v úloze Hydrostatická měření.

2) Zkontrolujeme plnění U-manometru. Hladina manometrické kapaliny v rameni otevřeném do atmosféry má být převrstvena asi 1 cm vysokým ochranným sloupcem vody.

3) Naplníme hadicovou vodováhu a změříme rozdíl výšek $h_M - h_0$ přiložením hladiny vody v jedné trubici k ose ručky deformačního manometru M a posouváním hladiny vody v druhé trubici přiložené ke stupnici U-manometru až

se hladiny v obou trubicích vodováhy vyrovnají na úrovni osy ručky deformačního manometru M. Manipulaci s vodováhou před měřením si usnadníme zazátkováním jednoho z ramen. Po přibližné úpravě vzájemné polohy trubic do stejné výšky s osou ručky manometru M zátku odstraníme. Na měřítku U-manometru odečteme hodnotu rozdílu $h_m - h_0$. Odečítáme-li nad nulou stupnice, je hodnota rozdílu kladná, odečítáme-li pod nulou, je záporná.

Odečteme výšky h_v a h_p v pravém rameni U-manometru a vypočteme výšku ochranného sloupečku vody $\Delta h_v = h_v - h_p$.

Odečtené a vypočtené hodnoty zapíšeme též do záhlaví tabulky hodnot pro nakreslení charakteristiky čerpadla.

4) Změříme průměr potrubí d posuvným měřítkem nebo jej přepočteme podle údaje odlitého na tělesech ventilů a zapíšeme stejně jako v předchozím bodě..

5) Zkontrolujeme stav vody v zásobní nádrži, případně nádrž doplníme na úroveň ochranného síta.

6) Zkontrolujeme otevření všech ventilů, uzavření ventilu mezi manometrem M a rotametrem a všech tlakových odběrů

7) Na U-manometru uzavřeme trubici se spodní stupnicí otevřenou do atmosféry kohoutem nebo zátkou. Trubicí s horní stupnicí, která bude připojena na sací potrubí, doplníme až po okraj vodou.

8) Nasadíme hadici na kohout tlakového odběru na sacím potrubí u nádrže s vodou, otevřeme jej a snížíme otevřený konec hadice až začne vytékat voda. Konec hadice zavřeme přehnutím přes ukazováček a nasadíme na trubici s horní stupnicí. Do hadice ani do trubice nesmí vniknout vzduch.. Hadici připoutáme ke svislému potrubí.

9) Pomalu otevřeme kohout na trubici ústící do atmosféry, aby se hladiny pomalu ustalovaly a manometrická kapalina se neusazovala na stěnách trubic, odečteme výšku hladiny vody h_v a výšku hladiny manometrické kapaliny h_l v levém rameni, vypočteme jejich rozdíl Δh_v a zapíšeme jej mezi konstantní hodnoty v záhlaví níže uvedené tabulky. Odečítání výšek hladin na stupnici si usnadníme vložením proužku papíru mezi trubice U-manometru a jeho stupnici.

Umístíme-li U-manometr tak, aby byla nula jeho stupnice vždy nad hladinou vody v zásobní nádrži, vyhneme se komplikacím se znaménky odečítaných výšek a vkládáním pomocných proužků papíru. Odečtené výšky jsou vždy kladné (hladiny manometrické kapaliny přiléhají vždy ke stupnicím).

10) Uvedeme do chodu čerpadlo otočením vypínače v ovládací skřínce z polohy 0 do polohy ON.

11) Odečteme hodnoty: přetlaku p_M s přesností 5 kPa (dělení stupnice je 1 dílek = 10 kPa, polovinu dílku = 5 kPa odhadneme) na deformačním manometru M, výšek hladin manometrické kapaliny h_l a h_p v levém a pravém rameni U-manometru a příkonů P_0 na wattmetru při nulovém průtoku \dot{V} na rotametru, a zapíšeme je. Čtení v ramenech U-manometru h_l - levém, h_p - pravém přiléhajících ke stupnicím odečítáme jako kladné hodnoty bez ohledu na to, jsou-li pod nebo nad nulou, v ramenech nepřiléhajících ke stupnicím jako záporné.. Pokud hladiny

manometrické kapaliny nepřiléhají ke stupnicím (záporně odečítané hodnoty) usnadníme si odečítání vložením proužku papíru mezi trubice manometru a stupnice. **Nezapomeneme na znaménko odečítané hodnoty!!!**

12) Zvyšujeme průtoky vody počínaje 1000 l/hod po 500 l/hod a odečtené hodnoty (bod 11) zapisujeme do tabulky respektujícíce znaménka hodnot odečítaných na U-manometru.

13) Po dosažení maximálního průtoku (6 000 l/hod) pomalu zavíráme ventil čerpadla mezi deformačním manometrem a rotametrem, aby se hladiny manometrické kapaliny pomalu vyrovnávaly a manometrická kapalina neulpívala na stěnách trubic.

14) Vypneme čerpadlo otočením vypínače v ovládací skříňce do polohy OFF.

15) Uzavřeme kohout U-manometru nebo rameno otevřené do atmosféry zazátkujeme, uzavřeme kohout tlakového odběru na potrubí u nádrže, sejmeme hadici z U-manometru, na konci ji přehnutím přes ukazováček zaškrtníme , druhý konec sejmeme z kohoutu tlakového odběru, vodu z hadice vypustíme do nádrže, a hadici zavěsíme na ventil.

16) Dosazením změřených hodnot do rov.(1) a hodnoty h_k do rov.(2) dostaneme konečnou rovnici pro výpočty souřadnic požadovaných charakteristik, jejich zápis do tabulky a zhotovení grafů.

Tabulka hodnot pro nakreslení charakteristik čerpadla

Teplota vody, $\rho_v = \dots$, $\rho_m = \dots$, $\rho_m / \rho_v = \dots$, $\Delta h_v = h_l - h_v = \dots$, $h_k = h_M - h_0 - \Delta h_v = \dots$, $d = \dots$, $g = 9,807 \text{ m s}^{-2}$

Číslo měření	P_M kPa	\dot{V} l/hod	h_l mm	h_p mm	P_0 W	\dot{V} $10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	h_ζ m	P W	η 1

Charakteristika výrobce čerpadla CALPEDA NM 3/CE $n=2900$

P		Q/m ³ /hod	1,0	1,2	1,5	1,69	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4	6,0
kW	HP	Q/l/min	16	20	25	31,5	40	50	60	70	80	90	100
1,1	1,5	H/m		40	39,5	39	38,5	38	37	36	34	32	29

Vyhodnocení výsledků měření:

Do rov.(2) dosadíme konstantní hodnoty pro aktuální měření: hustoty vody ρ_v nalezené v tabulkách, konstanty h_k vypočtené podle rov.(1), poměru ρ_m / ρ_v a d^4 .

Podle třídy přesnosti 1 % (z maxima stupnice deformačního manometru M tj. 1% z 1 MPa = 10 kPa) zaokrouhlíme vypočtené hodnoty dopravních výšek h_ζ na 0,5m (polovinu z třídy přesnosti, tj.

$0,5 \frac{10 \text{ kPa}}{\rho_v g} = \frac{0,5 \cdot 10^4 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2}}{998 \text{ kg m}^{-3} \cdot 9,807 \text{ m s}^{-2}} \approx 0,5 \text{ m}$). aby odpovídaly přesnosti údajů výrobce.

Tabulku s naměřenými hodnotami doplníme hodnotami vypočtenými a nakreslíme

1) graf závislosti dopravní výšky čerpadla $h_{\check{c}}$, příkonu na čerpací soustrojí P_0 , výkonu čerpadla P a účinnosti soustrojí η na průtoku \dot{V} , vyznačíme v něm odečítání maximální účinnosti a s ní související ostatní parametry.

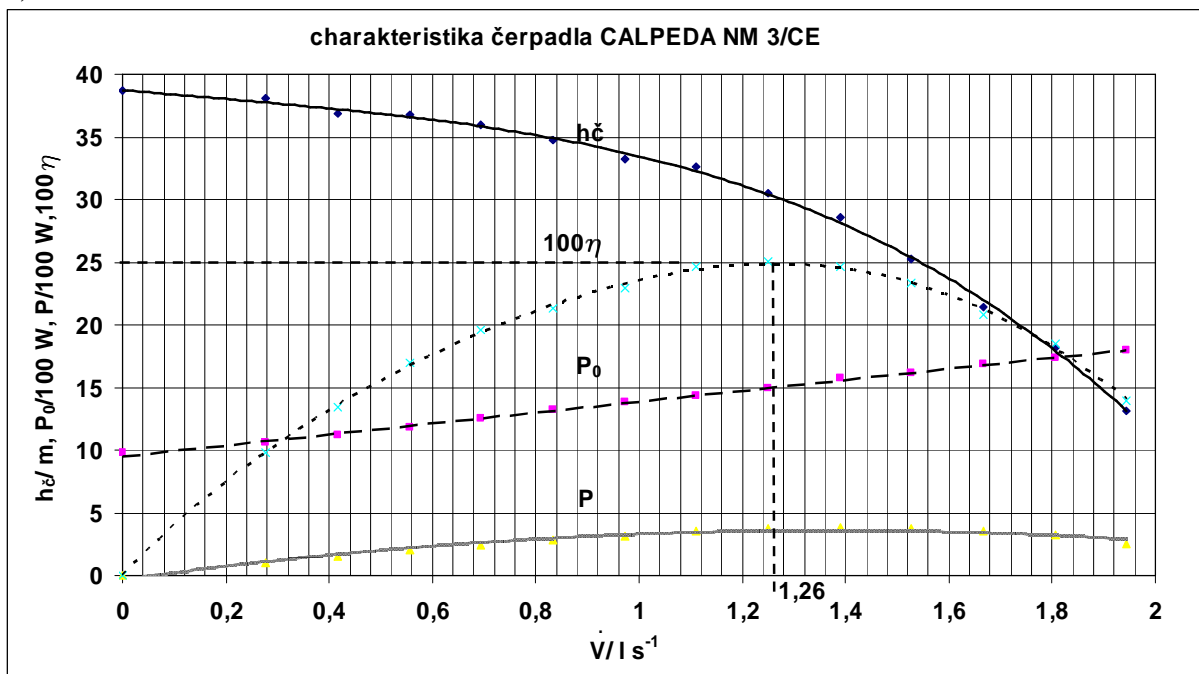
2) srovnávací graf námi nalezené charakteristiky s charakteristikou výrobce nejlépe v souřadnicích $h_{\check{c}} / \text{m} - \dot{V} / \text{m}^3 \text{ hod}^{-1}$, abychom nemuseli průtoky uváděné výrobcem přepočítávat.

Diskuse výsledků:

Zformulujeme názor o optimálním režimu chodu čerpadla a zdůvodníme jej uvedením argumentů. Vyjádříme stanovisko k charakteristice výrobce. Co znamená jím uvedená veličina P?

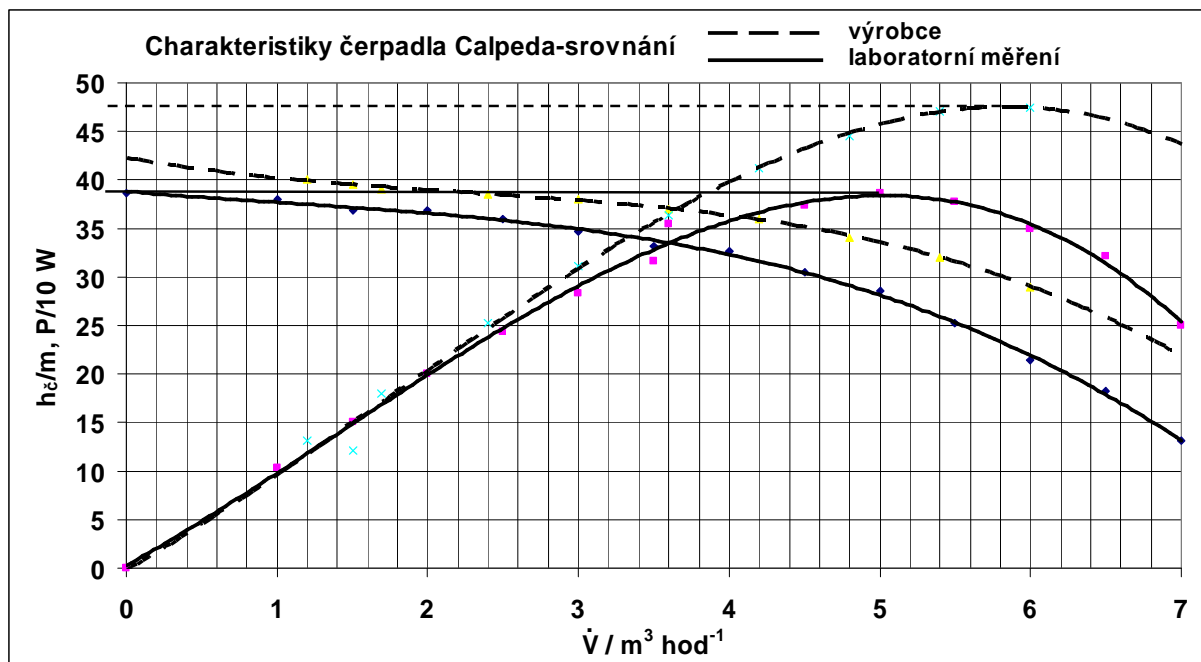
Přílohy:

1)



2) Porovnání námi stanovené charakteristiky s charakteristikou výrobce.

Plnou čarou jsou vyznačeny závislosti zjištěné podle výsledků měření v laboratoři, přerušovanou čarou závislosti udávané výrobcem. Závislosti zjištěné laboratorním měřením mají v oboru vyšších průtoků již nižší průběh zřejmě následkem opotřebení. Výrobcem uváděná hodnota $P = 1,1 \text{ kW}$ ($1,5 \text{ HP}$) se zřejmě týká příkonu, takže při maximálním výkonu by měla být účinnost soustrojí podle výrobce asi $0,47\text{kW}/1,1 \text{ kW} = 0,43$



Kontrolní otázky:

- 1) Nakreslete charakteristiku čerpadla a uveďte veličiny, které je třeba měřit a vypočítávat.
- 2) Odvoďte z Bernoulliho rovnice pro reálnou kapalinu výraz pro výpočet dopravní výšky.
- 3) Vysvětlete význam charakteristiky čerpadla pro dopravu kapalin. Nakreslete charakteristiky čerpadla a potrubí a vysvětlete dopravní možnosti čerpadla. Zdůvodněte hodnoty dopravních výšek příslušné průtokům různými potrubími nebo potrubím s proměnlivým otevřením regulačního ventilu (různou hodnotou součinitele odporu).
- 4) Vysvětlete metodu experimentálního zjištění dopravní výšky čerpadla a zdůvodněte zjednodušení, která můžete provést.
- 5) Nakreslete schémata měření tlaků p_1 na sacím potrubí U-manometrem s variantami poloh hladin manometrické kapaliny a vyznačte na nich intervaly kladných a záporných hodnot čtení. Vysvětlete jejich význam při výpočtu tlakové diference $p_M - p_1$.
- 6) Definujte třídu přesnosti měřidla, uveďte příklad a vysvětlete jak ji uplatníte při výpočtech jednotlivých parametrů charakteristiky čerpadla.

