



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE  
DO ROZVOJE  
VZDĚLÁVÁNÍ

**Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola technická Brno, Sokolská 1**

Šablona: Inovace a zkvalitnění výuky prostřednictvím ICT

Název: Kontrola a měření strojních zařízení

Téma: **Zkoušení hydrodynamických čerpadel**

Autor: Ing. Smolek Jan

Číslo: VY\_32\_INOVACE\_24-15

Anotace: Prezentace slouží jako podpora k výkladu o podstatě a způsobech zkoušek hydrodynamických čerpadel.

DUM je určen především pro čtvrté ročníky všech oborů středních průmyslových škol strojnických.

**Materiál byl vytvořen v prosinci 2013.**

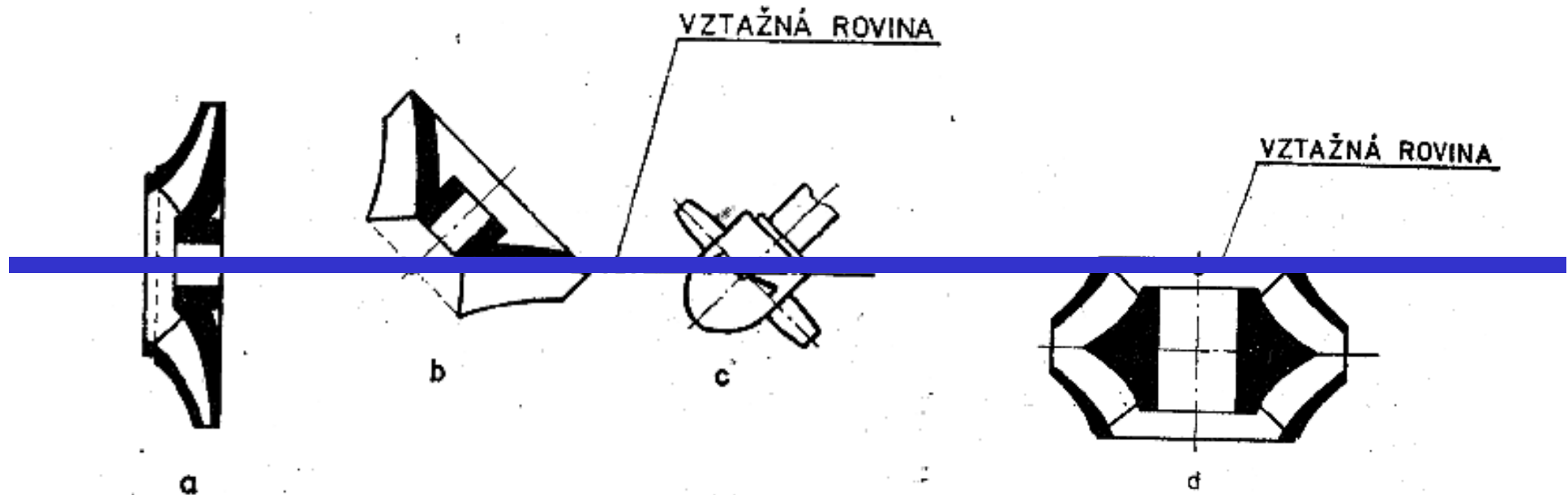
## Osnova:

- **Názvosloví, značky, jednotky**
- **Obecná ustanovení, podmínky zkoušek**
- **Metody měření**
  - průtoku
  - Měrné energie
  - otáček
  - příkonu a účinnosti
- **Kavitační zkoušky**
- **Zkoušení čerpadel s kapalinami jinými než „čistá studená voda“**
- **Rozbor výsledků zkoušek, příklady charakteristik**

## Názvosloví, značky, jednotky:

- Vztažná rovina
- Měrná energie
  - na sací straně..... $Y_1$  [J.Kg<sup>-1</sup>]
  - na výtlačné straně.....  $Y_2$  [J.Kg<sup>-1</sup>]
  - čerpadla..... $Y$  [J.Kg<sup>-1</sup>] =  $Y_2$  [J.Kg<sup>-1</sup>] -  $Y_1$  [J.Kg<sup>-1</sup>]
- Dopravní výška
- Průtok..... $Q$
- Otáčky..... $n$

## Vztažná rovina čerpadla:



- a) čerpadlo s horizontálním hřídelem, radiální
- b) čerpadlo se šikmým hřídelem, diagonální
- c) čerpadlo se šikmým hřídelem, axiální
- d) čerpadlo s vertikálním hřídelem, radiální s oboustranným vstupem

## Přesnost měření:

Oscilace – krátké oscilační cykly kolem střední hodnoty nastávající během doby, ve které se provádí měření příslušné veličiny.

Změny – rozdíly hodnot, které nastávají mezi jedním odečítáním a následujícím odečítáním.

Měřená veličina	Dovolená maximální amplituda oscilací střední hodnoty měřené veličiny v %
Průtok Měrná energie Točivý moment Příkon	$\pm 6$
Otáčky	$\pm 2$

Tab. 4. DOVOLENÉ SYSTEMATICKÉ CHYBY MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ PRO MĚŘENÍ JEDNOTLIVÝCH VELIČIN

Měřená veličina	Dovolená chyba v %
Průtok Měrná energie čerpadla Příkon čerpadla	$\pm 2,5$
Elektrický příkon (pro zkoušky celkové účinnosti čerpacího soustrojí) Účinnost motoru	$\pm 2,0$
Otáčky	$\pm 1,4$

Počet odečítání v sérii	Dovolené maximální rozdíly mezi největší a nejmenší odečítanou hodnotou pro měření každé veličiny v %	
	Průtok Měrná energie Točivý moment Příkon Účinnost	Otáčky
3	1,8	1,0
5	3,5	2,0
7	4,5	2,7
9	5,8	3,3

Tab. 5. DOVOLENÉ MAXIMÁLNÍ MEZE CELKOVÝCH CHYB MĚŘENÍ

Veličina	Dovolená mez v %
Průtok Měrná energie čerpadla Příkon čerpadla Elektrický příkon (pro zkoušky celkové účinnosti čerpacího soustrojí)	$\pm 3,5$
Otáčky	$\pm 2,0$
Celková účinnost čerpacího soustrojí (vypočítaná z průtoku, měrné energie a elektrického výkonu)	$\pm 4,5$
Účinnost čerpadla	$\pm 5,0$

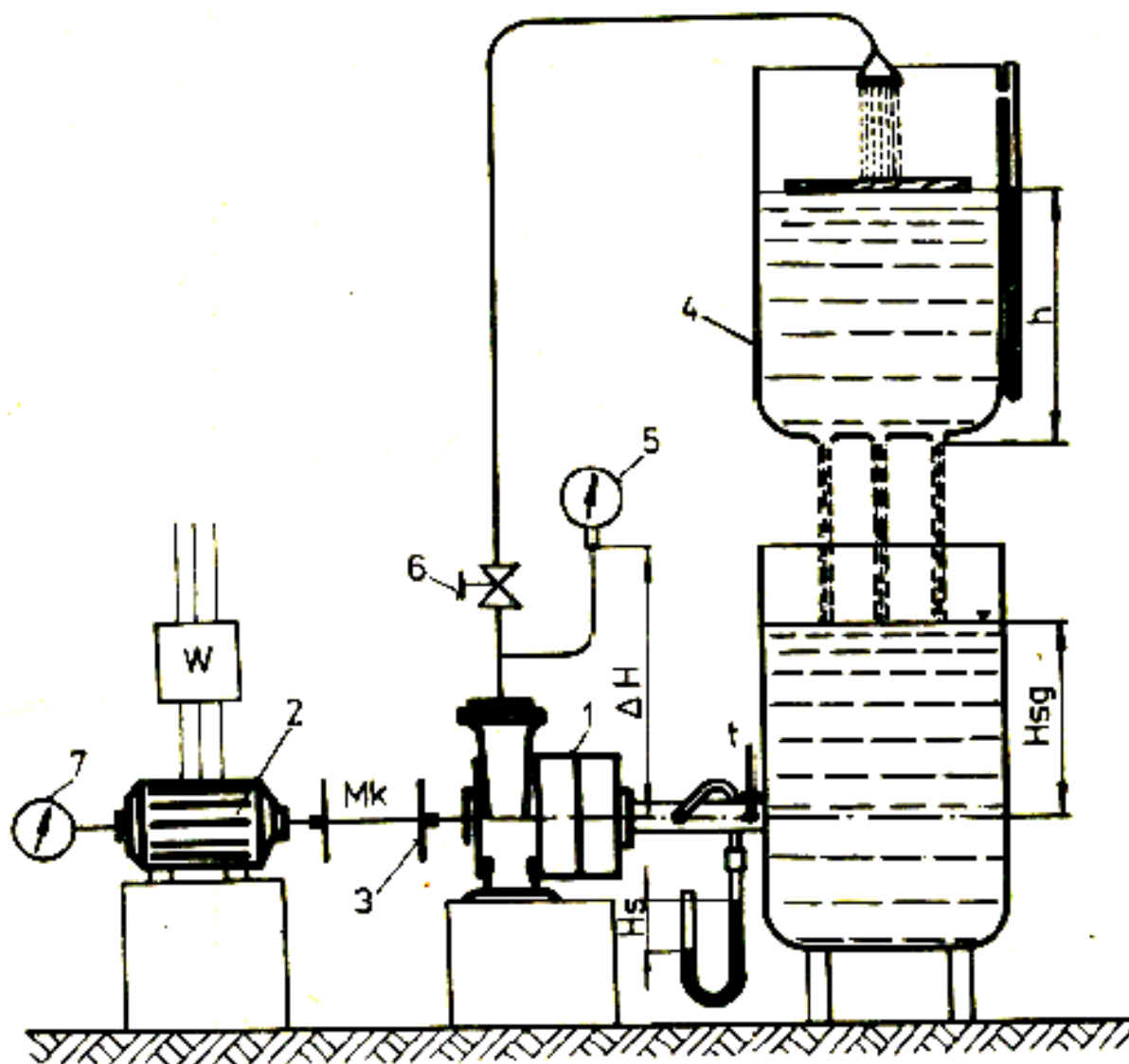
Poznámka: Tyto údaje jsou založeny na 95 % jistotě, že skutečné hodnoty měřených veličin jsou v uvedeném rozmezí.

## Metody měření průtoku:

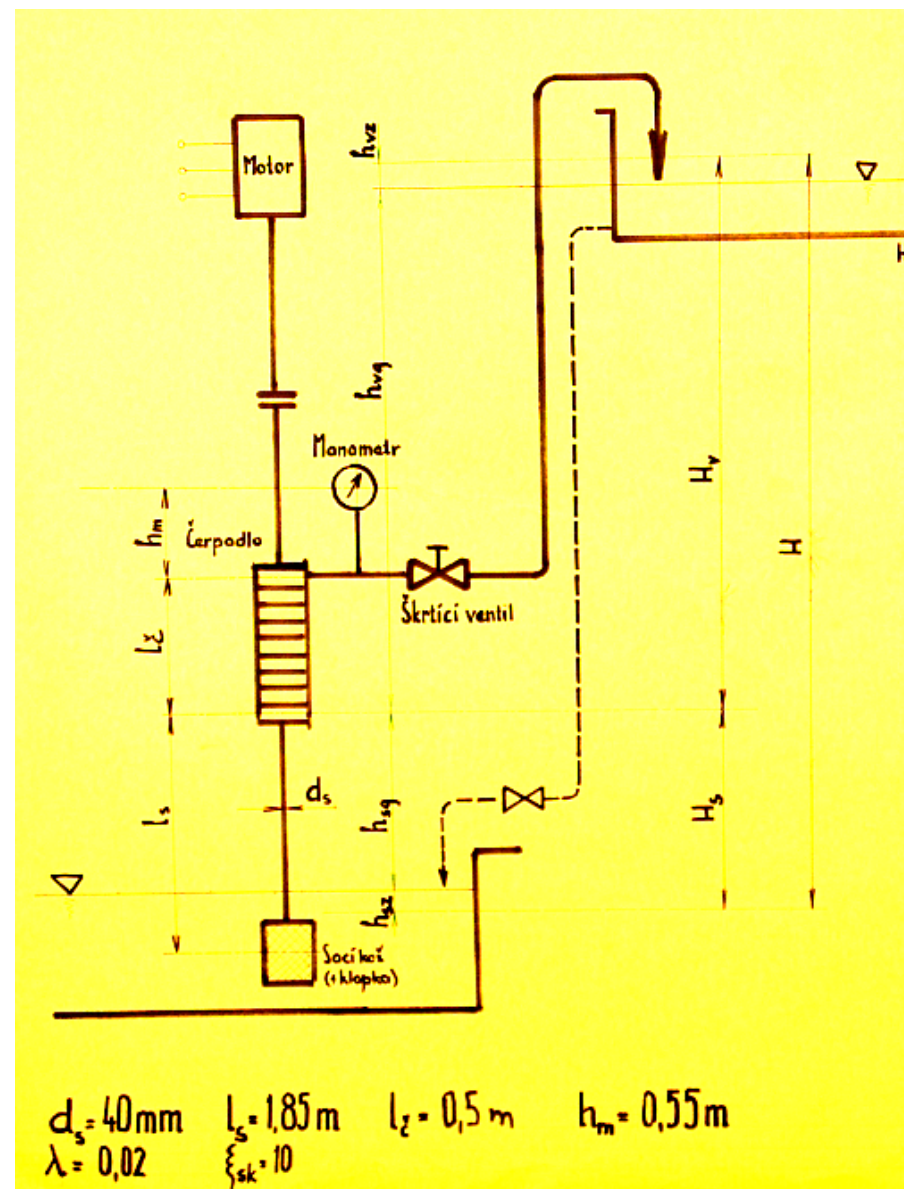
- **Metoda odvažovací nádrže**
- **Metoda objemové nádrže**
- **Clony, Venturiho trubice a dýzy**
- **Přepady s boční kontrakcí, bez boční kontrakce a měrné žlaby.**

## **Metoda odvažovací nádrže:**

## Metoda objemové nádrže:

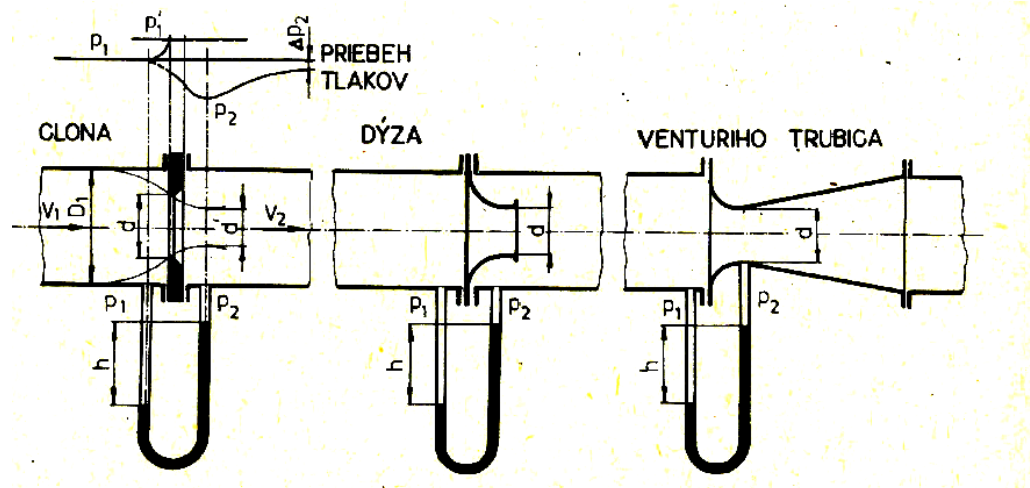


## Vertikální čerpadlo (V2):

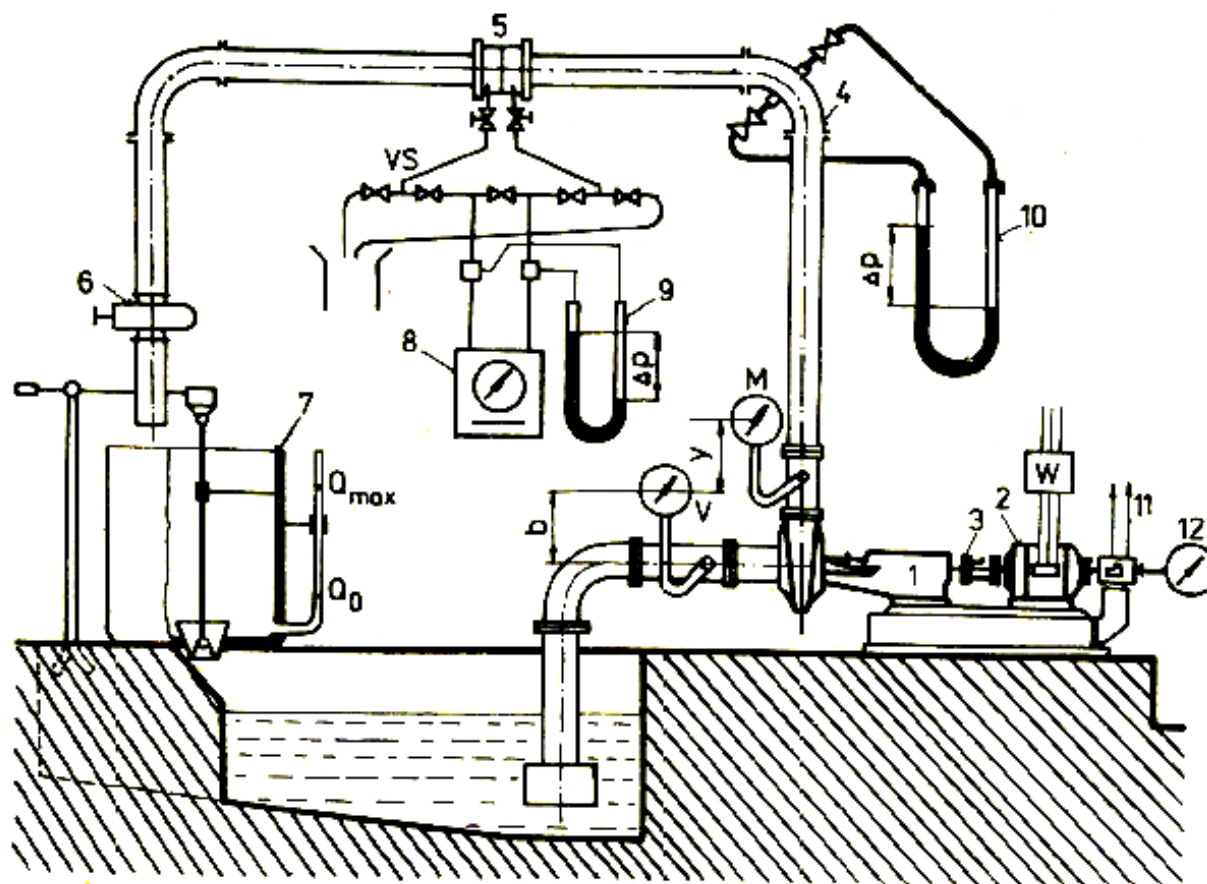


## Horizontální čerpadlo:





## Clony, dýzy a Venturiho trubice:

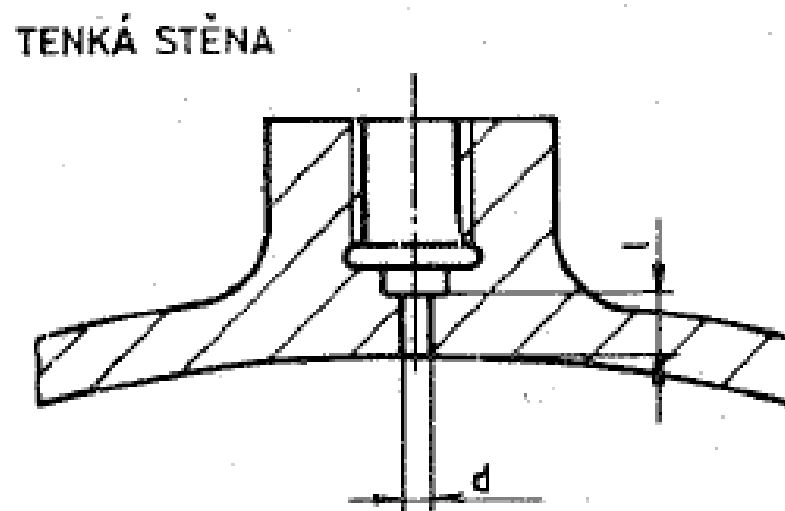
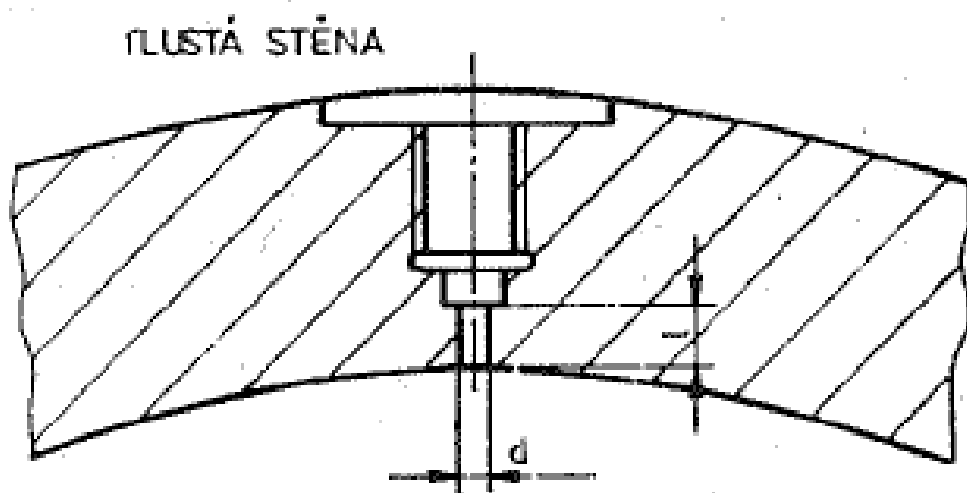


## **Přepady s boční kontrakcí, bez boční kontrakce a měrné žlaby:**

## **Metody měření měrné energie:**

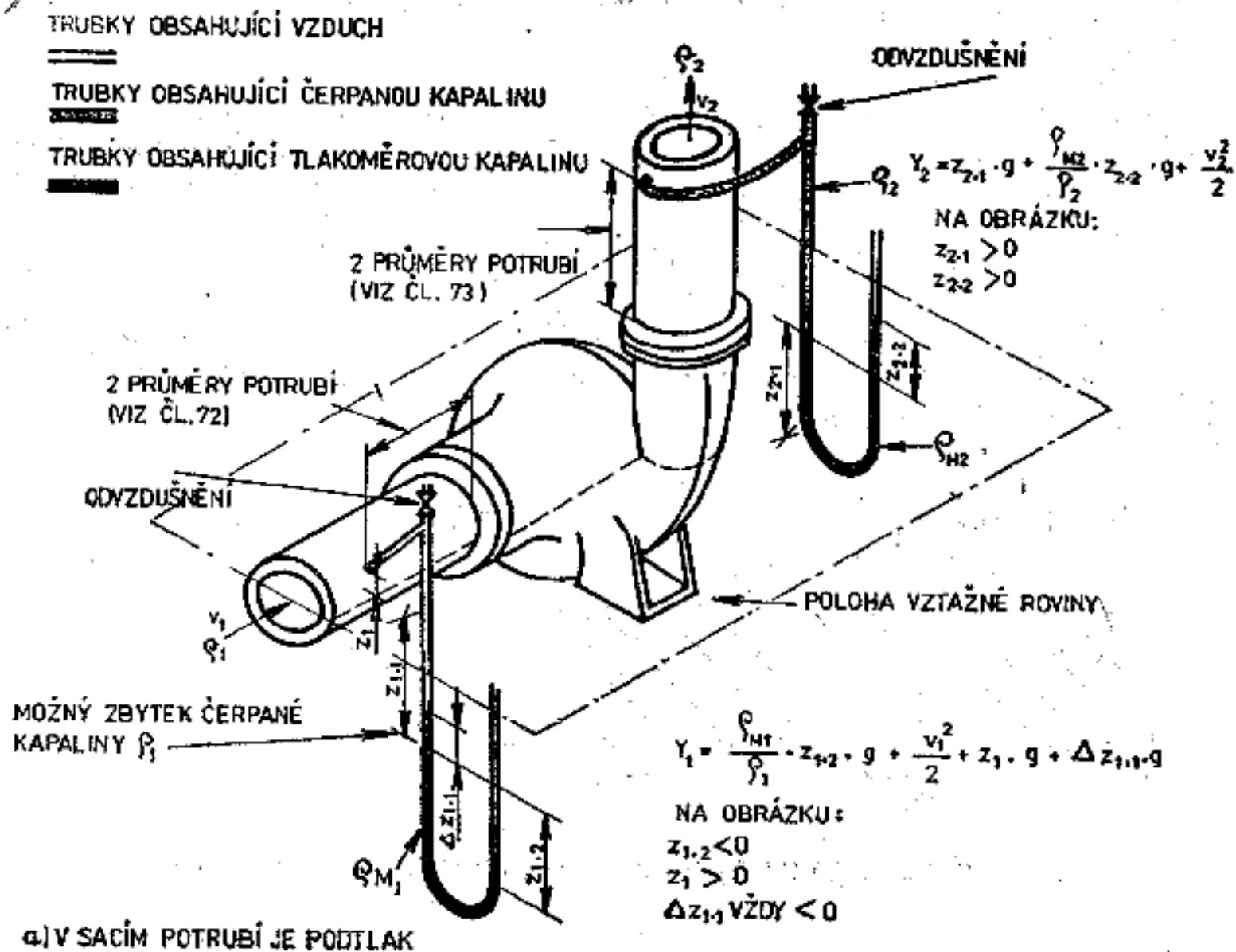
- **Požadavky na přípojky pro měření statického tlaku.**
- **Měrná energie na sací straně**
- **Měrná energie na výtlačné straně**
- **Měrná energie čerpadla**

## Požadavky na přípojky pro měření statického tlaku:

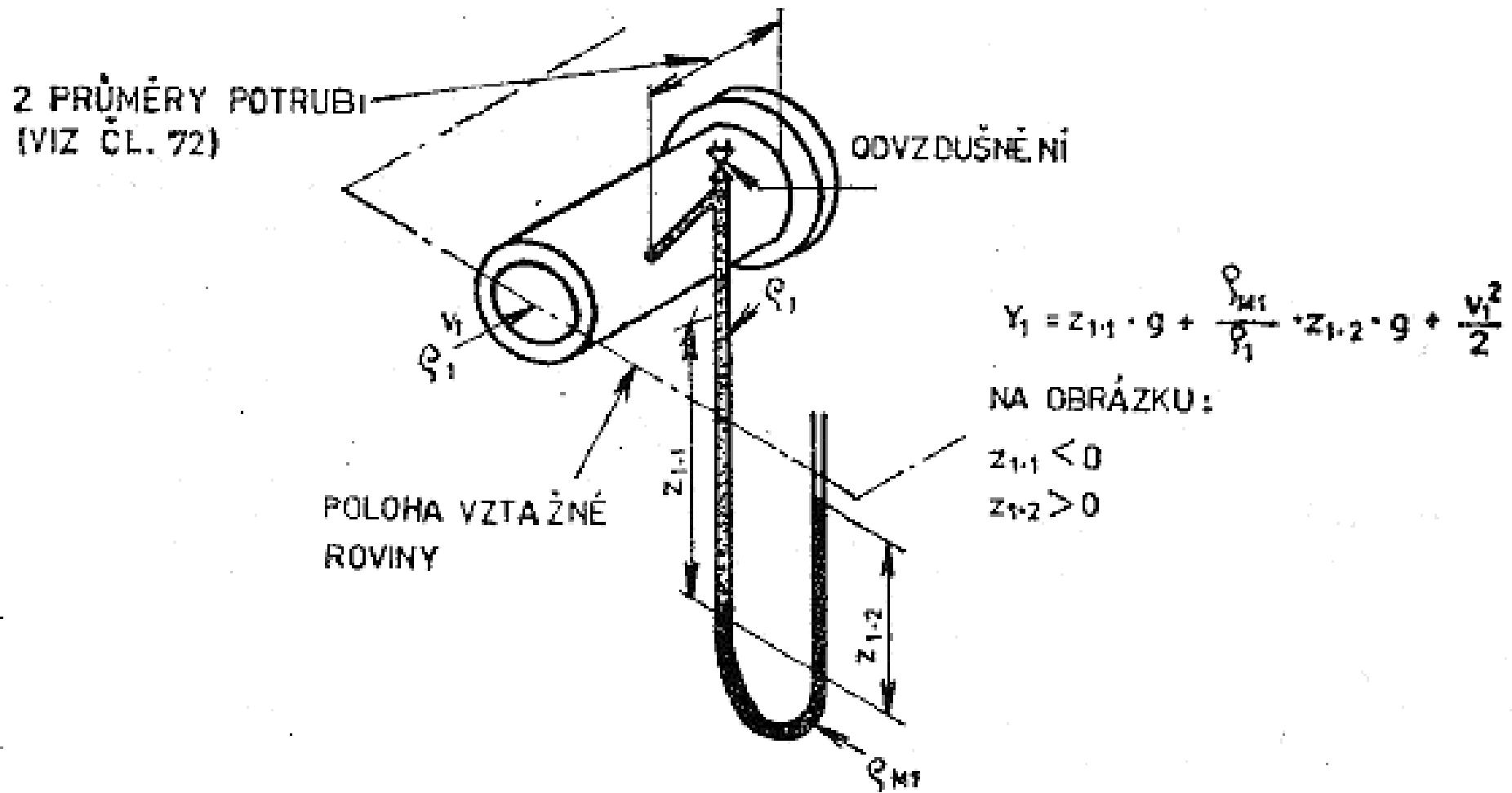


$L \geq 2d$  KDE  $d = 2$  AŽ  $6$  mm NEBO  $1/10$  PRŮMĚRU POTRUBÍ. PODLE TOHO, KTERÁ HODNOTA JE MENŠÍ

# Měření měrné energie čerpadla kapalinovými tlakoměry (v sacím potrubí je podtlak):



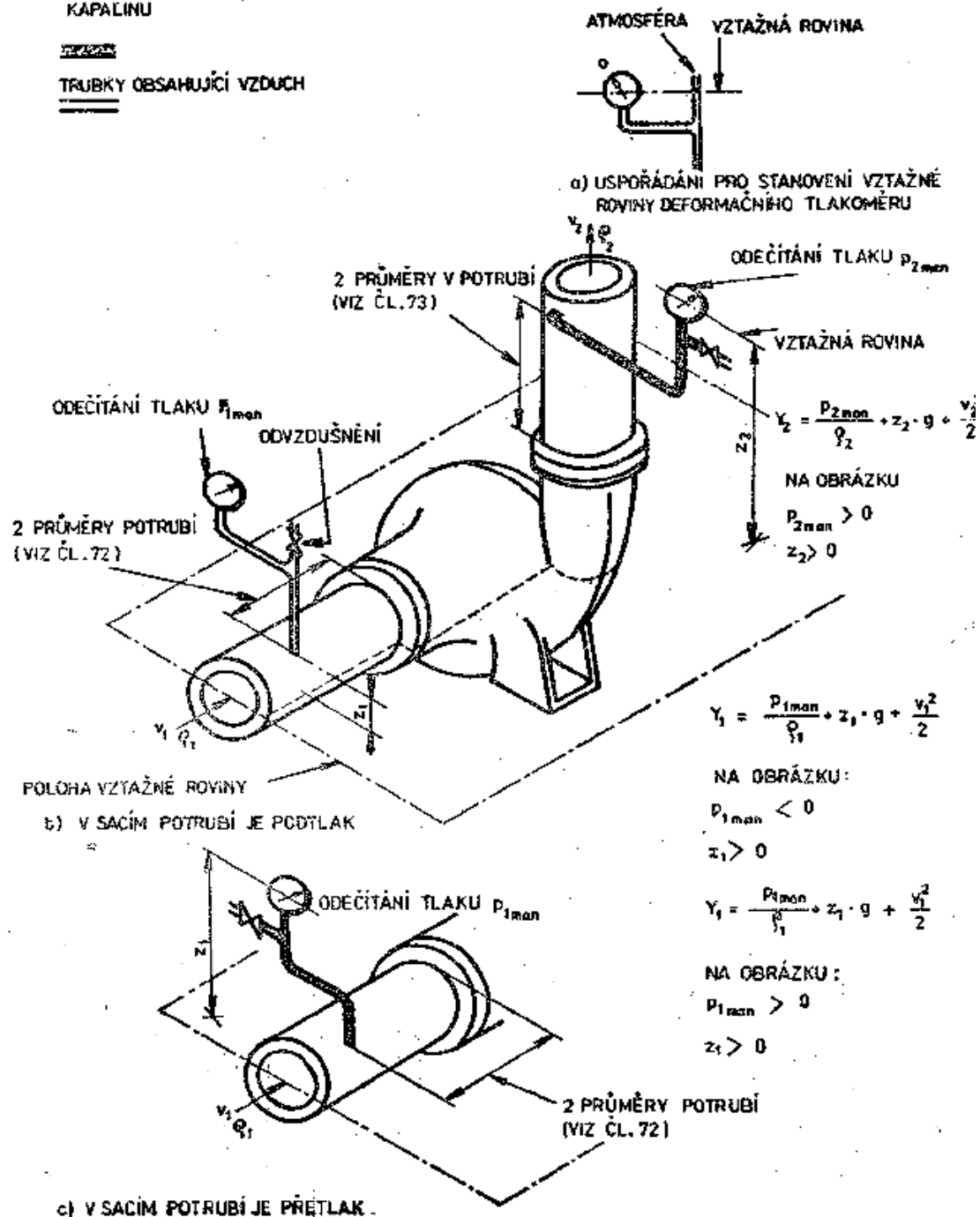
# Měření měrné energie čerpadla kapalinovými tlakoměry (v sacím potrubí je přetlak):



TRUBKY OBSAHUJÍ ČERPADOU  
KAPALINU

~~TRUBKY~~

TRUBKY OBSAHUJÍ VZDUCH



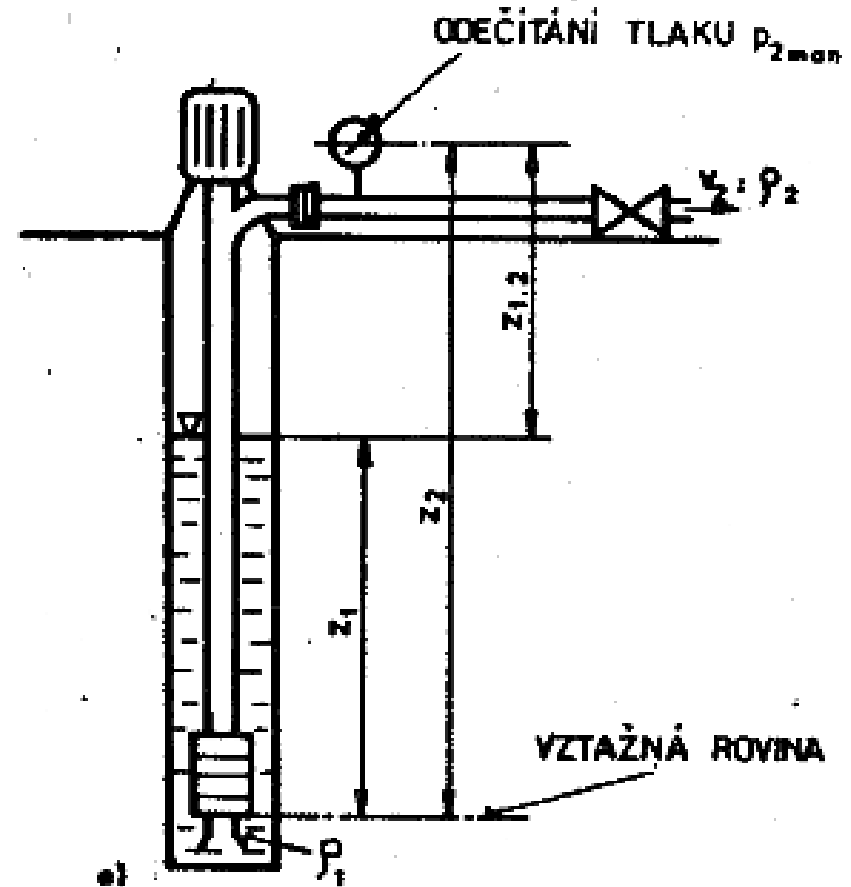
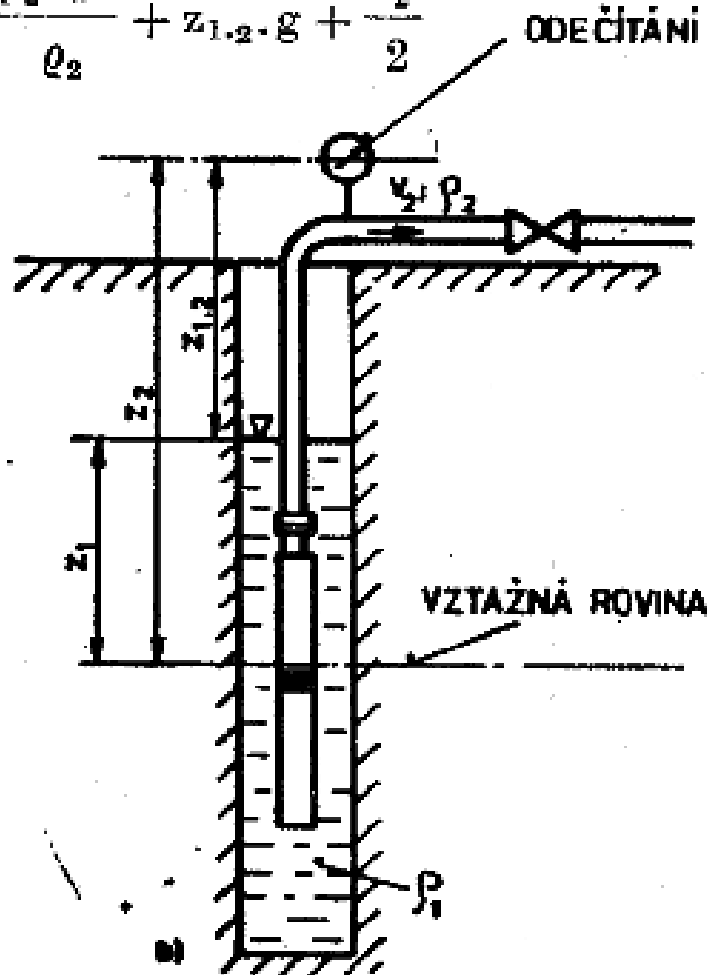
**Měření měrné  
energie čerpadla  
deformačními  
tlakoměry:**

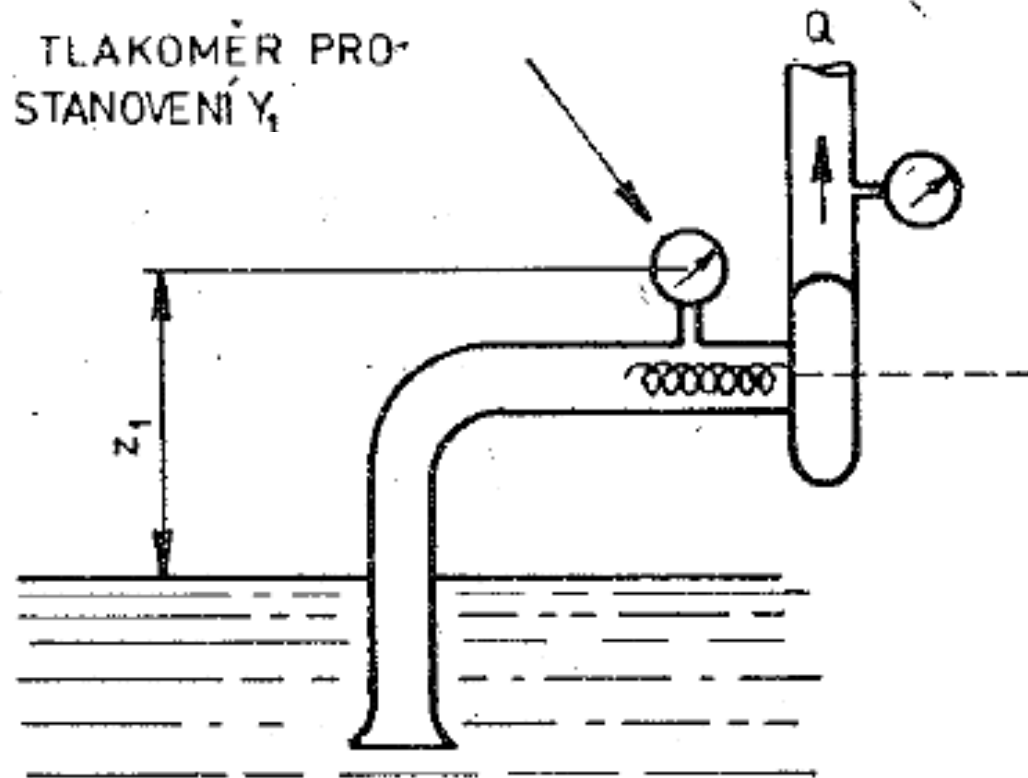
# Měření měrné energie čerpadla Y vertikálních ponořených čerpadel:

$$Y_1 = z_1 \cdot g$$

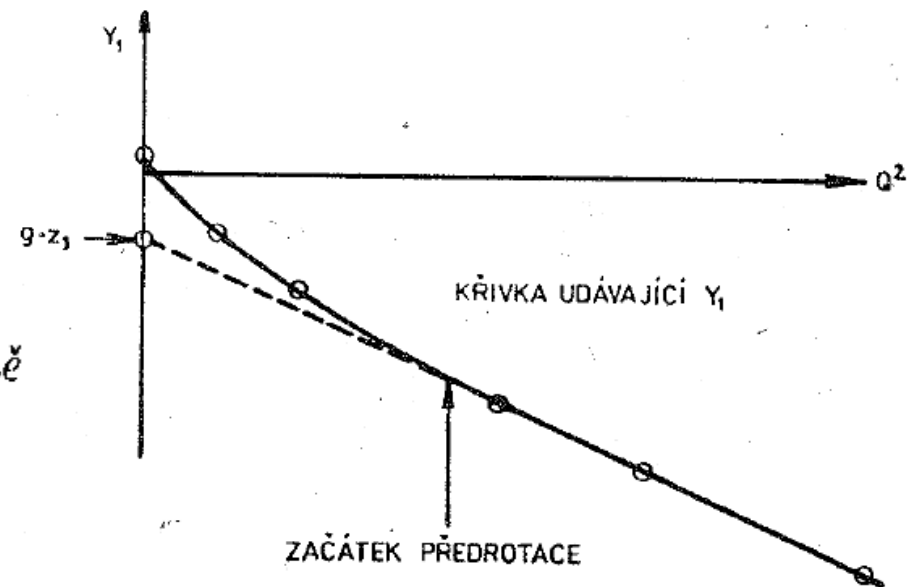
$$Y_2 = \frac{P_{2man}}{Q_2} + z_2 \cdot g + \frac{v_2^2}{2}$$

$$Y = \frac{P_{2man}}{Q_2} + z_{1,2} \cdot g + \frac{v_2^2}{2}$$

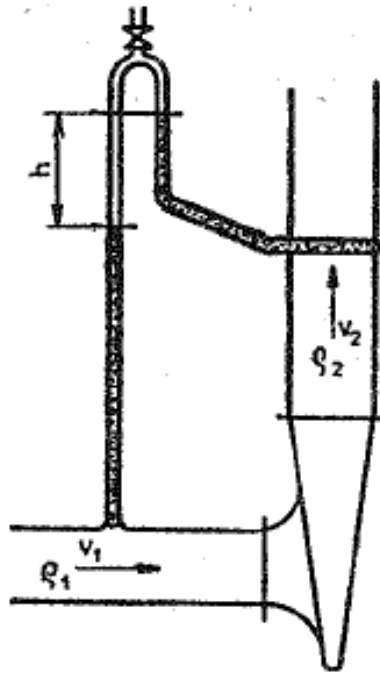




Příklad instalace s předrotací:



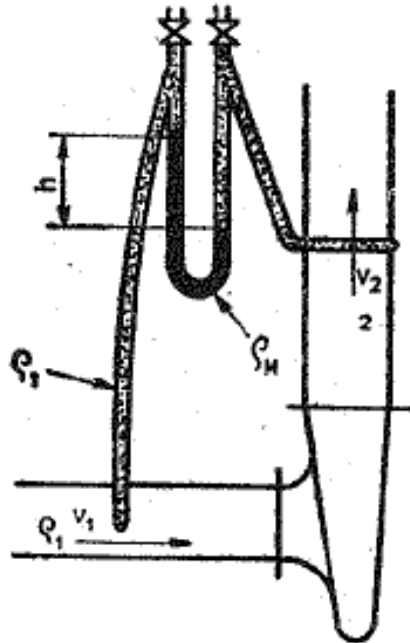
*Oprava naměřené měrné energie na sací straně*



$$Y = h \cdot g + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2}$$

TYTO ROVNICE PLATÍ PRO  $p_1 = p_2$ , COŽ U ČERPADEL ZKOUŠENÝCH PODLE TRÍDY C LZE PŘEDPOKLÁDAT

**Přímé měření měrné energie čerpadla Y:**



$$Y = \frac{p_M - p_1}{\rho_1} \cdot h \cdot g + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2}$$

OBJEMOVÝ TOK

- $Q_v = \frac{V \text{ [m}^3\text{]}}{t \text{ [s]}} \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$
- PRŮŘEZ SÁČHO POTRUBÍ  
 $S_s = \frac{\pi \cdot d_s^2 \text{ [m}^2\text{]}}{4} \text{ [m}^2\text{]}$
- RYCHLOST VODY V SÁČM HŘDLĚ  
 $c_s = \frac{Q_v \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}}{S_s \text{ [m}^2\text{]}} \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$
- ZTRATOVÁ VÝŠKA SÁČHO RADU  
 $\sum h_{zs} = \frac{c_s^2}{2g} \left( \lambda \frac{l_s}{d_s} + \sum \{ \xi_{sk} + 1 \} \right) \text{ [m]}$   
 $\lambda = 0.02$
- PRŮMĚRNÁ GEODETICKÁ VÝŠKA ČERPADLA NA SÁČI STRANĚ  
 $h_{zsg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i \text{ [m]}$
- SÁČI VÝŠKA ČERPADLA  
 $H_s = h_{zsg} + \sum h_{zs} \text{ [m]}$
- VYTĚLAČNÁ VÝŠKA ČERPADLA  
 $H_v = p_v \text{ man [MPa]} \cdot 10^2 + h_m + l_c \text{ [m]}$

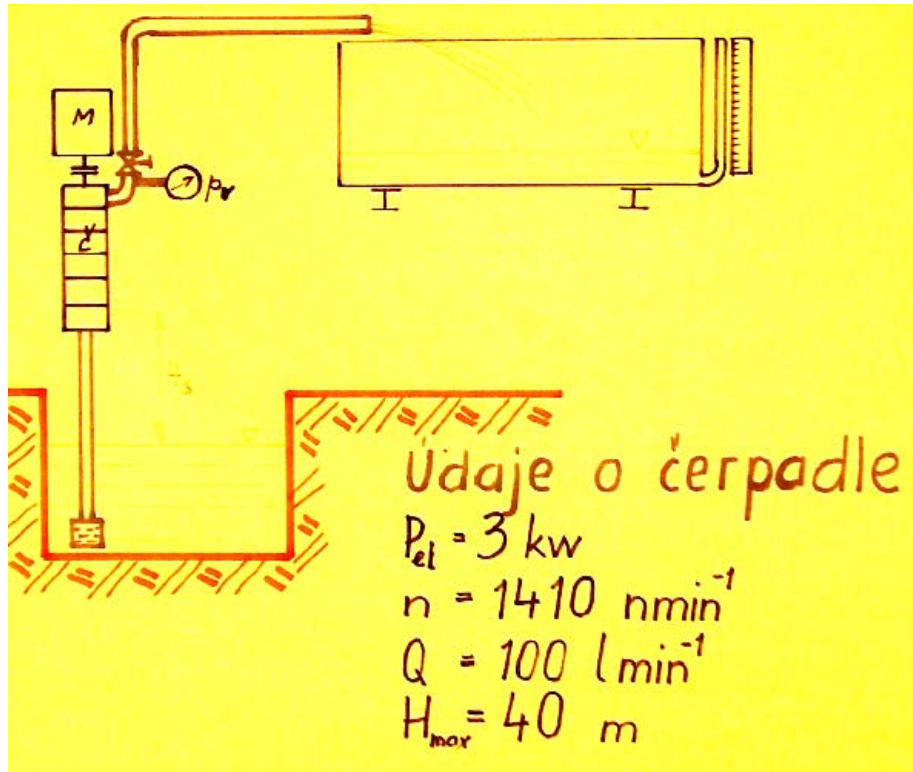
## Výpočtové vztahy:

- $H = H_s + H_v \text{ [m]}$

- $Y = Y_v + Y_s = g(H_s + H_v)$

- $P_{teor} = Q_v \cdot \rho \cdot H \cdot g \text{ [W]}$

- $\eta_c = \frac{P_{teor}}{P_{el}} \cdot 100 \text{ [%]}$



## Školní příklad:

	Hodnota	Značka	Jednotka	1	2	3	4	5	6
1	Příkon	$P_{el}$	W						
2	Výška hlad.	$H_s$	m						
3	Přetlak	$p_v$	$\text{kpcm}^{-2}$						
4	Doba	t	s						

$$Q_v \left[ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \right] = \frac{Q_v \text{ měř} [\text{l}] \cdot 10^{-3}}{t [\text{s}]}$$

$$H_{\text{man}} = H_{\text{sman}} + H_{\text{vman}}$$

$$H_{\text{vman}} = p_v \cdot 10^{-4} + h_M + l$$

$$H_{\text{sman}} = H_{\text{gs}} + h_{\text{zs}}$$

$$h_{\text{zs}} = \frac{c_s^2}{2g} \left( \lambda \cdot \frac{l_s}{d_s} + \xi_{\text{sk}} + 1 \right)$$

$$p_v \text{ [Pa]}$$

$H_{\text{gs}}$  odměříme

$$g \doteq 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$h_M = 0,55 \text{ m}$$

$$\xi_{\text{sk}} = 10$$

$$\underline{l_s} \text{ a } \underline{d_s} \text{ v [m]}$$

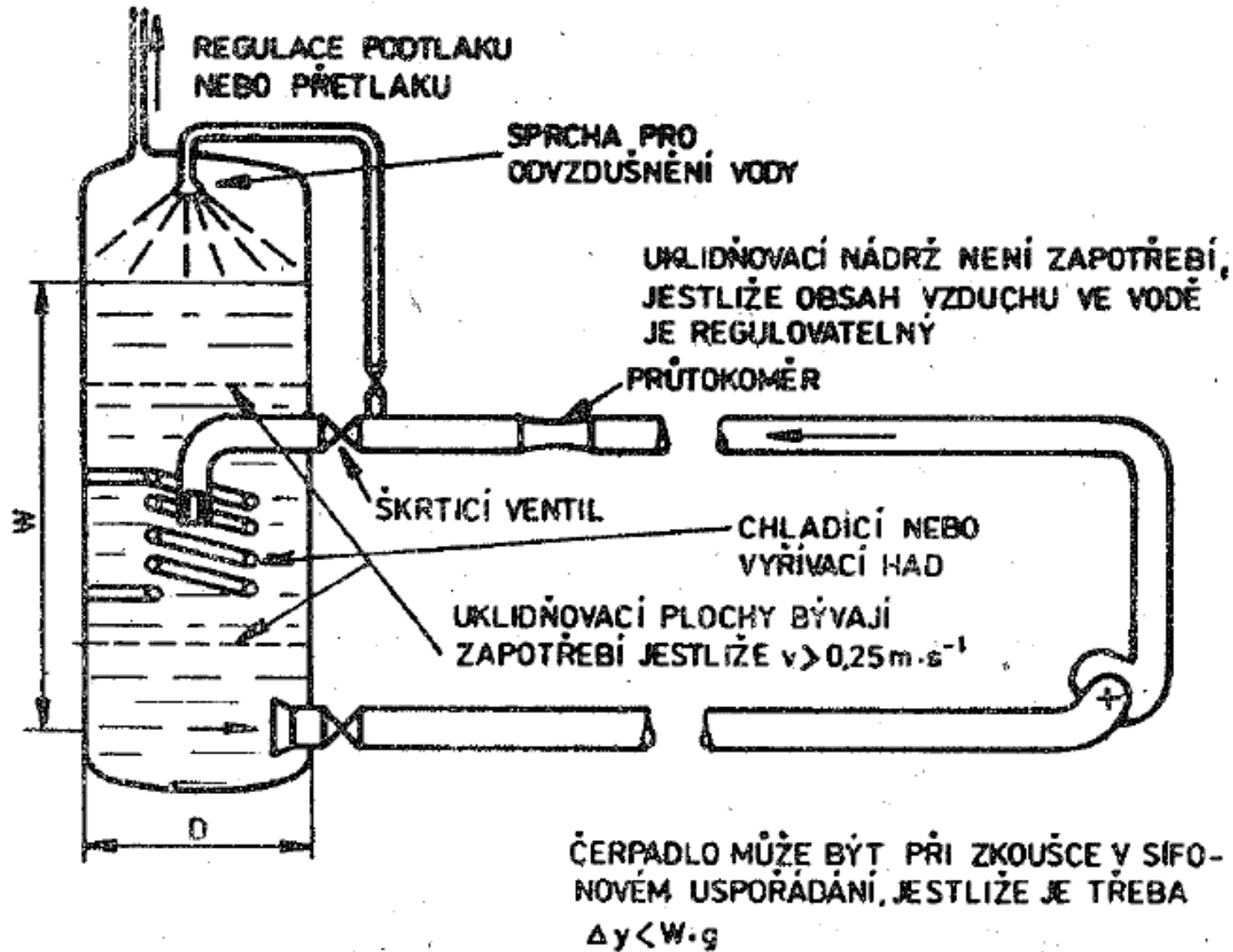
**Školní příklad:**

## Kavitační zkoušky:

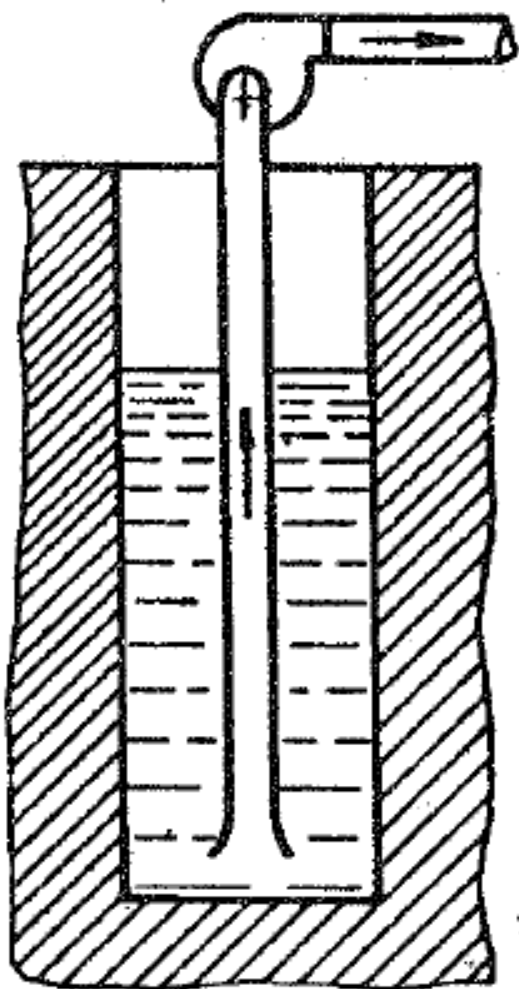
V žádném případě nemá být kavitační zkoušky použito jako kontroly, že čerpadlo bude v trvalém provozním uspořádání bez eroze způsobené kavitací.



## Kavitační zkoušky – změna $\Delta y$ uzavřenou smyčkou:



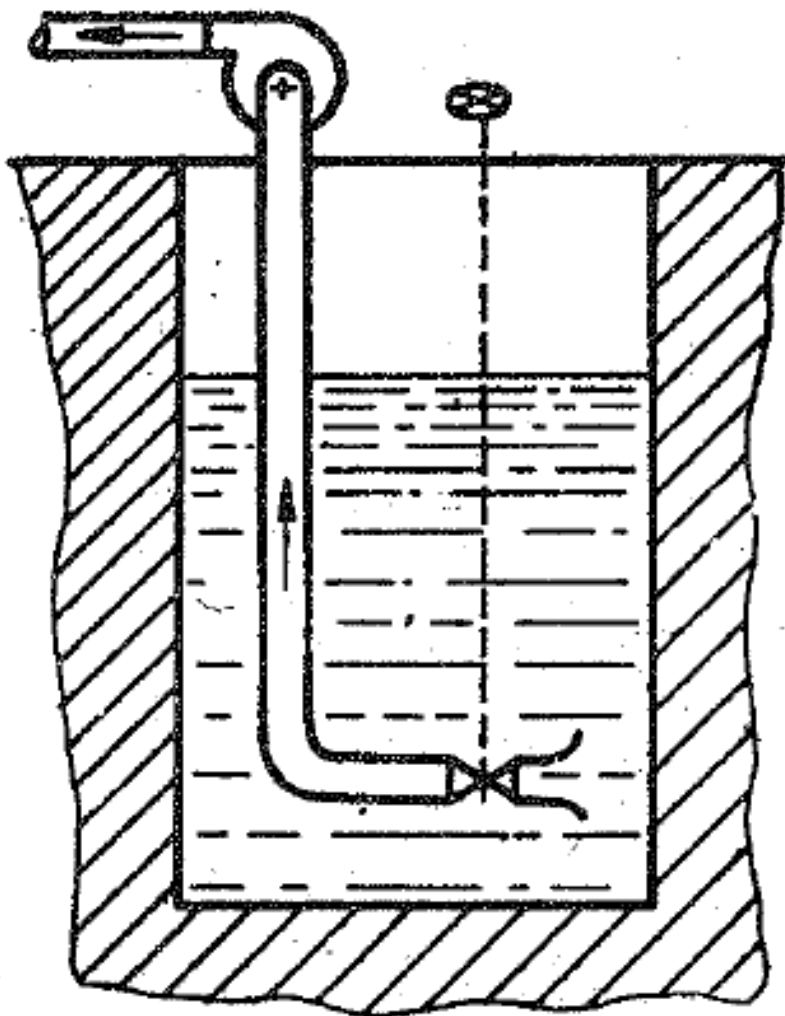
Kavitační zkoušky – změna  $\Delta y$  regulací výšky hladiny na vstupu:



KE ŠKRTICÍMU VENTILU  
A PRŮTKOMĚRU

NASTAVITELNÁ HLADINA VODY

Kavitační zkoušky – změna  $\Delta y$  škrticím ventilem na vstupu:



Tab. 6. METODY STANOVENÍ POŽADOVANÉ  $\Delta y$  PRO  $\Delta Y/Y = (3 + x) \%$ 

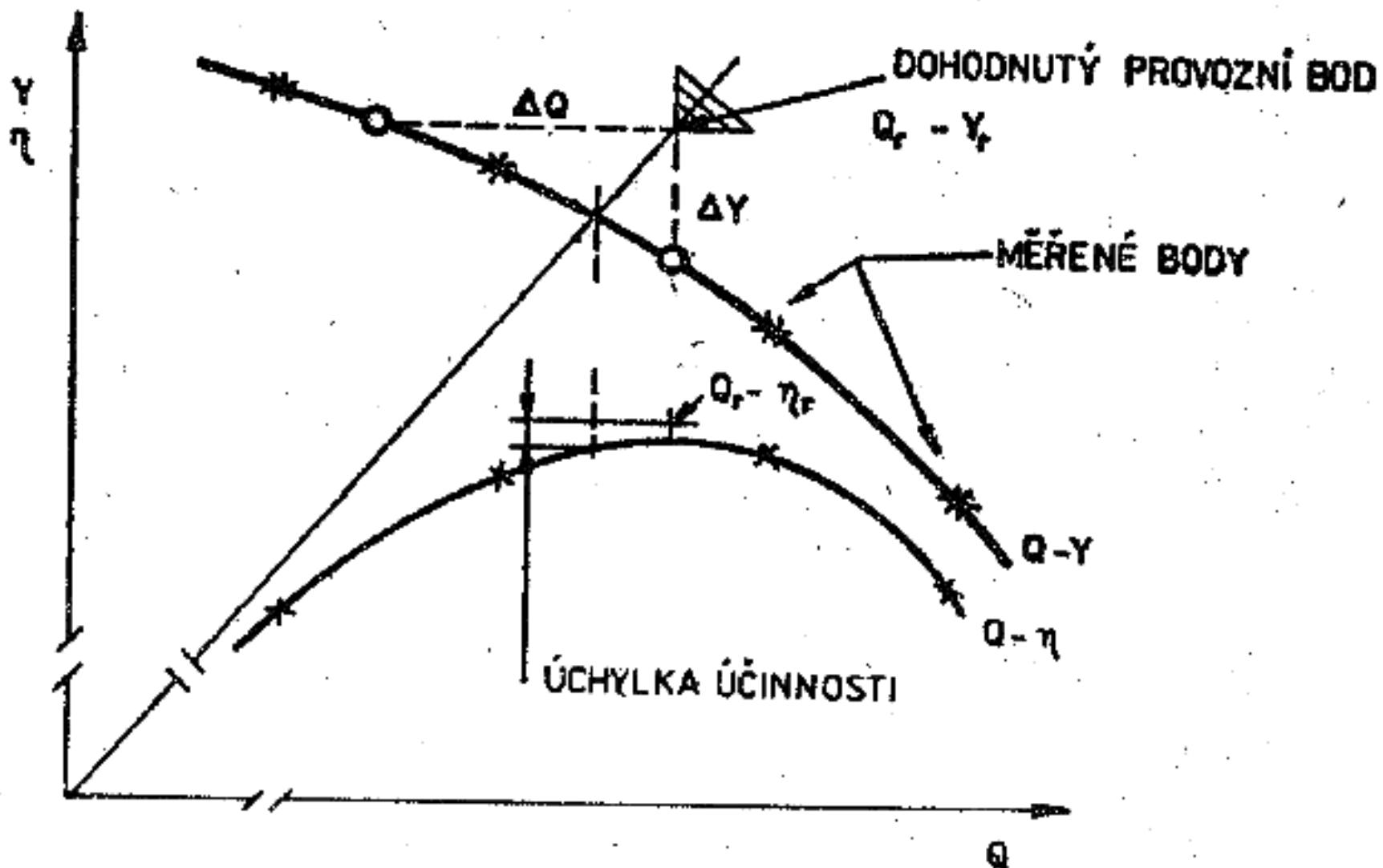
Druh instalace	Otevřená nádrž	Otevřená nádrž	Otevřená nádrž	Otevřená nádrž	Uzavřená smyčka	Uzavřená smyčka	Uzavřená nádrž nebo smyčka
Nezávisle proměnná	škrticí ventil v sacím. potrubí	škrticí ventil ve výtlačném potrubí	vodní hladina	škrticí ventil v sacím potrubí	tlak v nádrži	porovnávací tlak	teplota (napětí par)
Konstantní	škrticí ventil ve výtlačném potrubí	škrticí ventil v sacím potrubí	škrticí ventil v sacím i výtlačném potrubí	průtok	průtok	škrticí ventil v sacím i výtlačném potrubí	
Hodnoty, jejichž změna je závislá na regulaci	měrná energie, průtok, $\Delta y$ , vodní hladina	měrná energie, průtok, $\Delta y$ , vodní hladina	měrná energie, průtok, $\Delta y$	škrticí ventil ve výtč. potrubí (pro konstantní průtok), měrná energie, $\Delta y$	měrná energie, $\Delta y$ , škrticí ventil ve výtč. potrubí (pro konstantní průtok, když začíná klesat měrná energie)	měrná energie, průtok, $\Delta y$	jakmile nastala kavitace
Charakteristika $Q - Y$							
Charakteristika $Q - \Delta y$							

## Charakteristiky čisté studené vody a kapalin, které jí odpovídají:

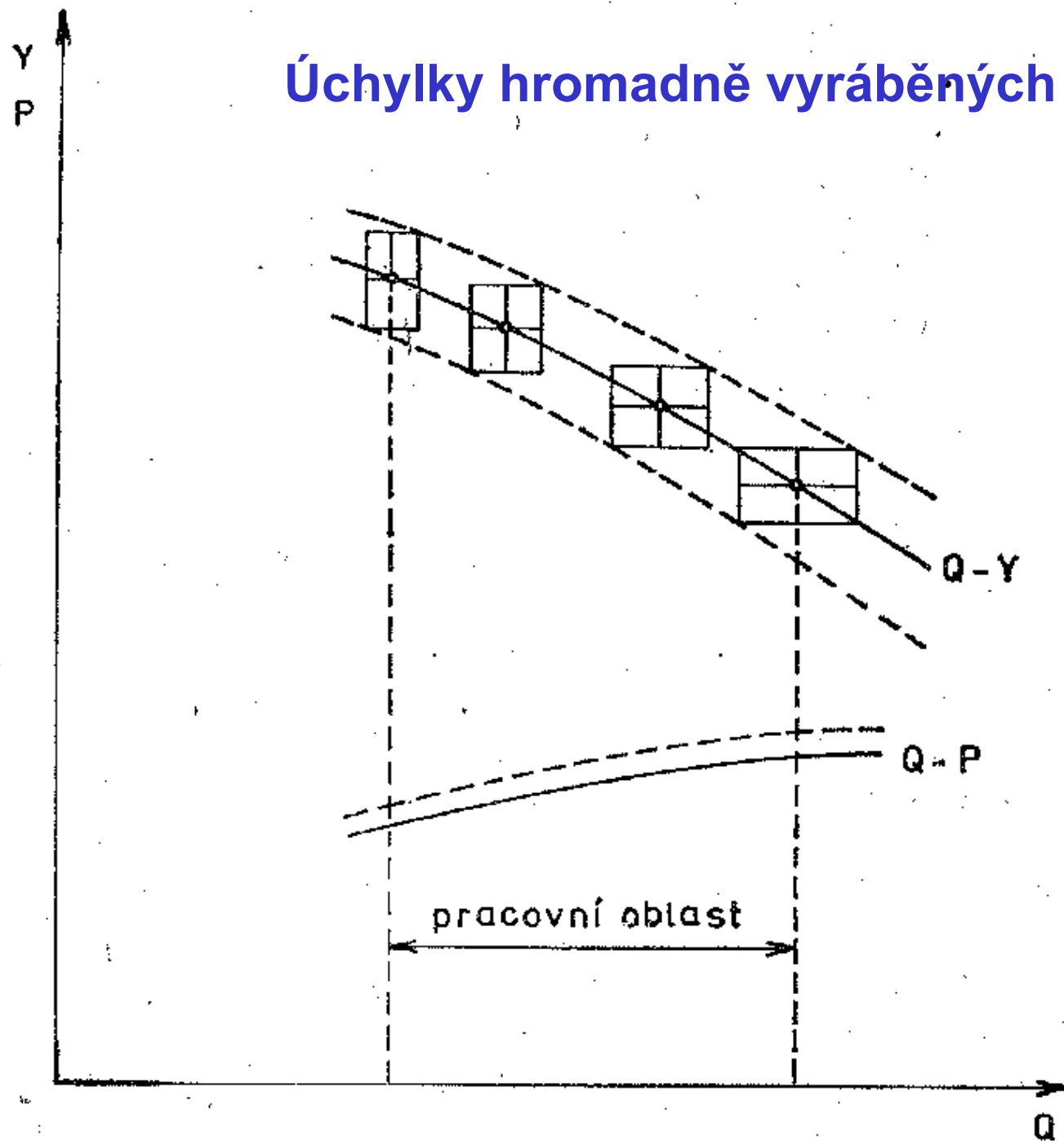
Vlastnost	Jednotka	Maximální hodnota
teplota	°C	40
kinematická viskozita	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	$1,75 \cdot 10^{-6}$
hustota	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	1 100
neabsorbované pevné volné látky	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	2,5
rozpuštěné pevné látky	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	50

Vlastnost	Jednotka	Maximální hodnota	Minimální hodnota
kinematická viskozita	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	$10 \cdot 10^{-6}$	bez omezení
hustota	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	2 000	450
neabsorbované pevné volné látky	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	5,0	—

## Charakteristika Q-Y pro ověření dohodnutých parametrů:



## Úchyly hromadně vyráběných čerpadel:

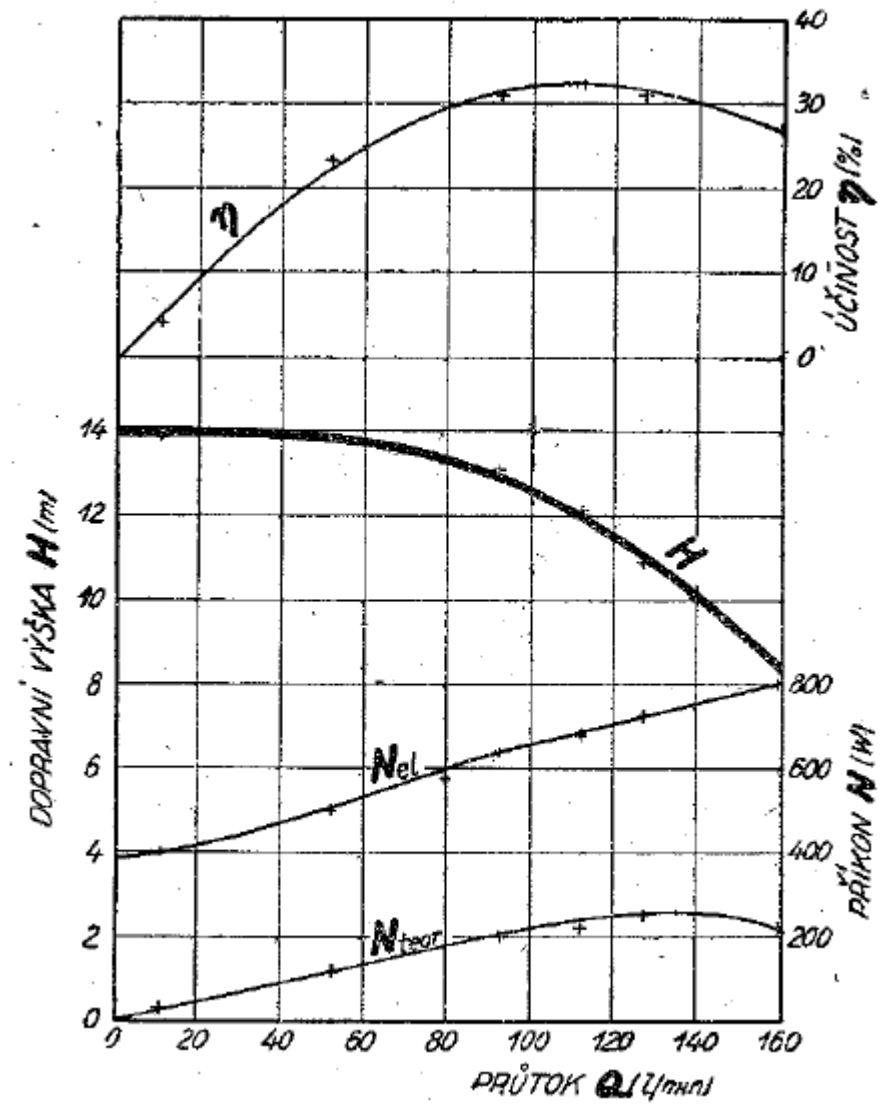
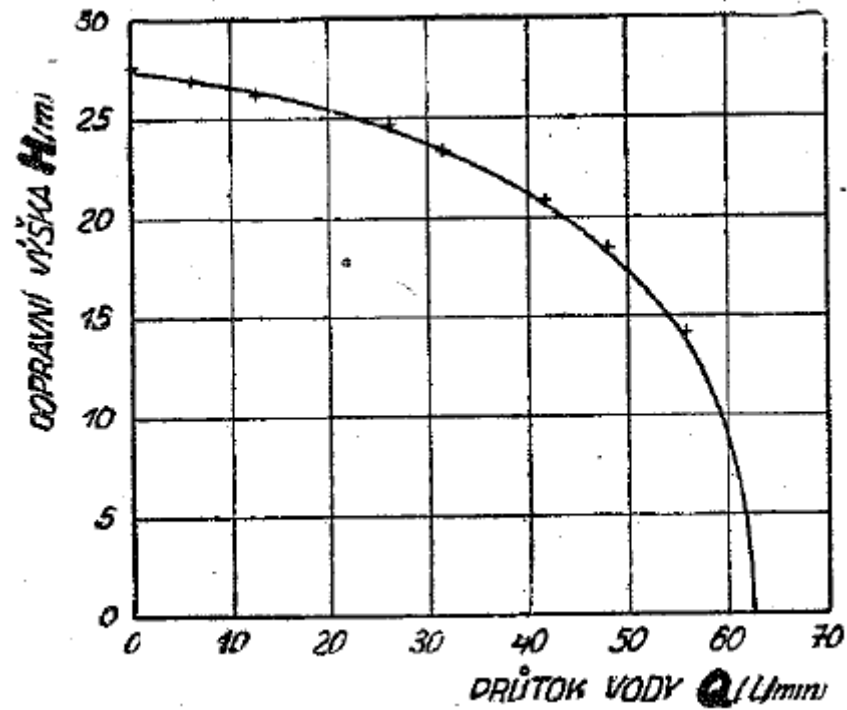


## Zpráva o zkoušce:

**1.217** Zpráva o zkoušce má obsahovat následující údaje:

- a) místo a datum přijímací zkoušky,
- b) jméno výrobce, typ čerpadla a výrobní číslo,
- c) dohodnuté charakteristiky, provozní podmínky při přijímacích zkouškách,
- d) určení pohonu čerpadla,
- e) popis zkušebního postupu a použitých měřicích přístrojů, včetně údajů o jejich ověření,
- f) odečtené hodnoty,
- g) vyhodnocení a analýza zkušebních výsledků,
- h) závěry:
  1. porovnání výsledků zkoušek s dohodnutými charakteristikami,
  2. konstatování, zda dohody, týkající se specifických oblastí byly zcela nebo částečně splněny, anebo nesplněny vůbec,
  3. doporučení, zda čerpadlo může být převzato nebo odmítnuto a za jakých podmínek,
  4. jestliže dohody nejsou zcela splněny, spočívá konečné rozhodnutí, zda čerpadlo může být převzato, na odběrateli,
  5. vysvětlení k případným opatřením, která byla učiněna podle kterékoli zvláštní dohody.

## Zkušební diagram čerpadla:



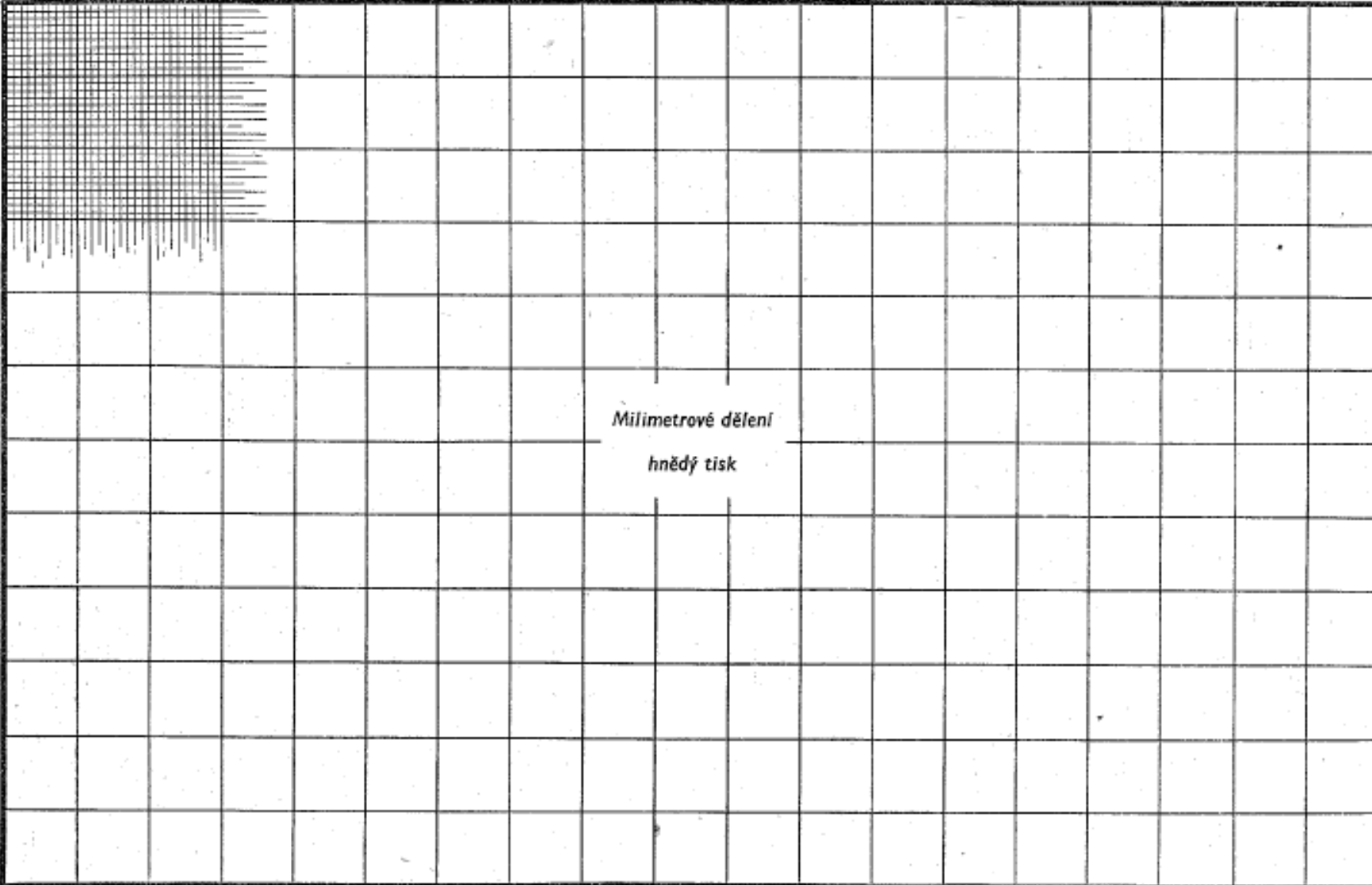


## Zkušební protokol čerpadla:

Výrobce: Sigma, n. p., Hranice		Zákazník: Komenium, n. p., Praha		Typ: NV 1-4K											
Zkušebna: Str. lab. SPŠS		Č. zakázky: 6/75		Výrobní číslo: 67845 B											
$Q = 100$ (l min <sup>-1</sup> )	$Y = 355$ (J kg <sup>-1</sup> )	$n = 2800$ (min <sup>-1</sup> )	$\eta_e = 37\%$	Kapalina: voda	Hustota: 1 000 kg m <sup>-3</sup>	Viskozita:	Měřil: Datum:								
		Přední ložisko 24 °C Zadní ložisko 25 °C		Hrdlo sací 30 mm Hrdlo výtláč. 30 mm		Doba záběhu 4 hod Hmotnost 40 kg									
Elektromotor Typ 2AP 908-2		380/220 V		5 A		1,5 kW	2 800 min <sup>-1</sup>								
Dynamometr Typ		č.:		konst.:		pružina:	nul. bod"								
Podmínky měření		teplota 20 °C		barometr. tlak: 1,006 · 10 <sup>5</sup> Pa											
		poloh. výška tlakoměru na sací straně $y_s =$ m													
		poloh. výška tlakoměru na výtláč. str. $y_v = 0,25$ m													
		rozdíl výšek $e = 0,18$ m													
Měř. č.	$n$ (min <sup>-1</sup> )	$P_{sman}$ (Pa)	$P_{vman}$ (Pa)	$Y$ (J kg <sup>-1</sup> )	$Y_r$ (J kg <sup>-1</sup> )	$h$ (m)	$i$ (l)	$d$ (m)	$Q$ (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) (l min <sup>-1</sup> )	$Q_r$ (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) (l min <sup>-1</sup> )	$P_{e1}$ (kW)	$P_e$ (kW)	$\eta_{e1}$	$\eta_e$	$\eta_{celk}$
1	2 850	2,13 · 10 <sup>3</sup>	4,41 · 10 <sup>5</sup>	447,3	431,7	0,36	1	0,02	7,84 · 10 <sup>-4</sup> 47,09	7,7 · 10 <sup>-4</sup> 46,26	1,35	1,14	0,85	0,30	0,24
2	2 800	2,13 · 10 <sup>3</sup>	3,43 · 10 <sup>5</sup>	349,3	—	0,30	2	0,02	1,4 · 10 <sup>-3</sup> 85,97	—	1,6	1,34	0,84	0,36	0,30
3	2 800	1,59 · 10 <sup>3</sup>	2,45 · 10 <sup>5</sup>	250,8	—	0,61	2	0,02	2,0 · 10 <sup>-3</sup> 122,5	—	1,6	1,39	0,82	0,36	0,30
4	2 750	2,66 · 10 <sup>3</sup>	1,47 · 10 <sup>5</sup>	148,5	154,0	0,43	3	0,02	2,5 · 10 <sup>-3</sup> 154,3	2,6 · 10 <sup>-3</sup> 157,2	1,8	1,45	0,82	0,27	0,22
5	2 740	3,19 · 10 <sup>3</sup>	0,49 · 10 <sup>5</sup>	50,0	52,2	0,55	3	0,02	2,9 · 10 <sup>-3</sup> 177,6	1,9 · 10 <sup>-3</sup> 178,4	1,85	1,45	0,81	0,10	0,08



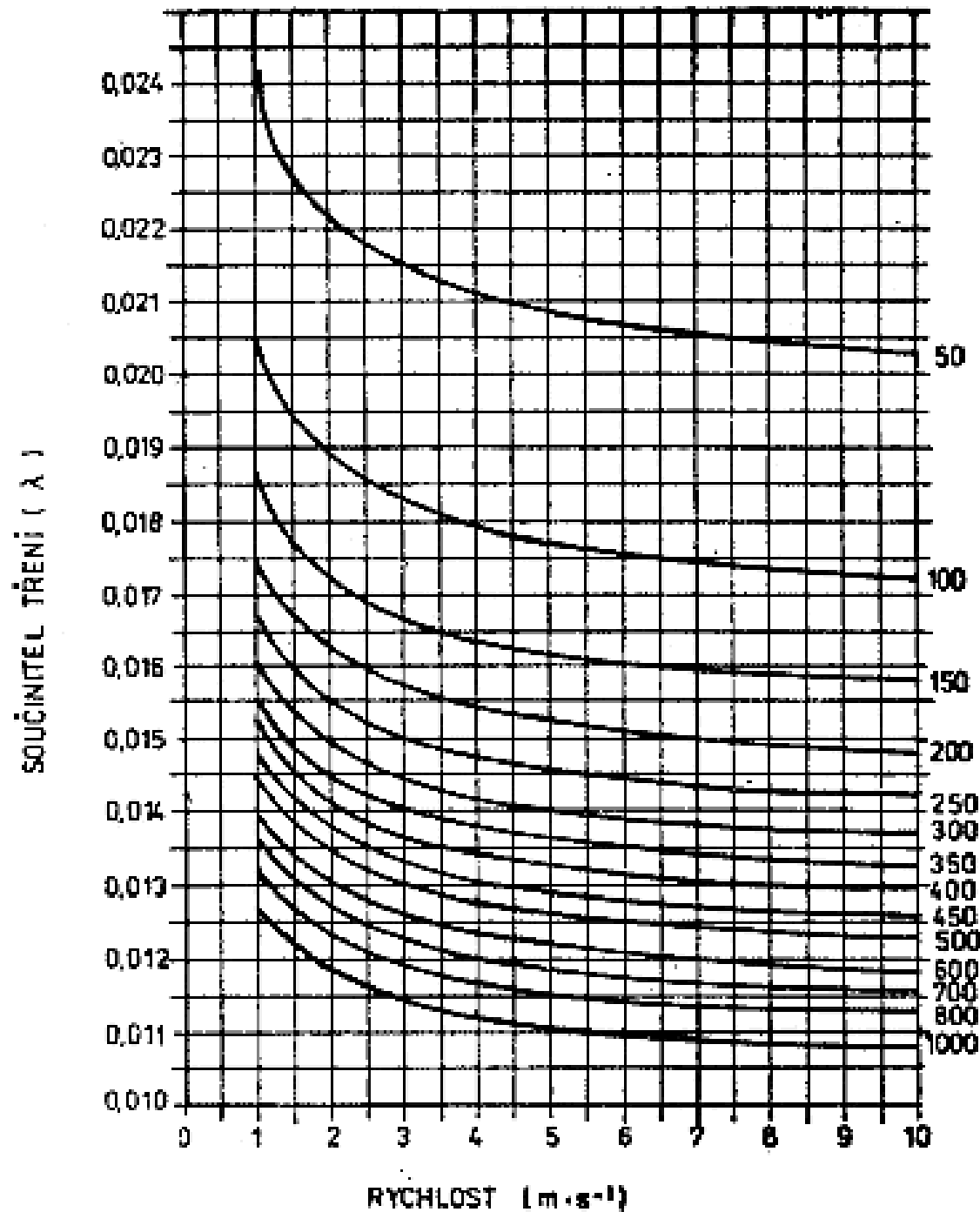
## Zkušební záznam čerpadla:

 <p>Milimetrové dělení hnědý tisk</p>															
Přepočítal					Kreslil					Kontroloval					
Datum					Datum					Datum					

## Střední drsnost stěny potrubní trubky „k“:

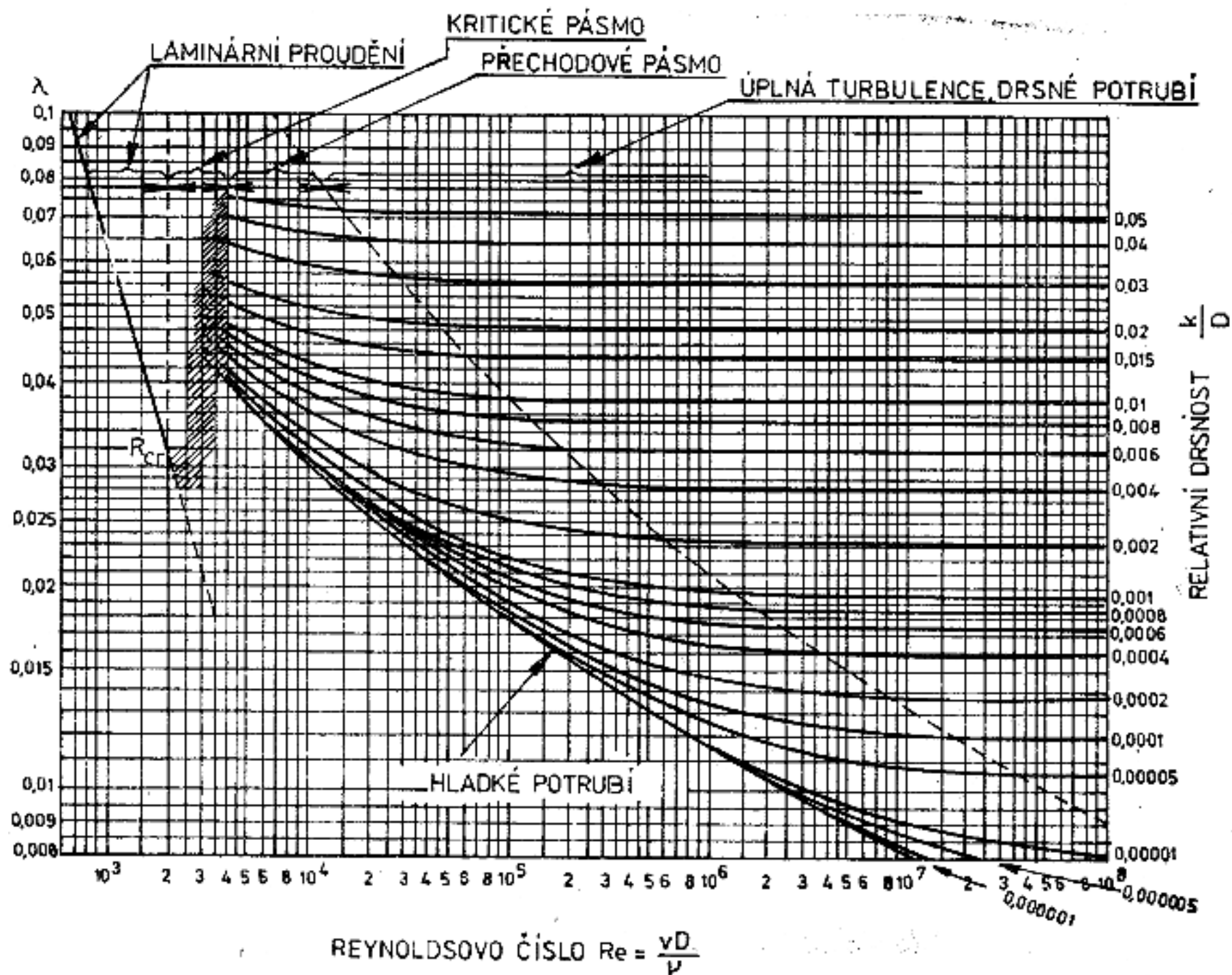
<b>Běžné potrubí (nové)</b>	<b>Střední drsnost stěny „k“</b>
<b>materiál</b>	<b>mm</b>
sklo, tažená mosaz, měď nebo olovo	hladké
ocel	0,05
asfaltovaná litina	0,12
pokovená litina	0,15
litina	0,25
beton	0,3 až 3,0

## Diagram součinitele tření:



hrsnost povrchu  $(k) = 5,186 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

kinematická viskozita  $(\nu) = 1,022 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

Diagram hodnot součinitele tření  $\lambda$  podle Moodyho

## **„Interaktivní prvky“:**

- **Překreslete si vyučujícím určená schémata atp.;**
- **V průběhu výkladu si poznamenávejte klíčové informace;**
- **Popište vlastními slovy jednotlivé snímky (vysvětlete funkci, atp.);**
- **Pokuste se nalézt v právě probrané prezentaci nepřesnosti, pro svůj názor formulujte argumenty;**

## Použitá literatura:

- **ANONYMUS. *Plakáty pro výuku předmětu Kontrola a měření.* SPŠS Sokolská 1. Brno, nedatováno.**
- **ČSN 11 00 33, ČSN 11 00 50, ČSN 11 00 51, ČSN 11 00 52**
- **CHOCHOLA K., SLACH J., ŠULC J. *Laboratorní cvičení.* Praha: STNL 1961.**
- **MARTINÁK, M. *Kontrola a měření.* Praha: STNL 1989.**
- **ŠULC, J., VYSLOUŽIL, Z. *Laboratorní cvičení technologická a strojní.* Praha: STNL 1970.**
- **VYSLOUŽIL Z., ZELKO J. *Meranie v strojárstve.* Bratislava: SVTL 1962.**
- **VYSLOUŽIL Z., KOVAL J. *Technologické a strojnické merania.* Bratislava: Alfa, 1978.**