

# Charakteristika čerpání kapaliny.

Václav Slaný  
BS design Bystřice nad Pernštejnem

## Úvod

Laboratorní zařízení průtoku kapalin, které provádí kalibraci průtokoměrů statickou metodou podle ČSN EN 24185 [4], narazí většinou na problém stabilizace průtoku. Je to v případě, kdy zařízení je sestaveno podle schématu na obrázku 1C citované normy. Při čerpání kapaliny (v našem případě vody) ze zásobní nádrže přes kalibrované měřidlo, regulační ventil průtoku a odchylovač proudu zpět do zásobní nádrže se po zaplnění potrubí ustálí průtok na nastaveném konstantním množství vody, které je podmínkou řádné kalibrace. Požadované množství vody je dané otáčkami čerpadla (jehož elektromotor je řízen frekvenčním měničem) a nastavením regulačního ventilu průtoku. Potíž nastane v okamžiku, kdy je odchylovačem usměrněn proud vody do vážicí nádrže, umístěné na váhovém zařízení. Od toho okamžiku nastává pokles hladiny v zásobní nádrži. Je přirozeným charakteristickým rysem každého (tedy i použitého) odstředivého čerpadla, že změna (snížení) hladiny v zásobní nádrži způsobí zmenšení množství vody, kterou (při zachování původního nastavení celého obvodu) má čerpadlo dát. To platí i v případě, že konstrukce čerpacího zařízení zajistí v zásobní nádrži hladinu vyšší, než je osa čerpadla. Literatura o čerpadlech se zabývá podobným jevem (např. [3]), který nastává při čerpání z nádrže s čerpadlem v nádrži. Jeho charakteristika se mění s poklesem hladiny v nádrži čerpadla a růstem odporu ve výtlačném potrubí se zvyšující se hladinou v nádrži výtoku na konci výtlačného potrubí. Jev, který nastává při kalibraci podle výše zmíněného schématu [4], literatura neuvádí, ale fakt, že dochází ke snižování průtoku v průběhu měření, je v praxi ověřen. Citovaná norma se v obrázku s tímto úkazem vypořádala tak, že za čerpadlo zařadila „stabilizátor průtoku“. Na rozdíl od odchylovače proudu se jeho principem nezabývá.

## Stabilizace průtoku

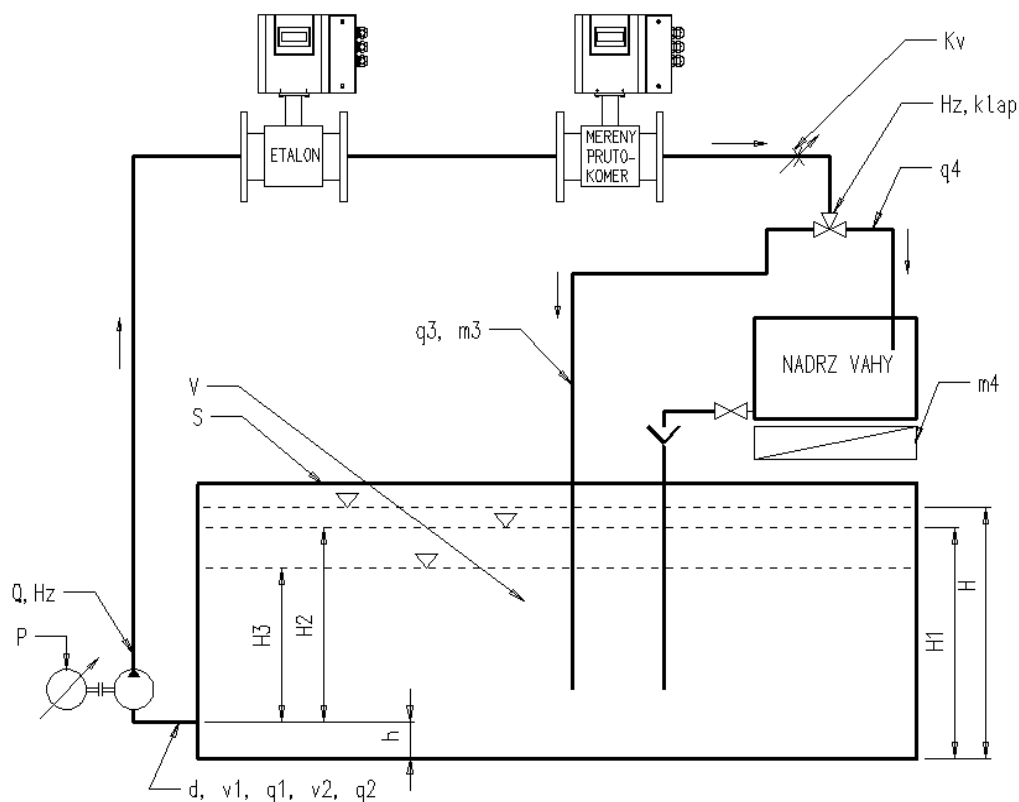
Popsaný hydraulický obvod má svou konstrukcí potrubí a odchylovače, při požadovaném průtoku vody, daný odpor průtoku tj. tlakovou ztrátu. Vřazením další tlakové ztráty (a tím i nutným zvýšením výkonu čerpadla) a následně proměnným snižováním tlakové ztráty se dosáhne stabilizace konstantního nastaveného množství čerpané vody. To vše se musí stihnout v časovém intervalu měření do nádrže váhy, což bývá 30 až 120 sekund (podle rozsahu měření). Pro určení této tlakové ztráty je třeba nejprve určit tlakovou ztrátu nastaveného hydraulického obvodu a postupnou změnu čerpaného množství vody při plnění vážicí nádrže. Tlaková ztráta se odečte z měřicího zařízení na výstupní trubce čerpadla v okamžiku konstantního průtoku do zásobní nádrže. Změnu čerpaného množství vody ukáže etalonový nebo kalibrovaný průtokoměr a potvrdí převážení vody, zachycené ve vážicí nádrži za daný časový interval. Výpočtem se určí průtokový součinitel zařízení  $K_v$ , které zajišťuje vřazenou tlakovou ztrátu (např. škrtecí ventil s proměnnou regulací), v okamžiku konstantního průtoku do zásobní nádrže. Následnými výpočty se určí součinitel  $K_v$  pro nastavení ventilu ve zvoleném časovém intervalu, např. po jedné sekundě, až do konce měření a tím i regulace. Z těchto výsledků vychází regulace ventilem a tím stabilizace průtoku. Průtokový součinitel  $K_v$  je jediným společným ukazatelem hydraulických charakteristik všech regulačních prvků v hydraulickém obvodu.

Jiným řešením stabilizace průtoku je možnost regulace otáček elektromotoru čerpadla jejich postupným zvyšováním přes frekvenční měnič ve zvoleném časovém intervalu, např. po jedné sekundě, až do konce měření. Řešením je i spojení obou popsaných způsobů. Jako zpětnovazební člen ve všech případech je možno užít etalonový průtokoměr.

## Výpočet průtoku při kalibraci

Pro matematické zobrazení průtoku při kalibraci je třeba vyjádřit rovnicemi mechaniky tekutin všechny děje, které se odehrávají při čerpání vody v zařízení a změny, které nastanou, když se plní vážicí nádrž a tím klesá hladina vody v zásobní nádrži. [1]

Prvním předpokladem je znalost množství vody v zásobní nádrži a plocha její hladiny, dále průměru sací trubky čerpadla a její výšky od dna zásobní nádrže. Toto jsou veličiny dané konstrukcí zařízení. Další veličiny jsou jednak dány konstrukcí zařízení a jednak zadaným množstvím vody pro kalibraci průtokoměru. Jedná se o délky a průměr potrubí a jeho tlakovou ztrátu při proudění zadaného množství vody. Tím je dáno i množství vody pro zaplavení potrubí. Podrobně je popis zařízení zobrazen na hydraulickém schématu (obr. 1).



Obr. 1 – Hydraulické schéma kalibračního zařízení

Následující metodika výpočtu bude vycházet z vyobrazeného schématu a v něm označených veličin:

Q	$\text{m}^3/\text{hod}$	zvolené množství vody pro kalibraci
S	$\text{m}^2$	plocha hladiny zásobní nádrže
V	$\text{m}^3$	množství vody v zásobní nádrži
d	m	průměr sacího hrdla čerpadla
h	m	osa sacího hrdla čerpadla nad dnem nádrže

H	m	vzdálenost od hladiny ke dnu zásobní nádrže
H <sub>1</sub>	m	vzdálenost . . . (po zaplnění potrubí za čerpadlem)
H <sub>2</sub>	m	výška hladiny od osy sání na začátku měření v čase t=0
H <sub>3</sub>	m	výška hladiny od osy sání na konci měření v čase „t“
H <sub>Z</sub>	m v.s.	tlaková ztráta potrubí
H <sub>Z,klap</sub>	m v.s.	tlaková ztráta odchylovače (dělicí klapky)
v <sub>1</sub>	m/s	rychlost vody v sacím hrdle na začátku měření v čase t=0
v <sub>2</sub>	m/s	rychlost vody v sacím hrdle na konci měření v čase „t“
q <sub>1</sub>	m <sup>3</sup> /s	množství vody v čase t=0
q <sub>2</sub>	m <sup>3</sup> /s	množství vody na konci měření v čase „t“
q <sub>3</sub>	m <sup>3</sup> /s(t)	množství vody v čase t=0 (před vážením)
q <sub>4</sub>	m <sup>3</sup> /s(t)	průměrné množství vody na konci měření v čase „t“ (po vážení)
m <sub>3</sub>	m <sup>3</sup> /s(t)	hmotnost vody v čase t=0 (před vážením)
m <sub>4</sub>	m <sup>3</sup> /s(t)	hmotnost vody na konci měření v čase „t“ (po vážení)
P	kW	příkon čerpadla
Kv	m <sup>3</sup> /hod	charakteristická veličina průtoku regulačním ventilem

Další veličiny, použité ve výpočtu:

t	s	doba měření (plnění nádrže na váze)
c	J/(kg*°C)	měrná tepelná kapacita vody
Δt	°C	oteplení vody
η		účinnost čerpadla (udaná výrobcem)
μ		průtokový součinitel
ρ	kg/m <sup>3</sup>	hustota (měrná hmotnost) vody
τ	s	interval (krok) výpočtu měření (nátoku do nádrže na váze)
n		počet kroků
g	m/s <sup>2</sup>	tíhové zrychlení
s <sub>1</sub>	m <sup>2</sup>	plocha sacího hrdla čerpadla
V <sub>1</sub>	m <sup>3</sup>	množství vody v zásobní nádrži po zaplavení potrubí
V <sub>2</sub>	m <sup>3</sup>	množství vody v zásobní nádrži na konci měření v čase „t“
V <sub>potrubí</sub>	m <sup>3</sup>	množství vody v potrubí
H <sub>Z,regul</sub>	m v.s.	tlaková ztráta regulačního ventilu
q <sub>m</sub>	kg/s(t)	hmotnostní průtok
q <sub>v</sub>	m <sup>3</sup> /s(t)	objemový průtok
ε		opravný člen

## Metodika výpočtu

Zcela na úvod je třeba znát konstrukční délku a průměr potrubí kalibračního zařízení. Z toho se vypočte hodnota veličiny „V<sub>potrubí</sub>“. Podle zadaných hodnot konstrukčních veličin zásobní nádrže (plochy hladiny „S“ a objemu vody „V“ se vypočte hodnota veličiny „H“ a odečtením množství vody v zaplaveném potrubí od celkového množství hodnota veličiny „H<sub>1</sub>“. Zaplavení je chápáno jako stav zařízení při čerpání vody do hydraulického obvodu a jejím návratu přes odchylovač proudu zpět do zásobní nádrže v čase t=0 tj. před započítáním měření do nádrže váhy.

$$V_1 = V - V_{\text{potrubí}} \quad H = V/S \quad H_1 = V_1/S \quad H_2 = H_1 - h = V_1/S - h$$

Zadáním hodnoty veličiny „d“ se vypočte plocha sacího hrdla čerpadla.

$$s_1 = \pi \cdot d^2 / 4$$

Dalším krokem výpočtu je volba „Q“ (množství vody pro kalibraci průtokoměru), Jeho hodnotu pro výpočet je třeba uvádět ve tvaru [m<sup>3</sup>/s]. Dále platí:

$$Q = q_1 \quad v_1 = q_1/s_1$$

Jedná se o okamžik t=0 tj. před započítáním měření průtoku do nádrže váhy. V tom čase probíhá průtok hrdlem sání čerpadla podle rovnice

$$Q = q_1 = \mu * s_1 * (2 * g * H_2)^{0,5} \quad (1)$$

Bezrozměrná veličina „μ“ je v literatuře [1] známa jako výtokový součinitel z potrubí nebo stěny nádrže. V našem případě nedochází k výtoku z potrubí do volného prostoru, ale do spirální skříně čerpadla. Proto je veličina přejmenována na průtokový součinitel. Její hodnota je zcela ovlivněna činností čerpadla a je odvozena z předešlé rovnice. Hodnota součinitele se v následujících výpočtech nebude měnit.

$$\mu = q_1 / (s_1 * (2 * g * H_2)^{0,5}) \quad (2)$$

Pro pokračování výpočtu je třeba určit hodnotu veličiny „t“. Ta je závislá na množství čerpané vody při měření průtoku do nádrže váhy a velikosti nádrže váhy. V metrologické praxi to bývá od 30 do 120 sekund podle velikosti „Q“. Pro metodiku měření minimálních průtoků „Q“ bývá doba i několik minut. Další veličinou k určení je interval výpočtu „τ“. Její hodnota určuje délku intervalu, po který probíhá průtok mezi jednotlivými kroky opakujících se výpočtů. Počet intervalů (kroků) je:  $n = t/\tau$

Pro první krok: n=1 platí:

$$V_{2(n=1)} = V_1 - (\tau * q_1) \quad H_{3(n=1)} = V_{2(n=1)}/S - h \quad (3)$$

Pro druhý krok: n=2 platí:

$$q_{2(n=2)} = \mu * s_1 * (2 * g * H_{3(n=1)})^{0,5} \quad V_{2(n=2)} = V_{2(n=1)} - (\tau * q_{2(n=2)})$$

$$H_{3(n=2)} = V_{2(n=2)}/S - h$$

Pro třetí krok: n=3 platí:

$$q_{2(n=3)} = \mu * s_1 * (2 * g * H_{3(n=2)})^{0,5} \quad V_{2(n=3)} = V_{2(n=2)} - (\tau * q_{2(n=3)})$$

$$H_{3(n=3)} = V_{2(n=3)}/S - h$$

Výpočet pokračuje až k poslednímu kroku. Pro n=n platí:

$$q_{2(n=n)} = \mu * s_1 * (2 * g * H_{3(n=n-1)})^{0,5} \quad V_2 = V_{2(n=n-1)} - (\tau * q_{2(n=n)}) \quad H_3 = V_2/S - h$$

Měření končí uplynutím zvolené doby „t“ a překlopením odchylovače a tím proudy vody z nádrže váhy do zásobní nádrže. V tu chvíli je čerpadlem dodáváno množství vody, pro které platí

$$q_2 = \mu * s_1 * (2 * g * H_3)^{0,5} \quad v_2 = q_2/s_1 \quad (4)$$

Porovnáním proteklého množství vody před měřením a po měření je dokázán pokles průtoku vody v průběhu měření. Z toho se vytvoří hodnota veličiny průměrného množství vody, nateklé přes odchylovač do nádrže váhy (q<sub>4</sub>). Váha registruje hmotnost vody, která protékala průtokoměry v průběhu měření. Pro porovnání naměřeného a naváženého množství je třeba vypočet průměrného množství vody násobit měrnou hmotností vody „ρ“. Hodnota veličiny „ρ“ je závislá na okamžité

teplotě vody při měření. Získá se interpolací číselné hodnoty teploty vody z tabulky v příloze „B“ [4].

$$q_4 = (q_1 + q_2) / 2 * t \quad m_4 = q_4 * \rho \quad (5)$$

$$q_3 = q_1 * t \quad m_3 = q_3 * \rho$$

Rozdíl průtoků vody na začátku a konci měření je dán

$$\Delta q = q_1 - q_2 \quad \Delta q = (q_1 - q_2) / q_1 * 100 \quad (\%) \quad (6)$$

Rozdíl hmotnosti proteklé vody za čas „t“ je dán

$$\Delta m = m_3 - m_4 \quad \Delta m = (m_3 - m_4) / m_3 * 100 \quad (\%) \quad (7)$$

Pro konkrétní zařízení při výpočtu hmotnostního a objemového průtoku podle [4] platí:

$$q_m = m_4 * (1 + \varepsilon) \quad q_v = q_m / \rho \quad (8)$$

Je-li kalibrace váhového zařízení prováděna etalonovým závažím, smáčeným při kalibraci v nádrži, platí:  $\varepsilon = 1,06 * 10^{-3}$ .

V případě, kdy je kalibrace váhového zařízení prováděna etalonovým závažím při kalibraci mimo kapaliny v nádrži, platí:  $\varepsilon = 1,21 * 10^{-3}$ .

Takto matematicky popsaný průběh čerpání vody, s výslednými hodnotami veličin podle intervalu výpočtu, seřazenými do tabulek, ukáže klesající množství vody, které dodává čerpadlo do nádrže váhy v průběhu měření. Z hodnot sestavený graf veličin ukáže lineární průběh změn tj. pokles průtoku, výška hladiny, pokles rychlosti proudění v hrdle čerpadla a jejich vzájemné závislosti. Průvodním jevem je i pokles tlakových ztrát potrubí a odchylovače, který je dán samotným poklesem průtoku vody bez zásahu do regulace v průběhu měření.

### Výpočet stabilizace průtoku

Pro stabilizaci průtoku v průběhu měření, které popisuje předcházející stať, je třeba vypočítat úvodní nastavení regulačního ventilu, který je součástí hydraulického obvodu. Výpočtem se určí průtokový součinitel  $K_v$  zařízení, které zajišťuje vřazenou tlakovou ztrátu (např. škrtkový ventil s proměnnou regulací), v okamžiku konstantního průtoku do zásobní nádrže. Následnými výpočty se určí součinitel  $K_v$  pro nastavení ventilu ve zvoleném časovém intervalu, např. po jedné sekundě, až do konce měření a tím i regulace (snížení) tlakové ztráty hydraulického obvodu v průběhu měření. Výpočet charakteristické veličiny průtoku regulačním ventilem, který je použit jako stabilizátor průtoku podle [4], je zpracován podle podkladů, uvedených v [2].

Pro počáteční nastavení ventilu při průtoku „ $q_1$ “ platí rovnice

$$K_{v1} = Q / 100 * (\rho / ((H_z + H_{z,klap} + H_2) * 102))^{0,5} \quad (9)$$

Na konci měření, při průtoku „ $q_2$ “, je nutno dosáhnout nastavení ventilu na hodnoty podle rovnice

$$K_{v2} = Q / 100 * (\rho / ((H_z + H_{z,klap} + H_3) * 102))^{0,5} \quad (10)$$

Ve výpočtu jsou zahrnuty všechny tlakové ztráty hydraulického obvodu, na které musí ventil regulací reagovat. Regulační ventil vytváří vlastní tlakovou ztrátu svou regulací, ta se však započítává jen do výpočtu příkonu elektromotoru čerpadla a do výpočtu oteplení vody vlivem regulace v průběhu měření.

Tlaková ztráta samotného regulačního ventilu je podle rovnice, která platí pro vodu

$$H_{Z, regul} = (Q / K_v)^2 * 10 \quad (11)$$

### Příkon čerpadla

Jeho výpočet je nezbytný pro posouzení navrhovaného nebo již reálného čerpacího agregátu. Tím, jak se zvyšuje tlaková ztráta regulací celého hydraulického obvodu, mění se požadavky na čerpací agregát. Musí se posoudit, zda čerpadlo zvládne požadavek vyššího tlaku vody pro měření s regulací a zda elektromotor čerpadla má dostatečnou rezervu výkonu pro zabezpečení provozu měření při vyšším tlaku v potrubí kalibračního zařízení.

Pro hydraulický obvod bez regulace platí

$$P = Q * \rho * (H_Z + H_{Z, klap} - H_3) * g / (3600 * \eta * 1000) \quad (12)$$

Pro hydraulický obvod s regulací platí

$$P = Q * \rho * (H_Z + H_{Z, klap} + H_{Z, regul} - H_3) * g / (3600 * \eta * 1000) \quad (13)$$

Porovnáním vypočteného příkonu s instalovaným výkonem čerpacího agregátu lze posoudit vhodnost stabilizace průtoku použitím regulačního ventilu.

### Oteplení vody

Nastává vždy, když proud vody v hydraulickém obvodu překonává jeho odpor, tj. jeho tlakovou ztrátu. Pro kalibrační zařízení je zvláště vhodné, aby nedocházelo k výkyvům teploty vody po čas měření. Stabilizaci teploty vody více či méně zajišťuje přestup tepla do stěn zásobní nádrže v průběhu celého procesu kalibrace, při kterém je voda v neustálém oběhu hydraulickým obvodem a tím je v pohybu i vůči stěnám zásobní nádrže.

Základní rovnicí je oteplení 1 m<sup>3</sup> kapaliny (vody) od tlakové ztráty celého zařízení během jejího čerpání.

$$\Delta t = (H_Z + H_{Z, klap} + H_{Z, regul}) * 10000 / (c * \rho) \quad (14)$$

V následující rovnici veličina hmotnostního průtoku (Q \* ρ) se porovná s veličinou hmotnostního objemu zásobní nádrže (V \* ρ) a spolu s veličinou „Δt“ z předešlé rovnice (14) určí oteplení vody v zásobní nádrži za časovou jednotku, s níž jde veličina „Q“ do výpočtu (hod, min, sec).

$$\Delta t_v = (Q * \rho * c * \Delta t) / (V * \rho * c) = \Delta t * Q / V \quad (15)$$

Tento výpočet je zanedbatelný pro větší zásobní nádrže a větší objemy vody v nich. O jejich vlivu na stabilizaci teploty a tím i menší oteplení v průběhu kalibrace je zmínka v úvodu této kapitoly. U menších nádrží s menším množstvím vody bude již

tento výpočet aktuální. Provozovatelé těchto zařízení by měli oteplování vody sledovat, protože stabilizace teploty vody je v těchto zařízeních obtížná.

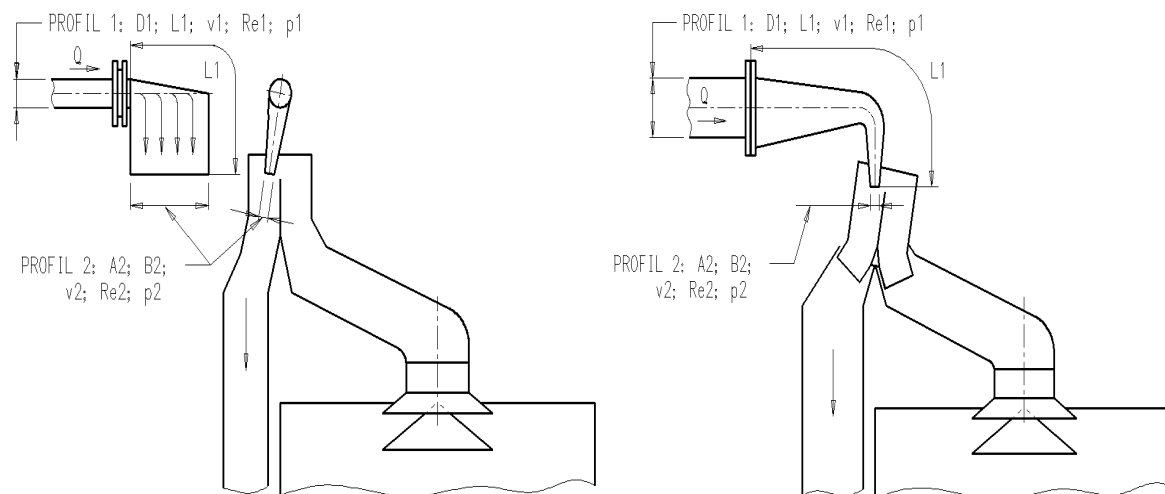
## Kontrola výpočtu

Dosud to byla jenom teorie. Zda aplikace vybraných a upravených rovnic byly správné, ukáže jejich sestavení do výpočtového programu, jímž se provede modelový výpočet poklesu hladiny při kalibraci vybraného průtokoměru na konkrétním zařízení pro kalibraci. Ověření správnosti navržených postupů podle rovnic (1) až (8), které budou ve výpočtovém programu použity, lze jednoduše provést porovnáním výsledků měření vážením množství vody (zvoleného pro kalibraci vybraného průtokoměru) a výpočtů podle uvedených rovnic.

Zmíněný výpočtový program již existuje a je používán pro ověření popsaných poznatků z čerpání vody při kalibraci na konkrétním kalibračním zařízení. To je realizováno podle [4] a podle schématu na obrázku 1C citované normy. Významnou součástí konkrétního kalibračního zařízení je etalonový průtokoměr, který není v citované normě a v obrázku uváděn. Bez jeho použití by se velice nesnadno seřizoval požadovaný průtok vody kalibrační linkou. Neméně významnou součástí hydraulického obvodu je dále popsaný odchylovač proudu a regulační ventil průtoku. Ten je řízen z PLC kalibrační linky.

Odchylovač proudu zajišťuje přesměrování toku vody při kalibraci průtokoměrů z obtokového obvodu do vázicí nádrže. Jeho spolehlivá a přesná činnost má rozhodující vliv na přesnost prováděné kalibrace. Odchylovače proudu nejčastějších konstrukcí jsou podrobně popsány v [5]. Na obr. 2 jsou jejich náčrty s vyznačenými veličinami, které jsou použity při výpočtu tlakové ztráty každého z nich. Tlaková ztráta štěrbin odchylovače proudu je rozhodující při volbě velikosti odchylovače v hydraulickém obvodu kalibrační linky.

Předběžná měření na konkrétních kalibračních linkách ukázala, že pro odstředivá čerpadla různého typu (jednostupňová a více stupňová) neplatí shodný úbytek čerpaného množství vody (např.  $\text{dm}^3/\text{min}$ ) při shodném poklesu hladiny vody v zásobní nádrži. To značí, že není stejná citlivost různých čerpadel na nastalou situaci při činnosti kalibrační linky. Výrobci čerpadel neuvádějí ani informativní údaje, které by mohly pomoci při řešení tohoto jevu u určitého typu nebo u konkrétního čerpadla. Proto kontrola výpočtu, prováděná praktickým ověřováním při provozu každé kalibrační linky, nabývá rozhodujícího významu.



Obr. 2 – Odchylovače proudu

## ZÁVĚR

Vzorový výpočet, který je přílohou tohoto textu, má připojen graf s hodnotami vypočtených veličin. Vše je výstupem z výpočtového programu, který je zmíněn výše. Jeho součástí jsou připojené samostatné programy výpočtu tlakových ztrát potrubí kalibrační linky a odchylovače proudu. Následným krokem po provedení výpočtu musí být jeho ověření na konkrétní kalibrační lince, kterou výpočet uvádí v hodnotách zadaných veličin. Porovnáním naměřených a vypočtených hodnot se projeví kvalita výpočtového programu a tím i správné matematické vyjádření daného problému a jeho řešení. Po důkladném ověření se může matematický model a tím i výpočtový program upravit, popřípadě doplnit zpřesňujícími koeficienty. Dalším krokem musí být ověření návrhu regulace a tím stabilizace průtoku, jak je popsáno. Bude to znamenat podrobnější seznámení se s možnostmi instalovaného zařízení v konkrétní kalibrační lince, případně jeho nové programování. Nastane tak situace, kdy vhodně navržený regulační ventil průtoku zastane i funkci stabilizátoru průtoku, jak navrhuje [4]. V případě regulace uvedeným ventilem bude v počátku cyklu měření spuštěn elektromotor odstředivého čerpadla a seřízen frekvenčním měničem na otáčky vyšší, než bylo jeho obvyklé nastavení při měření bez regulace. Tím bude čerpadlo schopno při zachování požadovaného průtoku vyvodit vyšší tlak vody, který je nutný pro cyklus regulace při popsaném měření. Dále se prokáže, zda instalované zařízení po programové změně je schopno realizovat požadované jemné rozdíly v regulaci tlaku při dodržení časového sledu měření.

Řešení stabilizace průtoku regulací otáček elektromotoru čerpadla, jejich postupným zvyšováním přes frekvenční měnič ve zvoleném časovém intervalu a nastavení konstantního tlakového spádu na regulačním ventilu průtoku, se jeví jednodušší. Bude tomu pravděpodobně tak, pokud instalovaný frekvenční měnič po úpravě programu jeho řízení bude schopen realizovat požadované jemné rozdíly v regulaci otáček při dodržení časového sledu měření.

### Literatura:

- [1] *Noskievič, J. a kol.* Mechanika tekutin. SNTL Praha 1987
- [2] *Doubrava, J a kol.* Regulační armatury. LDM Česká Třebová 2006
- [3] *Paciga, A a kol.* Čerpacia technika. ALFA Bratislava 1984
- [4] ČSN EN 24185 Měření průtoku kapalin v uzavřených profilech. Vážící metoda. ČNI Praha 1994
- [5] *Slaný, V.* Odchylovače proudu. [www.bsdesign.cz](http://www.bsdesign.cz)



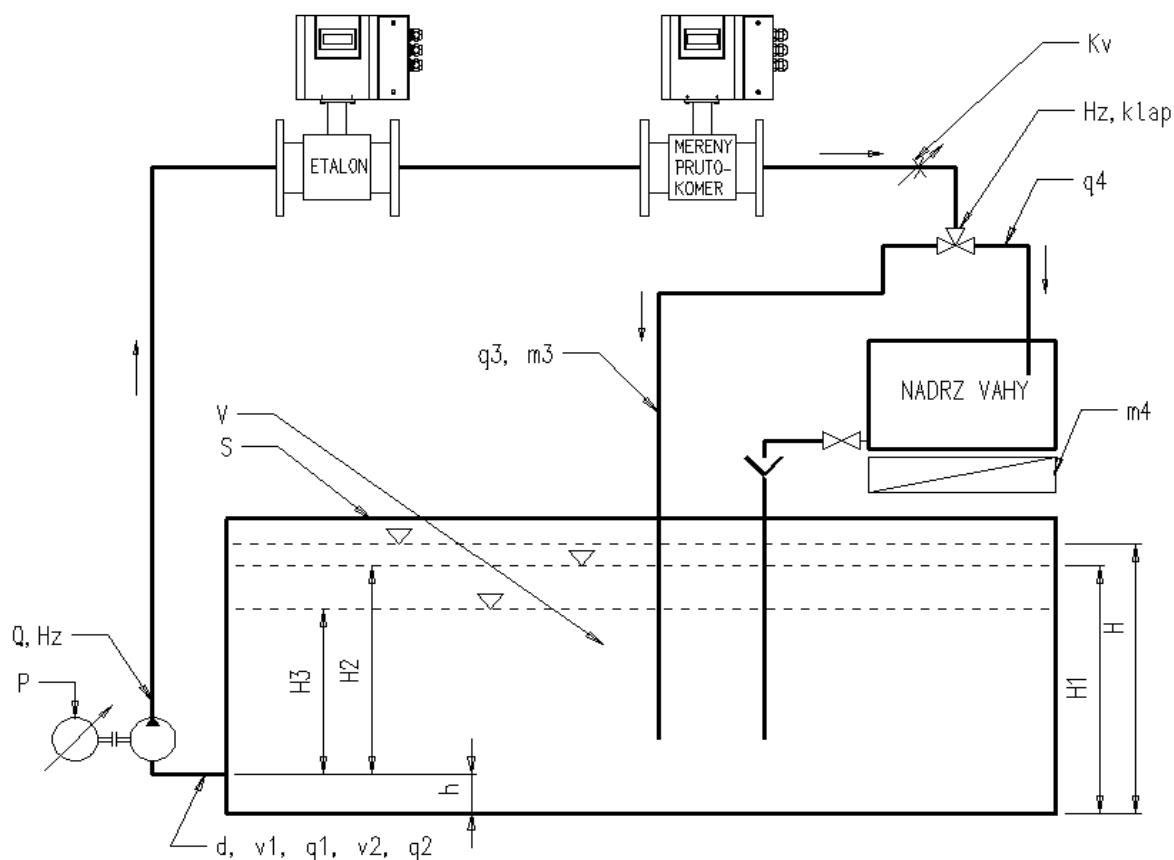
**POKLES HLADINY V ZÁSOBNÍ NÁDRŽI KALIBRAČNÍ LINKY**

Kalibrovaná světlost průtokoměru: DN 300

Odchylovač: DN 300

Zadání:

Kapalina: název	Voda	Q =	1362,000	m <sup>3</sup> /hod
teplota	14,80 °C		22,700	m <sup>3</sup> /min
hustota		$\rho =$	999,12	kg/m <sup>3</sup>
měrná tepelná kapacita		c =	4181,8	J/(kg*°C)
Plocha hladiny zásobní nádrže		S =	34,545	m <sup>2</sup>
Množství vody v zásobní nádrži		V =	76,000	m <sup>3</sup>
Průměr sacího hrdla čerpadla		d =	350	mm
Osa sacího hrdla nad dnem nádrže		h =	770	mm
Vtokový součinitel		$\mu =$	0,76230	
Opravný součinitel podle ČSN EN 24185		$\varepsilon =$	0,00106	
Tlaková ztráta potrubí bez regulace		$H_{Z, \text{potrubí}} =$	17,610	m v.s.
Tlaková ztráta potrubí s regulací		$H_{Z, \text{potr. regul}} =$	36,222	m v.s.
Tlaková ztráta odchylovače		$H_{Z, \text{klap}} =$	7,742	m v.s.
Interval (krok) výpočtu výtoku po. . .		$\tau =$	1,0	sec.
Doba měření		t =	60	sec.
Účinnost čerpadla (udávaná výrobcem)		$\eta =$	0,7	



Výpočet provedl: Slaný Václav  
 BS design Bystřice nad Pernštejnem

Dne: 11.11.2009

Objekt výpočtu: KALIBRAČNÍ LINKA DN 125 - 500  
 Matematický model poklesu hladiny v zásobní nádrži

List: 1  
 Listů: 2

**POKLES HLADINY V ZÁSOBNÍ NÁDRŽI KALIBRAČNÍ LINKY**V ý p o č e t:

Vzdálenost od hladiny ke dnu nádrže		H =	2,200	m
Vzdálenost od hladiny ke dnu nádrže po zaplnění potrubí za čerpadlem		H <sub>1</sub> =	2,126	m
Výška hladiny v nádrži od osy sání sání v čase 0		H <sub>2</sub> =	1,356	m
Výška hladiny v nádrži od osy sání sání v čase "t"(sec)	60	H <sub>3</sub> =	0,778	m
Pokles hladiny při měření		H <sub>2</sub> -H <sub>3</sub> =	0,579	m
Počáteční rychlost kapaliny v čase 0		v <sub>1</sub> =	3,933	m/s
Počáteční množství kapaliny v čase 0		q <sub>1</sub> =	0,378356	m <sup>3</sup> /s
Rychlost kapaliny v čase "t"(sec)	60	v <sub>2</sub> =	2,978	m/s
Množství kapaliny v čase "t"(sec)	60	q <sub>2</sub> =	0,286491	m <sup>3</sup> /s
			17,189	m <sup>3</sup> /čas "t"
Rozdíl množství čerpané kapaliny v čase "t"(sec)	60	q <sub>1</sub> -q <sub>2</sub> =	0,091865	m <sup>3</sup> /s
			5,512	m <sup>3</sup> /čas "t"
Množství čerpané kapaliny při měření: v intervalu(sec) 0 - 60 průtok před měřením vážením		q <sub>3</sub> =	22,700	m <sup>3</sup> /čas "t" v čase "0"
		m <sub>3</sub> =	22679,944	kg
průměrný průtok po měření v čase "t"	60	q <sub>4</sub> =	21,940	m <sup>3</sup> /čas "t"
		m <sub>4</sub> =	21920,548	kg
Naměřený rozdíl v nádrži váhy		q <sub>3</sub> -q <sub>4</sub> =	0,760	m <sup>3</sup>
		m <sub>3</sub> -m <sub>4</sub> =	759,396	kg
-rozdíl vyjádřený v procentech			3,348	%
Hmotnostní průtok podle ČSN EN 24185		q <sub>m</sub> =	21943,784	kg/čas "t"

**Zajištění konstantního průtoku při poklesu hladiny v zásobní nádrži**

Nastane nastavením škrtkícího ventilu pro průtok do obtoku a postupnou změnou nastavení (škrčení) průtoku při poklesu hladiny v zásobní nádrži a průtoku do nádrže váhy

Nastavení ventilu na průtokový součinitel - charakteristickou veličinu průtoku v čase 0		Kv <sub>1</sub> =	998,360	m <sup>3</sup> /hod
Nastavení ventilu na průtokový součinitel - charakteristickou veličinu průtoku v čase 60 sec	60	Kv <sub>2</sub> =	1013,949	m <sup>3</sup> /hod
Potevření ventilu při regulaci o. . . .			1,537	%
Příkon čerpadla pro potrubí:				

bez regulace průtoku	P =	86,104	kW
s regulací průtoku	P =	184,696	kW

Zvýšení teploty vody v nádrži za 1 hodinu stálého měření

bez regulace průtoku	Δt <sub>v</sub> =	0,755	°C
s regulací průtoku	Δt <sub>v</sub> =	1,554	°C

Výpočet zpracován dle: Prof. Ing. Jaromír Noskovič DrSc. a kol., Mechanika tekutin, SNTL Praha, 1987  
Ing. Jiří Doubrava a kol., Regulační armatury, LDM Česká Třebová, 2006

Výpočet provedl: Slaný Václav

**BS** design Bystřice nad Pernštejnem

Dne: 11.11.2009

Objekt výpočtu: KALIBRAČNÍ LINKA DN 125 - 500  
Matematický model poklesu hladiny v zásobní nádrži

List: 2  
Listů: 2

POKLES HLADINY V ZÁSOBNÍ NÁDRŽI PŘI ČERPÁNÍ DO NÁDRŽE VÁHY 24t  
( $Q=1362 \text{ m}^3/\text{hod.}$ )

