

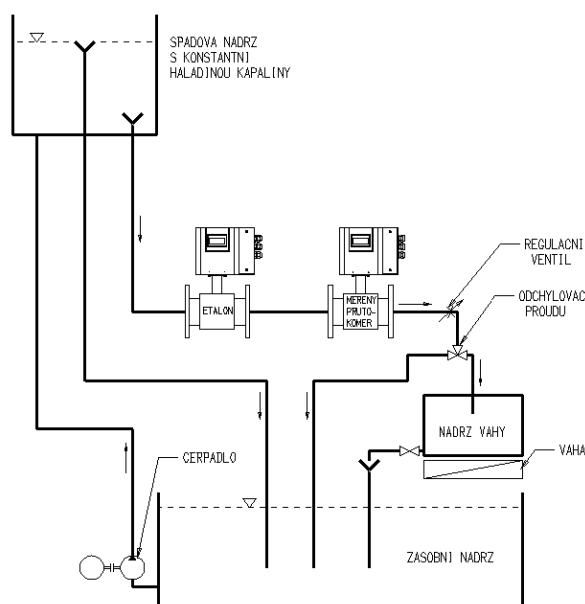
# Odchylovače proudu

Václav Slaný

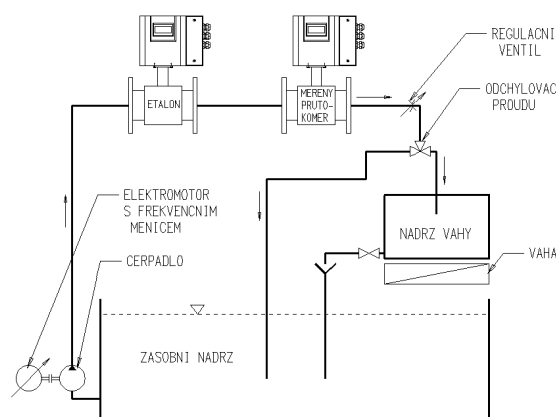
BS design Bystřice nad Pernštejnem

## Úvod

Výrobci průtokoměrů provádějí nastavování parametrů a konečnou kalibraci vyrobených průtokoměrů na kalibračních linkách, které jsou většinou finální součástí jejich výrobního procesu. Akreditované laboratoře průtoku kapalin provádějí tuto činnost pro výrobce a dovozce průtokoměrů, kteří toto zařízení nemají. Kalibrace průtokoměrů, prováděná statickou metodou (letným startem) podle ČSN EN 24185 [4], je jednou z nejobvyklejších. Kalibrační linky jsou nejčastěji sestaveny podle schématu na obrázku 1A a 1C citované normy.



Obr. 1 – Schéma kalibračního zařízení podle ČSN EN 24185 obr. 1A



Obr. 2 – Schéma kalibračního zařízení podle ČSN EN 24185 obr. 1C

Při kalibraci podle obr. 1 probíhá čerpání kapaliny (nejčastěji studené pitné vody) ze zásobní nádrže do spádové nádrže s konstantní hladinou, odtud samospádem přes etalonové měřidlo, kalibrované měřidlo, regulační ventil průtoku a odchylovač proudu zpět do zásobní nádrže

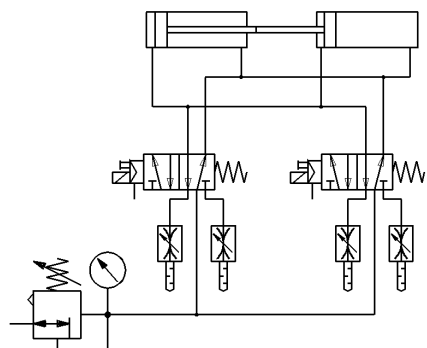
Při kalibraci podle obr. 2 probíhá čerpání kapaliny (nejčastěji studené pitné vody) ze zásobní nádrže přes etalonové měřidlo, kalibrované měřidlo, regulační ventil průtoku a odchylovač proudu zpět do zásobní nádrže. Každé zařízení na obrázcích má váhovou část s nádrží, dnes již většinou na digitálním váhovém zařízení a odchylovač proudu. Právě odchylovač proudu je společným prvkem v cestě průtoku kapaliny v obou hydraulických obvodech měřicího zařízení. Podle obr. 1 je stabilizace proudu požadovaného množství kapaliny zajištěna konstantní hladinou kapaliny ve spádové nádrži a množství kapaliny je regulováno pomocí regulačního ventilu. Postačující je čerpadlo s elektromotorem bez regulace, které je voleno pro optimální dodávku kapaliny do spádové nádrže s určitou rezervou výkonu. Podle obr. 2 je požadované množství kapaliny pro kalibraci zadaného průtokoměru zhruba realizováno nastavením otáček elektromotoru odstředivého čerpadla pomocí frekvenčního měniče. Regulační ventil průtoku, který zastává i funkci stabilizátoru průtoku, provádí doregulaci na přesnou hodnotu požadovaného množství kapaliny. Podrobně popsání a matematicky podložené je to v [5]. I přes dosažení vysoké přesnosti seřízení stabilizace proudu podle [5] dojde k určitým rozdílům proteklého a

zváženého množství kapaliny. Je to dáno snižováním hladiny kapaliny v zásobní nádrži a hysterezí zařízení, podléhajících seřizení. Nátok z odchylovače proudu do vážicí nádrže je vhodné provést v ose nádrže přes deflektor, kterým je kapalina stejněměrně usměřňována do nádrže a tak je zamezeno její oscilaci a dosaženo rychlého zklidnění hladiny kapaliny v nádrži před měřením.

## Odchylovač proudu

Následně popsané principy konstrukce odchylovačů proudu vycházejí z ČSN EN 24185 [4]. Činnost odchylovače proudu by měla být v souladu s popisem v příloze B ČSN ISO 9368-1 [3]. Konstrukční práce na nich by se měly řídit normativními příkazy citovaných norem i informativními doporučeními. Tvůrci norem, zvláště [4], pravděpodobně s četnými zkušenostmi, v nich zakotvili mnohé fyzikální veličiny průtoku a činnosti odchylovače proudu už s hodnotami, které by měl odchylovač splňovat a které by bylo možno považovat za mezní. Praxe ukázala, že jejich dodržení napomůže spolehlivé funkci zkonstruovaného zařízení, ale jejich překročení ještě nevyklučuje jak řádnou funkci zařízení, tak věrohodné výsledky měření. Tvůrci normy [4] při doporučení pohybu odchylovače, citují - „pružinou nebo torzní tyčí“ - přehlédli, že torzní tyč je pružina, využívající pružnosti materiálu při zatížení krouživým pohybem. Elektrický pohon (většinou elektromagnetem s vratnou pružinou) možno akceptovat, ale s rizikem, že nebude možné v žádném směru seředit rychlost pohybu. Lze předpokládat, že v některých konstrukcích bude pohyb rychlejší než pohon pneumatický, ne však řádově, snad jen v procentech. Dobře zvolená konstrukce pneumatického pohonu zajistí rovnoměrný pohyb odchylovače v obou směrech. Zbývá dodat jen potřebu zachycení pohybu mechanismů odchylovače pružnými dorazy v koncových polohách. Ty pohlcují energii hybnosti pohyblivé hmoty odchylovače a tím vzniklých sil při změně jeho rychlosti z maxima na nulu v minimálním čase tj. po krátké dráze. Pružné dorazy musí být instalovány na vnější konstrukci rámu odchylovače, v žádném případě se tato funkce dorazu nesmí přenést do konstrukce pneumatického válce. Byla by tak ohrožena funkce válce a snížena jeho životnost. Pneumatické válce s tlumením v koncových polohách nezajistí rychlý pohyb pístnice po celou dobu jejího požadovaného zdvihu při pohybu odchylovače.

Pro pohyb odchylovače proudu pomocí pneumatického pohonu je třeba zajistit přebytek síly v pneumatickém mechanismu, aby byla zaručena rychlost jeho pohybu. Dosáhne se toho dostatečným množstvím vzduchu, vhodnou volbou světlostí přístrojů pro úpravu vzduchu, ovládacích ventilů a pneumatických válců a přívodních trubek k nim. U konstrukcí odchylovače pro větší průtoky (např. odchylovač proudu 1) a tím konstrukce větší hmotnosti pohybových dílů se osvědčily pneumatické válce, spojené přes konce svých pístnic a s blokovým zapojením. Při současném pohybu jeden pneumatický válec tlačí a druhý současně táhne. Schéma zapojení je na obr. 3.a, skutečné provedení je na obr. 3.b.

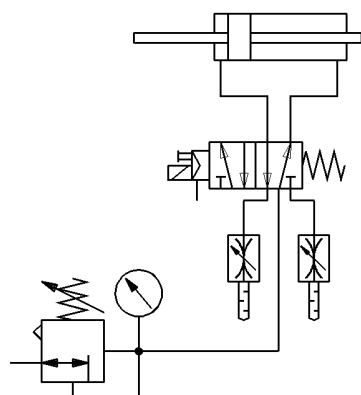


Obr. 3.a



Obr. 3.b

U konstrukce odchylovače pro menší průtoky (např. odchylovač proudu 2) a tím konstrukce menší hmotnosti pohybových dílů se osvědčil jeden pneumatický válec s průběžnou pístnicí. Schéma zapojení je na obr. 4.a, skutečné provedení je na obr. 4.b.



Obr. 4.a

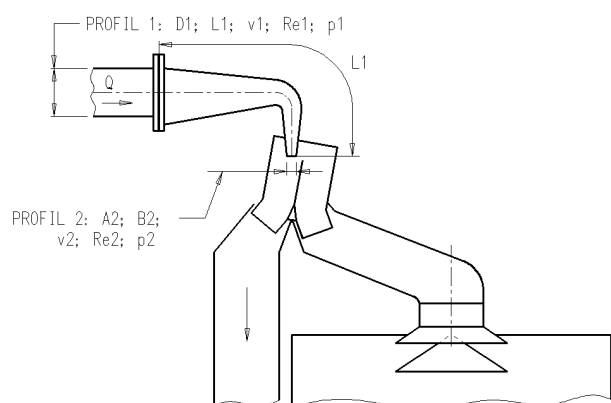


Obr. 4.b

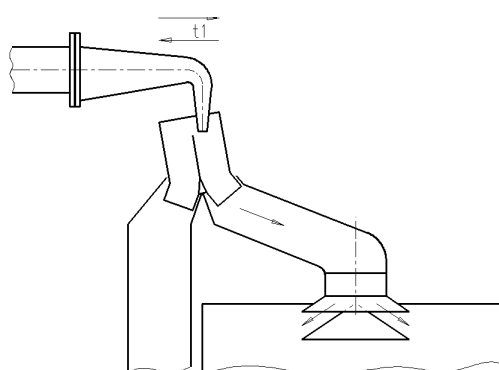
Obě zapojení mají společnou výhodu v práci pneumatického mechanismu se shodnou pracovní plochou a objemem v pneumatických válcích. To je výhoda při seřizování shodných rychlostí pohybu mechanismu a tím odchylovače proudu v obou směrech. Jak je v mechanice pneumatických konstrukcí osvědčené, rychlost pneumatického mechanismu se řídí škrcením výstupu vzduchu z pneumatického válce, ale jednodušší je to z výfukového kanálku ovládacího ventilu. Tak se jedním regulačním prvkem (dvěma škrťacími ventily) řídí rychlost celého mechanismu i s několika pneumatickými válci najednou za předpokladu, že mají mezi sebou mechanickou vazbu.

## Odchylovač proudu 1

Konstrukce tohoto odchylovače proudu je znázorněna na obrázcích 5.a a 5.b s vyznačenými veličinami, které jsou použity při výpočtu jeho tlakové ztráty a výpočtu nejistoty při měření průtoku (času přepnutí odchylovače proudu do a z vážicí nádrže).



Obr. 5.a

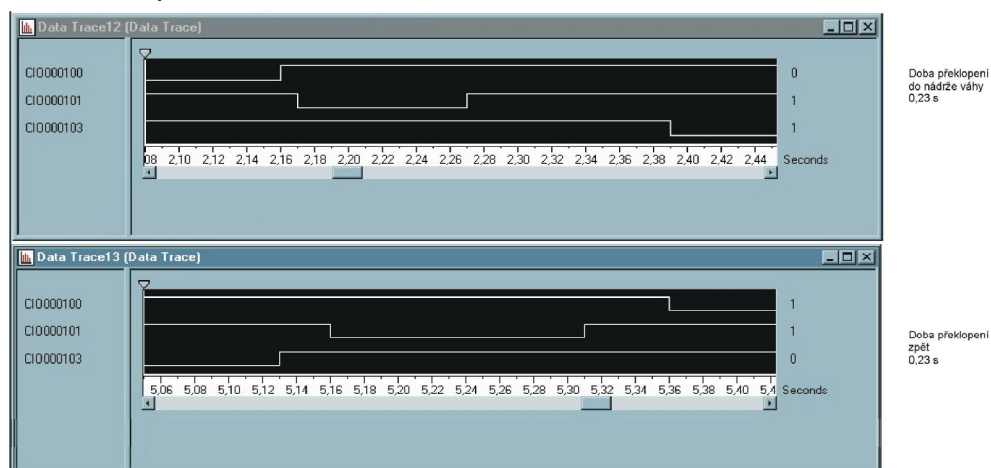


Obr. 5.b

Vstup kapaliny do odchylovače proudu je potrubím „ $D_1$ “ v ose souměrnosti konstrukce odchylovače, posléze se mění na obdélníkový profil a vyústění proudu kapaliny tvoří štěrbinu o délce „ $B_2$ “ a šířce „ $A_2$ “. Pod štěrbinou je komora s vnitřní přepážkou, která ji dělí na dvě stejné části a překlápí se kolem osy pod přepážkou

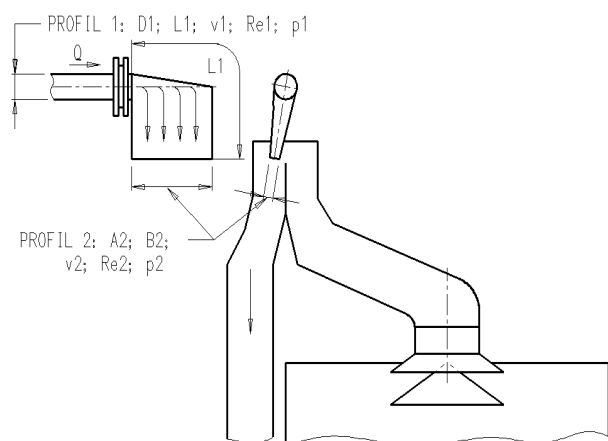
komory. Tak je polohou komory zajištěn nátok do zásobní nádrže a po překlopení komory nátok do vážicí nádrže. Ostrá hrana přepážky a rychlé překlopení komory pneumatickými válci je zárukou rychlé změny polohy komory a minimálního vlivu na parametry měření a jeho přesnost. Indukčními snímači jsou sledovány koncové polohy komory (patrné na obr. 3.b). Od nich je dán signál pro časoměrné zařízení odchylovače proudu, které bývá součástí řídicího PLC. Po záběhu mechanismů odchylovače a pneumatického překlápění je třeba nastavit čas změny polohy komory odchylovače a zajistit stejný čas překlopení komory na obě strany. Pro sledování času překlopení komory je vhodné využít grafického systému v řídicím PLC kalibrační linky (pokud je instalován). Příkladem je grafický záznam časů překlopení komory odchylovače proudu při optimálním průtoku kapaliny kalibrační linkou. Grafický záznam má v názvu nepřesné označení odchylovače proudu tj. dělicí klapka. Platí  $DN\ 300 = D_1$

Linka 125 - 500 - s průtokem vody  $650\ m^3/hod.$   
Dělicí klapka DN 300

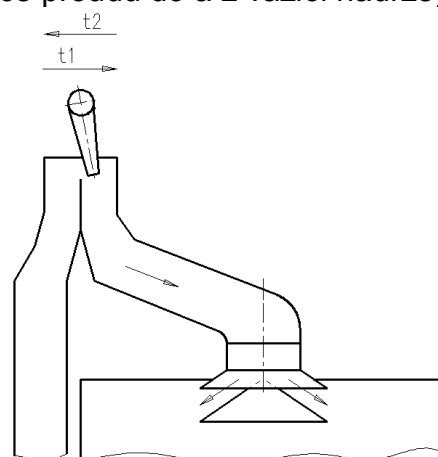


## Odchylovač proudu 2

Konstrukce tohoto odchylovače proudu je znázorněna na obrázcích 6.a a 6.b s vyznačenými veličinami, které jsou použity při výpočtu jeho tlakové ztráty a výpočtu nejistoty při měření průtoku (času přepnutí odchylovače proudu do a z vážicí nádrže).



Obr. 6.a

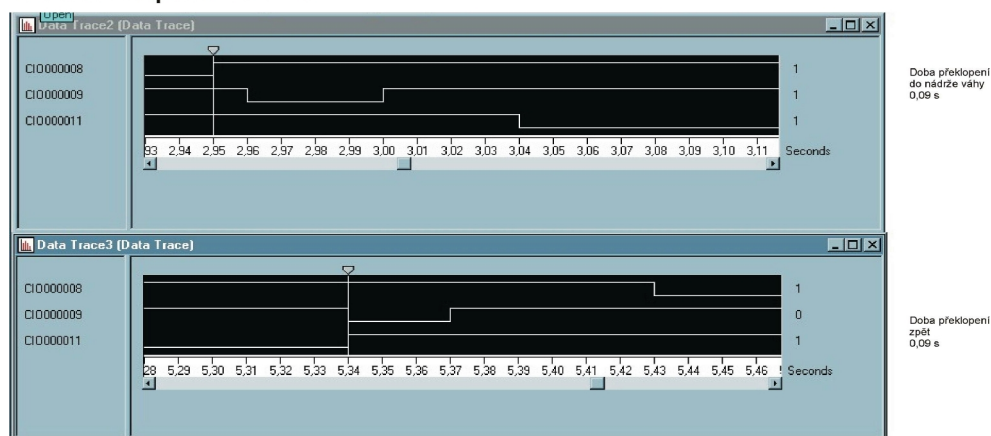


Obr. 6.b

Vstup kapaliny do odchylovače proudu je potrubím „ $D_1$ “ z boku konstrukce odchylovače, tato část se posléze mění na kónický tvar a vyústění proudu kapaliny o  $90^\circ$  tvoří štěrbinu o délce „ $B_2$ “ a šířce „ $A_2$ “. Štěrbina s kónickým vyústěním se pootáčí a tak se naklopí nad jednu ze dvou částí komory. Pod štěrbinou je komora s vnitřní přepážkou, která je dělena na dvě stejné části. Poloha komory je stabilní, nátok do

zásobní či vážicí nádrže nastane po pootočení šterbiny. Ostrá hrana přepážky a rychlé pootočení šterbiny jedním pneumatickým válcem s průchozí pístnicí je zárukou rychlé změny polohy šterbiny a minimálního vlivu na parametry měření a jeho přesnost. Indukčními snímači jsou sledovány koncové polohy šterbiny (patrné na obr. 4.b). Od nich je dán signál pro časoměrné zařízení odchylovače proudu, které bývá součástí řídicího PLC. Po záběhu mechanismů odchylovače a pneumatického pootáčení je třeba nastavit čas změny polohy šterbiny odchylovače a zajistit stejný čas pootočení šterbiny na obě strany. Pro sledování času pootočení šterbiny je vhodné využít grafický systém v řídicím PLC kalibrační linky (pokud je instalován). Příkladem je grafický záznam časů pootočení šterbiny odchylovače proudu při optimálním průtoku kapaliny kalibrační linkou. Grafický záznam má v názvu nepřesné označení odchylovače proudu tj. dělicí klapka. Platí  $DN\ 40 = D_1$

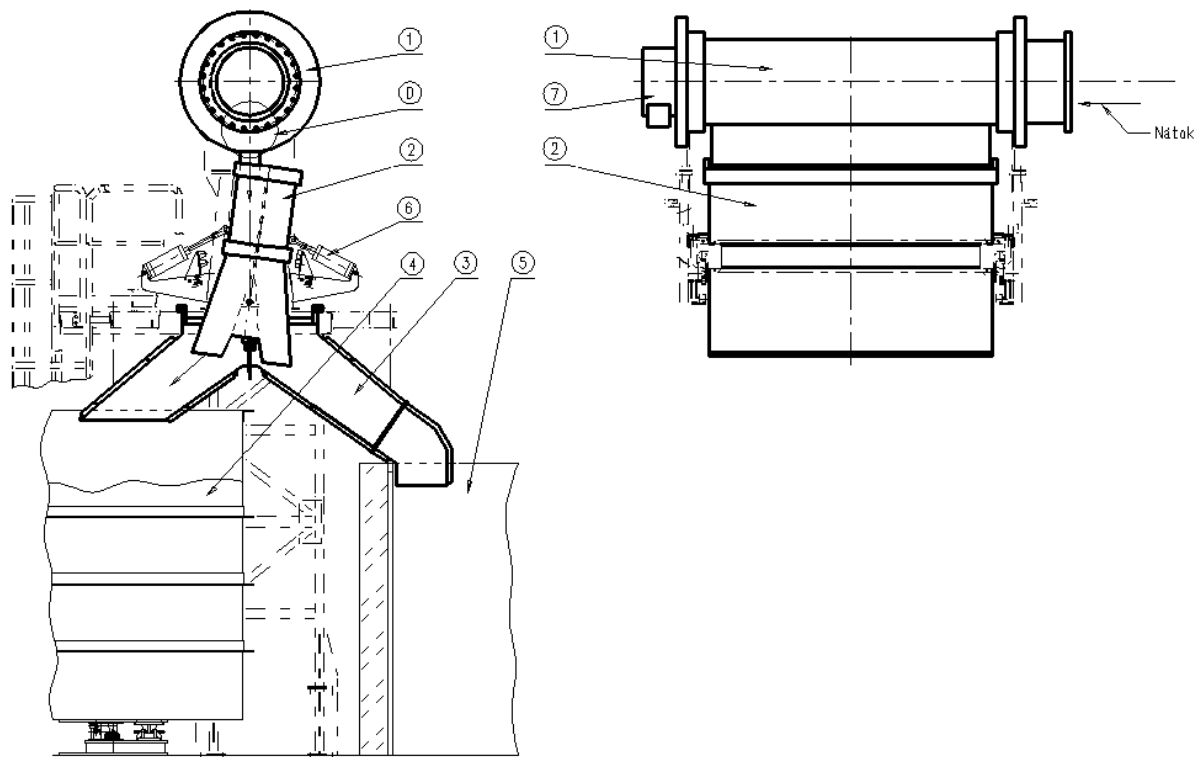
Linka 6 - 32 - s průtokem vody 8,6 m<sup>3</sup>/hod.  
Dělicí klapka DN 40



### Odchylovač proudu 3

Konstrukce tohoto odchylovače proudu je kombinací odchylovačů podle předešlého popisu. Vstup kapaliny do odchylovače proudu je potrubím z boku konstrukce odchylovače. Tato část je zakončena čelní stěnou v otočné vložce a vyústění proudu kapaliny je nasměrované z vložky (vložkou odchyleno) o 90°. Vložka má ve své válcové stěně v podélné ose řady otvorů různých průměrů, vždy jeden průměr v jedné řadě. Natočením vložky zvolenými otvory nad řadu otvorů ve spodní části pevného pláště se reguluje průtok vody odchylovačem. Konstrukce odchylovače je znázorněna na obrázcích 7.a a 7.b. Pod otvory v plášti je komora s vnitřní přepážkou, která ji dělí na dvě stejné části a překlápí se kolem osy pod přepážkou komory. Tak je polohou komory zajištěn nátok do zásobní nádrže a po překlapaní komory nátok do vážicí nádrže. Ostrá hrana přepážky a rychlé překlapaní komory pneumatickými válci je zárukou rychlé změny polohy komory a minimálního vlivu na parametry měření a jeho přesnost. Předpokládá se průtok většího množství vody a proto je překlápění komory řešeno dvěma dvojicemi pneumatických válců s blokovým zapojením. Stejně tak indukční snímače polohy jsou nezbytnou výbavou pro přesné řízení činnosti odchylovače.

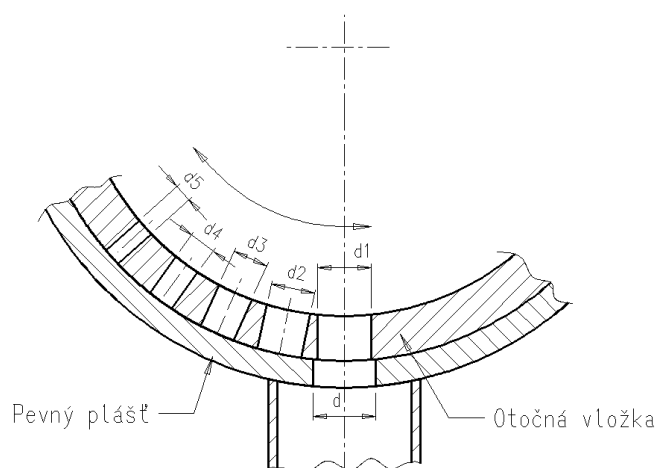
Obrázek 7.a znázorňuje celkové uspořádání odchylovače v návaznosti na vážicí nádrž a zásobní nádrž. Je na něm zachycen okamžik napouštění vody do vážicí nádrže.



Obr. 7.a

- |   |                                 |
|---|---------------------------------|
| (1) Pevný plášť s otočnou vložkou   | (2) Komora s vnitřní přepážkou  |
| (3) Žlab do zásobní a vážicí nádrže                                       | (4) Vážicí nádrž                |
| (5) Zásobní nádrž   | (6) Pneumatické ovládání komory |
| (7) Šneková převodovka s elektromotorem a snímačem polohy natočení vložky |                                 |

Obrázek 7.b znázorňuje principiální uspořádání otvorů v otočné vložce a pevném plášti. Jsou v místě, které ukazuje detail „D“ na obrázku 7.a.



Obr. 7.b

## Přesnost měření

Odchylovač proudu a k němu napojenou kalibrační linku je třeba provozovat podle ČSN EN 24185 [4] a zkoušet podle ČSN ISO 9368-1 [3]. Doporučené hodnoty veličin podle [4] je pro skutečné provedení odchylovače proudu třeba doložit výpočtem. Proto je třeba vypracovat matematický model výpočtu nejistoty při měření průtoku. V něm musí být obsažena - jako jedno z hlavních hledisek - činnost odchylovače proudu a zdůvodnění jeho velikosti (rozměrů štěrbin) podle zásad v [4] v závislosti na průtoku kapaliny odchylovačem. Tím je myšlen poměr stran štěrbin a její tlaková

ztráta (pokles tlaku v ní) s ohledem na její bezpečnou funkci v odchylovači proudu. Pro určené rozpětí množství proudu kapaliny v odchylovači se konstruují odchylovače různých rozměrů s konstantním průřezem štěrbinou, kterou protéká kapalina. K dosažení vyšší přesnosti měření některé laboratoře průtoků kapalin používají tyto štěrbinové s proměnným průřezem. Změnou průřezu štěrbinou se dosahuje zaručeně úzkého proudu kapaliny nad hranou přepážky v komoře a požadovaného přetlaku kapaliny v tělese nad štěrbinou. Podrobně je to zmíněné v [2], kde je popsáno zařízení odchylovače v německé laboratoři PTB Braunschweig. S obdobnou konstrukcí štěrbinou se lze setkat ve zkušebně turbin v ČKD Blansko. Zařízení podle popsaného odchylovače 3 řídí přetlak kapaliny v tělese odchylovače nad štěrbinou, ale v žádném případě proud kapaliny nezužuje. Navíc z tělesa otočné vložky musí být před měřením odveden vzduch, aby průtok kapaliny z odchylovače probíhal v celé délce nad hranou přepážky v komoře. Mimo zmíněného odvodu vzduchu je třeba umístit manometr pro sledování tlaku kapaliny v odchylovači na potrubí těsně u jeho ústí do odchylovače. Odchylovače této konstrukce byly používány v laboratoři průtoků v městě Delft v Holandsku. [6] Po nezbytné repasi a malé rekonstrukci je používá ve svém kalibračním centru firma VENTURI Calibration services pro firmu SEIKO Flowcontrol v Blatnici pod Sv. Antonínkem.

K činnosti odchylovače proudu je nezbytné řízení rychlosti jeho překlápění (pootáčení) a řízení doby nátohu kapaliny do vážicí nádrže. Nepropustnost kapaliny mimo potrubí a komory odchylovače je samozřejmostí.

K zaručené přesnosti měření patří pravidelné zkoušení kalibračního zařízení podle [3] a k tomu náležitě pravidelná kalibrace váhy pod nádrží, kterou většinou provádí servis dodavatele vah (např. METTLER-TOLEDO, HBM nebo SCHENCK) a úřední ověření váhy (např. ČMI). Etalonové závaží pro kalibraci váhy s nádrží velkého objemu se obvykle pokládá do nádrže. K dovažování potřebné kalibrační hmotnosti se občas používá definované množství kapaliny, která se do nádrže napustí. Pro kalibraci váhy s nádrží malého objemu se obvykle postupuje odlišně. Před kalibrací váhy je nádrž z váhy sejmuta a etalonové závaží je pokládáno přímo na plošinu váhy.

## Výpočet průtoku

Pro matematické zobrazení průtoku kapaliny odchylovačem proudu při kalibraci je třeba vyjádřit rovnicemi mechaniky tekutin [1] všechny děje, které zmiňuje [4]. Ty je nutné podle veličin v obrázcích 5.a, 6.a a 7.b vypočítat. Je to vždy rychlost proudění kapaliny při vstupu do odchylovače a při výstupu štěrbinou odchylovače. Dále je to tlaková ztráta při změně profilu potrubí a proudění kapaliny před štěrbinou a ztráta tlaku kapaliny při výtrysku kapaliny ze štěrbinou.

Další částí výpočtu je převedení zvoleného množství kapaliny pro kalibraci za daný interval měření na hmotnostní průtok kapaliny tj. hmotnost kapaliny, která protekla potrubím celého kalibračního zařízení a odchylovačem proudu do vážicí nádrže.

Následující metodika výpočtu vychází z uvedených obrázků a v nich označených veličin:

Q	m <sup>3</sup> /s	zvolené množství kapaliny pro kalibraci
v <sub>1</sub>	m/s	rychlost kapaliny v přívodním potrubí
v <sub>2</sub>	m/s	rychlost kapaliny ve štěrbině odchylovače
Re <sub>1</sub>		Reinoldsovo kritérium příslušné k přívodnímu potrubí
Re <sub>2</sub>		Reinoldsovo kritérium příslušné ke štěrbině
p <sub>1</sub>	Pa	ztráta tlaku kapaliny při průtoku potrubím se změnou profilu
p <sub>2</sub>	Pa	ztráta tlaku kapaliny při průtoku štěrbinou
D <sub>1</sub>	m	průměr potrubí
L <sub>1</sub>	m	délka změny profilu potrubí (konfuzoru)
A <sub>2</sub>	m	šířka štěrbinou

$B_2$	m	délka štěrby
$d_{1,2,3...}$	m	průměr otvoru v otočné vložce
$t_1$	sec	čas pohybu odchylovače
$t_2$	sec	čas pohybu odchylovače

Další veličiny, použité ve výpočtu:

$D_h$	m	hydraulický průměr potrubí
$D_s$	m	hydraulický průměr štěrby
$Q_{celk}$	$m^3/t_{min}$	celkové množství kapaliny pro kalibraci
$t_{min}$	sec	doba měření
$m_{celk}$	$kg/t_{min}$	celková hmotnost kapaliny pro kalibraci
$m$	kg	zvážená hmotnost kapaliny v nádrži po kalibraci
$n$		počet otvorů v řadě
$\mu$		průtokový součinitel (0,94)
$\lambda$		součinitel tření
$\rho$	$kg/m^3$	hustota (měrná hmotnost) kapaliny
$\nu$	$m^2/s$	kinematická viskozita kapaliny
$g$	$m/s^2$	tíhové zrychlení (9,81)
$\varepsilon$		opravný člen (podle ČSN EN 24185)
$v_3$	m/s	rychlost kapaliny v otvorech v otočné vložce
$p_3$	Pa	ztráta tlaku kapaliny při průtoku otvorů v otočné vložce

### Metodika výpočtu „Odchylovače proudu 1 a 2“

Zcela na úvod je třeba znát konstrukční průměr vstupního potrubí a délku změny profilu potrubí odchylovače proudu, dále délku a šířku štěrby a hlavně množství kapaliny pro kalibraci průtokoměru. Z toho se vypočte hodnota veličiny

$$V_1 = 4 * Q / (\pi * (D_1)^2) \quad (1)$$

$$V_2 = Q / (A_2 * B_2) \quad (2)$$

$$Re_1 = (V_1 * D_1) / \nu \quad (3)$$

$$Re_2 = (V_2 * D_h) / \nu \quad D_h = (2 * A_2 * B_2) / (A_2 + B_2) \quad (4)$$

Hodnotu veličiny „ $\nu$ “ je možno dosazovat z fyzikálních tabulek, hodnověrných zdrojů, nebo ji podle teploty kapaliny získat výpočtem, jak uvádí [1].

Pro výpočet tlakové ztráty  $p_1$  je třeba znát součinitel tření potrubí a měnícího se profilu potrubí. Je to průměrná hodnota součinitelů tření jednotlivých částí odchylovače.

Pro turbulentní proudění platí:	Pro laminární proudění platí:	
$\lambda_1 = 0,184 / (Re_1)^{0,2}$	$\lambda_1 = 64 / Re_1$	(5)

$\lambda_2 = 0,184 / (Re_2)^{0,2}$	$\lambda_2 = 64 / Re_2$	(6)
------------------------------------	-------------------------	-----

$$\lambda = (\lambda_1 + \lambda_2) / 2$$

Turbulentní proudění nastává, pokud  $Re > 2320$ .

$$p_1 = \lambda / 4 * (L_1 / (D_1 - D_s)) * (1 - (D_s)^4 / (D_1)^4) * ((V_2)^2 / (2 * g)) * 10000 \quad (7)$$



$$D_s = (4 * A_2 * B_2 / \pi)^{0,5} \quad (8)$$

$$p_2 = (Q^2 * \rho) / (\mu * 2 * (A_2 * B_2)^2) * 10000 \quad (9)$$

### Metodika výpočtu „Odchylovače proudu 3“

Zcela na úvod je třeba znát, která řada otvorů otočné vložky je nastavena v ose výstupu kapaliny z odchylovače tj. průměr otvorů v otočné vložce, kterými kapalina vytéká.

$$V_3 = Q / (n * (\pi * (d_{1,2,3...})^2 / 4)) \quad (10)$$

$$p_3 = (Q^2 * \rho) / (\mu * 2 * (n * (\pi * d_{1,2,3...}^2 / 4))^2) * 10000 \quad (11)$$

Hodnotu veličiny „ $\rho$ “ pro čistou vodu je třeba dosazovat z tabulky v příloze B [4] podle teploty kapaliny, která protéká odchylovačem proudu při kalibraci. Pro ostatní kapaliny je třeba ji získat z hodnověrných zdrojů nebo laboratorním měřením.

$$Q_{\text{celk.}} = Q * t_{\text{min}} \quad (12)$$

$$m_{\text{celk.}} = Q_{\text{celk.}} * \rho * (1 + \varepsilon) \quad (13)$$

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:  $\varepsilon = 1,21 * 10^{-3}$ .

### **Výpočet nejistoty**

Matematicky popsané děje průtoku odchylovačem proudu v závislosti na časech překlápění (pootáčení) odchylovače a čase měření jsou přehledně popsány v [2]. Výpočet nejistot těchto dějů při měření průtoku je popsán a vysvětlen v [3] a [4]. Doporučuji proto jejich pečlivé prostudování, opisování rovnic a výkladových statí, které přísluší k výpočtu nejistot, z norem do tohoto článku je bezpředmětné. Co v uvedených normách chybí, je porovnání proteklého a zváženého množství kapaliny. Jde o výpočet systematické nejistoty se systematickou chybou, způsobenou rozdílem hmotnosti proteklého a zváženého množství kapaliny. Systematická chyba:

$$(e_s)_m = m_{\text{celk.}} - m \quad (14)$$

Z toho vychází veličina systematické nejistoty rozdílu hmotnosti proteklého a zváženého množství kapaliny podle [4]

$$[(e_s)_m / m_{\text{celk.}}]^2 \quad (15)$$

Tento člen je přiřazen do kombinace všech nejistot a výpočet systematické nejistoty „ $E_s$ “ je proveden metodou odmocniny součtů čtverců [4].

Normy nepočítají se srovnáním hodnot obou veličin („ $m_{\text{celk.}}$ “ vypočtené z naměřených hodnot etalonového průtokoměru a „ $m$ “ z váhy), protože nepočítají ani s použitím etalonového průtokoměru při kalibraci měřidla. Při použití měřicí metody podle obrázku 1A [4] se ukazuje, že shodných hodnot lze dosáhnout celkem snadno,

protože zde lze spolehlivě docílit konstantního průtoku kapaliny po celou dobu měření. Praxe při použití měřicí metody podle obrázku 1C [4] ukazuje, že shodných hodnot nelze dosáhnout. Norma [3] a [4] předpokládá proudění stejného množství čerpané kapaliny po celou dobu měření. Při čerpání kapaliny ze zásobní nádrže do nádrže pro měření klesá hladina kapaliny v zásobní nádrži a to je příčinou postupně se snižujícího výkonu čerpadla a tím i množství čerpané kapaliny po čas měření. Jak je popsáno v úvodu, požadované množství kapaliny pro kalibraci zadaného průtokoměru je zhruba realizováno seřízením otáček elektromotoru odstředivého čerpadla pomocí frekvenčního měniče. Regulační ventil průtoku, který zastává i funkci stabilizátoru průtoku, provádí doregulaci na přesnou hodnotu požadovaného množství kapaliny. I přes dosažení vysoké přesnosti seřízení stabilizace proudu podle [5] dojde k určitým rozdílům proteklého a zváženého množství kapaliny. Do nádrže nateče průměrné množství kapaliny, které etalon okamžitým měřením ukáže na začátku a konci doby měření. Je to dáno již zmíněným snižováním hladiny kapaliny v zásobní nádrži a hysterezí zařízení, podléhajících seřízení (frekvenční měnič a regulační ventil).

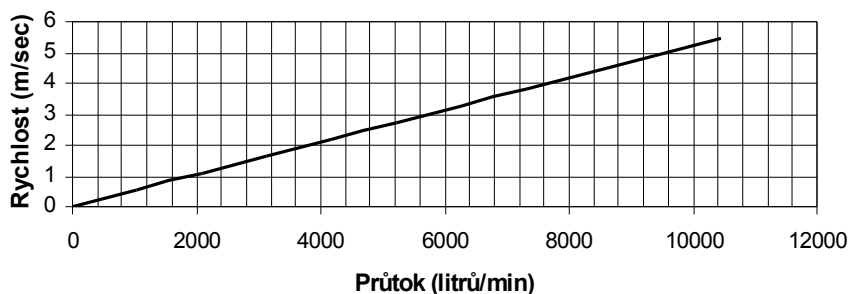
Pro zadání výpočtu je třeba znát technické parametry váhy. Jedná se o přesnost váhy tj. nejmenší hodnotu, kterou je váha schopna zobrazit a toleranci váhy (získanou její kalibrací). Od časoměrného zařízení je třeba znát toleranci měření času.

## Kontrola výpočtu

Aplikace vybraných a upravených rovnic v předešlém textu poslouží k tvorbě výpočtového programu, jímž lze provést modelový výpočet charakteristických veličin konstrukce odchylovače proudu a výpočet nejistoty při měření průtoku kapaliny celým řetězcem kalibračního zařízení, jak uvádí [4].

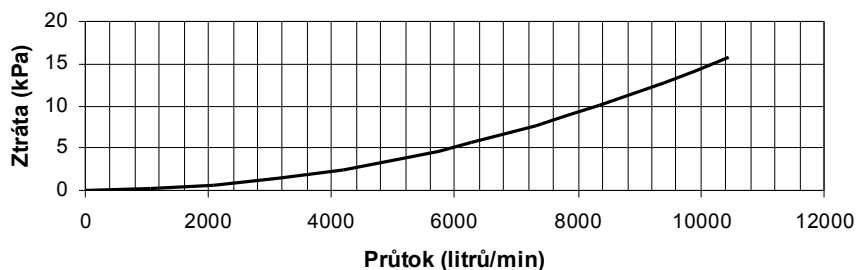
Zmíněný výpočtový program již existuje a je používán pro ověření popsaných poznatků z čerpání kapaliny při kalibraci podle zadaných hodnot veličin pro činnost odchylovače proudu a celého popsaného zařízení. Všechna zadání směřují k výpočtu situace pro maximální hodnotu průtoku. K tomu se vztahují výsledky výpočtu rychlosti průtoku a tlakových ztrát v odchylovači, určení nejistoty od systematické chyby a určení nejistoty od náhodné chyby, jak určuje [4]. Vztahy hodnot minima a maxima vypočtených veličin jsou nejlépe přehledné, když jsou vyobrazeny na grafu. Patrné je to z následujících příkladů, které jsou volně zpracovány podle výpočtu „Odchylovače proudu 1“ s potrubím vstupu „D<sub>1</sub>“ = DN 300: Průběh grafu rychlosti je lineární. V závislosti na zvyšujícím se množství protékající kapaliny štěrbinou odchylovače se stejnoměrně zvyšuje její rychlost.

**Rychlost průtoku ve štěrbině odchylovače DN 300**



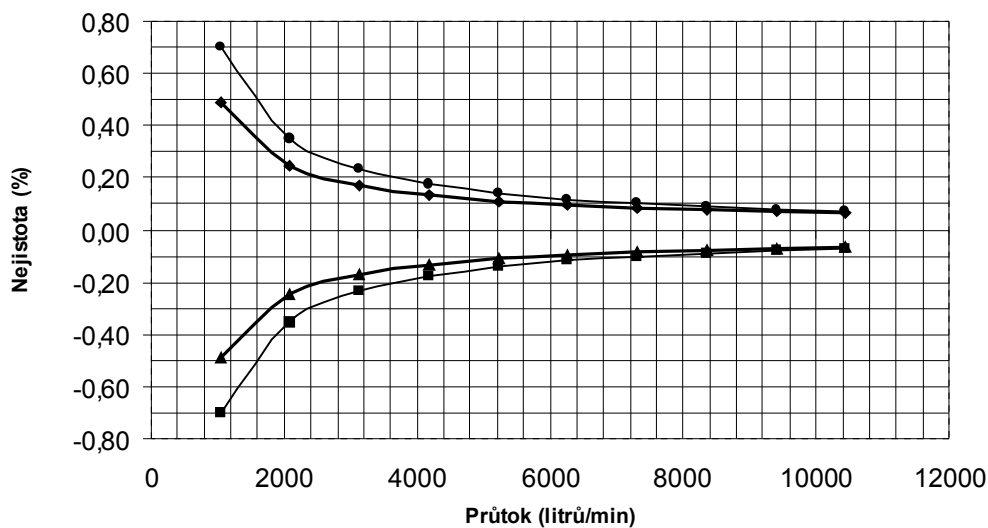
Průběh grafu tlakové ztráty ve štěrbině odchylovače proudu je exponenciální, protože rozhodující vliv na ztráty má dvojnásobek rychlosti průtoku kapaliny štěrbinou odchylovače.

## Tlaková ztráta odchylovače DN 300



Průběh grafu náhodné a systematické nejistoty měření je též exponenciální. Zobrazuje postup výpočtu, který je proveden metodou odmocniny součtů čtverců, jak uvádí [4]. Výsledný bod v grafu, ke kterému se vztahují zadané veličiny a výsledek výpočtu, je vpravo úplně na konci každé křivky. Křivka před tímto bodem zobrazuje hypotetickou situaci při shodném zadání hodnot veličin měřicího zařízení s odchylovačem proudu a odlišném zadání množství proteklé kapaliny. Začátek křivky je na 10% množství zadané a proteklé kapaliny odchylovačem proudu a pokračuje nárůstem průtoku kapaliny po 10%.

## Náhodná a systematická nejistota měření při činnosti odchylovače DN 300



—●— Systematická + —▲— Systematická - —◆— Náhodná + —■— Náhodná -

## Posouzení konstrukce odchylovače proudu

Popsané konstrukce odchylovačů proudu 1 a 2 jsou v našich laboratořích pro měření průtoků dostatečně známy. Postupem doby došlo k zpřesnění jejich tvarů, mechanismů a seřízení jejich funkce. Teoretická činnost podle požadavku [4] byla několika autory popsána. Požadavek limitu tlakové ztráty štěrbině je jimi obcházen a nahrazován hlediskem rychlosti proudění kapaliny ve štěrbině. Ta se dá vypočítat snáze, než ztráta tlaku kapaliny ve štěrbině. Ač mají obě veličiny vzájemnou souvislost, nejsou jejich hodnoty zaměnitelné. To dokazují výše uvedené grafy v příkladech.

Velice často jsou v zahraničí užívány a teoretickému výzkumu podrobovány odchylovače proudu, které jsou v tomto textu uváděny jako „Odchylovač proudu 1“. O jejich použití v laboratořích v Německu a USA a teoretickém výzkumu proudění v nich se zmiňuje např. [2]. V České republice není širší odborné veřejnosti známo, že by se někdo věnoval výzkumu proudění kapaliny v zařízení, které je v tomto textu uváděno jako „Odchylovač proudu 2 a 3“. Dále jako odchylovače jsou používány

leckdy šoupátkové ventily, dvojice ventilů, klapek a podobných mechanicky či elektricky spojených mechanismů, které [4] nezmiňuje. Určitě by si zasloužily odbornou pozornost výzkumných pracovišť v oboru proudění tekutin, které mají k dispozici patřičný softwar pro řešení výpočtů rychlostních polí proudění a mohou tak odvodit všechny zákonitosti proudění jak v „Odchylovači proudu 2 a 3“, tak v těch dále zmiňovaných.

## Závěr

Vzorový výpočet, který je přílohou tohoto textu, má připojeny grafy s hodnotami vypočtených veličin. Vše je výstupem z výpočtového programu, který je zmíněn výše. Interaktivním zadáváním hodnot jednotlivých veličin výpočtový program svými výsledky určí rozhodující i vzájemné závislosti některých veličin na výsledku výpočtu nejistoty v měření průtoku. Těmi rozhodujícími veličinami jsou:

- doba měření
- shodný čas pohybu odchylovače v obou směrech
- přesnost váhy
- tolerance váhy
- tolerance času doby měření
- rozdíl hmotnosti naměřené a zvážené kapaliny

Doba měření - podle získaných poznatků z výpočtu - by měla být co nejdelší (co dovolí objem vážicí nádrže), např.

- doba měření 60 sekund a tomu odpovídající nejistota od systematické chyby cca 0,3 %.
- doba měření 120 sekund a tomu odpovídající nejistota od systematické chyby cca 0,15 %.

Shodný čas pohybu odchylovače v obou směrech má rozhodující vliv na určení nejistoty samotného odchylovače proudu a značný vliv na určení nejistoty od systematické i náhodné chyby.

Přesnost a tolerance váhy, tolerance času měření a rozdíl hmotnosti naměřené a zvážené kapaliny má rozhodující vliv na určení nejistoty od systematické chyby.

## Literatura:

- [1] *Noskievič, J. a kol.* Mechanika tekutin. SNTL Praha 1987
- [2] *Bílek, J. Geršl, J.* Odchylovač proudu v metrologii průtoku. ČMI Brno 2007
- [3] ČSN ISO 9368-1 Měření průtoku kapalin v uzavřených profilech vážicí metodou. Postupy pro zkoušení zařízení. ČNI Praha 1994
- [4] ČSN EN 24185 Měření průtoku kapalin v uzavřených profilech. Vážicí metoda. ČNI Praha 1994
- [5] *Slaný, V.* Charakteristika čerpání kapaliny. [www.bsdesign.cz](http://www.bsdesign.cz)
- [6] *delft hydraulics* Calibration rig for flow meters. [www.wldelft.nl](http://www.wldelft.nl)