

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ
ELEKTRONIKY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Přehled a aplikace průmyslových snímačů
průtoku**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Radek LINKA
Osobní číslo: E11B0057K
Studijní program: B2644 Aplikovaná elektrotechnika
Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika
Název tématu: Přehled a aplikace průmyslových snímačů průtoku
Zadávající katedra: Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

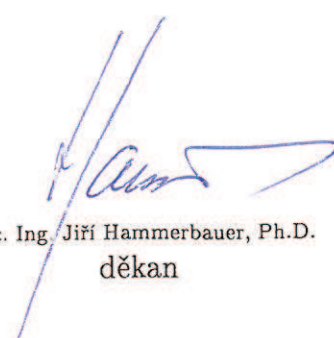
1. Popište principy měření průtoku kapalných a plyných médií.
2. Specifikujte typy a možnosti použití průmyslových snímačů průtoku.
3. Porovnejte jednotlivé typy snímačů z hlediska přesnosti měření, použitelnosti a jejich ceny.
4. Navrhněte aplikaci průmyslového snímače průtoku pro měření kondenzátu ve výtlaku kondenzátních čerpadel v regeneraci parní turbíny.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

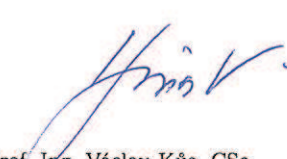
1. Beran V., Technická měření, ZČU FEL, 2004.
2. Normy ČSN ISO 5167; ČSN ISO 5168; ASME PTC 19.5.
3. Katalogové listy průmyslových snímačů kapalin a plynů.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lukáš Kupka, Ph.D.
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2014
Termín odevzdání bakalářské práce: 8. června 2015


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kús, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Předkládaná bakalářská se zabývá metodami měření průtoku, typy snímačů a základními principy mechaniky tekutin. Nastíní metody měření ze vně potrubí a zaměřuje se na okamžité měření průtoku. Dále se zaměřuje na výpočet měřicí clony pro aplikaci měření průtoku kondenzátu ve výtlaku kondenzátních čerpadel v regeneraci parní turbíny.

Klíčová slova

Průtok, Bernoulliho rovnice, laminární proudění, turbulentní proudění, clona, dýza, Pitotova trubice, Prandtlova trubice, tlak, teplota, snímač průtoku, medium.

Abstract

The bachelor thesis presents the methods of flow measurement, sensor types and the basic principles of fluid mechanics. Describes methods for measuring from the outside of the pipe and focuses on immediate flow measurement. Then it focuses on the calculation of the orifice plate for application of flow measurement of condensate in the discharge of condensate pumps in the regeneration of the steam turbine.

Keywords

Flow, Bernoulli equation, laminar flow, turbulent flow, orifice plate, nozzle, Pitot tube, Prandtl tube, pressure, temperature, flow sensor

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 9.6.2015

Radek Linka

.....

podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Lukášovi Kupkovi, Ph.D. za cenné odborné rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	- 8 -
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	- 10 -
ÚVOD	- 11 -
1 PRINCIPY MĚŘENÍ PRŮTOKU KAPALNÝCH A PLYNNÝCH MÉDIÍ	- 12 -
1.1 ZÁKLADNÍ POJMY Z OBLASTI MĚŘENÍ PRŮTOKU	- 12 -
1.1.1 ZNAČENÍ.....	- 12 -
1.1.2 PRINCIPY MĚŘENÍ PRŮTOKU.....	- 12 -
1.1.2.1 Objemová metoda měření průtoku.....	- 12 -
1.1.2.2 Hmotnostní metoda měření průtoku.....	- 13 -
1.2 MECHANIKA TEKUTIN.....	- 13 -
1.2.1 ROVNICE KONTINUITY	- 13 -
1.2.2 BERNOULLIHO ROVNICE	- 14 -
1.2.3 TURBULETNÍ A LAMINÁRNÍ PROUDĚNÍ	- 14 -
2 TYPY A MOŽNOSTI POUŽITÍ PRŮMYŠLOVÝCH SNÍMAČŮ PRŮTOKU	- 17 -
2.1 DYNAMICKÉ (RYCHLOSTNÍ) PRŮTOKOMĚRY	- 17 -
2.1.1 PITOTOVA TRUBICE.....	- 17 -
2.1.2 PRANDTLOVA TRUBICE	- 18 -
2.1.3 SNÍMAČE SE ŠKRTÍCÍM ORGÁNEM	- 18 -
2.1.3.1 Clona.....	- 19 -
2.1.3.2 Venturiho trubice	- 19 -
2.1.3.3 Dýza	- 20 -
2.1.3.4 V-kužel	- 20 -
2.1.4 VÁLCOVÁ SONDA	- 21 -
2.2 RYCHLOSTNÍ PRŮTOKOMĚRY.....	- 22 -
2.3 OBJEMOVÉ PRŮTOKOMĚRY	- 23 -
2.3.1 OVÁLOVÝ PRŮTOKOMĚR	- 23 -
2.3.2 BUBNOVÝ PRŮTOKOMĚR	- 23 -
2.4 PLOVÁKOVÉ PRŮTOKOMĚRY	- 24 -
2.4.1 ROTAČNÍ PRŮTOKOMĚR (ROTAMETR)	- 24 -
2.4.2 PRUŽINOVÝ PRŮTOKOMĚR.....	- 25 -
2.5 ELEKTRICKÉ PRŮTOKOMĚRY	- 26 -
2.5.1 MAGNETICKÉ PRŮTOKOMĚRY.....	- 26 -
2.5.1.1 Stejnoseměrné průtokoměry.....	- 26 -
2.5.1.2 Střídavé průtokoměry.....	- 27 -
2.5.2 HMOTNOSTNÍ PRŮTOKOMĚRY.....	- 27 -
2.5.2.1 Kalorimetrický průtokoměr - Thomasův válec.....	- 27 -
2.5.2.4 Coriolisův průtokoměr	- 28 -
2.5.3 VÍROVÉ PRŮTOKOMĚRY	- 30 -
2.5.4 PRŮTOKOMĚR S KMITAJÍCÍM MÉDIEM	- 31 -
2.5.5 ULTRAZVUKOVÝ PRŮTOKOMĚR.....	- 31 -

3 NÁVRH APLIKACE PRŮMYSLOVÉHO SNÍMAČE PRŮTOKU PRO MĚŘENÍ KONDENZÁTU VE VÝTLAKU KONDENZÁTNÍCH ČERPADEL V REGENERACI PARNÍ TURBINY	- 34 -
3.1 TEORIE PARNÍCH TURBIN	- 34 -
3.2 VÝBĚR VHODNÉHO TYPU PRŮTOKOMĚRU	- 35 -
3.3 ZÁKLADNÍ POJMY Z OBLASTI ŠKRTÍCÍCH ORGÁNŮ	- 36 -
3.3.1 TERMÍNY A DEFINICE	- 37 -
3.3.2 PRINCIP METODY MĚŘENÍ A VÝPOČET	- 40 -
3.3.3 CLONY	- 43 -
3.4 VÝPOČET MĚŘICÍ CLONY	- 43 -
3.5 VÝBĚR DIFERENČNÍHO SNÍMAČE TLAKU	- 48 -
4 ZÁVĚR.....	- 50 -
5 POUŽITÁ LITERATURA	- 52 -
6 PŘÍLOHY	- 54 -
PŘÍLOHA Č.1 – ZADÁVACÍ DOTAZNÍK PRO VÝROBCE CLONY	- 54 -
PŘÍLOHA Č.2 – VÝPOČTOVÝ LIST VÝROBCE CLONY MATTECH	- 54 -
PŘÍLOHA Č.3 – CENOVÁ NABÍDKA EMERSON DIFERENČNÍHO SNÍMAČE TLAKU	- 54 -
PŘÍLOHA Č.4 – KATALOGOVÝ LIST SNÍMAČE ROSEMOUNT 3051	- 54 -

Seznam symbolů a zkratk

Značka	Veličina	Jednotka SI
C	součinitel průtoku	–
$C_{m,p}$	molární tepelná kapacita při konstantním tlaku	J/(mol•K)
d	průměr otvoru clony nebo hrdla za provozních podmínek	m
D	vnitřní průměr potrubí před při provozních podmínkách	m
p	absolutní statický tlak tekutiny	Pa
q_m	hmotnostní průtok	kg/s
q_v	objemový průtok	m ³ /s
Re	Reynoldsovo číslo	–
Re_D	Reynoldsovo číslo vztažené k D	–
Re_d	Reynoldsovo číslo vztažené k d	–
t	teplota tekutiny	°C
V	střední axiální rychlost tekutiny v potrubí	m/s
β	poměr průměrů ($\beta = d/D$)	–
Δp	diferenční tlak	Pa
$\Delta\omega'$	tlaková ztráta vyvozená primárním prvkem	Pa
ε	součinitel expanze	–
μ	dynamická viskozita tekutiny	Pa•s
ν	kinematická viskozita tekutiny ($\nu = \mu/\rho$)	m ² /s
ρ	hustota tekutiny	kg/m ³
IAPWS-IF97	The International Association for the Properties of Water and Steam-Industrial Formulation 1997	

Úvod

Tato práce se zabývá problematikou měření průtoku kapalin, páry a plynů. Zabývá se obecnými pojmy jako je průtok, jak se značí a jaké má jednotky. Dále se zabývá principy měření průtoku a základními pojmy a zákony mechaniky tekutin.

Dále vysvětluje jakými typy snímačů se průtok měří, jaké principy využívají a čím je měření ovlivňováno.

Zaměřuje se na porovnání jednotlivých typů snímačů z hlediska použití, přesnosti, ceny a dalších hledisek.

V závěru je proveden výpočet clony ve zcela zaplněném potrubí při zadaných parametrech média a potrubí. Výpočet je proveden pro měření kondenzátu ve výtlaku kondenzátních čerpadel v regeneraci parní turbíny.

Součástí práce jsou katalogové listy výrobců snímačů Emerson a firmy Meres, obchodní zástupce společnosti Hennlich, s.r.o. a výpočtový list clony výrobce škrťících orgánů Mattech. Dále je přiložen zadávací dotazník pro výrobce počítané clony a cenová nabídka Emerson.

1 Principy měření průtoku kapalných a plynných médií

1.1 Základní pojmy z oblasti měření průtoku

Průtok vyjadřuje množství tekutiny, které proteče daným průřezem za jednotku času.

1.1.1 Značení

Tab. 1: Značení a jednotky měření průtoku

Veličina		Jednotky	
Název	Značka	hlavní	vedlejší a odvozené
Objemový průtok	Q_V	m^3/s	$m^3/s, l/s, l/min, l/h$
Hmotnostní průtok	Q_M	kg/s	$kg/s, t/h$

1.1.2 Principy měření průtoku

Průtok je měření množství za jednotku času. Množství můžeme vyjádřit buď objemem nebo hmotností. Z toho vyplývají dva základní principy měření průtoku:

- objemová metoda,
- hmotnostní metoda.

1.1.2.1 Objemová metoda měření průtoku

Objemovým průtokem Q_v označujeme objem tekutiny, který projde potrubím za jednotku času (například $m^3 \cdot s^{-1}$). Pro zjištění objemového průtoku se využívá měření pomocí rozdílů tlaků nebo výpočet z rychlosti proudění tekutiny v potrubí o známém průřezu. Předpokládáme ovšem, že tekutina zaplňuje celé potrubí, což nemusí vždy odpovídat skutečnosti. Při měření průtoku kapalin je někdy potřeba provádět korekci objemového průtoku na změny teploty a tlaku.

U měření průtoku plynů a par musíme tyto korekce provádět vždy vzhledem ke stlačitelnosti proudícího média. [4]

$$\begin{aligned} Q_V &= \frac{V}{t} = S \cdot w \\ Q_V &= \frac{dV}{dt} \end{aligned} \quad (1.1)$$

kde V je objem tekutiny, t je čas, S je průtočný průřez, w je střední průtočná rychlost

1.1.2.2 Hmotnostní metoda měření průtoku

Hmotnostní průtok Q_M udává hmotnost tekutiny, které proteče potrubím za jednotku času. Pro přímé měření existují dvě základní metody - průtokoměry založené na Coriolisově principu a tepelné hmotnostní průtokoměry. [4]

$$\begin{aligned} Q_M &= \frac{m}{t} \\ Q_M &= \frac{dm}{dt} \end{aligned} \quad (1.2)$$

kde m je hmotnost tekutiny

1.2 Mechanika tekutin

1.2.1 Rovnice kontinuity

Rovnice kontinuity je rovnice, která platí pro ustálené proudění ideální kapaliny v uzavřené trubici a popisuje vztah mezi rychlostí proudění w a obsahem průřezu S v jednom místě trubice: [12]

$$Q_V = S \cdot w = konst. \quad (1.3)$$

Z rovnice kontinuity plyne:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1} \quad (1.4)$$

1.2.2 Bernoulliho rovnice

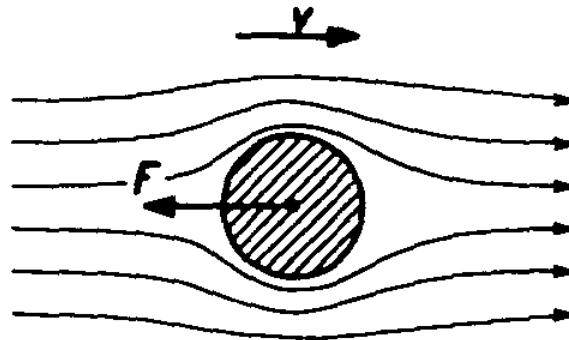
Bernoulliho rovnice je vztah užívaný v mechanice tekutin, který odvodil Daniel Bernoulli a který vyjadřuje zákon zachování mechanické energie pro ustálené proudění ideální kapaliny (Energie je v rovnici přepočtena na objemovou jednotku kapaliny). [6]

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + p + \rho u(x) = konst. \quad (1.5)$$

1.2.3 Turbuletní a laminární proudění

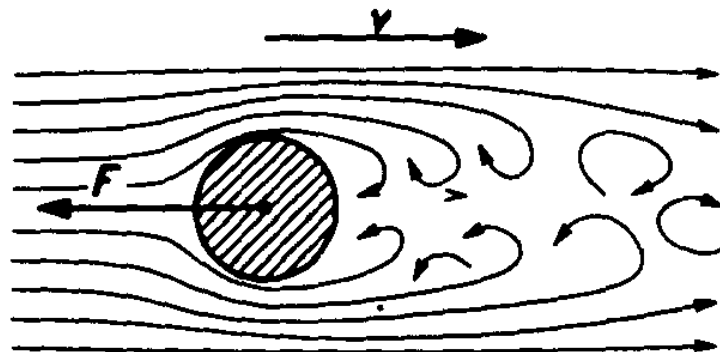
Při proudění tekutiny a plynů kolem tělesa vzniká tření mezi médiem a tělesem. Síla, kterou působí těleso proti proudu tekutiny, nazýváme hydrodynamická odporová síla. [5]

Při malých rychlostech je proudění kolem těles laminární a odporová síla F je poměrně malá a roste přímo úměrně relativní rychlosti v (tělesa vzhledem k prostředí). [5]



Obr. 1: Laminární proudění [5]

Při větších rychlostech vzniká proudění turbulentní, velikost odporové síly F se zvětšuje už s druhou mocninou rychlosti v . [5]

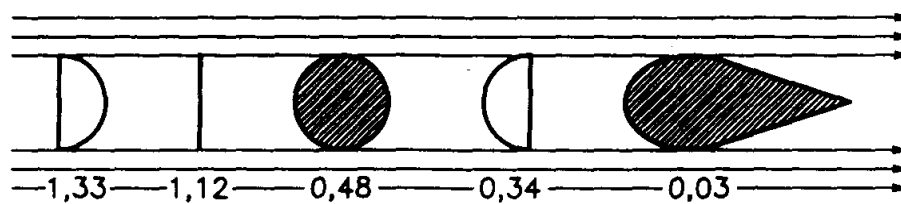


Obr. 2: Turbulentní proudění [5]

Pro velikost aerodynamické odporové síly odvodil Newton vztah:

$$F = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 \quad (1.6)$$

kde C je součinitel odporu pro daný tvar tělesa, ρ hustota plynu, S obsah průřezu tělesa kolmého ke směru pohybu a v relativní rychlost. Největší součinitel odporu má dutá polokoule (padáky), nejmenší těleso proudnicového neboli aerodynamického tvaru (ptáci, letadla). [5]



Obr. 3: Součinitel odporu v závislosti na tvaru tělesa [5]

2 Typy a možnosti použití průmyslových snímačů průtoku

Snímače pro měření průtoku jsou založeny v podstatě na určování střední rychlosti proudu nebo na určení objemu kapaliny proteklé v určitém časovém intervalu. Podle principu můžeme průtokoměry rozdělit následovně:

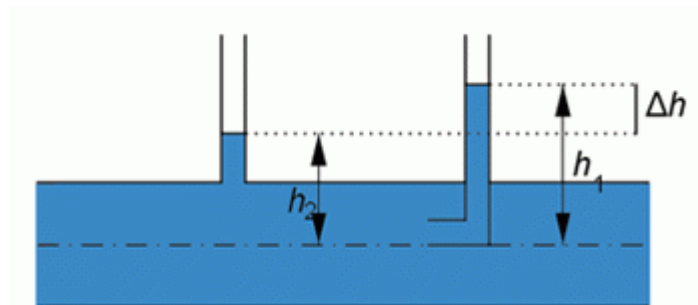
- dynamické průtokoměry,
- rychlostní průtokoměry,
- objemové průtokoměry,
- plovákové průtokoměry,
- elektrické průtokoměry.

2.1 Dynamické (rychlostní) průtokoměry

Měří průtok pomocí stanovení dynamického tlaku způsobeného rychlostí proudící kapaliny.

2.1.1 Pitotova trubice

Pitotova trubice je měřicí přístroj, který umožňuje měřit rychlost proudění média jejím převedením na tlak. Vynalezl ji počátkem 18. století Henri Pitot. Největší význam má používání její vylepšené varianty jako rychloměru u letadel, ale i měření rychlosti průtoku v průmyslových aplikacích. [7]



Obr. 4: Pitotova trubice [9]

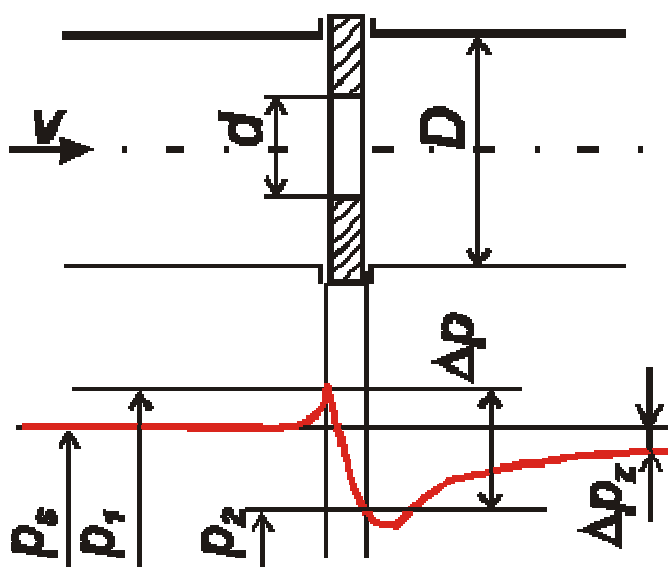
2.1.2 Prandtlova trubice

Jde o zvláštní uspořádání Pitotovy trubice upravené tak, aby se celkový a statický tlak měřil přibližně ve stejném místě proudící tekutiny. [13]

Prandtlova trubice jako snímač dynamického tlaku pro zjištění rychlosti proudění překvapuje svou jednoduchostí. Z hlediska mechanického provedení je stabilní a robustní. Velmi málo ji poškozují nepříznivé vlivy okolí jako vysoké teploty (měří až do 700 °C), silně znečištěný vzduch nebo agresivní plyny. Také vůči mechanickým vlivům je odolná. Koneckonců je to „jen trubka“, jejíž materiál je na uvedené vlivy relativně necitlivý. Pro extrémní podmínky se dodává provedení z ušlechtilých korozi-vzdorných slitin. Vstupy pro statický tlak je nutné umístit až za vzdálenost 3krát větší než průměr sondy. [13]

2.1.3 Snímače se škrťicím orgánem

Clona, dýza a Venturiho trubice využívají jevu, kdy tlak za překážkou (škrťicím orgánem) poklesne. Pro měření rozdílu v tlacích před a za překážkou se využívá diferenční manometr, manostat nebo analogový převodník tlaku.



Obr. 5: Princip měření průtoku škrťicích orgánů [4]

Na (obr.5) je princip měření škrticími orgány, kde v je rychlost proudění, d průměr otvoru škrticího orgánu (na obrázku je uvedena normalizovaná clona), D průměr potrubí, p_s vstupní statický tlak, p_1 snímaný tlak před škrticím orgánem, p_2 snímaný tlak za škrticím orgánem, Δp diferenční tlak ($p_1 - p_2$), Δp_z trvalá tlaková ztráta. [4]

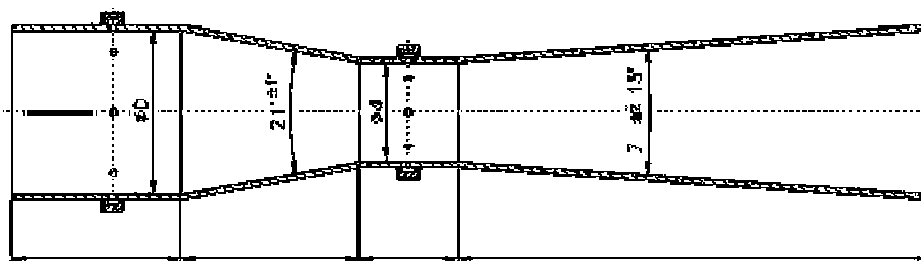
2.1.3.1 Clona

Clona je v podstatě plochá kovová deska s otvorem, která je vložena do potrubí. Průměr škrticího otvoru a jeho umístění závisí na typu měřené tekutiny. Odběry statických tlaků jsou prováděny těsně před a za deskou. [4]

Clonou lze měřit průtok většiny čistých tekutin. Jsou však náchylné vůči opotřebení, které může být způsobeno znečištěným médiem nebo médiem s částicemi. To může ovlivnit tlakovou diferencii odpovídající určitému průtoku. Aby se dosáhlo požadovaných vlastností, musí být clona zabudována do přímého úseku potrubí s předem definovanými uklidňujícími úseky před a za clonou. [4]

2.1.3.2 Venturiho trubice

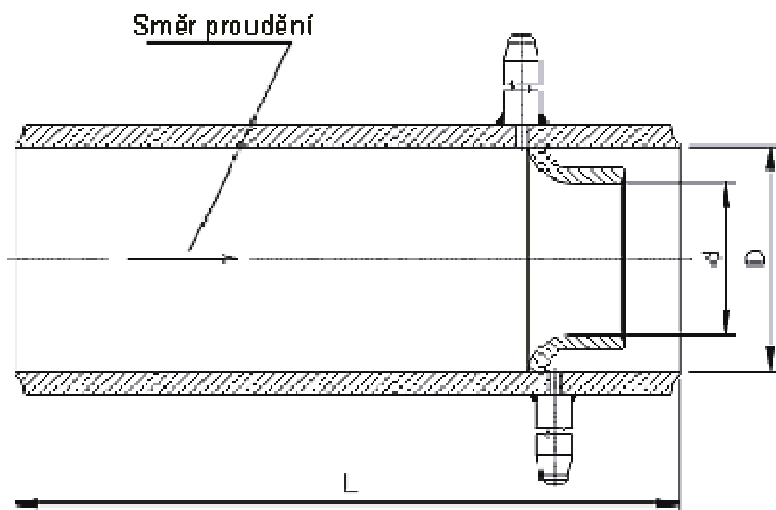
U Venturiho trubice je tekutina zrychlena v kuželovém konfuzoru, což opět vyvolá místní pokles statického tlaku. V následující části trubice, difuzoru, se tlak téměř vrací na úroveň tlaku před zúžením. Výhodou Venturiho trubice je menší tlaková ztráta než u clony a velká přesnost měření. Nevýhodou je poměrně vysoká cena, proto se Venturiho trubice využívá velmi málo. [4]



Obr. 6: Venturiho trubice [4]

2.1.3.3 Dýza

Dýza je vlastně kompromis mezi clonou a Venturiho trubicí. Dýza na rozdíl od Venturiho trubice neobsahuje difuzor. Dýzy umožňují měřit větší průtok než clony a také umožňují měřit průtok u tekutin, které obsahují větší pevné částice. Navíc jsou dýzy levnější než Venturiho trubice, ale na druhou stranu jsou méně přesné a způsobují větší tlakovou ztrátu. [4]



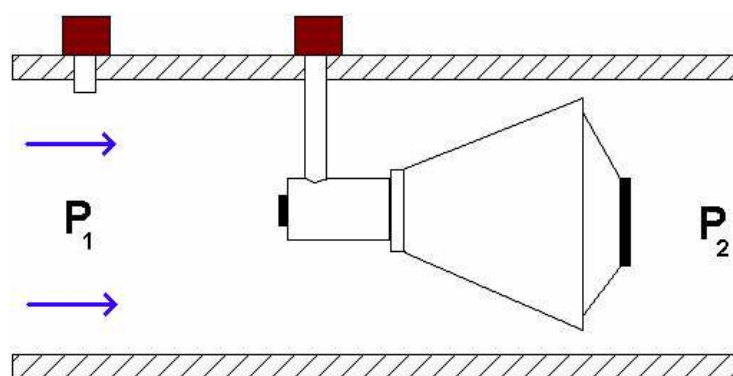
Obr. 7: Princip měření dýzy [4]

2.1.3.4 V-kužel

Průtokem tekutiny kolem překážky tvarem připomínající spojení delšího rozbíhavého kužele a krátkého sbíhavého kužele (obr.8) vzniká v prstenci mezi potrubím a překážkou a na její zadní straně oblast zvýšené rychlosti a v souladu s Bernoulliho rovnicí pokles statického tlaku. Tlaková diference je nezávislá na rušivých vlivech a to i při malých hodnotách Re a zkreslených rychlostních profilech a vírech. Navíc tvar V-kužele je optimalizovaný tak, aby změny jeho geometrie způsobené opotřebením nebo usazeninami minimálně ovlivnily

přesnost měření. V-kužel je vhodný pro velké rychlosti průtoku, erozivní nebo abrazivní tekutiny a nevyžaduje dlouhé přímé úseky potrubí. Lze tedy měřit i poblíž kolen potrubí. [2]

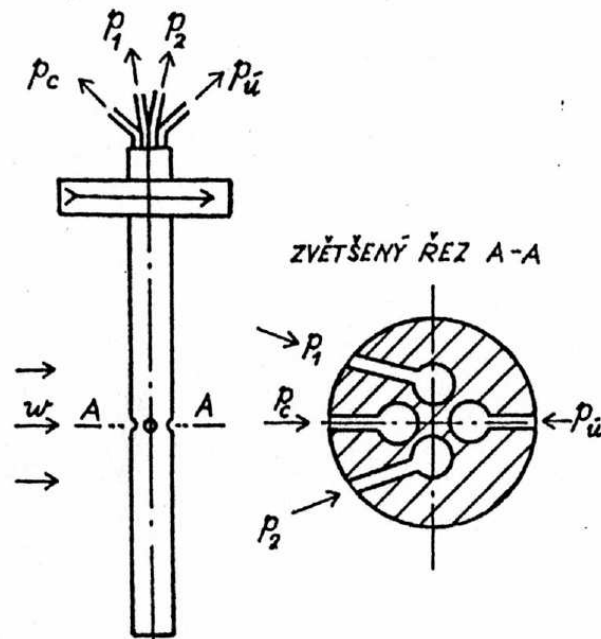
V současnosti vyrábí v-kužely pod značkou V-Cone americká značka McCrometer. V Evropě je zastupuje společnost Hennlich s.r.o. s obchodním zastoupením v ČR firmou Meres. Katalogový list V-cone viz přílohač.5.



Obr. 8: Princip měření V-kuželu [16]

2.1.4 Válcová sonda

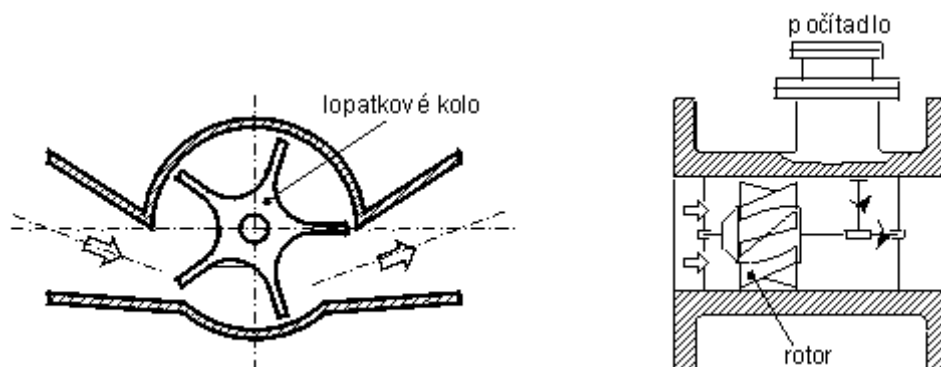
Válcová sonda se umístí do potrubí s proudícím médiem a k získání tlaku dynamického potřebujeme otvor pro tlak celkový umístit proti toku media. Umístění provedeme tak, že sondou otáčíme pomocí úhloměru o 45° do obou stran. Pokud nastane, že na pozici $+45^\circ$ a -45° je tlak totožný, tak na pozici 0° je tlak celkový a sonda je zcela přesně nasměrována proti toku media. [1]



Obr. 9: Princip měření válcové sondy [10]

2.2 Rychlostní průtokoměry

Založeny na měření střední rychlosti proudící kapaliny. Pro svojí činnost využívají lopatkového nebo šroubového kola., které je uváděno do otáčivého pohybu kinetickou energií proudící kapaliny. Přístroje měří přesně až do určité minimální hodnoty průtoku. [1]



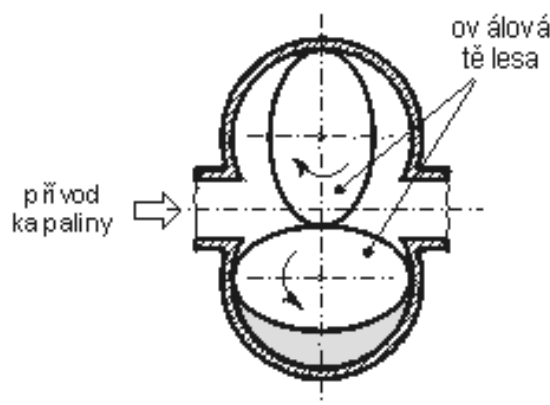
Obr. 10: Princip rychlostního měření průtoku lopatkovým a šroubovým kolem [3]

2.3 Objemové průtokoměry

Založeny na měření objemového průtoku (viz. odst. 1.1.2.1).

2.3.1 Oválový průtokoměr

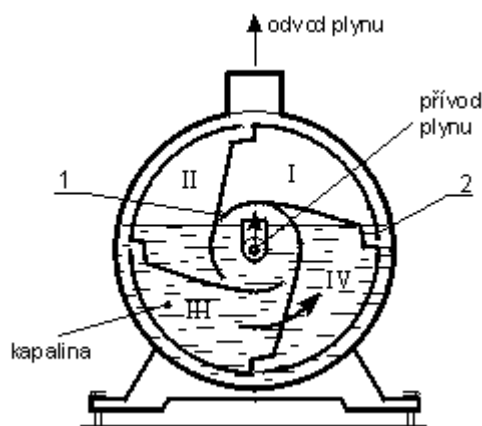
Uvnitř komory snímače jsou umístěny dva oválné rotující píсты. Během jedné otáčky pístů projde průtokoměrem čtyřnásobek množství kapaliny znázorněného na (obr.11) šedou plochou. Celkový průtok je dán počtem otočení pístů za určitou dobu. [1]



Obr. 11: Oválový průtokoměr [3]

2.3.2 Bubnový průtokoměr

V ležaté válcové nádobě, vyplněné z části kapalinou (voda, olej), je otočně uložen vlastní měřicí buben (obr.12). Buben je opatřen šterbinami pro přívod a odvod plynu a rozdělen radiálními přepážkami na čtyři odměrné prostory. Přepážky jsou tvarovány tak, aby se při otáčení bubnu kapalina přelévávala z jedné komory do druhého a buben se začal točit. Impulsní indukční snímač polohy zaznamenává impulsy, ty se pak počítají elektronicky. [2]



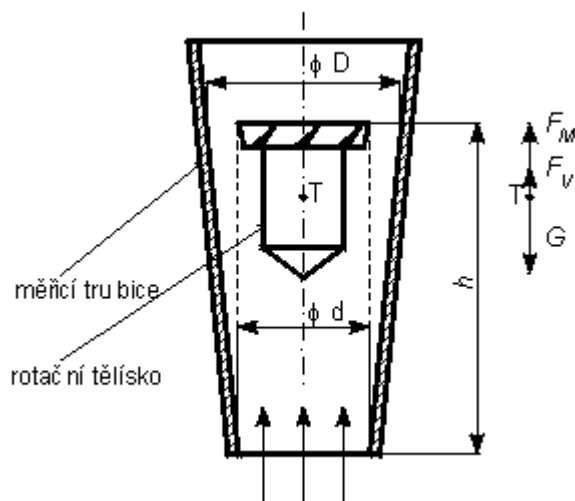
Obr. 12: Bubnový průtokoměr [3]

2.4 Plovákové průtokoměry

Plovákové průtokoměry mají proměnný průřez. Přístroj pracuje na principu pohybu plováku, který je nadnášen proudící kapalinou při stálém tlakovém rozdílu nad plovákem a pod ním, rychlost proudění vyvolává změnu polohy plováčku.

2.4.1 Rotační průtokoměr (rotametr)

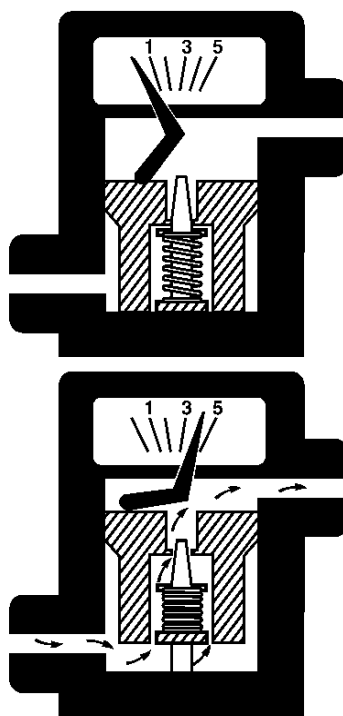
Plovák má různé tvary i materiál závislý na druhu kapaliny. Při změně druhu protékající kapaliny je třeba průtokoměr přecejchovat. Neprotéká-li rotametrem nic, plovák je v zarážce ve spodní části komory. Při proudění kapaliny se pohybuje směrem vzhůru, dokud nedojde k rovnováze mezi hydrodynamickou silou a tíhou plováku.



Obr. 13: Rotametr [3]

2.4.2 Pružinový průtokoměr

Vhodně tvarovaný plovák je při nulovém průtoku v poloze uzavírající otvor clony nebo dna trubice. Polohu plováku zajišťuje pružina. Poloha plováku je pak buď mechanicky převedena na ukazatel nebo může být měřena tlaková diference před a za plovákem. Může být provozován v jakékoli poloze. [2]



Obr. 14: Pružinový průtokoměr [8]

2.5 Elektrické průtokoměry

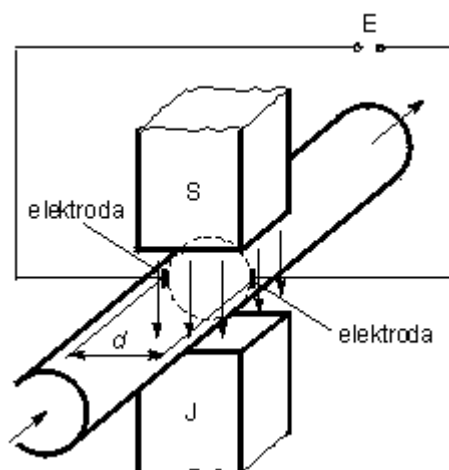
Založeny na elektrických jevech a tím nepřímo i na měření jejich průtoku.

2.5.1 Magnetické průtokoměry

Princip je založen na Faradayově zákonu $U_t = \frac{d\phi}{dt}$ indukování napětí do vodiče při pohybu v magnetickém poli. Vodič v tomto případě je vodivé medium.

2.5.1.1 Stejnosměrné průtokoměry

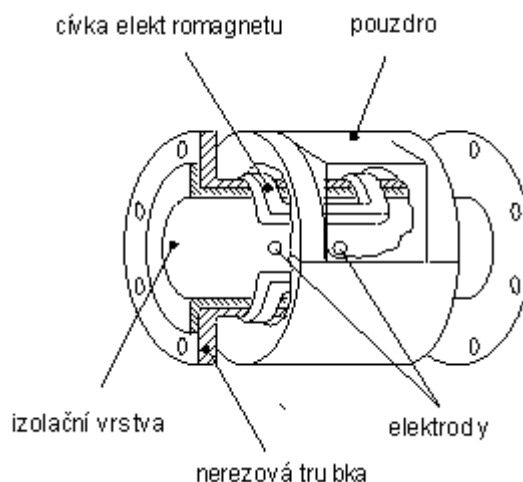
Stejnosměrné magnetické pole je výhodné z hlediska jednoduché konstrukce magnetických obvodů (stačí permanentní magnety), avšak přináší problémy se zpracováním malých stejnosměrných napětí. Ještě vážnějším nedostatkem je možnost vzniku elektrolýzy v proudící kapalině. [14]



Obr. 15: Princip měření stejnosměrného průtokoměru [3]

2.5.1.2 Střídavé průtokoměry

Střídavé harmonické magnetické pole umožňuje pomocí horní propusti oddělit rušivá stejnosměrná napětí a použít střídavé zesilovače, v nichž se neprojevuje rušivý samovolný posuv nuly (drift). [14]



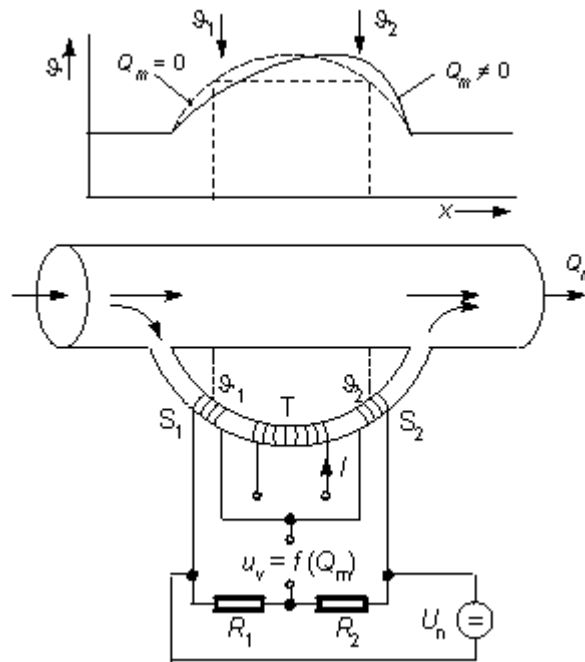
Obr. 16: Řez indukčním průtokoměrem [3]

2.5.2 Hmotnostní průtokoměry

Měří změny různých veličin hmoty, např. míra změny teploty nebo změna síly působící v potrubí vyvolaná prouděním kapaliny – Coriolisův princip.

2.5.2.1 Kalorimetrický průtokoměr - Thomasův válec

U kalorimetrických hmotnostních senzorů se na rozdíl od hmotnostního termoanemometru měří míra oteplení způsobená prouděním hmoty. Kalorimetrický senzor bývá standardně vytvořen na tenkostěnné obtokové kapiláře s definovaným průměrem (přibližně 1 mm). Z celkového množství média procházejícího průtokoměrem proudí kapilárou jen jeho určitá část. [15]



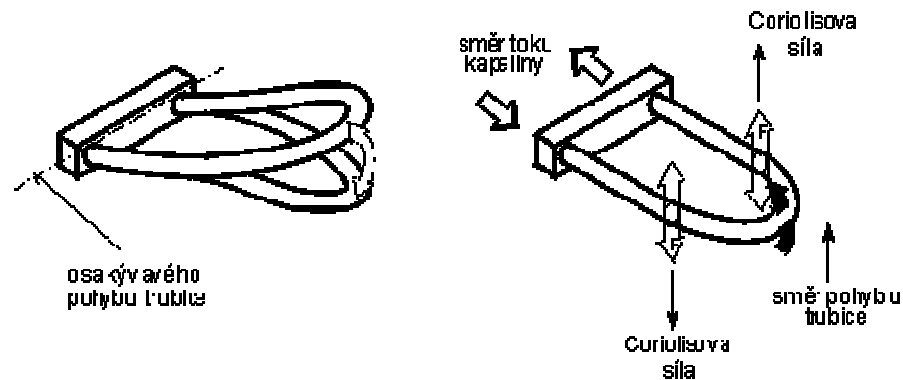
Obr. 17: Princip měření kalorimetru [3]

Kapilára je uprostřed opatřena topným vinutím T a teplota její stěny je měřena senzory teploty (S_1 , S_2), umístěnými symetricky k topnému vinutí. Senzor S_1 je blíže vtoku do kapiláry a S_2 blíže výtoku z kapiláry. Senzory teploty jsou obvykle platinové odporové teploměry, termistory nebo jiné teplotně závislé rezistory, jejichž signál je vyhodnocován Wheatstonovým můstkem. [15]

2.5.2.4 Coriolisův průtokoměr

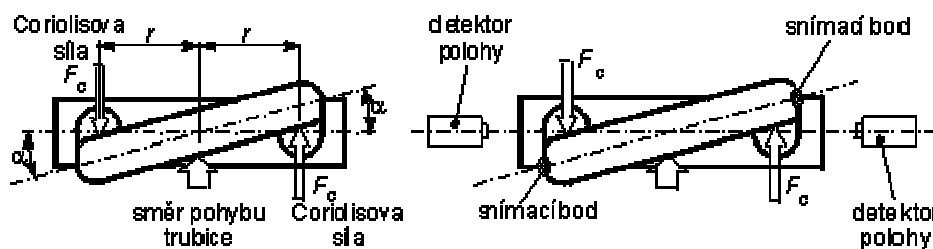
Princip průtokoměru spočívá ve využití Coriolisovy síly. Na těleso o hmotnosti m pohybující se rychlostí v v soustavě, která se otáčí úhlovou rychlostí ω , působí Coriolisovo zrychlení ac a silové účinky síly F_C . [3]

Při praktickém využití Coriolisovy síly pro měření průtoku je nahrazen otáčivý pohyb harmonickým kmitáním, tj. vektor ω a tedy i vektor F_C mají periodicky proměnnou orientaci. [3]



Obr. 18: Coriolisův sensor typu „U“ - bez proudící tekutiny a s působením Coriolisovy síly [3]

Vlastní uspořádání měřicí trubice je různé, nejčastěji se používá trubice tvaru „U“ (obr.18). Trubice je vertikálně rozkmitávána silovým působením elektromagnetu. Působíště periodické budící síly je na (obr.18) označeno černou šipkou. Budicím kmitočtem je obvykle rezonanční kmitočet trubice. Při protékající tekutině budou na obě ramena U-trubice působit harmonicky proměnné Coriolisovy síly F_C , přičemž orientace vektoru síly ve vtokové části trubice bude opačná než ve výtokové části. Důsledkem působení páru sil vznikne krouticí moment M , který způsobí zkroucení U-trubice o úhel α . [3]



Obr. 19: Coriolisův sensor typu „U“ – maximální zkrut trubice při průtoku a způsob snímání deformace trubice [3]

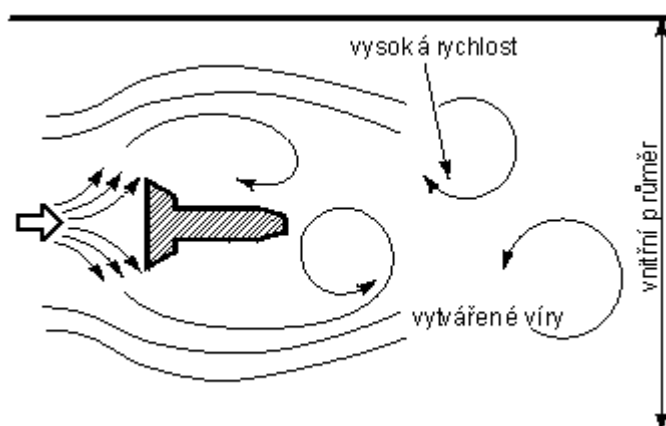
Na (obr.19) je zobrazen maximální zkrut při pohybu U-trubice směrem nahoru. Vyhodnocení maxima periodicky proměnného krouticího momentu se

provádí prostřednictvím dvou polohových senzorů. K měření deformace trubice se používá bezdotykových magnetických nebo optických snímačů (obr.19). Signál z polohových senzorů, který je lineárně úměrný hmotnostnímu průtoku je dále zpracován v elektronických obvodech. [3]

2.5.3 Vírové průtokoměry

Vírové průtokoměry lze použít k měření průtoku plynů, páry i čistých kapalin. Obecně se vyznačují velkým měřicím rozpětím (poměr maximální a minimální měřené hodnoty), nevyžadují údržbu, a jsou-li správně navrženy a instalovány, jsou přesné a provozně spolehlivé. [11]

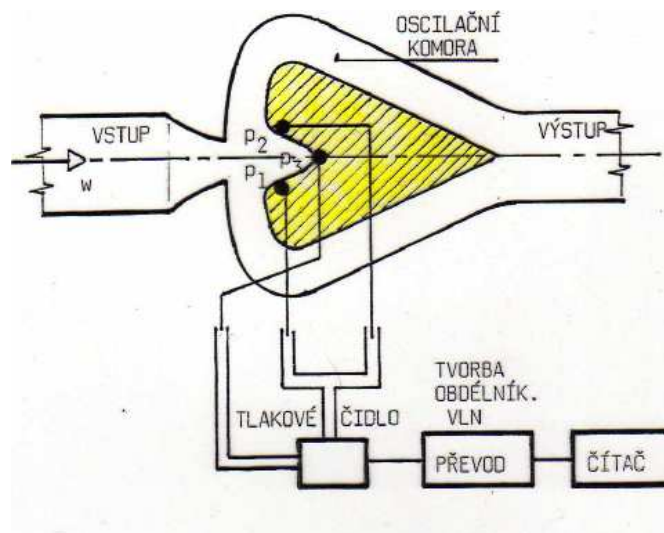
Vírový průtokoměr využívá princip Kármánovy vírové stezky. V měřicí trubici průtokoměru je instalováno vírové těleso lichoběžníkového průřezu. Na jeho ostrých bočních hranách vznikají víry strhávané proudícím médiem. Víry jsou strhávány periodicky s frekvencí, která je v širokém rozsahu úměrná rychlosti proudění média okolo vírového tělesa. Z naměřené rychlosti (frekvence strhávání vírů) a známého průřezu měřicí trubice lze vypočítat objemový průtok měřeného média. [11]



Obr. 20: Princip měření vírového průtokoměru [3]

2.5.4 Průtokoměr s kmitajícím médiem

Uvnitř sondy je umístěna přepážka, na které vznikají střídavé víry každý o opačné fázi, a zároveň též střídavě slábne a sílí. Na přepážce jsou souměrně dle osy proudění umístěny dva otvory p_1 a p_2 pro měření tlaků. Cílem otvorů je určení kmitočtu oscilací proudu tekutiny. Tlak v sinusovém tvaru je převodníkem přeměněn na obdélníkový signál. Třetí otvor p_3 měří statický tlak a využívá se pro odstranění nejistoty měření. [1]



Obr. 21: Princip měření průtoku s kmitajícím médiem [1]

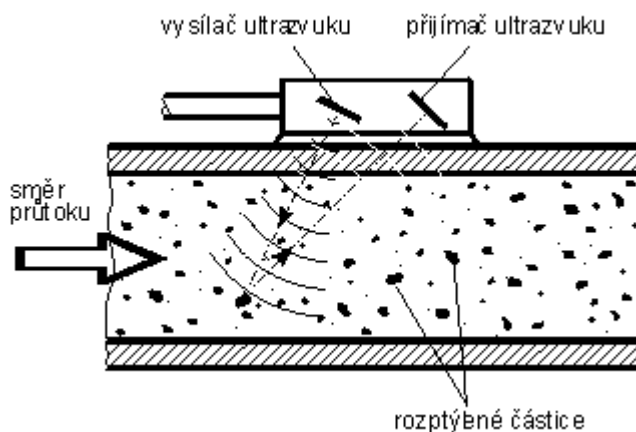
2.5.5 Ultrazvukový průtokoměr

Ultrazvukové průtokoměry můžeme rozdělit do dvou skupin:

- průtokoměry využívající Dopplerova jevu,
- průtokoměry, u nichž se měří doba průchodu ultrazvukového signálu.

Průtokoměr založený na Dopplerově jevu lze použít v případě, že proudící médium obsahuje částice odrážející zvuk, tj. např. pevné částice či bubliny vzduchu. Bez těchto částic nemůže průtokoměr tohoto typu pracovat.

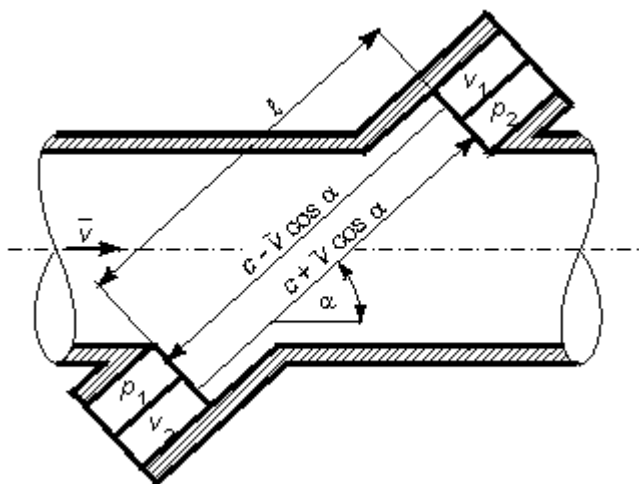
Průtokoměr se skládá z vysílače a přijímače ultrazvuku, které jsou připevněny na jedné straně potrubí (obr.22). [3]



Obr. 22: Ultrazvukový průtokoměr založený na principu Dopplerova jevu [3]

Ultrazvukový signál o známé frekvenci okolo 0,5 MHz je vysílačem vysílán do proudící kapaliny. Dochází k odrazu ultrazvuku od pohybující se částice či bubliny a při zachycení odraženého signálu přijímačem se vyhodnocuje změna frekvence přijatého signálu. Změna frekvence je úměrná rychlosti proudícího média. [3]

Průtokoměry, u nichž se vyhodnocuje doba šíření ultrazvukového signálu se konstruují nejčastěji v diferenčním zapojení. Ultrazvukový signál se vysílá jednak ve směru a jednak proti směru proudění. K vysvětlení principu měření slouží (obr.23). [3]



Obr. 23: Ultrazvukový průtokoměr měřící dobu šíření signálu [3]

Ultrazvukové signály jsou vysílány ve formě impulsů a vyhodnocují se časové rozdíly při průchodu impulsů v obou směrech šíření. V potrubí jsou zabudovány dvě dvojice vysílače a přijímače ultrazvuku. Vysílač V_1 vysílá impulsy ve směru proudění, vysílač V_2 proti směru proudění. [3]

3 Návrh aplikace průmyslového snímače průtoku pro měření kondenzátu ve výtlačku kondenzátních čerpadel v regeneraci parní turbíny

3.1 Teorie parních turbin

Princip funkce parní turbíny spočívá v expanzi přehřáté páry v turbíně, která způsobí přeměnu energie páry na kinetickou a dále na elektrickou. Samotná pára během parního cyklu mění v širokých rozsazích své parametry a tím i skupenství. Ke změně skupenství dochází úmyslně, ačkoliv po průchodu páry turbínou je na výstupu z turbíny také pára, ale již o velice nízkých parametrech. Ta by se sice mohla opět přihřát v kotli, ale z průběhu parního cyklu je zřejmé, že by to nebylo výhodné. Parní cyklus má několik částí, jsou s ním spojeny diagramy Carnotův nebo Clausův-Rankinův cyklus. Dvěmi důležitými veličinami parních cyklů jsou entropie a entalpie. Tyto veličiny vyjadřují schopnost média absorbovat a udržet energii a teplo a vyplývá z nich, že je jednodušší a ekonomičtější získat přehřátou páru z kotle ohřevem a vypařením vody resp. zkondenzované, již využitě páry, než dlouhodobě a neefektivně přihřívat páru o nízkých parametrech z výstupu turbíny. Proto páru měníme zpátky na kondenzát.

Technologie a princip kondenzace a regenerace parní turbíny v praxi probíhá takto: Přehřátá pára produkovaná kotlem o vysokých parametrech tlaku, teploty a sytosti nejdříve projde průtočnou částí turbíny, kde svou expanzí ve směru ploch oběžných lopatek způsobí rotaci rotoru turbíny. Pára postupnou expanzí ztrácí vysoké parametry. Na výstupu z turbíny již nepotřebujeme páru pro točení turbíny, ale dle poznatků z parního cyklu je potřeba vstupní, tzv. admisní páru do turbíny ohřívat a vypařovat v kotli z kapaliny. Proto po výstupu z turbíny vstupuje pára do kondenzátoru. V kondenzátoru je umístěn trubkovnicový svazek. Jedná se o trubičky o průměru cca. 30 mm, kterými prochází chladící

voda. Trubičky jsou v celém objemu kondenzátoru uloženy cca 20 mm od sebe, aby mezi nimi mohla proudit pára z turbíny. Proudící pára při styku s „chladnými“ trubičkami kondenzuje na kondenzát. V kondenzátoru jsou dva hlavní okruhy - parní okruh a chladicí okruh. Voda chladicího okruhu by měla mít co nejnižší teplotu, aby pára efektivně kondenzovala. Chladicí voda je čerpadly neustále čerpána z chladicích věží do kondenzátoru. Po oteplení od kondenzované páry při průchodu kondenzátorem se vrací zpět do chladicích věží, kde voda propadáva chladicími věžemi a ochlazuje se při pádu samovolně vzduchem. Jelikož chladicí voda protéká izolovaně pouze nerezovými trubičkami kondenzátoru, nemusí být kvalita vody nijak upravovaná. Proto se používá např. filtrovaná voda říční, z nádrží atd.

3.2 Výběr vhodného typu průtokoměru

Při výběru vhodného typu průtokoměru i při jeho vlastní instalaci se uživatelé dopouštějí často mnoha chyb. Výběr průtokoměru je náročný úkol, při kterém je zapotřebí zvažovat celou řadu kritérií. Patří mezi ně: měřené médium, podmínky měření, měřicí rozsah, linearita, přesnost, opakovatelnost, způsob zpracování výstupního signálu (místní ukazování, dálkový přenos, komunikace s počítačem), montáž měřidla, uspořádání potrubního vedení, tlaková ztráta, servis a údržba přístroje, finanční náklady. Důležitý je účel měření; např. u průtokoměru pro bilanční účely je důležitá přesnost, u průtokoměru pro regulační účely je důležitá opakovatelnost. [3]

Různé typy přístrojů vykazují vždy určité výhody i nevýhody a odtud pak vyplývá i stupeň uspokojení uživatele. Důležité jsou i cenové relace. Např. rotametry patří k nejlevnějším (okolo 3 000,- Kč), hmotnostní průtokoměry bývají nejdražší a jejich cena se pohybuje i výše než 200 000,- Kč. Při nákupu průtokoměru je třeba si uvědomit, že kromě vlastního průtokoměru je obvykle zapotřebí pro instalaci ještě další pomocné zařízení. Např. clonový kotouč může

stát 1 500,- Kč, ale převodník pak 15 až 20 tisíc Kč a další náklady si vyžádá vlastní instalace. [3]

Pro měření průtoku ve výtlaku kondenzátních čerpadel je v Doosan Škoda Power (DSPW) z důvodu přesnosti, spolehlivosti, životnosti, ceny a především požadavků pro připojení garančního měření (pro prokázání garantovaných parametrů turbíny vůči koncovému zákazníkovi) nasazováno měření škrťacími orgány na principu tlakové difference před a za škrťacím orgánem. Nejčastěji se jedná o clonu nebo dýzu. Tlaková difference je pak převedena diferenčním snímačem tlaku na unifikovaný analogový signál 4-20 mA nejčastěji využívaný v průmyslových aplikacích jako vstupní signál pro řídicí systém turbíny.

Tab. 2: Přehled a porovnání nejčastěji používaných senzorů průtoku[2][4]

Průtokoměr	Rozsah ($Q_{\max}:Q_{\min}$)	Plyny, páry		Kapaliny				Max. teplota [°C]	Max. tlak [MPa]	Přesnost (z údaje)	Tlaková ztráta	Opako vatelno st (z údaje)	Cena (pro analogový výstup)
		A	B	A	B	C	D						
Normalizovaná clona	10:1	x	-	x	o	-	o	1000	50	1-2%	velká	0,5%	77 000,-
V-cone	10:1	x	x	x	x	x	x	1000	100	0,5%	střední	0,1%	200 000,-
Venturiho trubice	10:1	x	o	x	o	o	o	1000	60	1-2%	střední	0,5%	nezjištěno
Pitotova trubice	3:1	x	-	x	-	o	o	1000	41	1%	malá		105 000,-
Rotametr	10:1	x	-	x	-	x	o	450	10	1%	střední	1%	25 000,-
Elektromagnetický	100:1	-	-	x	x	x	x	250	15	1%	-	0,1%	56 000,-
Vírový	20:1	x	o	x	o	-	o	450	25	1%	střední	0,2%	125 000,-
Turbínkový	25:1	x	-	x	-	o	o	500	300	0,5%	velká	0,02%	35 000,-
Ultrazvukový (Dopplerův efekt)	30:1	-	x	-	x	o	x	200	20	1%	-	0,5%	30 000,-
Coriolisův	100:1	o	-	x	x	x	o	400	40	0,2%	malá	0,02%	680 000,-
Termoanemometr	100:1	x	-	o	-	-	-	400	10	1%	malá	0,5%	nezjištěno

3.3 Základní pojmy z oblasti škrťacích orgánů

Výpočet se řídí technickou normou ČSN EN ISO 5167: Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného

potrubí kruhového průřezu. Pro výpočet clony bude potřeba užití částí 5167-1: *Obecné principy a požadavky* a 5167-2: *Clony*.

3.3.1 Termíny a definice

Měření tlaku

odběr tlaku ve stěně - prstencová nebo kruhová dutina, vyvrtaná ve stěně potrubí takovým způsobem, že hrana dutiny lícuje s vnitřním povrchem potrubí

statický tlak tekutiny proudící potrubím - p

- tlak, který může být změřen připojením tlakoměru na odběr tlaku ve stěně.

diferenční tlak - Δp

- rozdíl mezi (statickými) tlaky měřenými v odběrech tlaku ve stěně, z nichž jeden je před a druhý za primárním prvkem, vloženým do přímého potrubí, jímž protéká tekutina, při uvažování všech rozdílů ve výšce odběrů před a za primárním prvkem.

Primární prvky

clona; hrdlo - nejmenší otvor primárního prvku

clonový kotouč - tenká deska, v níž je vytvořen kruhový otvor

poměr průměrů - β

- poměr průměru clonového otvoru (nebo hrdla) primárního prvku k vnitřnímu průměru měřicího potrubí před primárním prvkem

$$\beta = \frac{d}{D} \quad (3.1)$$

kde d je průměr otvoru škrtícího orgánu, D je vnitřní průměr potrubí

Proudění

průtok - q

- hmotnost nebo objem tekutiny proudící otvorem clony (nebo hrdla) za jednotku času

hmotnostní průtok - q_m

- hmotnost tekutiny proudící otvorem clony (nebo hrdla) za jednotku času

objemový průtok - q_v

- objem tekutiny proudící otvorem clony (nebo hrdla) za jednotku času. V případě objemového průtoku je nezbytné uvést tlak a teplotu, na něž se objem vztahuje.

Reynoldsovo číslo - Re

- bezrozměrový parametr vyjadřující poměr mezi setrvačnými silami a třecími silami

Reynoldsovo číslo potrubí - Re_D

- bezrozměrový parametr vyjadřující poměr mezi setrvačnými silami a třecími silami v potrubí před primárním prvkem

$$\text{Re}_D = \frac{4q_m}{\pi\mu_1 D} \quad (3.2)$$

součinitel průtoku - C

- součinitel stanovený pro proud nestlačitelné tekutiny, který udává poměr skutečného průtoku primárním prvkem k teoretickému průtoku; pro nestlačitelné tekutiny je dán vzorcem

$$C = \frac{q_m \sqrt{1-\beta^4}}{\frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}} \quad (3.3)$$

- Číselná hodnota C je stejná pro různá uspořádání, pokud jsou tato uspořádání geometricky podobná a proudění je charakterizováno stejnými Reynoldsovými čísly.
- Rovnice pro číselné hodnoty C uvedené v ISO 5167 (všechny části) se zakládají na datech určených experimentálně.
- Nejistota hodnoty C může být zmenšena kalibrací proudění ve vhodné laboratoři.
- Veličina $1/\sqrt{1-\beta^4}$ se nazývá „faktor vstupní rychlosti“ a součin $C \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}}$ se nazývá "součinitel průtoku".

součinitel expanze - ε

- součinitel, který se používá k výpočtu stlačitelnosti tekutiny. U kapalin je $\varepsilon = 1$, u plynů $\varepsilon < 1$.

3.3.2 Princip metody měření a výpočet

Princip metody měření

Princip metody měření spočívá v zabudování clony do potrubí, v němž plným průřezem protéká tekutina. Zabudování clony způsobí rozdíl statických tlaků mezi přední a zadní stranou clony. Průtok může být stanoven z naměřených hodnot tohoto tlakového rozdílu a ze znalostí vlastností proudící tekutiny, jakož i z okolností, za nichž je primární prvek použit. [1]

Hmotnostní průtok – q_m

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1} \quad (3.4)$$

Objemový průtok – q_v

$$q_v = \frac{q_m}{\rho} \quad (3.5)$$

kde ρ je hustota kapaliny při té teplotě a tlaku, pro něž je objem stanoven

Metoda určení poměrů průměrů zvoleného normalizovaného primárního prvku

Má-li se v praxi stanovit poměr průměrů primárního prvku, který má být zabudován do daného potrubí, hodnoty C a ε užití v rovnici (3.4) obvykle nejsou známé. Proto musí být nejprve zvolen:

- typ primárního prvku, který bude použit;

- průtok a odpovídající hodnota diferenčního tlaku.

Tyto hodnoty q_m a Δp se pak dosadí do rovnice (3.4), přeepsané do tvaru

$$\frac{C\varepsilon\beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} = \frac{4q_m}{\pi D^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}} \quad (3.6)$$

v níž poměr průměrů zvoleného primárního prvku může být stanoven iterací (iterační výpočty jsou popsány v ISO 5167-1, příloha A).

Výpočet průtoku

Výpočet průtoku, což je ryze aritmetická operace, se provede tak, že jednotlivé členy na pravé straně rovnice (3.4) se nahradí jejich číselnými hodnotami. [17]

C může záviset na Re , které samo závisí na q_m . V takových případech se konečná hodnota C a tím i q_m získá iterací. Příloha A normy ISO 5167-1 obsahuje pokyny týkající se volby iteračního postupu a odhadu vstupních hodnot. [17]

Průměry d a D , v rovnicích uvedené, jsou hodnoty průměrů při provozních podmínkách. Měření provedená za jakýchkoli jiných podmínek by měla být korigována pro každé možné roztahování nebo smršťování primárního prvku a potrubí způsobené hodnotami teploty a tlaku tekutiny během měření. [17]

Je třeba znát hustotu a viskozitu tekutiny při provozních podmínkách. V případě stlačitelné tekutiny je také zapotřebí znát izentropický exponent tekutiny při provozních podmínkách. [17]

Stanovení hustoty, tlaku a teploty

Všeobecně

Je přijatelná kterákoli metoda stanovení spolehlivých hodnot hustoty, statického tlaku, teploty a viskozity tekutiny, není-li žádným způsobem narušeno rozložení proudění v měřicím průřezu. [17]

Hustota

Je nutné znát hustotu tekutiny před předním odběrem tlaku; může být buď změřena přímo nebo vypočtena z údaje příslušné rovnice známého absolutního statického tlaku, teploty a složení tekutiny v tomto místě. [17]

Statický tlak

Statický tlak tekutiny musí být změřen pomocí bodového odběru tlaku ve stěně potrubí, nebo několika takových vzájemně propojených odběrů, nebo pomocí komorových odběrů, jestliže jsou tyto komorové odběry voleny pro měření diferenčního tlaku v rovině odběru pro určitý primární prvek. [17]

Teplota

Přednost musí být dána měření teploty tekutiny za primárním prvkem. Teploměřová jímka (nebo teploměr) musí zabírat co nejmenší prostor. Vzdálenost mezi jímkou a primárním prvkem musí být nejméně $5D$, je-li jímka umístěna za primárním prvkem a v souladu s hodnotami uvedenými v ISO 5167-2, je-li jímka umístěna před primárním prvkem závisejí na druhu primárního prvku. V mezích použití ISO 5167 lze obecně předpokládat, že u odběrů diferenčního tlaku před a za primárním prvkem jsou teploty tekutiny stejné.[17]

3.3.3 Clony

Veškeré parametry samotné clony jako tvar, tloušťka, úhel zkosení otvoru na zadní straně, hrany otvoru, typy odběrů tlaku, požadavky na zabudování se řídí normou ISO 5167-2. V této části budou popsány pouze parametry týkající se námi zvoleného typu clony.

Průměr d clony

Průměr d musí být ve všech případech větší nebo roven 12,5 mm. Poměr průměrů $\beta = d/D$ musí být vždy větší nebo roven 0,10 a menší nebo roven 0,75. V těchto mezích smí hodnotu β volit uživatel. [18]

Odběry tlaku

Pro každou clonu musí být zabudován alespoň jeden odběr tlaku před a jeden odběr tlaku za clonou v některém z normalizovaných míst, což jsou odběry ve vzdálenostech D a $D/2$, přírubový nebo koutový odběr. Umístění odběrů tlaku charakterizuje typ normalizované měřicí clony.[18]

3.4 Výpočet měřicí clony

Při návrhu jakýchkoli zařízení v potrubí, ať se jedná o samotné potrubní prvky nebo zařízení a přístroje do potrubí vkládané, musíme znát parametry proudícího media. Parametry jsou: druh media, tlak, teplota, rychlost proudění, množství, světlost potrubí (DN), hustota, vodivost, viskozita a ve speciálních aplikacích další parametry. Hodnoty parametrů se uvádí provozní a výpočtové.

Většinu těchto parametrů počítá a navrhuje technolog strojního oddělení v úseku projekce strojní v Doosan Škoda Power (DSPW). Zadávací dotazník (viz. příloha č.1) pak předá výpočtové skupině Garančního měření DSPW, která

provede samotný orientační výpočet pro objednání a nákup měřicí clony u dodavatele.

Některé parametry clony a diferenčního snímače průtoku volíme dle našich požadavků nebo vycházejí z požadavků našeho zákazníka (materiál clony, přesnost snímače, tlaková ztráta,...).

Parametry vypočtené technologem (ze zadávacího dotazníku – viz.příloha):

Parametry media:

Absolutní tlak provozní	$p_{\text{prov}} = 1,36 \text{ MPa(a)}$
Absolutní tlak maximální	$p_{\text{max}} = 2,15 \text{ MPa(a)}$
Teplota provozní	$T_{\text{prov}} = 92,59 \text{ °C}$
Teplota maximální	$T_{\text{max}} = 130 \text{ °C}$
Měrná hmotnost při prov. podm.	$\rho = 995,0378 \text{ Kg/m}^3$
Průtok provozní	$q_{\text{prov}} = 138 \text{ t/h}$
Průtok maximální (rozsah)	$q_{\text{prov}} = 170 \text{ t/h}$
Průtok minimální	$q_{\text{prov}} = 20 \text{ t/h}$
Max.připustná tlaková ztráta	$\omega = 0,4 \text{ kPa}$
Směr proudění vodorovně	

Parametry potrubí:

Vnitřní průměr potrubí	$D = 159,3 \text{ mm}$
Tloušťka stěny	$t = 4,5 \text{ mm}$
Materiál potrubí	černá ocel P235GH
Skutečná možná celková délka přímého úseku	$L = 4 \text{ m}$

Parametry clony a snímače tlak.dif.:

Diferenční tlak	$\Delta p = 60 \text{ kPa}$ pro max.rozsah
Přesnost snímače tlakové difference	0,2%
Materiál škrťícího orgánu	nerez 17 248
Tvarovky před clonou - Dvě nebo více kolen 90° v různých rovinách	

Pro aplikaci jsme zvolili clonu s koutovými odběry.

Provozní parametry – vypočtená hodnota veličiny při nejčastějším provozu

Výpočtové parametry – vypočtené nejvyšší dosažené hodnoty veličiny

Jelikož je většina parametrů zadána technologem, je potřeba vypočítat pouze vnitřní průměr clony d a β . Výpočet provedeme dle iteračního výpočtu ISO 5167-1, příloha A (tab.3).

Dle daných hodnot se zvolí úloha ve druhém sloupci.

Tab. 3: Schéma pro iterační výpočet [17]

Úloha	$q =$	$D =$	$\Delta p =$	$D =$
z daných hodnot	$\mu_1, \rho_1, D, d, \Delta p$	$\mu_1, \rho_1, D, q_m, \Delta p$	μ_1, ρ_1, D, d, q_m	$\mu_1, \rho_1, \beta, q_m, \Delta p$
nález	q_m a q_v	d a β	Δp	D a d
Invarianta „ A_n “	$A_1 = \frac{\varepsilon d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}}{\mu_1 D \sqrt{1-\beta^4}}$	$A_2 = \frac{\mu_1 Re_D}{D \sqrt{2\Delta p \rho_1}}$	$A_3 = \frac{8(1-\beta^4)}{\rho_1} \left(\frac{q_m}{C\pi d^2} \right)^2$	$A_4 = \frac{4\varepsilon\beta^2 q_m \sqrt{2\Delta p \rho_1}}{\pi \mu_1^2 D \sqrt{1-\beta^4}}$
Iterační rovnice	$\frac{Re_D}{C} = A_1$	$\frac{C\varepsilon\beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} = A_2$	$\frac{\Delta p}{\varepsilon^{-2}} = A_3$	$\frac{Re_D^2}{C} = A_4$
Proměna v lineárním algoritmu	$X_1 = Re_D = CA_1$	$X_2 = \frac{\beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} = \frac{A_2}{C\varepsilon}$	$X_3 = \Delta p = \varepsilon^{-2} A_3$	$X_4 = Re_D = \sqrt{CA_4}$
Kritérium přesnosti (n volí uživatel)	$\left \frac{A_1 - \frac{X_1}{C}}{A_1} \right < 1 \times 10^{-n}$	$\left \frac{A_2 - X_2 C \varepsilon}{A_2} \right < 1 \times 10^{-n}$	$\left \frac{A_3 - \frac{X_3}{\varepsilon^{-2}}}{A_3} \right < 1 \times 10^{-n}$	$\left \frac{A_4 - \frac{X_4^2}{C}}{A_4} \right < 1 \times 10^{-n}$
První odhad	$C = C_\infty$	$C = 0,606$ (clona) $C = 1$ (jiný primární prvek) $\varepsilon = 0,97$ (nebo 1)	$\varepsilon = 1$	$C = C_\infty$ $D = \infty$ (u přírubových odběrů tlaku)
Výsledky	$q_m = \frac{\pi}{4} \mu_1 D X_1$ $q_v = \frac{q_m}{\rho_1}$	$d = D \left(\frac{X_2^2}{1 + X_2^2} \right)^{0,25}$ $\beta = \frac{d}{D}$	$\Delta p = X_3$ Je-li tekutinou kapalina Δp vyjde první iterací	$D = \frac{4q_m}{\pi \mu_1 X_4}$ $d = \beta D$

Výpočet průměru d clony

Dle iteračního schéma vypočteme variantu A_2 :

$$A_2 = \frac{\mu_1 \operatorname{Re}_D}{D \sqrt{2\Delta p \rho_1}} \quad (3.7)$$

kde μ_1 je dynamická viskozita tekutiny. Určíme ji buď z tabulek IAPWS-IF97 nebo instalovanou funkcí do MS Excel. Dle zadaných parametrů funkce vypočítá požadovanou veličinu.

Pro provozní parametry:

$$p_{\text{prov}} = 1,36 \text{ MPa(a)}, T_{\text{prov}} = 92,59 \text{ °C}$$

$$\mu_1 = 0,000305633 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

Hustotu ρ_1 vypočteme z měrného objemu V pro provozní parametry. Objem V získáme opět z tabulek IF97.

$$V = 0,001037204 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\rho_1 = \frac{1}{V} = \frac{1}{0,001037204} = 964,1307 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Re_D vypočteme z rovnice (3.2):

$$\operatorname{Re}_D = \frac{4q_m}{\pi\mu_1 D} = \frac{4 \cdot 38,3}{3,14 \cdot 0,000305633 \cdot 0,1593} = 1002104,7$$

Nyní můžeme dosadit do rovnice (3.7) a pokračovat v iteračním výpočtu:

$$A_2 = \frac{\mu_1 \operatorname{Re}_D}{D \sqrt{2 \Delta p \rho_1}} = \frac{0,000305633 \cdot 1002104,7}{0,1593 \cdot \sqrt{2 \cdot 60000 \cdot 964,1307}} = 0,178747$$

První odhad C volíme dle iteračního schéma $C = 0,606$, $\varepsilon = 1$:

Proměna v lineárním algoritmu dle iteračního schéma:

$$X_2 = \frac{\beta^2}{\sqrt{1 - \beta^4}} = \frac{A_2}{C \cdot \varepsilon} \quad (3.8)$$

po dosazení:

$$X_2 = \frac{A_2}{C \cdot \varepsilon} = \frac{0,178747}{0,606 \cdot 1} = 0,295$$

Dle iteračního schéma ověříme kritérium přesnosti:

$$\left| \frac{A_2 - X_2 \cdot C \cdot \varepsilon}{A_2} \right| < 1 \times 10^{-n} \quad (3.9)$$

$$\left| \frac{0,178747 - 0,295 \cdot 0,606 \cdot 1}{0,178747} \right| < 1 \times 10^{-1}$$

$$\left| 0,129 \times 10^{-3} \right| < 1 \times 10^{-3} \Rightarrow \text{kritérium přesnosti je splněno.}$$

Vypočteme d dle iteračního schéma:

$$d = D \left(\frac{X_2^2}{1 + X_2^2} \right)^{0,25} \quad (3.10)$$

$$d = D \left(\frac{X_2^2}{1 + X_2^2} \right)^{0,25} = 0,1593 \left(\frac{0,295^2}{1 + 0,295^2} \right)^{0,25} = 0,084736m$$

Dopočítaný poměr průměrů β z rovnice (3.1):

$$\beta = \frac{d}{D} = \frac{0,084736}{0,1593} = 0,53$$

Clona bude mít vnitřní průměr $d = 83,74$ mm.

Poměr průměrů β je potřeba pro přepočítání průtoku q_m při jiném provozním stavu turbíny, tj. jiných vstupních hodnotách tlaku a teploty.

3.5 Výběr diferenčního snímače tlaku

Diferenční snímač tlaku musí být vybrán dle maximálních hodnot tlaku a teploty média. Výběr se provádí tak, aby při provozních parametrech snímač pracoval v 60 % svého rozsahu, ale rozsah musí být alespoň do maximálních hodnot média.

Dále je třeba uvažovat, zda je nutné místní ukazování, tj. displej, na jaký druh signálu má převodník tlakovou diferencii převádět, jaká je uvažována architektura řídicího systému, tj. jakým komunikačním protokolem je uvažován přenos signálu, jaký stupeň krytí IPxx je požadováno vzhledem k prostředí.

Důležité je také druh připojení impulsního potrubí od tlakových odběrů do snímače. Diferenční snímače se nejčastěji připojují přes tří nebo pěti-cestnou ventilovou soupravu kvůli možnosti uzavření levé a pravé větve impulsního potrubí při nastavování „nuly“ při uvádění do provozu. Ventilová souprava slouží také k odvodu a odkalení impulsního potrubí.

Dle daných parametrů média a dle požadavků z předchozích odstavců a dle dalších kritérií ze strany zákazníka (např. průchodka pro připojení kabelu, materiál krytu elektroniky snímače, atd.) jsem zvolil diferenční snímač výrobce Emerson, typ Rosemount 3051S3CD, včetně třicestné ventilové soupravy.

Detailní specifikace a cena v příloze č.3, katalogový list příloha č.4.

4 Závěr

V úvodní části byly popsány základní principy měření průtoku a základy mechaniky tekutin, ze kterých principy vychází. Pro každý fyzikální princip je několik možností převodu neelektrické veličiny na elektrickou. Každý princip měření průtoku vyžaduje podrobnější studium dle odborných publikací.

Nejčastěji používaný princip měření průtoku v průmyslových aplikacích jsou škrťací orgány. Důvodem je poměrně nízká pořizovací cena, přesnost srovnatelná s mnohem dražšími typy snímačů a nízké náklady na údržbu. Dalším důvodem je i normalizace škrťacích orgánů a dle mezinárodní normy ISO 5167, která se rozšiřuje o další škrťací orgány. Např. v roce 2015 byla vydána 5.část, ISO 5167-5: V-kužel.

V této práci byla navržena clona pro měření kondenzátu dle zadaných vypočtených parametrů, nebylo nutné počítat parametry související s problematikou celého výpočtu clony. Vypočítaný rozměr clony v této práci byl menší, než vypočítal výrobce clony (viz. Příloha č.2). Důvodem může být použití jiných koeficientů roztažnosti materiálů, nebo přesnějším postupem při uvažování roztažnosti materiálu. Velkou míru tvoří praxe a zkušenosti výrobce clony. Účelem této práce bylo především přiblížit postup při zadávání a orientačního výpočtu pro výrobce clony v praxi. Pro podrobnější provedení a vysvětlení výpočtu, který provádí výrobce, by bylo potřeba napsat mnohem rozsáhlejší odbornou práci.

Snímačů průtoku je dnes na trhu nepřehledné množství od různých výrobců. Při výběru je třeba si uvědomit k jakému účelu bude sloužit. Dle toho pak vybrat dle konkrétních podmínek – typ média, vlastnosti média, požadované vlastnosti média za měřicím místem (tlaková ztráta), minimální montážní délky potrubí,

způsob montáže do potrubí, přístupnost, cena, náklady na údržbu, atd. Výběr správného snímače vyžaduje mnoho praktických zkušeností.

Tato práce nastiňuje základní principy měření průtoků, typy snímačů a jejich porovnání z několika hledisek. V práci je vysvětlen postup orientačního výpočtu měřící clony a zadání výrobcí v praxi. Nakonec popisuje jak vybrat konkrétní převodník tlaku na analogový unifikovaný signál.

5 Použitá literatura

- [1] BERAN, Vlastimil a TŮMOVÁ, Olga. *Měření veličin životního a pracovního prostředí*. ZČU Fakulta elektrotechnická Plzeň 1996. 169 s.
- [2] ĎAĎO, Stanislav, BEJČEK, Ludvík a PLATIL, Antonín. *Měření průtoku a výšky hladiny, 3. díl*. BEN 2005. 448 s. ISBN 80-7300-156-X
- [3] VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE. *Měření průtoku a protékého množství*. [online]. [Cit. 6.6.2015]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F4/F4-ram.htm>
- [4] elektrevue.cz. *Měření průtoku tekutin – principy průtokoměrů*. [online]. [Cit. 6.6.2014]. Dostupné z: http://www.elektrevue.cz/clanky/01049/index.html#_Měření_objemového_průtoku
- [5] RADEK.JANDORA. *Hydrodynamika*. [online]. [Cit. 6.6.2015]. Dostupné z: <http://radek.jandora.sweb.cz/f06.htm#obtek>
- [6] WIKIPEDIE. *Bernoulliho rovnice*. [online]. [Cit. 6.6.2015]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Bernoulliho_rovnice
- [7] WIKIPEDIE. *Pitotova trubice*. [online]. [Cit. 6.6.2015]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Pitotova_trubice
- [8] omegaeng.cz. *Pístové průtokoměry*. [online]. [Cit. 6.6.2015]. Dostupné z: http://www.omegaeng.cz/toc_asp/frameset.html?book=Green&file=TEC_HREF_SECT_B
- [9] FYZMATIK. *Pitotova trubice*. [online]. [Cit. 6.6.2015]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/930-pitotova-trubice.html>
- [10] kod.tul.cz. *Průtok*. [online]. [Cit. 6.6.2015]. Dostupné z: http://www.kod.tul.cz/predmety/AOV/dalsi_mat/prutok.pdf
- [11] AUTOMA.cz. *Optimální vírový průtokoměr*. [online]. [Cit. 6.6.2015]. Dostupné z: <http://automa.cz/optimalni-virovy-prutokomer:-krohne-optiswirl-4070-34269.html>
- [12] WIKIPEDIE. *Rovnice kontinuity*. [online]. [Cit. 6.6.2015]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Rovnice_kontinuity

- [13] AUTOMA.cz. *Prandtlovou trubicí je možné měřit i malé rychlosti proudění*. [online]. [Cit. 6.6.2015]. Dostupné z: http://automa.cz/index.php?id_document=28914
- [14] AUTOMA.cz. *Měřicí obvody indukčních průtokoměrů (část 1)*. [online]. [Cit. 6.6.2015]. Dostupné z: http://automa.cz/index.php?id_document=30787
- [15] AUTOMA.cz. *Tepelné a hmotnostní průtokoměry a regulátory*. [online]. [Cit. 6.6.2015]. Dostupné z: http://automa.cz/index.php?id_document=29006
- [16] fekete.com. *Theory Gas V-cone*. [online]. [Cit. 6.6.2015]. Dostupné z: http://www.fekete.com/SAN/TheoryAndEquations/FieldNotesTheoryAndEquations/Theory_Gas_VCone.htm
- [17] ČSN EN ISO 5167-1. *Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného potrubí kruhového průřezu-Část 1: Obecné principy a požadavky*. ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, Praha: XEROX CR, s.r.o., 2003. 36 s.
- [18] ČSN EN ISO 5167-2. *Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného potrubí kruhového průřezu-Část 2: Clony*. ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, Praha: XEROX CR, s.r.o., 2003. 52 s.

6 Přílohy

Příloha č.1 – Zadávací dotazník pro výrobce clony

Příloha č.2 – Výpočtový list výrobce clony Mattech

Příloha č.3 – Cenová nabídka Emerson diferenčního snímače tlaku

Příloha č.4 – Katalogový list snímače Rosemount 3051

Dotazník

Měření průtoku tekutin škrťacími orgány dle ČSN ISO 5167-1

Akce:

BP

Název měřicího místa:

Kód měřicího místa - KKS:

111LCA21CF001

Údaje pro objednávku škrťacího orgánu:

0. Škrťací orgán: clona dýza ISA 1932 venturiho trubice venturiho dýza jiný
 komorový odběr bodový odběr Koutový odběr

1. Tekutina: sytá pára přehřátá pára vzduch vlhký vzduch plyn voda jiná kapalina

2. Absolutní tlak provozní [MPa abs.]: 1,36 3. Teplota provozní [°C]: 92,59
maximální [MPa abs.]: 2,15 maximální [°C]: 130

4. Měrná hmotnost [kg/m³]: 995,0378 vztažné podmínky: provozní
 101,325 kPa abs. 0°C
 98,0665 kPa abs. 20°C
 jiné:

5. Dynamická viskozita [10⁻⁶ Pa.s]: 6. Vlhkost [%]:
7. Izentropický exponent cp/cv:

8. Jednotka průtoku: [kg/s] [kg/h] [t/h] [m³/h] [1m³/h] [nm³/h] [Nm³/h] jiná

9. Průtok provozní: 138 12. Vnitřní průměr potrubí [mm]: 159,3
10. Průtok maximální (rozsah): 170 Tloušťka stěny [mm]: 4,5
11. Průtok minimální: 20 13. Diferenční tlak [kPa]: optimum
14. Max. přípustná tl. ztráta [kPa]: 40 (60 kPa pro max rozsah)

15. Přesnost stanovení měrné hmotnosti: 1,0% jiná:
 0,1% 0,075% jiná:
16. Přesnost snímače tlakové difference: 0,2% 0,1% 0,075% jiná:
17. Kaskádní zapojení snímačů tl. difference: ne ano jiná:

18. Materiál škrťacího orgánu: 15 128 17 021 17 246 17 248 17 348 jiný:

19. Materiál potrubí: P235GH

20. Tvarovky před clonou:

<input type="checkbox"/> Jednoduché koleno 90° nebo T kus (proud jednou větví)	<input type="checkbox"/> Plně otevřený přímý ventil
<input type="checkbox"/> Dvě nebo více kolien 90° v téže rovině	<input type="checkbox"/> Kulový ventil s plným vrtáním nebo plně otevřené šoupě
<input checked="" type="checkbox"/> Dvě nebo více kolien 90° v různých rovinách	<input type="checkbox"/> Náhlé sym.zúžení s poměrem průměrů < 0,5
<input type="checkbox"/> Zúžení ze 2D na D v délce 1,5D až 3D	<input type="checkbox"/> Teploměrná jímka o průměru < 0,03D
<input type="checkbox"/> Rozšíření z 0,5D na D v délce D až 2D	<input checked="" type="checkbox"/> Teploměrná jímka o průměru mezi 0,03D a 0,13D

21. Skutečná možná celková délka přímého úseku [m]: 4,0

22. Přídavná nejistota 0,2% -větší přesazení: ne ano
23. Přídavná nejistota 0,5% - zkrácení přímých délek: ne ano
24. Přídavná nejistota 0,3% - větší excentricita: ne ano

25. Směr proudění: vodorovně svisle, shora dolů svisle, shora nahoru

26. Rozměrový protokol: ano ne
27. Protokol o jakosti a kompletnosti dodávky: ano ne
28. Metrologické ověření: ano ne

29. Provedení: Měřicí trať s min. délkou potrubí 2D před a 2D za škrťacím orgánem: ano ne jiné:

30. Součástí dodávky dále jsou: kondenzační nádoby ano ne
uzavírací ventily ano ne

Poznámka:

Předběžně napočítáno pro beta = 0,5844

V případě realizace bude průvodní dokumentace v jazyce anglickém

V Plzni

Dne:

Zpracovali



MATTECH, s.r.o.
K Myslivně 7/2183
708 00, Ostrava – Poruba
Czech Republic

tel. +420 596 917 277
fax +420 596 916 794
E-mail : info@mattech.cz
Internet : http://www.mattech.cz

THROTTLING DEVICE DATA SHEET

DN / PN: 150 / 40 **Throttling device number:** 9705

Type SO: Centric orifice plate **Serial number:** 13451

Tappings: ring chamber **Surface finish:** end for welding

Standard: ČSN EN ISO 5167 **Medium:** water

Description: Doosan Škoda Power s.r.o. Project: Lund 40 MW Sweden KKS: 111LCA21CF001

Inner diameter SO	93,062	[mm]	Density		[kg/m ³]
Inner diameter of pipe	159,46	[mm]	Absolute pressure	1360000	[Pa]
External diameter SO	300	[mm]	Temperature	92,59	[°C]
Length	695	[mm]	Humidity		[%]
Material	uhl. ocel / 1.4541		Different. pressure	60000	[Pa]
Angle of sampling	90	[°]	Flow-rate range	169891	[kg/h]
Type of sampling	Ø 14 x 2,5 mm		Pipe position	horizontal	
Order No.	NO1301647		Shop No:	1321041	

Note:

PED 97/23/EC, including meter run with straight pipe sections +2D/-2D

Date of registration 6.3.2013

Print date 17.4.2013

Registered by: Krkoška

5

s.r.o.
K Myslivně 7 / 2183
708 00, Ostrava-Poruba

Signature :



MATTECH, s.r.o.
K Myslivně 7/2183
708 00, Ostrava – Poruba
Czech Republic

tel. +420 596 917 277
fax +420 596 916 794
E-mail : info@mattech.cz
Internet : http://www.mattech.cz

Concentric orifice plate DN150 PN40, Prod. No. 13451, Calc. No. 9705
KKS : 111LCA21CF001

INPUT VALUES

PRIMARY DEVICE : CENTRAL ORIFICE PLATE
STANDARD : CSN EN ISO 5167.2003
FLUID : WATER
density, viscosity IAPWS-IF97

VALUES AT PRIMARY DEVICE

absolute pressure	1,360	MPa
required min. a. press. downstr. of PD	100,000	kPa
temperature	92,590	°C
density	964,138	kg/m ³
dynamic viscosity	305,667 E-6	Pa.s
kinematic viscosity	317,037 E-9	sq.m/s
enthalpy	388,854	kJ/kg

INPUT DATA FOR CALCULATION Q:

sort of tappings : corner		
D₂₀ (at 20 °C = 68 °F)	159,460	mm
with uncertainty +/-	0,30	%
material group of meter run		
CR std. class 11364, 11366, 11368, 11416, 11474, 12021		
temp. exp. coeff. of meter run at t _{PD}	11,026 E-6	1/K
β = d/D	583,772 E-3	-
d₂₀ (at 20 °C = 68 °F)	93,062	mm
with uncertainty +/-	0,05	%
material group of PD		
CR std. class 17246, 17247, 17347, 17374, typ316, typ304, AISI-316		
temp. exp. coeff. of PD material at t _{PD}	14,926 E-6	1/K
differ. pressure	60,000	kPa

OUTPUT VALUES

flow rate	169,891 E+3	kg/hr
pressure loss	38,827	kPa
absolute pressure downstream of PD	1,321 E+3	kPa
velocity in section of PD	7,180	m/s
velocity downstream of PD	2,519	m/s
enthalpy	388,854	kJ/kg
heat flux	18,351	MW

OVERVIEW OF SELECTED REGIME

regime	Q kg/hr	Δp kPa	Re _p -	v dws PD m/s	p dws PD MPa	pow.input MW
Re _{min} Std.	752,05	1,06E-3	5,45E+3	0,01	1,36E+3	81,23E-3
Q _{inp}	169,89E+3	60,00	1,23E+6	2,52	1,32E+3	18,35
Δp/p=0.9	765,82E+3	1,22E+3	5,55E+6	26,45	567,27	82,72



MATTECH, s.r.o.
K Myslivně 7/2183
708 00, Ostrava – Poruba
Czech Republic

tel. +420 596 917 277
fax +420 596 916 794
E-mail : info@mattech.cz
Internet : http://www.mattech.cz

MINIMUM UPSTREAM STRAIGHT LENGTH REQUIRED

for $\beta = 0,584$

	L_{min}/D	L_{min} mm	(additional uncertainty C=0.5%) (L_{min}/D)	$(L_{min}$ mm)
upstream (inlet) side of the primary device				
single 90 deg bend				
two 90 deg bends in any plane ($S > 30D$)	38,8	6185	(12,4)	(1971)
two 90 deg bends in same plane: S-configuration ($30D \geq S > 10D$)	28,1	4477	(16,7)	(2665)
two 90 deg bends in same pPlane: S-configuration ($10D \geq S$)	38,8	6185	(16,7)	(2665)
two 90 deg bends in perpendicular planes ($30D \geq S > 5D$)	44,0	7022	(18,0)	(2873)
two 90 deg bends in perpendicular planes ($5D > S$)	66,6	10632	(26,5)	(4223)
single 90 deg Tee with or without extesion mitre 90 deg bend	27,4	4369	(16,5)	(2640)
single 45 deg bend				
two 45 deg bends in same plane: S-configuration ($S \geq 2D$)	30,0	4788	(18,0)	(2873)
concentric reducer 2D to D over length of 1.5D to 3D	8,84	1410	(5,00)	(798)
concentric expander 0.5D to D over length of D to 2D	25,0	3994	(10,7)	(1704)
full bore ball valve or gate valve fully open	13,7	2182	(6,84)	(1091)
abrupt symmetrical reduction	30,0	4788	(15,0)	(2394)
thermometer pocket or well of diameter $\leq 0.03D$	5,00	798	(3,00)	(479)
downstream (outlet) side of the primary device				
above mentioned fittings 1-10 and densimeter pocket	6,84	1091	(3,42)	(546)

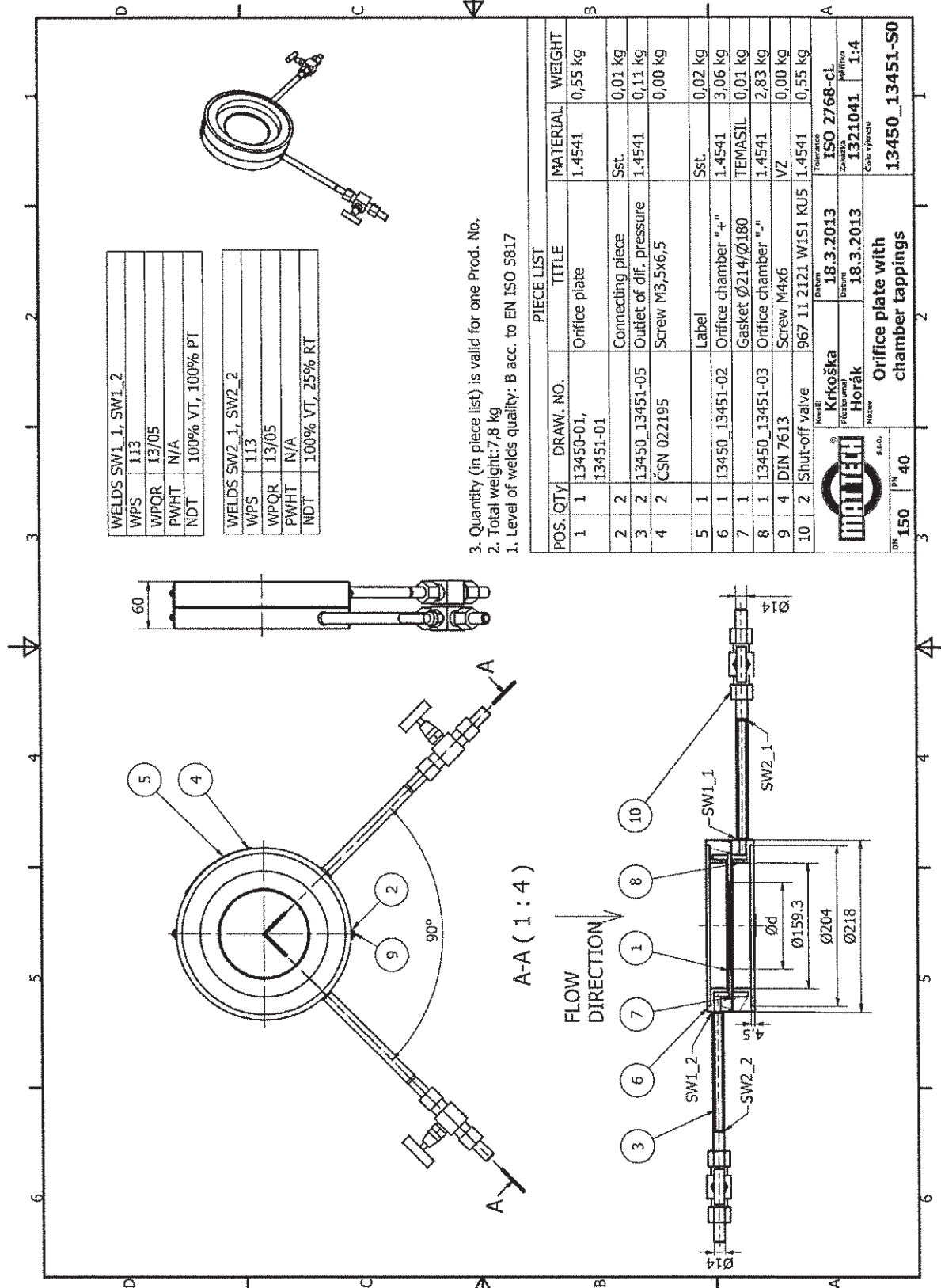


MATTECH, s.r.o.
K Myslivně 7/2183
708 00, Ostrava – Poruba
Czech Republic

tel. +420 596 917 277
fax +420 596 916 794
E-mail : info@mattech.cz
Internet : http://www.mattech.cz

DIMENSIONAL SKETCHES

Concentric orifice plate DN150 PN40, Prod. No. 13450,13451,
KKS : 111LCA51CF001, 111LCA21CF001

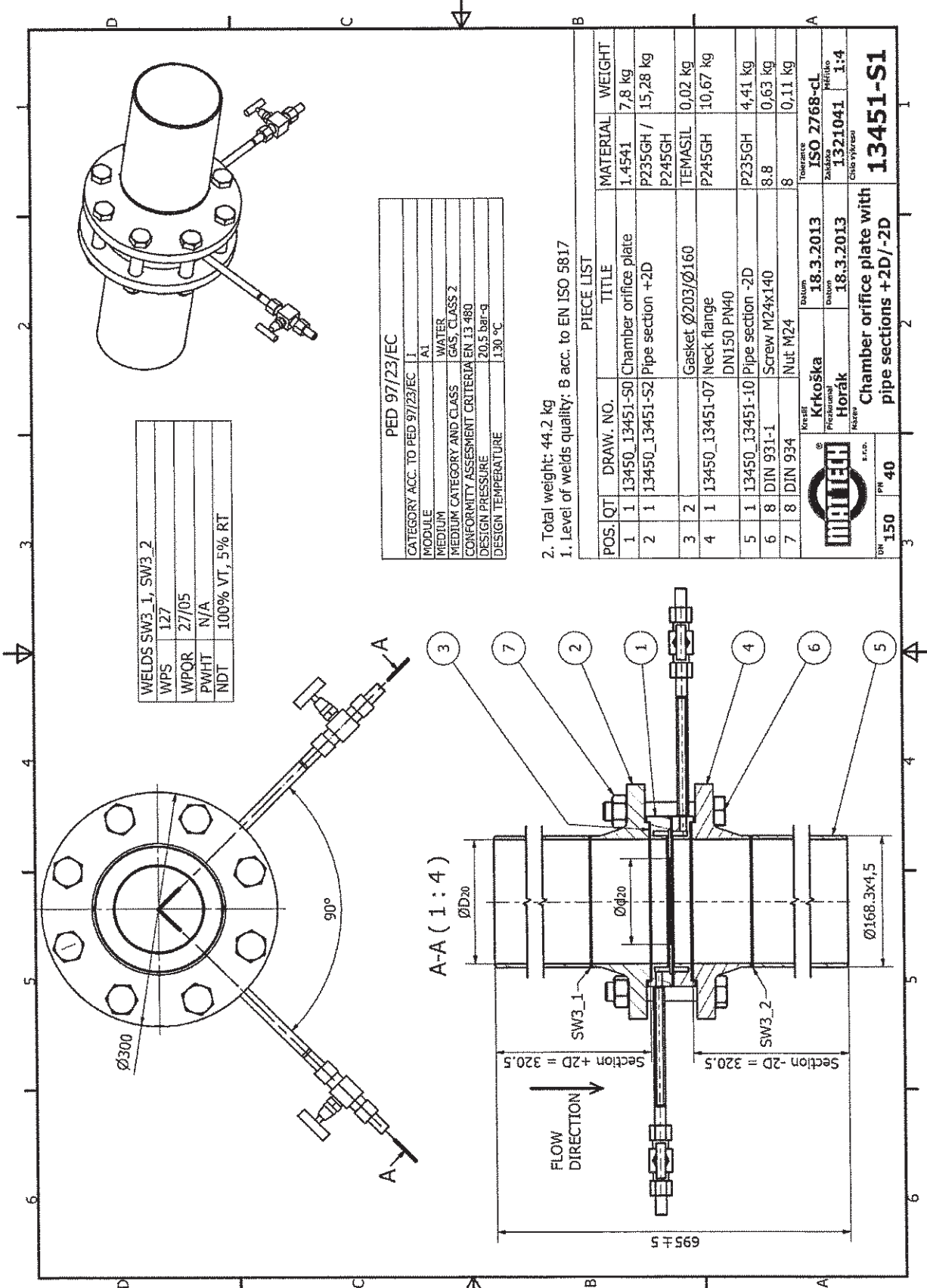




MATTECH, s.r.o.
K Myslivně 7/2183
708 00, Ostrava – Poruba
Czech Republic

tel. +420 596 917 277
fax +420 596 916 794
E-mail : info@mattech.cz
Internet : http://www.mattech.cz

**Concentric orifice plate DN150 PN40 with pipe sections +2D/-2D, Prod. No. 13451,
KKS : 111LCA21CF001**





MATTECH, s.r.o.
K Myslivně 7/2183
708 00, Ostrava – Poruba
Czech Republic

tel. +420 596 917 277
fax +420 596 916 794
E-mail : info@mattech.cz
Internet : http://www.mattech.cz

DECLARATION OF QUALITY AND COMPLETENESS

MANUFACTURER:	MATTECH, s.r.o. K Myslivně 7 / 2183 708 00 Ostrava – Poruba Czech Republic
PURCHASER:	Doosan Škoda Power s.r.o. Tylova 1/57 301 28 Plzeň Czech Republic
ARTICLE DESCRIPTION:	5 pcs of orifice plate with chamber tappings and straight pipe sections +2D/-2D Material of pipe sections: carbon steel P235GH/P245GH Material of orifice plates: stainless steel 1.4541
PROD. NO.	13450 (111LCA51CF001), 13451 (111LCA21CF001) 13452 (111LCA11CF001), 13453 (111LCE11CF001) 13454 (111LCH11CF001)
ORDER NO. DATE	NO1301647 04.03.2013
SHOP NO.	1321041

Hereby signed producer declares that our products have been manufactured and finished in compliance with the contract demands and actual technical and law requirements. Hereby signed producer declares that the supply/subject of order is complete.

Date, place

22nd April 2013 in Ostrava

Worked out: Martin Horák

Manufacturer

MATTECH, s.r.o.

Position / Signature

Ing. Petr Pavlíček – company director



MATTECH, s.r.o.
K Myslivně 7/2183
708 00, Ostrava – Poruba
Czech Republic

tel. +420 596 917 277
fax +420 596 916 794
E-mail : info@mattech.cz
Internet : http://www.mattech.cz

DECLARATION OF CONFORMITY

GENERAL

Manufacturer : MATTECH, s.r.o., K Myslivně 7 / 2183, 708 00 Ostrava – Poruba, Czech Republic
Manufacturer's name and address

Manufactured for : Doosan Škoda Power s.r.o., Tylova 1/57, 301 28 Pízeň, Czech Republic
Customer's name and address

Prod. No. : 13451
Production No.

In compliance with EN 13480, Issue 11/2012

DESIGN : Basic criteria for the pressure equipment design:

Max. pressure [bar-g]	Max. temperature [°C]	Liquid	Liquid category	Pipe class	Module
20,5	130	water	class 2, (liquid)	I.	A1

ARTICLE DESCRIPTION:

Component of industrial piping appointed for flow measurement: Concentric orifice plate with chamber tappings.
Meter run with two straight pipe sections +2D and -2D (symbol D indicates inner diameter of piping).

Process connection: Orifice plate is to be installed between flanges of meter run.

Meter run is to be welded into a pipeline by the means of 2 butt welds.

Size DN150 PN40. Tag No. : **111LCA21CF001**

General sub-supplied pressure part or component description, Size

CONFORMITY COVERS :

Design : EN ISO 5167 – 1:2003, EN ISO 5167 – 2:2003, EN 13 480-3:2012

Welding : PED 97/23/EC (EN 287-1: 2011, EN ISO 15614-1: 2005), internal specifications

Forming : N/A

Non destructive testing: PED 97/23/EC (EN 13 480-5:2012: 100% VT - all welds , 100% PT - outlets of dp + orifice chamber, 25% RT – outlet of dp + valve, 5% RT – pipe+neck flange)

Heat treatment: N/A

Pressure test: PED 97/23/EC (EN 13 480-5:2012), testing pressure 32,5 bar

Name of responsible notified body (if applied): Lloyd's Register Quality Assurance GmbH, Am Sandtorkai 41,
D-20457 Hamburg, Deutschland CE 0525

Hereby signed manufacturer declares that design, manufacture, and testing of our product has been carried through in compliance with the contract demands and above stated requirements.

Date, place

Manufacturer:

MATTECH, s.r.o.

22nd April 2013 in Ostrava

Position / signature

Ing. Petr Pavlíček – company director

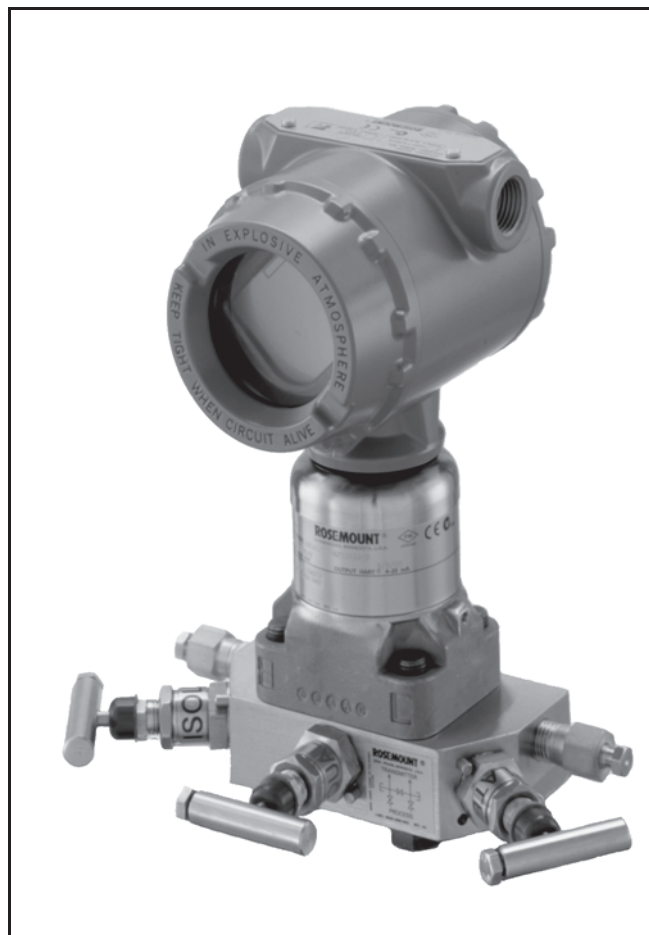
Worked out: Martin Horák

Customer : DOOSAN SKODA POWER SRO			
Množství	Model Code		Kusová cena (CZK Kč)
1	3051S3CD2A2A11A1BM5Q4Q8		48 486
	Modulární snímač diferenčního tlaku v provedení Ultra pro průtok		
	3051S3CD	Popis: Modulární snímač diferenčního tlaku v provedení Ultra pro průtok	
2	Rozsah primárního tlaku: 0 kPa až 62,0 kPa		
A	Rozsah sekundárního tlaku: Nepoužito		
2	Izolační membrána: Nerezová ocel 316L		
A11	Procesní připojení: Sestava s integrální ventilovou soupravou řady Rosemount 305		
A	Výstupní signál: 4–20 mA s HART protokolem		
1B	Tvar pouzdra: PlantWeb skříň, Aluminium, M 20 × 1,5 (CM20)		
M5	Typ displeje: Integrovaně montovaný LCD displej		
Q4	Vydání osvědčení o údajích o kalibraci: Kalibrační certifikát		
Q8	Inspekční certifikát materiálu podle EN 10204 3.1.B: Certifikát materiálové dosledovatelnosti dle normy EN 10204 3.1.B		
1	1495PC060D4SB03875BCFGQC1Q8		18 008
	Clona		
1 495	Výrobek: Orifice Plate Primary		
PC	Orifice Plate Type: Lopatka, soustředná		
60	Velikost vedení: 6 inches (DN150)		
D4	Flange Rating: Příruba DIN PN40		
S	Orifice Plate Material Type: 316/316L Stainless Steel		
B	Tloušťka kalibrační desky: 0.250"		
XXXXX	Orifice Bore: Orifice Bore (Format: xx.xxx inches)		
BC	Bore Calculation: Bore Calculation (CDS Required)		
FG	Alt Pipe Schedule: Rozvrh 40S		
QC1	Speciální kontrola: Vizuální a rozměrová kontrola s certifikací		
Q8	Inspekční certifikát materiálu podle EN 10204 3.1.B: Materiálový certifikát dle ISO 10474 3.1.B a EN 10204 3.1.B		
1	0305RC32B11B4		10 099
	Integrovaná ventilová souprava		
305	Popis: Integrovaná ventilová souprava		
R	Výrobce: Rosemount Inc		
C	Tvar ventilové soupravy: Koplanární příruba		
3	Typ ventilové soupravy: Třicestní ventilová souprava		
2	Konstrukční materiály: Nerezová ocel 316 SST, Nerezová ocel 316 SST, Nerezová ocel 316 SST, Nerezová ocel 316 SST		
B	Procesní připojení: 1/2–14 NPT vnitřní závit		
1	Těsnění vřetena: Teflon		
1	Sedlo ventilu: Integrovaná		
B4	Montážní objímka: Montážní nerezový držák pro montáž na 2" trubku, nerezové šrouby z oceli řady 300		
		Cena celkem:	76 593

Instrumentace Rosemount 3051S

Variabilní řešení pro měření tlaku, průtoku a hladiny

- Průmyslový převodník tlaku s nejlepšími parametry a s přesností měření 0,025 %
- První převodník průtoku pro průmyslové použití s přesností vztahenou k měřené hodnotě průtoku v procentech a přinášející desetinásobné zlepšení technických parametrů
- První převodník pro průmyslové použití, který v instalované pozici dosahuje desetileté stability
- Nebývalá spolehlivost je podpořena dvanáctiletou zárukou
- Variabilní konstrukční platforma založená na platformě SuperModule™ umožňuje snížit náklady na instalaci a údržbu a umožňuje pokrýt i budoucí aplikační potřeby
- Pokrokové diagnostické funkce zajišťují přehled o procesu a umožňují předcházet mimořádným situacím a zlepšují dosažitelnost informací z provozu
- Vylepšené uživatelské rozhraní je vybaveno zdokonalenou specifikací jazyka EDDL (Electronic Device Description Language)
- Řada 3051S je certifikována podle IEC 61508 pro použití v bezpečnostních systémech (SIS)
- Výstup pro bezdrátový přenos dat, jehož spolehlivost přenosu je vyšší jak 99 procent, poskytuje různorodá HART data a je chráněn nejvyspělejší technologií zabezpečení přenosu



Obsah

Stručný přehled řady Rosemount 3051S	4
Specifikace	5
Certifikace výrobku	16
Rozměrové výkresy	20
Informace pro objednání	30
Konfigurační list pro řadu Rosemount 3051S s HART protokolem	47
Konfigurační list pro řadu Rosemount 3051S s bezdrátovým přenosem	50
Konfigurační list pro řadu Rosemount 3051S FOUNDATION fieldbus s blokem pro hmotnostní průtok (H01)	52

Úspěch dosažený prostřednictvím inovačního měření

Průmyslový převodník s nejlepšími parametry a s přesností měření 0,025 %

Typová řada 3051S přináší špičkové parametry, které jsou spojeny s platformou modulu *SuperModule*[™] (dále jen SuperModul). Kromě dalších výhod je použita snímací technologie Saturn[™], druhé čidlo pro optimalizaci parametrů a jsou rozšířeny diagnostické schopnosti.

První převodník průtoku pro průmyslové použití s přesností vztahenou k měřené hodnotě průtoku

Moderní konstrukce s patentovanou výrobní technologií přináší v řadě Ultra pro průtok desetinasobné zlepšení technických parametrů a široký rozsah měření průtoku.

První převodník pro průmyslové použití, který v instalované pozici dosahuje desetileté stability

Základem vynikající stability je plně svařovaná, hermeticky uzavřená skříň platformy SuperModulu, která je vyrobena z nerezové oceli 316L. V modulu je umístěna jednodesková elektronika. Toto konstrukční řešení eliminuje pronikání vlhkosti a znečišťujících látek z technologického procesu. Podrobnosti jsou uvedeny v tabulce "Dlouhodobá stabilita" na straně 6.

Nebývalá spolehlivost je podpořena dvanáctiletou zárukou

Nejlepší ověřené možnosti instalace a pokročilá diagnostika s nebyvalou provozní spolehlivostí, která je podpořena dvanáctiletou zárukou. Podrobnosti jsou uvedeny v tabulce "Záruka" na straně 6.

Variabilní konstrukční platforma SuperModulu

Poskytuje základní stavební prvek pro integrovaná řešení měření tlaku, průtoku a hladiny. Tato platforma umožňuje uživatelská nastavení parametrů, funkcionality, diagnostiky a procesního připojení pro pokrytí vašich rostoucích aplikačních potřeb.

Pokrokové diagnostické funkce



Řada 3051S uplatňuje funkce *PlantWeb* prostřednictvím nejvyššího stupně provozní inteligence s pokrokovou diagnostiku procesu pro provedení HART a FOUNDATION fieldbus. Nová ASP[™] diagnostická sada pro snímače 3051S s HART protokolem obsahuje funkci monitorování statistických procesů (SPM – Statistical Process Monitoring), zápis proměnné s uvedením časového údaje a rozšířená chybová hlášení procesu a tím zajišťuje nový přehled o procesu a umožňuje předcházet mimořádným situacím.

Zdokonalená specifikace jazyka EDDL

Vylepšené uživatelské rozhraní s lepší organizací parametrů zařízení a s vestavěným grafickým systémem.

Certifikováno podle IEC 61508 pro SIS

Typová řada 3051S je certifikována podle normy IEC 61508 pro neredundantní použití pro úroveň integrity bezpečnosti SIL 1 a SIL 2 a pro redundantní použití pro úroveň integrity bezpečnosti SIL 3 v bezpečnostních systémech.

Provedení HART s bezdrátovým přenosem

Variabilní řešení 3051S umožňuje budovat plně integrovatelné samoorganizující se bezdrátové sítě, které umožňují optimalizovat provozní parametry a redukovat rizikové faktory.

Přehled Rosemount nabídky jednotlivých řešení využívajících měření tlaku

Řada přístrojové instrumentace Rosemount 3051S

Variabilní řešení pro měření tlaku, průtoku a hladiny přinášející vylepšení pro montážní a údržbové praktiky.

Převodník hmotnostního průtoku Rosemount 3095

Přesně měří diferenční tlak, statický tlak a procesní teplotu a z těchto hodnot dynamicky vypočítává plně kompenzovaný hmotnostní průtok.

Ventilové soupravy Rosemount 305, 306 a 304

Sestavy ventilových souprav a převodníků tlaku, smontované ve výrobním závodě, kalibrované a otestované na těsnost spojů, výrazně redukuje instalační náklady při montáži.

Oddělovací membrány řady Rosemount 1199

Zajišťují spolehlivé, dálkové měření procesního tlaku a chrání převodník před působením horkých, korozních nebo viskózních médií.

Systémy primárních elementů clonového měření: Clony Rosemount 1495 a 1595, přírubová spojení řady 1496 a měřicí trávové úseky řady 1497

Ucelená nabídka prvků pro clonové měření obsahuje měřicí clony, příruby a rovné úseky. Specifikace a objednání je jednoduché. V aplikacích s těsnou montáží poskytuje clona s usměrněním rychlostního profilu řady 1595 vynikající parametry měření.

Řada průtokoměrů Annubar[®]: Rosemount 3051SFA ProBar[®], 3095MFA Mass ProBar[®] a řada 485

Nejmodernější, pátá generace annubarů Rosemount řady 485, kombinovaná s převodníky 3051S a 3095MV vytváří řadu vsunovacích průtokoměrů s vysokou spolehlivostí, přesností a opakovatelností měření.

Kompaktní clony pro měření průtoku: Rosemount 3051SFC, 3095MFC a typová řada 405P

Průtokoměry na bázi kompaktní clony mohou být instalovány mezi stávající příruby a to až do zatížení PN100 (Class 600). Pro aplikace s těsnou montáží jsou určeny clony s usměrněním rychlostního profilu, které vyžadují rovné úseky jen o délce dvou průměrů potrubí a to jak proti proudu, tak po proudu měřeného média.

Řada průtokoměrů ProPlate[®] s integrální clonou: Rosemount 3051SFP ProPlate, 3095MFP Mass ProPlate a řada 1195

Tyto průtokoměry s integrální clonou eliminují nepřesnosti, které se stávají více výraznými v instalacích s malým průměrem clony. Průtokoměry jsou kompletně smontovány, připraveny pro okamžitou montáž a tím redukuje náklady a zjednodušují instalaci.

Variabilní řešení pro měření tlaku, průtoku a hladiny

Svorkovnicová skříň

- Pro základní provozní připojení elektroinstalace

Plantweb skříň pro bezdrátovou komunikaci

- Umožňuje přístup ke kritickým informacím, které byly dříve dostupné pouze s vynaložením vysokých nákladů

Konektor pro rychlé připojení

- Pro rychlé a bezchybné zapojení při instalaci

Funkcionality Plantweb

- Pokroková diagnostika
- Řídicí a pokročilé výpočty

Platforma SuperModulu 3051S v provedení In-line a provedení s koplanární přírubou

Integrální ventilové soupravy

- Koplanární, tradiční a In-line provedení ventilových souprav pro přímou montáž

Plantweb skříň

- Pro použití s integrální LCD zobrazovací jednotkou
- Pro rozšířené PlantWeb funkcionality pro provedení s HART nebo FOUNDATION fieldbus výstupem

Monitorovací indikátor 753R s ovládaním přes webové rozhraní

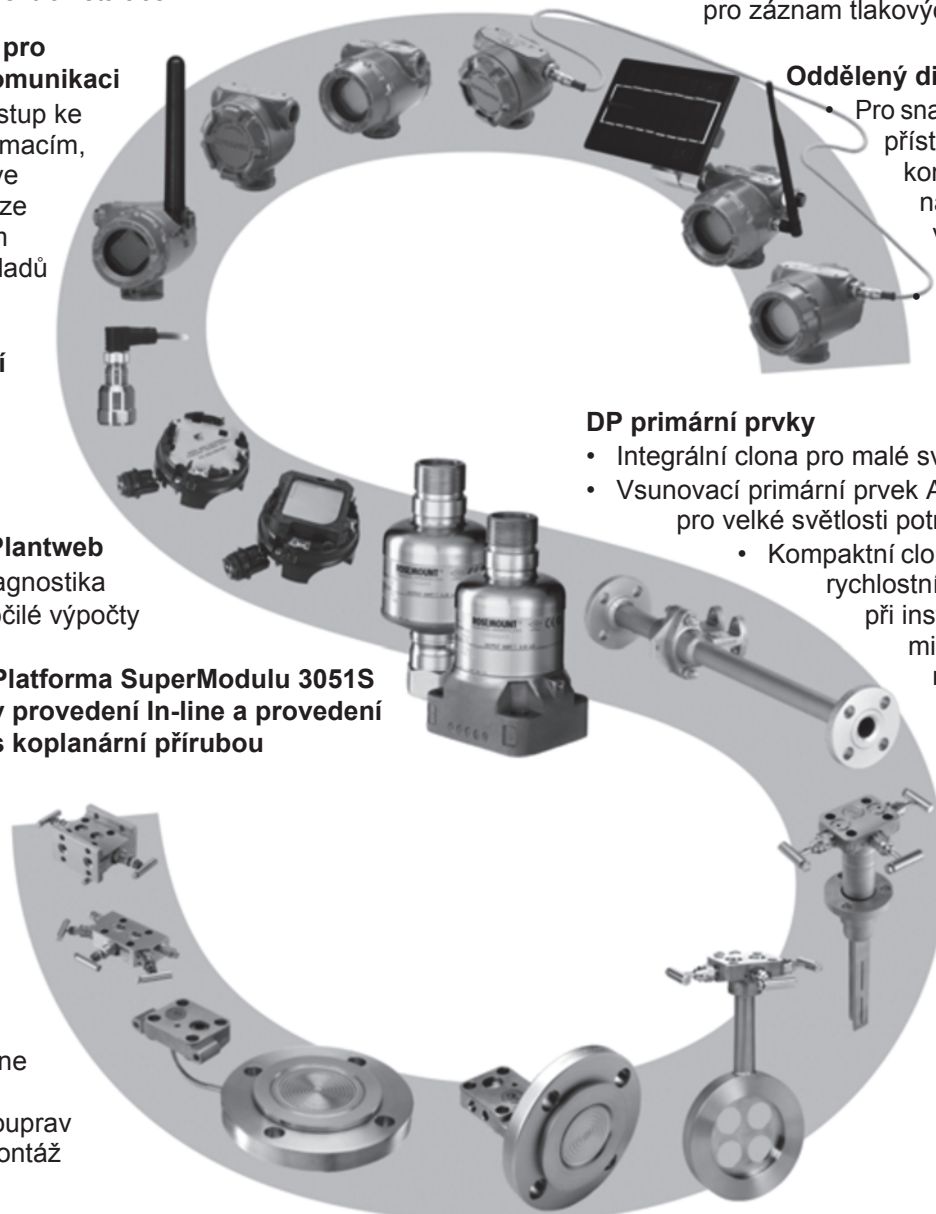
- Pro inventury zásob prováděné dodavateli a pro modernizaci aplikací, které jsou určeny pro záznam tlakových diagramů

Oddělený displej a rozhraní

- Pro snadný a dosažitelný přístup k informacím, konfiguračnímu nastavení a při vyhledávání závad
- Usnadňuje přímou montáž

DP primární prvky

- Integrální clona pro malé světlosti potrubí
- Vsunovací primární prvek Annubar® pro velké světlosti potrubí
- Kompaktní clony s usměrněním rychlostního profilu, které při instalaci vyžadují minimální délky rovných úseků



Oddělovací membrány

- Pro procesní média s vysokou teplotou, média korozivní nebo viskózní
- Různé provedení procesního připojení, provedení pro přímou montáž a provedení membrán s kapilárou
- Systém pro měření hladiny pomocí diferenčního tlaku Tuned-Systems™ pro dosažení nejlepších parametrů

Rosemount 3051S

Stručný přehled řady Rosemount 3051S

Řada Rosemount 3051S_C v koplanárním provedení pro měření diferenčního, relativního a absolutního tlaku

Viz "Informace pro objednání" na straně 30

- Parametry až do přesnosti 0,025 % a s přestavitelností rozsahu 200 : 1
- Dostupná provedení s desetiletou stabilitou a dvanáctiletou zárukou
- Koplanární řešení platformy umožňuje přímou monáž ventilových souprav, primárních prvků a oddělovacích membrán
- Kalibrovaná rozpětí od 0,025 kPa až po 27 600 kPa
- Oddělovací membrány z nerezové oceli 316L, z materiálů Hastelloy® C, Monel®, Tantal, z pozlaceného Monelu nebo z pozlacené nerezové oceli 316L



Řada Rosemount 3051S_T v provedení In-line pro měření relativního a absolutního tlaku

Viz "Informace pro objednání" na straně 35

- Parametry až do přesnosti 0,025 % a s přestavitelností rozsahu 200 : 1
- Dostupná provedení s desetiletou stabilitou a dvanáctiletou zárukou
- Kalibrovaná rozpětí od 2,07 kPa až po 68 900 kPa
- Možnost výběru procesního připojení
- Oddělovací membrány z nerezové oceli 316L a z materiálu Hastelloy® C



Řada Rosemount 3051S_L pro měření hladiny

Viz "Informace pro objednání" na straně 39

- Parametry až do přesnosti 0,065 % a s přestavitelností rozsahu 100 : 1
- Svařovaný oddělovací systém naplněný přenosovým médiem poskytuje ve své třídě nejvyšší systémovou spolehlivost
- Samostatné oddělovací membrány v zapuštěném provedení a s možností oplachování a membrány s přesazením 51 mm, 102 mm a 152 mm
- Možnost výběru plnicí kapaliny a materiálů smáčených konstrukčních dílů
- Hodnota měření v jednotkách hladiny a objemu, signalizace procesních výstrah



Řada Rosemount 3051SF pro měření průtoku

Více informací naleznete v nabídce jednotlivých typů průtokoměrů

- Platformy průtokoměrů založeny na průkopnických konstrukcích primárních prvků
- Kompletní dodávka sestavy, sestava testována na těsnost montáže, společně kalibrována a připravena pro přímou instalaci do technologie
- Hodnota měření v jednotkách průtoku, signalizace procesních výstrah a oříznutí měření při nízkém průtoku
- Přesnost vztažená k měřené hodnotě průtoku v procentech a s přestavitelností rozsahu 14 : 1



Rosemount 3051SFC
Kompaktní průtokoměr s clonou
s usměrněním rychlostního profilu



Rosemount 3051SFP
Průtokoměr s integrální clonou



Rosemount 3051SFA
Vsunovací průtokoměr Annubar