

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**Fakulta strojní**

**Katedra energetiky**

**Návrh stendu pro kalibrování tlakových převodníků do  
30MPa**

**Proposal of Apparatus for 30MPa Pressure Transducer  
Calibration**

**Student:**

**Kučera Jan**

**Vedoucí bakalářské práce:**

**Ing. Radim Janalík, CSc.**

**Ostrava 2010**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra energetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Kučera**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 3907R004 Provoz a řízení v energetice  
Téma: **Návrh stendu pro kalibrování tlakových převodníků do 30 MPA**  
**Proposal of Apparatus for 30MPa Pressure Transducer Calibration**

Zásady pro vypracování:

- a) textová část
1. Popis tlakoměrů s elektrickým výstupem a inteligentních tlakoměrů
  2. Metodika zkoušení tlakoměrů
  3. Návrh zařízení pro kalibrování tlakoměrů
  4. Navržení způsobu snímání a archivace dat při kalibraci
- b) grafická část
- výkresová dokumentace navrženého stendu

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] RAJNIAK a kolektiv. *Tepelno-energetické a emisné meranie*. Ister Science, 1997.  
[2] AMBROS, F. *Experimentální metody a technika*. Praha, ČVUT, 1993  
[3] JENČÍK, J., VOLF, J. *Technika měření*. Praha, ČVUT, 2000  
[4] KADLEC, K. *Snímače tlaku – principy, vlastnosti a použití* (část 1,2,3,4). AUTOMA č.2, č.7, č10, č11. 2007  
[5] EA-10/17, Dokument pro kalibraci elektromechanických tlakoměrů, ČIA, o.p.s., 2004  
[6] Kalibrační zařízení tlakoměrů – <http://www.tectra.cz>, <http://www.bhvsenzory.cz>, <http://www.dex.cz>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Radim Janalík, CSc.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 25.5.2010

Podpis 

### PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Radimu Janalíkovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracovávání mé bakalářské práce.

V Ostravě dne 25.5.2010



(podpis autora)

Prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 25.5.2010



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jan Kučera

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Lichnov 102, okr. Nový Jičín

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KUČERA, J. Návrh stendu pro kalibrování tlakových převodníků do 30MPa. Ostrava: katedra energetiky, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2010, 36 s. Bakalářská práce, vedoucí Ing. Radim Janalík, CSc.

Bakalářská práce se zabývá metodikou kalibrace tlakových měřidel a návrhem stendu pro kalibraci tlakových převodníků do 30 MPa. V úvodu, je definováno měření tlaků, fyzikální principy tlakoměrů a způsoby měření těmito tlakoměry. Část práce je zaměřena na tlakoměry s elektrickým výstupem a inteligentní tlakoměry. Následně jejich kalibrací a použitím. Dále jsem navrhoval stend pro kalibraci tlakových měřidel do 30MPa, postup měření na navrhovaném stendu a způsob archivace a ukládání naměřených hodnot.

## THE ANNOTATION OF THESIS

KUČERA, J., Proposal of Apparatus for 30MPa Pressure Transducer Calibration. Ostrava: Department of Power Engineering, Faculty of Mechanical Engineering VŠB - Technical University of Ostrava, 2010, 36 p. Thesis, head: Ing. Radim Janalík, CSc.

Bachelor thesis deals with the methodology and calibration of pressure gauges Stend proposal for the calibration of pressure transducers up to 30 MPa. In the introduction, is defined by pressure measurements, physical principles and methods of measuring gauges these gauges. Part of this work is focused on pressure gauges with electrical output, and intelligent gauges. Subsequently, the calibration and use. I also suggested Stend for calibration of pressure gauges to 30MPa, the measurement procedure on the proposed Way Stend archiving and storage of measured values.

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Tlak a měřidla tlaku</b>	<b>10</b>
2.1	Tlak .....	10
2.1.1	Druhy tlaku .....	11
2.2	Tlakoměry .....	12
2.2.1	Tlakoměry kapalinové .....	14
2.2.2	Tlakoměry pístové .....	15
2.2.3	Tlakoměry deformační.....	16
2.2.4	Elektrické tlakoměry.....	19
<b>3</b>	<b>Popis tlakoměrů s elektrickým výstupem a inteligentních tlakoměrů</b>	<b>20</b>
3.1	Tlakoměry s elektrickým výstupem.....	20
3.2	Inteligentní tlakoměry.....	22
<b>4</b>	<b>Metodika zkoušení tlakoměrů</b>	<b>23</b>
4.1	Kalibrace převodníků SMART .....	24
<b>5</b>	<b>Návrh zařízení pro kalibrování tlakoměrů</b>	<b>26</b>
5.1	Volba kalibračních měřidel a příslušenství.....	27
5.1.1	Kalibrační měřidlo .....	27
5.1.2	Kontrolní měřidlo .....	29
5.1.3	Zdroj tlaku v soustavě.....	29
5.1.4	Ventily .....	30
5.1.5	Přívod kapaliny .....	31
5.2	Návrh stendu .....	31
<b>6</b>	<b>Navržení způsobu snímání a archivace dat při kalibraci</b>	<b>33</b>
6.1	Postup při kalibraci navrženým stendem.....	33
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>35</b>
<b>8</b>	<b>Seznam použité literatury</b>	<b>36</b>

## Seznam veličin, symbolů a zkratek

P	tlak	[Pa]
F	síla	[N]
I	proud	[A]
U	napětí	[V]
S	plocha	[m <sup>2</sup> ]
$\rho$	hustota	[kg·m <sup>-3</sup> ]
g	gravitační zrychlení	[m·s <sup>-2</sup> ]
h	výška hladiny	[m]
$\Delta h$	rozdíl výšky hladin	[m]



# 1 ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá návrhem stendu pro kalibrování tlakových převodníků v rozsahu tlaků od 0 do 30MPa. Práce zahrnuje seznámení s druhy tlaků, jenž lze v dnešní technické praxi měřit. Přehled jednotlivých využívaných tlakových měřidel v běžné praxi i laboratořích, především však tlakoměrů s elektrickým výstupem a inteligentních tlakoměrů a jejich kalibrací. Následně jsem navrhoval zařízení, neboli stand, pro kalibraci měřidel tlaku a návrh způsobu zaznamenávání dat při jeho použití.

Návrh stendu obnáší zvolení etalonového tlakového měřidla, kontrolního měřidla, způsob zvyšování tlaku v soustavě stendu a návrh konstrukce kalibračního stendu. Návrh je doložen výkresovou dokumentací, doloženou jako příloha této bakalářské práce.

Zařízení je určeno spíše pro školní účely, rychlé a jednoduché ověření funkčnosti kontrolovaných měřidel. Pro využití v technické praxi by bylo třeba nechat toto zařízení projít kontrolou specializovaného pracoviště (například pro ověření těsnosti stendu a navrhovaných dílů).

## 2 TLAK A MĚŘIDLA TLAKU [1,2 ,3, 10]

### 2.1 Tlak

Tlak, nebo také měrný tlak, je jednou ze základních fyzikálních veličin v technice. Pro potřeby běžné praxe je definován jako podíl elementární síly  $dF$ , působící ve směru normály na elementární kolmou plochu  $dS_N$ :

$$p = dF/dS_N \quad [\text{Pa}] \quad (1)$$

Hlavní jednotkou tlaku soustavě SI je pascal (Pa). Je to tlak, jenž vyvolá síla  $F$  o velikosti 1N, na  $1\text{m}^2$  plochy  $S$  na kterou působí kolmo a rovnoměrně.

Sílu  $F$ , za podmínek, že je tlak konstantní a rovnoměrný, určíme pomocí součinu:

$$F = p \cdot S \quad [\text{N}] \quad (2)$$

U tuhých pevných látek nelze docílit, aby povrchy styčných ploch byly ideální, a tento vztah převádíme v jistou formu střední hodnoty styčného tlaku a nazýváme jej měrným tlakem. Výše uvedená definice nemá naopak žádné problémy při určování tlaku v tekutinách, zde se ale objevuje jiné pojetí definice tlaku a to tlak hydrostatický:

$$p = \rho \cdot g \cdot h \quad (2)$$

Kde:

$\rho$  - hustota tekutiny [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

$g$  - gravitační zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]

$h$  - výška hladiny od měřeného místa [m].

Tlak je mezi jednotlivými fyzikálními veličinami jistou anomálií, protože na rozdíl od nich má dvě definiční metody měření. Princip provedení definiční metodu realizují tlakoměry kapalinové (viz. obr. 2.3) i pístové (viz. obr. 2.4).

V proudících tekutinách rozlišujeme tlak kinematický  $p_k$ , a jsou-li tekutiny stlačitelné, ještě tlak dynamický  $p_d$ .

$$p_k = 1/2 \rho \cdot w^2 \quad (3)$$

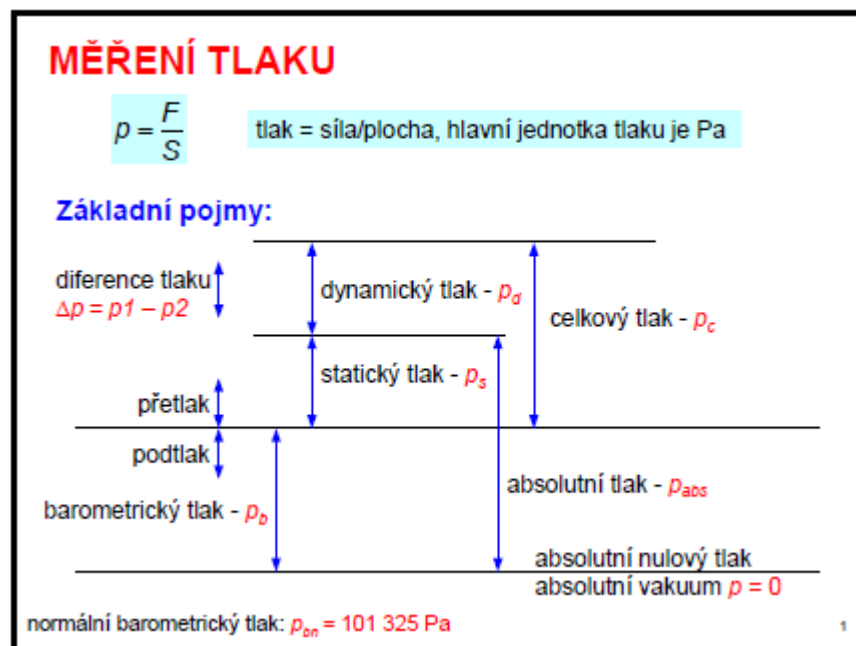
$$p_d = p_k \cdot s \quad (4)$$

Jednotka tlaku pascal (Pa) získala svůj název po významném francouzském fyzikovi, matematikovi a filozofovi Blaise Pascalovi. Protože pascal je jednotkou velmi malou, využívá se v praxi především jejích násobků, což je kPa a MPa. V meteorologii je povoleno použití jednotky hPa (1 hPa =  $10^2$  Pa). V praxi se i u nás můžeme setkat s různými druhy dalších jednotek tlaku, které ale z pohledu mezinárodních i našich norem již několik desetiletí není dovoleno používat. Dle nejnovějších harmonizovaných norem je vedle značení Pa povoleno používat pouze jednotku bar (1 bar =  $1 \cdot 10^5$  Pa).

### 2.1.1 Druhy tlaku

Tlak můžeme z hlediska vyjádření udávat vůči dvěma vztažným hodnotám, absolutní tlakové nule a atmosférickému tlaku. Podle tohoto kritéria můžeme hovořit o: tlaku absolutním  $p_{abs}$ , přetlaku, podtlaku (vakuu) a tlaku rozdílovém (diferenčním)  $\Delta p$ . Druhy tlaků jsou znázorněny na obrázku 2.1.

Obr. 2.1, Schéma druhů tlaku [13]



Rozsah měřených tlaků se v technické praxi pohybuje v rozsahu  $10^{-12}$  až  $10^{12}$  Pa.

**Absolutní nulový tlak (absolutní vakuum)** - je teoretický nulový tlak v prostoru dokonale zbaveném jakýchkoli hmotných částic.

**Absolutní tlak  $p_{abs}$**  - je tlak měřený k absolutní tlakové nule.

**Barometrický (atmosférický) tlak  $p_b$**  - je tlak vzduchu v daném místě a za skutečných podmínek. Jde o normální tlak působící na člověka. Fyzikální hodnota normálního barometrického tlaku přepočtená na 0 °C a na hladinu moře je 101 325 Pa. Značí se také jako 1 atm.

**Přetlak** - je rozdíl absolutního tlaku vyššího než barometrický tlak a barometrického tlaku.

**Podtlak** - je rozdíl barometrického tlaku a absolutního tlaku, který je nižší než barometrický tlak. Malé podtlaky blízké barometrickému tlaku bývají často označovány jako tah.

**Vakuum** - je ve fyzikálním pojetí označení pro jakýkoli tlak nižší, než je barometrický tlak.

**Rozdílový tlak (tlaková diference)  $\Delta p$**  - je rozdíl dvou tlaků, z nichž ani jeden se neshoduje s barometrickým tlakem.

## 2.2 Tlakoměry

Jsou přístroje pro měření tlaku, jenž jsou děleny ze dvou základních hledisek. Prvním hlediskem je rozdělení dle jejich určení a druhé kritérium zohledňuje princip jejich činnosti.

Podle určení dělíme tlakoměrné přístroje zpravidla na:

**manometry** – přístroje pro měření přetlaků

**barometry** – přístroje výhradně určené pro měření barometrického tlaku

**vakuumetry** – přístroje pro měření podtlaků, přičemž přístroje pro měření malých podtlaků se často označují jako tahoměry

**manovakuometry** – přístroje, které mohou měřit jak podtlaky, tak přetlaky

Dle principu činnosti rozdělujeme tlakoměry rovněž do čtyř základních skupin:

**Kapalinové tlakoměry** - měřidla využívají ke své činnosti tlakoměrnou kapalinu, princip měřidla se opírá o definici hydrostatického tlaku. Tlakoměrnou kapalinou mohou být voda, rtuť, líh, popř. další speciální kapaliny. Podstatnou vlastností, která ovlivňuje použití a zejména rozsah kapalinového tlakoměru, je hustota kapaliny.

**Pístové tlakoměry** - je skupina tlakoměrů splňující definiční rovnici tlaku, tentokrát ve tvaru prvního definičního vztahu (1). Přístroje využívají kompenzační metodu a pracují na principu vyrovnání tlakové síly, působící na jedné straně pístu, s vnější silou, jenž je vyvolána pružinou či závažím.

**Deformační tlakoměry** - jsou v technické praxi nejrozšířenější. Jejich základem je deformační prvek – tlakoměrná pružina v podobě membrány, trubice, krabice či vlnovce.

**Elektrické tlakoměry** - Přístrojů, které přímo využívají elektrických vlastností, resp. přímé závislosti mezi tlakem a některou elektrickou veličinou, je sice široká škála, ale význam pro praxi mají především ty z nich, jež svým použitím obsáhnou extrémní hodnoty tlaků. Používají se k měření velmi vysokých přetlaků nebo naopak extrémního vakua, což jsou vysoce specializované oblasti použití. Na jejich popis a využití se podrobněji zaměřím v kapitole 3.

Tab1. Rozsah měřených tlaků vzorových tlakoměrů [1]

Tlakoměry	Vakuum		Podtlak		Přetlak			Informativní maximální chyba (%)
	extrémní	technické	velký	malý	malý		velký	
	Absolutní tlak (Pa)							
	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>3</sup>	Pb	10 <sup>7</sup>	10 <sup>10</sup>	
Bolometrické vakuometry	-----							1 až 2
Kompresní vakuometry		-----						~ 5
Kapalinové			-----					0,1 až 1
Membránové deformační			-----					1,5 až 4
Trubicové deformační			-----					0,6 až 4
Vlnovcové deformační			-----					1,5 až 4
Pístové					-----			0,02 až 0,1
Odporové						-----		~ 3

## 2.2.1 Tlakoměry kapalinové

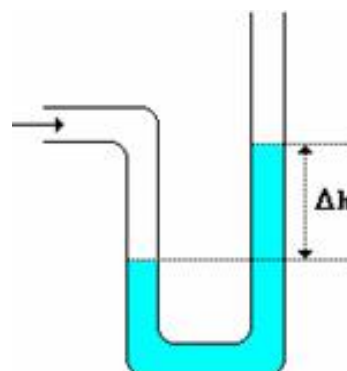
Tlakoměry kapalinové jsou přístroje, které využívají hydrostatického tlaku sloupce kapaliny (viz obr. 2.2). Jejich použití a rozsah měření je tedy značně omezen především hustotou použité kapaliny, kterou například představuje velký rozdíl mezi hustotou vody a rtuťí. Další nevýhodou možných kapalin je to, že líh je těkavý a rtuť jedovatá. Jedovatost rtuti a jejích par v současné době velmi omezuje její použití. Dále problémy způsobují také kapilární jevy a výrazná teplotní závislost hustoty.

Tyto přístroje mají především využití v metrologických laboratořích, protože splňují jednu z definičních rovnic tlaku při definování jednotek a kalibrační návaznosti měřidel. Nezastupitelné jsou rovněž jako přesné barometry. Většinou je známe jako nádobkové přístroje, U manometry, zvonové, prstencové a plovákové manometry, kompenzační mikromanometry či manovakuometry, kompresní vakuometry a samozřejmě jako nejrůznější provedení barometrů.

V každodenní praxi jsme i v automatizačních aplikacích dříve vídali tyto přístroje, ale v současné době je až na výjimky plně nahradily modernější tlakoměry, zejména deformační přístroje s elektrickým výstupem.

Jeden z historicky prvních kapalinových tlakoměrů je tzv. U-trubice, kde se pomocí nonia měřidla, odečítal měřený tlak z rozdílu výšky hladin kapaliny  $\Delta h$ . Schéma U-trubice je na obrázku 2.2.

Obr.2.2, Schéma principu kapalinového tlakoměru



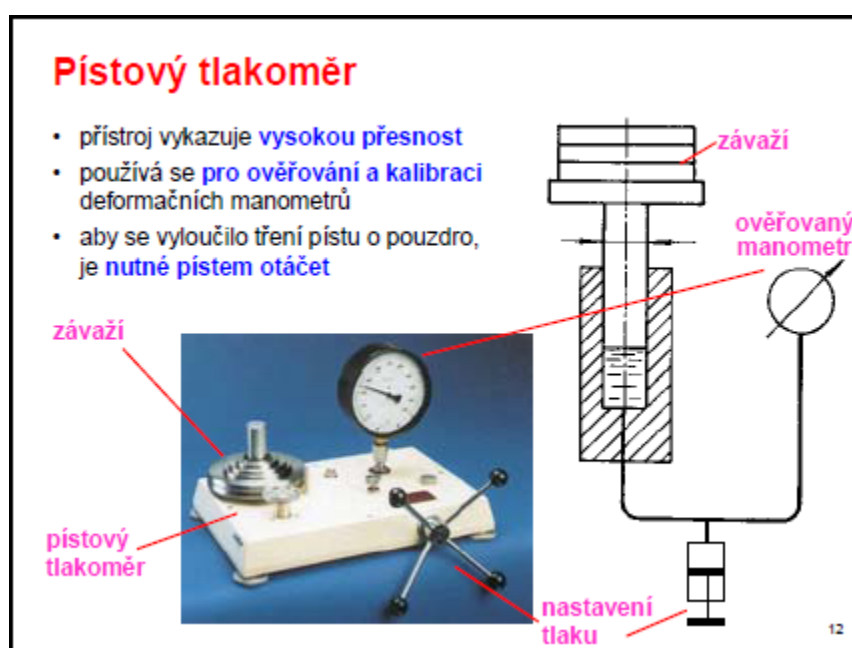
Obr. 2.3, Kapalinový tlakoměr [9]



## 2.2.2 Tlakoměry pístové

Stejně jako tlakoměry kapalinové, i pístové přístroje si udržují své postavení především v laboratorní metrologii. Většina etalonových přístrojů a kalibračních zařízení je postavena na bázi pístových tlakoměrů. Pístové tlakoměry dosahují velké přesnosti až v řádech setin procenta, a proto jsou vhodné právě k těmto aplikacím. Avšak současně pro náročnost na přesnost výroby pístu a válce i jejich vzájemného těsnění za provozu, jsou tyto přístroje velmi nákladné. V praxi se především stále používají jako kontrolní měřidla tlaku nahuštění pneumatik. Tyto přístroje pracují výhylkovou metodou, kdy tlaková síla na jedné straně pístu je vyrovnána stejným silovým účinkem stlačené pružiny na jeho druhé straně.

Obr 2.4, Schéma pístového tlakoměru [13]



### 2.2.3 Tlakoměry deformační

Deformační tlakoměry jsou konstrukčně jednoduchá měřidla, dostatečně spolehlivá a nenáročná na údržbu. Používají přesně definovaný deformační člen, jehož výchylka, či deformace, je úměrná působícímu tlaku. Vhodnou volbou tvarových a rozměrových parametrů lze dosáhnout toho, že funkční závislost je lineární, nebo linearizaci umožňuje. Z těchto důvodů jsou nejrozšířenějšími měřidly tlaku v technické praxi.

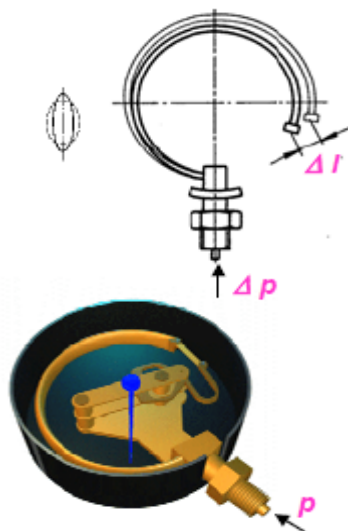
Podle použitého deformačního členu se tlakoměry dělí do čtyř základních skupin:

- trubicové
- membránové
- vlnovcové
- krabicové

#### Trubicový tlakoměr

Základ trubicových tlakoměrů tvoří trubice nekruhového průřezu, nejčastěji stočená do kruhového oblouku. Po přivedení přetlaku dovnitř trubice se ta nejprve snaží oválný průřez změnit na průřez kruhový a přitom zároveň napřimuje kruhový oblouk. Výchylka konce trubice je převedena na výchylku ukazatele ručičky, nebo na signál pro dálkový přenos. Nejčastější použití těchto snímačů je v rozsazích  $10^3$  až  $10^{10}$  Pa. Příklad trubicového tlakoměru je na obrázku 2.5.

Obr.2.5, Trubicový tlakoměr (Bourdonův) [13]





## Membránové tlakoměry

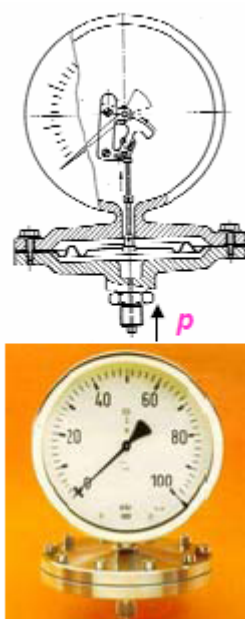
Při měření membránovými tlakoměry (viz obr. 2.6) je využito membrány, kruhové desky vetknuté po svém obvodu, k převodu tlaku na průhyb jejich středu. Tlakoměry mohou být s vlastní tuhostí (např. kovové) a bez vlastní tuhosti (nejčastěji pryžové).

U membrán bez vlastní tuhosti je funkce charakterizována vnější silou, dodanou například deformací (stlačením) pružiny, jež se opírá o vyztužený střed membrány.

Membrány s vlastní tuhostí vyrovnávají působící tlak svou pružnou deformací. Zřídka to jsou rovinné desky, protože ty vykazují značnou nelinearitu a potýkáme se u nich s tzv. lupáním při průchodu membrány nulovou polohou. Tyto nedostatky odstraňuje soustředné zvlnění membrán.

Výhoda membránových tlakoměrů je jejich snadná aplikace pro měření všech druhů tlaku a také snadné převádění výchylky středu membrány na elektrický signál. Základem většiny diferenčních manometrů jsou membrány a jejich rozsah použití se zpravidla pohybuje v rozmezí  $10^2$  až  $10^8$  Pa.

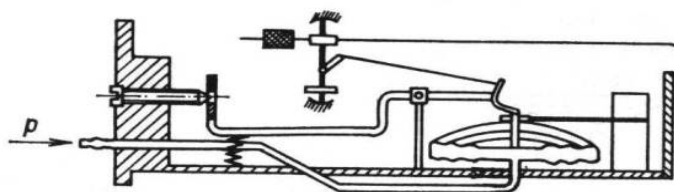
Obr.2.6, Membránový tlakoměr [13]



## Krabicové tlakoměry

Krabicové tlakoměry jsou vytvořeny pomocí spojení dvou membrán. Tím se ve srovnání s jednoduchou membránou zdvojnásobí průhyb středu dna krabice. Měřený tlak se většinou přivádí dovnitř krabice. Krabicové tlakoměry jsou vhodné i pro měření malých podtlaků, případně technického vakua, zejména u sériového řazení několika krabic v tzv. krabicový měch.

Obr. 2.7, Krabicový manometr

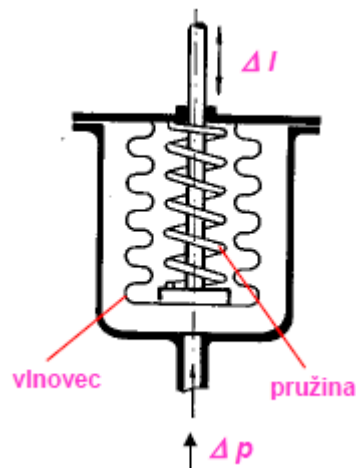


Jiná varianta uspořádání je tzv. aneroidní systém. V tomto uspořádání je vzduchotěsně uzavřen prostor krabice, z níž byl odčerpán vzduch, a bylo v ní tak dosaženo extrémního vakua, blízkého absolutní tlakové nule. Měřený tlak působí vně krabice a tlakoměr pracuje jako měřidlo absolutního tlaku, popř. deformační barometr.

## Vlnovcové tlakoměry

Základ tlakoměru tvoří vlnovec (viz obr. 2.7), který býval zejména v minulosti označován jako kovový měch. Výhoda těchto přístrojů je, že při vhodném tvarovém a materiálovém provedení lze dosáhnout lineární charakteristiky. Tyto tlakoměry se z tohoto důvodu častěji používaly než pro měření, spíše jako součásti regulačních pneumatických systémů. Často bývají v praxi kombinovány v měřicích systémech, převodnicích i samostatných regulátorech s pákovými převody a přídatnými vnějšími pružinami. Vlnovcové tlakoměry jsou většinou používány v rozsazích tlaků  $10^3$  až  $10^6$  Pa.

Obr.2.7, Vlnocový tlakoměr [13]

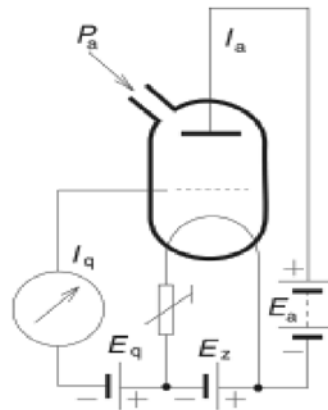


## 2.2.4 Elektrické tlakoměry

Elektrické tlakoměry využívají přímé funkční závislosti mezi tlakem a elektrickou veličinou. Díky tomu mohou dosahovat větší přesnosti než měřidla nepřímá, kdy může být přesnost čidla zkreslena použitým převodníkem. Přímou závislost elektrické veličiny ale nevyužijeme v běžných rozsazích přetlaků, ale pouze u speciálních odporových manometrů pro tlaky v řádech stovek megapascalů (MPa).

Mnoho druhů elektrických manometrů nalezneme v oblastech extrémního vakua. Příkladem může být ionizační vakuometr, nejvhodnější pro měření absolutních tlaků  $10^{-6}$  až  $10^{-12}$  Pa. Jeho výhodou, podobně jako u mnoha dalších elektrických tlakoměrů, je lineární závislost. Mřížkový proud  $I_g$  je přímo úměrný absolutnímu tlaku  $p_a$ . Schematicky je zobrazen ionizační vakuometr, konstrukcí velmi podobný elektronce, na obrázku 3.1.

Obr.3.1, Schéma ionizačního vakuometru [10]



### 3 POPIS TLAKOMĚRŮ S ELEKTRICKÝM VÝSTUPEM A INTELIGENTNÍCH TLAKOMĚRŮ [1, 10]

#### 3.1 Tlakoměry s elektrickým výstupem

Tyto tlakoměry bývají často nesprávně označovány jako elektrické tlakoměry. Správně bychom je měli ve skutečnosti nazývat deformační tlakoměry s elektrickým výstupem (viz obr. 3.2). Základ tvoří některý z deformačních tlakoměrných členů, nejčastěji membrána, někdy také trubice, nebo krabice. Posunutí (průhyb) měrného bodu tlakoměrné pružiny je pomocí jednoduchého mechanicko-elektrického převodníku přetransformováno na elektrický signál. Ve většině případů je to proudový výstup 4 až 20 mA, případně 0 až 10 V.

Co se týče principu, můžeme využít téměř veškerých dostupných principů elektrických aktivních i pasivních převodů. Trubicové manometry bývají často řešeny pomocí prodloužené hřídelky ručičky spojené s odporovým potenciometrickým vysílačem. U měřidel na principu membrán je možné s výhodou převádět průhyb jejich středu pomocí indukčních, indukčnostních, kapacitních nebo potenciometrických snímačů posunutí. Pro měření dynamické změny tlaků se využívají piezoelektrické převodníky.

Obr.3.2, Tlakoměr s elektrickým výstupem v mA či V [11]



Nejčastější úpravou těchto měřidel je použití tenzometrů, které následně bývají nesprávně nazývány, jako tenzometrické manometry. Základ zde přitom tvoří deformovaná tlakoměrná membrána (případně krabice), která je opatřena tenzometrickým můstkem (úplným nebo polovičním) z drátkových nebo polovodičových tenzometrů.

Nevýhodou snímačů využívajících tenzometrů je nízká úroveň výstupního signálu. U mnohých typů je tato nevýhoda řešena vestavěním předzesilovače, takže snímač dává následně výstupní signál v úrovni vhodné k přenosu.

Další nevýhody jsou značná citlivost na vliv prostředí, potřeba přesně a profesionálně nalepit drátkové či fóliové tenzometry. Posledně jmenovaný nedostatek vzniká při amatérských úpravách senzorů. Firmy specializující se na výrobu tenzometrických snímačů tlaku mají tuto technologii dokonale zvládnutou. Nejčastější technologií, kterou jsou jednotlivé měřicí rezistory tenzometrů, případně další čidla parametrů prostředí, především teploty, vytvářeny vakuovým naprašováním přímo na kovovou membránu.

Do popředí se dostávají nové typy snímačů, které nahrazují kovovou membránu membránou křemíkovou. Kdy je technologií výroby polovodičové elektroniky přímo nanesen příslušný můstek včetně korekčních teploměrů. Nevýhodou těchto snímačů je nízká odolnost proti dynamickému přetížení.

Také se setkáváme i s využitím vláknové optiky. Základem těchto snímačů je opět membrána, která při své deformaci zasouvá clonku mezi dva konce optických vláken, či přímo deformuje optický kabel a tím mění některý charakteristický parametr světelného paprsku. Pro využití principu pomocí vláknové optiky musejí být průhyby membrány velmi malé. Pak lze vytvořit velmi spolehlivé tlakové spínače, kdy posunutá clonka přeruší světelný paprsek a spínač změní svůj stav.

## 3.2 Inteligentní tlakoměry

Inteligentní snímače se v dnešní době stále více uplatňují. Znamější jsou pod označením SMART (chytrý). Tyto snímače v sobě shromažďují velké množství funkcí. Od tlakoměrů s elektrickým výstupem se odlišují především tím, že obsahují procesor a kromě analogových i číslicových převodníků jsou doplněny ještě příslušnou pamětí, v níž mohou být uloženy korekční i kalibrační tabulky. Snímač tlaku bývá také doplněn měřením a korekcí vlivů teploty, takže výsledky lze velmi výrazně zpřesnit.

Obr.3.3, Snímač 3051C SMART [9]



Tlakový snímač SMART zpravidla umožňuje zvolit si mezi režimem měření absolutního tlaku, přetlaku či tlakové difference. Dovoluje plynule nastavení nuly a rozsahu měření. Veškeré operace jsou realizovány programově, buď pomocí speciálního softwaru prostřednictvím nadřazeného počítače, nebo pomocí kompatibilního ručního komunikátoru. Tyto technická vylepšení samozřejmě zvyšují cenu těchto měřidel. Příklad inteligentního snímače pro procesní výrobu je na obrázku 3.3. Je to snímač 3051C SMART firmy Fisher-Rosemount. Tyto snímače mají výhodu v širokém výběru výstupních veličin a v obsáhlé paměti pro korekce. Při použití patřičného programového vybavení lze snadno přeprogramovat výstup z těchto snímačů. Jedinou nevýhodou těchto snímačů je tedy několikanásobně vyšší cena oproti skupině snímačů s jednoduchým elektrickým výstupem. V této ceně zákazník platí nejen veškerý komfort měření, již zmiňovanou širokou nabídku funkcí, lokální zobrazení i dálkový přenos dat, vysokou třídu přesnosti měření, ale rovněž dostatečné krytí použité elektroniky vůči vlivu prostředí v jeho okolí.

## 4 METODIKA ZKOUŠENÍ TLAKOMĚRŮ [7,12]

Pro využití měřicího zařízení v jakémkoliv oboru potřebujeme jistotu, že výsledky měření jsou správné a přesné. Proto by měly být měřicí přístroje minimálně jednou ročně zkontrolovány. Kalibrace měřidel zdokonaluje přesnost měření a zajišťuje, že přístroje splňují požadavky systémů řízení kvality a průmyslových standardů. Kalibrace také napomáhá zvýšení produktivity.

Kalibrace tlaku spočívá v porovnání údajů kontrolovaného měřidla s etalonovým měřidlem. Pro kalibraci tlaku je zapotřebí stabilní zdroj tlaku a kalibrátor tlaku. Slouží nám k tomu závažové tlakové kalibrátory, které jsou určeny především do laboratoří, nebo digitální tlakové kalibrátory, které lze použít v laboratoři i v provozu. V současnosti jsou nejčastěji používány digitální manometry a tlakové převodníky. Pro kalibraci tlakových snímačů přímo na pozici se využívají dokumentační tlakové kalibrátory.

Kalibrace měřidel je potřebná z více důvodů, například pro splnění vládních nařízení, nebo splnění požadavků programů pro řízení kvality (ISO 9000). Navíc žádné přístroje nevydrží věčně a provozní přístroje (dokonce i přístroje smart) driftují (neboli zvyšují dlouhodobé pomalé změny v převodní charakteristice snímače) v důsledku změn teploty a vlhkosti, nebo vibrací. Kalibrace se provádí jen s použitím referenčního přístroje, tj. etalonu. Komunikátor, nebo samotný převodník nelze prohlásit za referenční přístroj. Nulování přístroje není kalibrace. To znamená, že i přístroje smart musí být řádně kalibrované. Při revizi by se měla kontrolovat lhůta mezi jednotlivými funkčními zkouškami a kalibracemi.

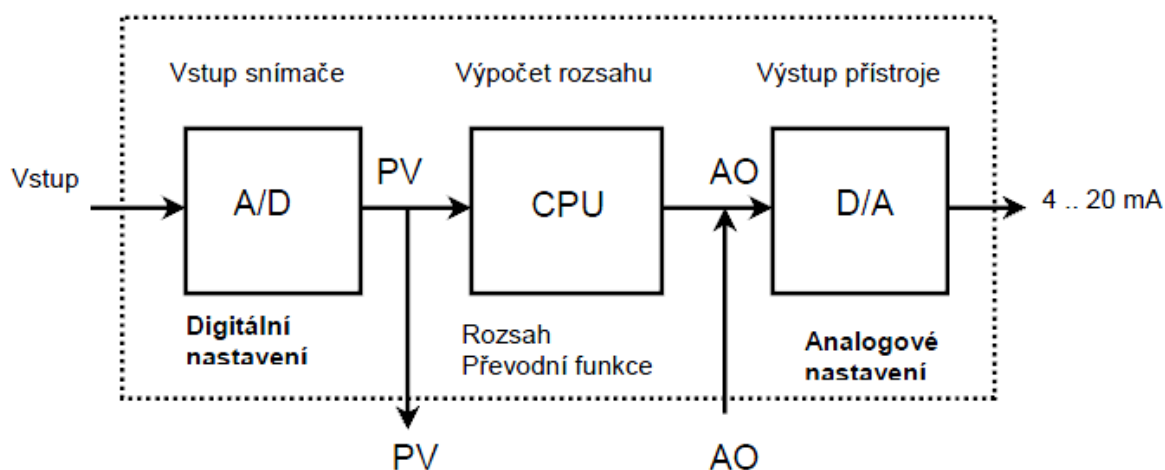
Pomine-li se skupina stanovených měřidel, která jsou definována zákonem o metrologii a navazujícími vyhláškami ministerstva průmyslu a obchodu (např. měřidel používaných v obchodním styku nebo měřidel majících zásadní vliv na bezpečnost), neexistuje žádný všeobecně platný předpis, který by určoval, jak často, s jakou přesností a jakou metodou se má provádět kalibrace – to je na odpovědnosti příslušného uživatele měřidla.

## 4.1 Kalibrace převodníků SMART

U běžných převodníků tlaku je mezi vstupem a výstupem mechanicko - elektrický převod, který může být upraven nastavením nuly a rozpětí. Kalibrace a nastavení běžného převodníku tlaku je poměrně jednoduché. Před seřízením provedeme zkoušku (měříme vstup a výstup, sledujeme odchylku od optimální hodnoty), pokud byla kalibrace nepřesná, převodník seřídíme (nastavíme nulu a rozpětí) a provedeme zkoušku znova.

V případě inteligentních tlakoměrů (smart) je seřízení složitější. Za prvé, na úpravu a nastavení je potřebný přístroj (komunikátor), který používá komunikační protokol HART, což je jediný způsob, jak změnit parametry převodníku. Dále má převodník smart mikroprocesor, který zpracovává údaje mezi vstupem a výstupem. Jak znázorňuje obrázek 4.1, převodník smart obsahuje obvykle tři části, z nichž každá může být samostatně ovlivněna.

Obr. 4.1, Složení převodníku SMART



První částí je část vstupního snímače, která převádí signál z tlakového snímače do digitální formy (pomocí mikroprocesoru a nebo údajů, které jsou zadány výrobcem). Tuto digitální hodnotu PV (nazvaná jako primární hodnota, primary value) už lze použít jako hodnotu měření, jestliže se analogový signál 4 až 20 mA nevyužívá pro řízení procesu. Vstupní část může být samostatně nastavována a kalibrována. Pro nastavení této části je potřebný etalon tlaku a zároveň je potřebný komunikátor HART nebo kalibrátor s komunikací HART.

Druhá část je část výpočtu rozsahu. Zde je hodnota PV přepočítána na digitální hodnotu reprezentující požadovanou výstupní hodnotu přístroje v miliampérech (mA). Při výpočtu se bere v úvahu požadovaný rozsah měření a převodní funkce. Tato část je pouze



převodní a neovlivňuje vstupní (digitální) nastavení, nebo výstupní (analogové) nastavení. Jedná se pouze o převod jedné digitální hodnoty na druhou. Ke změně rozsahu, nebo jiných parametrů je potřebný komunikátor, či kalibrátor s komunikací HART.

V třetí části, části výstupu přístroje, je digitální hodnota požadované výstupní hodnoty nakonec převedena na analogovou hodnotu 4 až 20 mA. Také zde je rovnice, která je zadána výrobcem, a výstupní část může být nastavována a kalibrována. K nastavení a kalibraci této části je potřebný etalon (zařízení pro měření mA) – také je potřebný komunikátor HART nebo kalibrátor s komunikací HART.

V závislosti na aplikaci je třeba buď nastavit a kalibrovat digitální část vstupu snímače, nebo obě dvě části – část vstupu snímače a část výstupu přístroje.

Pokud je použita při řízení procesu pouze digitální hodnota PV, potom je potřebné provést pouze nastavení a kalibraci části vstupního snímače. V tomto případě potřebujeme etalon tlaku schopný komunikace HART.

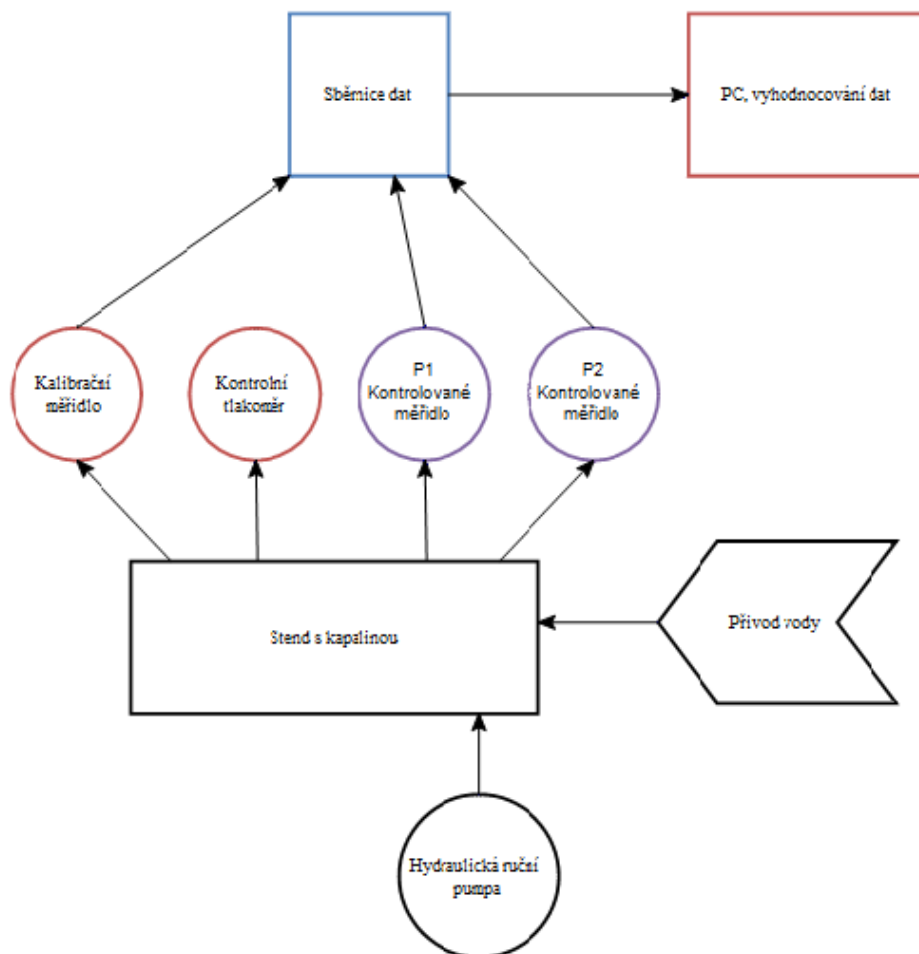
Pokud se při řízení procesu používá analogový signál 4 až 20 mA, potom je potřebné nastavit i část výstupu přístroje. To vyžaduje etalon pro měření mA, podle kterého se tato část nastavuje a kalibruje. Pro provedení takového nastavení a kalibrace je nejpraktičtější použít kombinovaný etalon s komunikátorem.

Kalibrace převodníku „smart“ může být provedena běžným kalibračním zařízením, ale pro nastavování je potřeba přístroj, který je schopen komunikovat se zkoušeným přístrojem pomocí protokolu HART.

## 5 NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO KALIBROVÁNÍ TLAKOMĚŘŮ [4]

Navrhované zařízení pro kalibrování tlakoměrů se skládá z několika funkčních částí. Při mém návrhu zařízení volím multifunkční kalibrátor Beamex MC5, jako etalon pro následnou kalibraci měřidel. Dále volím jako kontrolní měřidlo digitální manometr s LCD displejem pro rychlé odečítání tlaku v soustavě. Pro navýšení, či změnu tlaku v soustavě volím ruční hydraulickou pumpu Beamex PGXH, jenž umožní dosáhnout požadovaného tlaku v soustavě, pro ověřování následně připojených kontrolovaných měřidel. Před ústí výstupů jsou umístěny kulové ventily, jež umožní práci či výměnu různých připojovaných měřidel aniž by musela být vypouštěna kapalina ze standu. Samotný stand je svařenec tvořen sedmi trubkami, z nichž jedna je většího průřezu. Dvou ocelových kruhových plecháčů pro zaslepení ze stran a čtyř hranolových plecháčů pro stabilitu standu. Pracovním médiem standu je kapalina, v mém případě voda. Schéma kalibračního standu na obrázku 4.1 přibližuje kalibrační soustavu s kontrolovanými tlakoměry P1 a P2.

Obr. 4.1 Schéma kalibračního standu



## 5.1 Volba kalibračních měřidel a příslušenství

Volba příslušenství a měřidel je založena na rozsahu tlaku, pro který jsou určena. V mém případě jsem navrhoval měřidla a části stendu pro rozsah tlaku od 0 do 30MPa. S přihlédnutím k bezpečnosti, nabídce daných měřidel a součástí u prodejců jsou všechny části stendu vhodné i pro vyšší tlaky, než je požadovaný maximální tlak 30MPa.

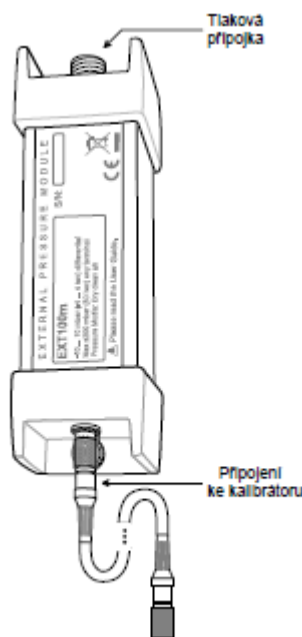
### 5.1.1 Kalibrační měřidlo [4,5]

Jako etalonové a kalibrační měřidlo volím multifunkční kalibrátor MC5 firmy Beamex. Jeho spolehlivost a využití v jaderných elektrárnách JE Temelín a Dukovany představuje kvalitu, jež mne přesvědčila k jeho využití.

Pro mnou požadovaný tlak musím využít vnější modul pro měření vyššího tlaku do 60MPa EXT600 (obr.4.2).

Multifunkční kalibrátor MC5 zároveň díky jeho vlastnostem využiji i jako převodník pro kalibraci měřidel tlaku s výstupem v mA či V.

Obr.4.2, Přetlakový modul EXT600



## Beamex MC5

Beamex MC5 (viz obr. 4.3) je modulární multifunkční kalibrátor s mnoha funkcemi umístěnými v jednom přístroji. Kalibrátor může být vybaven různými moduly a volitelným příslušenstvím pro kalibraci tlaku, teploty a elektrických veličin.

Obr.4.3, Multifunkční kalibrátor BeamexMC5



Kalibrátor MC5 má až tři vnitřní tlakové moduly s rozsahem do 16 MPa a vnější tlakové moduly s rozsahem do 100 MPa.

Všechny vnitřní tlakové moduly, do rozsahu 600 kPa, jsou chráněny uvolňovacím ventilem proti tlakovému přetížení. Přístroj je vybaven barometrickým modulem umožňujícím všem ostatním tlakovým modulům měřit absolutní tlak.

Tři konektory na boční straně kalibrátoru MC5 jsou určeny pro snímač teploty okolního prostředí, externí přenosnou tiskárnu, nebo komunikaci s PC a pro sériovou komunikaci s externími zařízeními. Konektor na horní straně kalibrátoru MC5 je určen pro vnější tlakové moduly. Volné místo je určeno pro druhý konektor umožňující budoucí možnost rozšíření funkcí kalibrátoru MC5. [citace]

Multifunkční kalibrátor MC5 se stal běžnou součástí činnosti společnosti I&C Energo nejen v JE Temelín, ale také v jaderné elektrárně Dukovany, i v dalších průmyslových provozech.

V praxi je multifunkční kalibrátor vedle snadného ovládání přístroje vysoce ceněn zejména z hlediska stability vlastností kalibrátoru, včetně jeho externích sond. Za dobu používání kalibrátorů značky Beamex se nevyskytl žádný problém. Nejdůležitějšími

vlastnostmi kalibrátorů MC5 jsou přesnost, univerzálnost, schopnost komunikovat s kalibračním programem v PC, použitelnost v provozních podmínkách a modularita.

### 5.1.2 Kontrolní měřidlo [9]

Kontrolní měřidlo slouží ke kontrole a ověřování funkčnosti při kalibračním měření. Má především roli bezpečnostní.

Obr.4.4, Digitální manometr BAROLI



#### Digitální manometr BAROLI

Volím digitální manometr s bateriovým napájením BAROLI. Je určen pro měření tlaku kapalin a plynů v rozmezí od 0 až do 60MPa. Vybaven je dvouřádkovým LCD displejem pro zobrazení měřené hodnoty a jednotky. Pohodlné čtení z manometru je zajištěno otočným displejem, takže je zajištěno pohodlné čtení v libovolné montážní poloze.

### 5.1.3 Zdroj tlaku v soustavě [4]

Volím ruční hydraulickou pupu PGXH firmy Beamex. Pumpa pracuje až v rozmezí do 70MPa proto je třeba nastavit pojistný ventil z důvodu nebezpečí překročení maximálního tlaku v soustavě. Tuto pumpu volím s příslušenstvím s redukcí 1/4“ NPT pro vysokotlakou hadici z důvodu připojení k mnou navrhovanému stendu.

## Pumpa PGXH

Obr.4.5 Ruční hydraulická pumpa PGXH



Pumpa PGXH (viz. Obr. 4.5) je ruční hydraulický zdroj tlaku, který lze využívat s mnoha různými kapalinami (např. s minerálním olejem, destilovanou vodou atd.). Volitelnou možností je použití kapaliny Skydrol. Tento zdroj tlaku je vybaven regulátorem objemu, který umožňuje jemné nastavení generovaného tlaku v rozsahu od 0 do 70MPa. Pumpa PGXH může být vybavena volitelně nastavitelným pojistným ventilem pro ochranu proti tlakovému přetížení.

### 5.1.4 Ventily

#### **Kulový, pákový ventil BKH [8]**

Pro uzavření soustavy a udržení tlaku v soustavě bylo potřeba zvolit vhodný ventil, který vydrží požadovaný tlak 30MPa. Pro jednoduché a rychlé ovládání volím kulový pákový ventil typ BKH s vnitřním závitem, jenž má potřebné technické parametry vyhovující mým požadavkům na kvalitu a spolehlivost.

Obr.4.6 Kulový ventil BKH



Kulový pákový ventil BKH je navržen pro vysokotlaké soustavy v rozsahu tlaků od 0 do 35MPa. Kulové ventily patří k základní součásti většiny vodovodních soustav. Uzavírací kulové ventily přímé ručně ovládané se skládají z tělesa, těsnění, koule a ovládání, kdy poloha páky indikuje polohu koule. Je-li páka rovnoběžně s potrubím, je ventil otevřen, je-li páka kolmo k potrubí je ventil uzavřen. Ventil je určen k uzavírání a regulování průtoku kapaliny.

### **5.1.5 Přívod kapaliny**

Přívod kapaliny do stendu může být libovolný. Podle volby kapaliny, volíme vhodnou redukci pro připojení zásobníku kapaliny či připojení hadice.

## **5.2 Návrh stendu**

Navrhovaný stend je svařenec složen z jedné trubky o větším průřezu s otvory pro přivaření čtyř menších trubek, pro připojení kalibračních a kontrolovaných měřidel. Dále dvou trubek kratších o stejném průřezu pro přívod kapaliny a tlaku do stendu. Jako zaslepení trubky o větším průřezu slouží dvojice kruhových plecháčů s dírou, pro přivaření trubek k přívod kapaliny a vyššího tlaku do stendu. Pro stabilitu stendu jsou po stranách přivařeny čtyři podložky s dírou, pro možnost ukotvení.

Výkresy sestavy stendu a svařence stendu jsou přiloženy jako přílohy A a B.

Trubka o větším průřezu je volena, z důvodu vyvrtání děr pro vložení menších trubek a umožnění snadnějšího svařování částí. Volím bezešvou ocelovou trubku DN 65 délky 500 mm z materiálu 11 353.1 dle ČSN 42 5716, dimenzovanou pro PN 250. Trubka s vnějším průměrem 76,1 mm a tloušťkou stěny 10 mm je vyhovující pro požadované namáhání tlakem.

Čtyři menší trubky pro přivaření do otvorů vytvořených ve větší trubce, jsou bezešvé ocelové trubky DN 10 délky 150 mm z materiálu 11 353.1 dle ČSN 42 6711, dimenzované pro PN 250, vnějším průměrem 14 mm a tloušťkou stěny 3 mm. Na ústí těchto trubek je vytvořen vnější závit G1/4 o délce 12 mm pro montáž kulových ventylů, dle přílohy B výkresu svařence.

Otevřené konce trubky DN 65 se zavaří pomocí kruhových plocháčů s otvory pro navaření dvou menších trubek o DN 10 délce 100mm z materiálu 11353.1, dle ČSN 42 6711. Dva kruhové plocháče volím z materiálu 11 523 o průměru 76,1 mm a tloušťkou 10

mm dle normy ČSN 42 5310.

Pro stabilitu stendu jsou na spodní část větší trubky DN 65 přivařeny čtyři obdélníkové plocháče s otvory pro šrouby s možností ukotvení stendu a zamezení tím jeho pohybu. Obdélníkové plocháče volím z materiálu 11 523



## **6 NAVRŽENÍ ZPŮSOBU SNÍMÁNÍ A ARCHIVACE DAT PŘI KALIBRACI [6, 12]**

System získávání dat může mít více způsobů, dle kalibrovaných měřidel.

Pokud je kontrolováno měřidlo, bez elektrického výstupu, či datového výstupu, lze odečítat naměřené hodnoty přímo pomocí nonia, nebo displeje daného kontrolovaného měřidla a následně je zapisovat do tabulky pro vyhodnocení výsledků. A následně srovnávat s hodnotami etalonového měřidla.

Pro měřidla s elektrickým výstupem je potřeba připojení do systému převodník mA, nebo V na data jenž může zpracovat vhodný software v počítači, nebo komunikátoru.

Pro tyto převodníky jsou uzpůsobeny různé druhy systémy sběru a záznamu dat umožňují v reálném čase monitorovat a ukládat data z jednoho, nebo několika měřících kanálů a tato data dále zpracovávat. Základem ale vždy tvoří program pro nastavení přístroje a pro ukládání naměřených dat. Tento základní program dovoluje zadávat korekce jednotlivých kanálů, volit různé intervaly ukládání dat a případně měření prezentovat.

### **6.1 Postup při kalibraci navrženým stendem**

Na stend připojíme pomocí vnějšího modulu pro vyšší tlaky multifunkční kalibroměr MC5, dále kontrolní digitální manometr BAROLI, hydraulickou pumpu PGXH pomocí zvolené redukce a následně kontrolované měřidlo přímo nebo pomocí odpovídající redukce.

Následně uzavřeme nepotřebné ventily z důvodu úniku kapaliny. Do systému přivedeme kapalinu (vodu) a uzavřeme přívodní ventil. Pomocí ruční hydraulické pumpy následně zvýšíme hodnotu tlaku v soustavě na požadovanou hodnotu pro kontrolu.

V rámci přesnějšího měření volíme více kalibračních hodnot tlaku v požadovaném rozmezí tlaku, v němž bude pracovat kalibrované měřidlo. Tlak čteme z kalibračního měřidla, případně kontrolujeme pomocí kontrolního manometru. Při dosažení stanoveného tlaku se uzavře ventil pro ruční tlakovou pumpu a zaznamenají se naměřené hodnoty jak měřidla kalibračního tak i kontrolovaného.

Tento postup platí pro kontrolovaná měřidla bez elektrického, nebo jiného výstupu dat. Kdy se musí soustava udržovat na požadovaném tlaku, než se запиší naměřené hodnoty do tabulky, nebo do PC s vhodným softwarem.

Při kalibraci měřidel s elektrickým výstupem jak v mA tak ve V, využijí širokých

možností multifunkčního kalibroměru MC5 a pomocí vhodných kabelů kalibrovaná měřidla spojím s kalibračním měřidlem.

Pomocí komunikačního rozhraní kalibroměru MC5 s PC mi program dodávaný ke kalibroměru MC5 naměřené hodnoty vypíše v PC.

Po vyhodnocení se výsledné hodnoty a případné odchylky v měření vloží do výstupního listu měření.

Tab.2 Vzorová tabulka postupu měření a zapisování dat [6]

$P_e$	zatěžování			odlehčování			$I_{id}$
	I	$\delta$	U	I	$\delta$	U	
MPa	mA	%	%	mA	%	%	mA
0,0	3,999	-0,006	0,09	4,002	0,010	0,09	4,0
2,0	5,607	0,044	0,09	5,608	0,052	0,09	5,6
4,0	7,209	0,056	0,10	7,209	0,056	0,10	7,2
6,0	8,809	0,058	0,10	8,812	0,075	0,10	8,8
8,0	10,407	0,044	0,10	10,410	0,063	0,10	10,4
10,0	12,009	0,058	0,10	12,010	0,062	0,10	12,0
12,0	13,608	0,050	0,11	13,612	0,075	0,11	13,6
14,0	15,210	0,065	0,11	15,211	0,069	0,11	15,2
16,0	16,810	0,062	0,11	16,814	0,087	0,11	16,8
18,0	18,410	0,060	0,11	18,413	0,079	0,11	18,4
20,0	20,013	0,083	0,11	20,013	0,083	0,11	20,0

- Kde:
- $P_e$  - konvenčně pravá hodnota tlaku
  - I - střední hodnota výstupního signálu zkoušeného měřidla
  - $\delta$  - chyba kalibrovaného měřidla v procentech
  - U - rozšířená nejistota kalibrace v procentech
  - $I_{id}$  - ideální výstupní signál zkoušeného měřidla

## 7 ZÁVĚR

V bakalářské práci jsem navrhl stend sloužící pro kalibrování tlakových převodníků, snímačů a měřidel v rozsahu do 30MPa.

V úvodu práce jsem se zaměřil na vypracování teorie problematiky spojené s tlakem jako fyzikální veličinou, druhy tlaků a způsobem měření různými druhy měřidel tlaku.

Následně jsem se zaměřil na popis tlakových měřidel s elektrickým výstupem a inteligentních tlakoměrů, které se vyskytují v technické praxi a stále se rozšiřuje jejich využití, z důvodu jejich jednoduché obsluhy a kalibrace pomocí přenosných kompatibilních komunikátorů.

V praktické části bakalářské práce jsem se zabýval návrhem kalibračního zařízení, neboli stendu, jenž obnášelo návrh součástí, měřícího a kalibračního zařízení (etalonu) Beamex MC5, volbu kontrolního měřidla, zařízení pro zvyšování tlaku v soustavě, části uzavírající výstupy stendu, jak pro měřidla, tak i pro přívod kapaliny a přívod tlaku do stendu.

Návrhová část se týkala i konstrukčního návrhu stendu pomocí jednotlivých zvolených trubek a částí, které musely vyhovovat podmínkám, pro možnost využití při vysokém tlaku dosahovaného ověřováním měřidel s rozsahem do 30MPa. Tato část je doložena výkresovou dokumentací v příloze bakalářské práce, která obsahuje výkres navrhovaného svařence a sestavu navrhovaného stendu.

Závěrem jsem se zabýval návrhem způsobu kalibračního měření na navrhovaném stendu, zpracováním a archivací dat získanými, při kalibračním měření.

## 8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] RAJNIAK a kolektiv : Tepelno-energetické a emisné meranie. Ister Science, 1997
- [2] AMBROS,F.:Experinemtální metody a technika. Praha, ČVUT, 1993
- [3] KADLEC, K. Snímače tlaku – principy, vlastnosti a použití (část 1,2,3,4). AUTOMA č.2, č.7, č.10, č.11. 2007
- [4] Kalibrační zařízení tlakoměrů – <http://www.tectra.cz>,  
<http://www.bhvsenzory.cz>, <http://www.dex.cz>
- [5] [http://www.dex.cz/produkty/kalibrace\\_tlaku.html](http://www.dex.cz/produkty/kalibrace_tlaku.html)
- [6] EA-10/17, Dokument pro kalibraci elektromechanických tlakoměrů, ČIA, o.p.s., 2004
- [7] [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=31310](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=31310)
- [8] <http://www.bupospol.cz/kategorie/uzaviraci-kulove-ventily.aspx>
- [9] <http://www.zpanp.cz/cs/produkty-a-sluzby/manometry/manometry/29/>
- [10] [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=27665](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=27665)
- [11] [http://www.wika.us/PGT23\\_100\\_en\\_us.WIKA](http://www.wika.us/PGT23_100_en_us.WIKA)
- [12] <http://www.vscht.cz/ufmt/kadleck.html>
- [13] <http://uprt.vscht.cz/ucebnice/MRT/predn/txt-Bc/3-FCHI09-Tlak.pdf>

### Seznam příloh

- A) Výkres sestavy svařence, KUC - 01
- B) Výkres sestavy stendu, KUC - 02
- C) Kusovník sestavy stendu, KUC - 03