

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Analýza snímačů využitelných při projektování v energetice

Martin Máša

2017/2018

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin MÁŠA**
Osobní číslo: **E16N0088P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Analýza snímačů využitelných při projektování v energetice**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Popište veličiny, které budou měřeny.
2. Analyzujte druhy jednotlivých snímačů (vlastnosti, princip, přesnost, rychlost, stabilita, cena, atd.).
3. Uveďte, jak lze vlastnosti Vámi uvedených snímačů kontrolovat (ověření nebo kalibrace).
4. Práci doplňte ukázkami z praxe.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

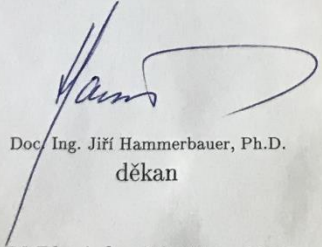
Seznam odborné literatury:

1. Beran Vl., Girg J., Tůmová O.: Měření neelektrických veličin, ZČU Plzeň 1994.
2. Beran Vl., Tůmová O.: Měření veličin životního a pracovního prostředí, ZČU Plzeň 2005.
3. Beran Vl.: Technická měření, VŠSE Plzeň 1991.
4. Klementev, Kyška: Elektrické meranie mechanických veličin, Alfa Bratislava 1991.
5. Katalogy výrobců snímačů.

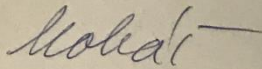
Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Olga Tůmová, CSc.
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: 10. října 2017

Termín odevzdání diplomové práce: 24. května 2018


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




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zabývá analýzou snímačů využitelných pro projektování v energetice. Přínosem této práce je porozumět funkci snímačů, principům měření jednotlivých veličin a představit projektované snímače od různých výrobců pro nejmenovanou firmu.

V první části jsou popsány neelektrické veličiny, které jsou často měřeny v energetice. Jedná se o teplotu, tlak, průtok a výšku hladiny. Následuje popis principů měření pro jednotlivé neelektrické veličiny a jejich porovnání. Dále je práce zaměřena na metrologii, hlavně v souvislosti s kalibrací představených snímačů. V poslední části jsou představeny často projektované snímače od předních výrobců pro různé aplikace v energetice a závěrem jsou uvedeny některé ukázky z praxe.

Klíčová slova

snímač, energetika, projektování, principy měření, neelektrické veličiny, teplota, tlak, hladiny, průtočné množství, polní instrumentace, metrologie

Abstract

The present diploma thesis deals with the analysis of sensors usable for energy engineering. The benefits of this work is to understand the function of sensors, principles of measurement of individual quantities and to introduce designed sensors for the unnamed company.

In the first part are described non-electric quantities, which are measured in energy often. Talking about the temperature, pressure, flow and level of the material. The following is a description of measurement principles for individual non-electric quantities and their comparison. Furthermore, the thesis is focused on metrology, specifically on the calibration of the introduces sensors. In the last part are presented designed sensors from leading manufactures for application in power engineering and finally there are some examples from practice.

Key words

sensor, power energy, design, measurement principles, non-electric quantities, temperature, pressure, level, flow, field instrumentation, metrology

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 16.5.2018

Martin Máša

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval mé vedoucí diplomové práce doc. Ing. Olze Tůmové, CSc. za odborné vedení, za cenné rady a věcné připomínky, které mi pomohly tuto práci zkompletovat. Děkuji také Bohuslavovi Růžičkovi z firmy ZAT a.s. za poskytnutí cenné praxe a odborných rad v oboru polní instrumentace.

Obsah

OBSAH.....	8
ÚVOD.....	9
1 NEELEKTRICKÉ VELIČINY MĚŘENÉ V ENERGETICE.....	10
1.1 SNÍMAČ.....	10
1.1.1 Vlastnosti snímačů.....	11
1.1.2 Signál.....	12
1.2 MĚŘENÉ NEELEKTRICKÉ VELIČINY.....	13
1.2.1 Teplota.....	13
1.2.2 Tlak.....	14
1.2.3 Průtok.....	15
1.2.4 Hladina.....	16
2 PRINCIPY MĚŘENÍ TEPLoty.....	17
2.1 TERMOELEKTRICKÉ SNÍMAČE TEPLoty.....	17
2.2 ODPOROVÉ KOVOVÉ SNÍMAČE TEPLoty- RTD.....	18
2.3 ODPOROVÉ POLOVODIČOVÉ SNÍMAČE TEPLoty – NTC, PTC.....	20
2.4 OSTATNÍ PRINCIPY MĚŘENÍ TEPLoty.....	22
3 PRINCIPY MĚŘENÍ TLAKU.....	23
3.1 HYDROSTATICKÉ TLAKOMĚRY.....	23
3.2 DEFORMAČNÍ TLAKOMĚRY.....	24
3.3 ELEKTRICKÉ PŘEVODNÍKY TLAKU.....	25
4 PRINCIPY MĚŘENÍ PRŮTOKU.....	26
4.1 SNÍMAČE ZALOŽENÉ NA DIFERENCI TLAKŮ.....	26
4.1.1 Clona.....	27
4.1.2 Dýza.....	28
4.1.3 Ventouriho trubice.....	29
4.1.4 Pitotova trubice.....	29
4.1.5 Prandtlova trubice.....	30
4.2 PRŮTOKOMĚRY TURBÍNKOVÉ A LOPATKOVÉ.....	31
4.3 VÍROVÉ PRŮTOKOMĚRY.....	31
4.4 MAGNETICKO-INDUKČNÍ PRŮTOKOMĚRY.....	32
4.5 ULTRAZVUKOVÉ PRŮTOKOMĚRY.....	34
4.6 HMOTNOSTNÍ PRŮTOKOMĚRY.....	35
4.6.1 Tepelné hmotnostní průtokoměry.....	35
4.7 CORIOLISŮV HMOTNOSTNÍ PRŮTOKOMĚR.....	36
4.8 ROTAMETRY.....	36
4.9 OBJEMOVÁ MĚŘIDLA.....	37
5 PRINCIPY MĚŘENÍ VÝŠKY HLADINY.....	39
5.1 MECHANICKÉ SNÍMAČE HLADINY.....	39
5.1.1 Plovákové hladinoměry.....	39
5.1.2 Vztlakové hladinoměry.....	41
5.1.3 Vibrační a lopatkové spínače hladiny.....	42

5.2	HYDROSTATICKÉ HLADINOMĚRY	43
5.3	ELEKTRICKÉ HLADINOMĚRY	43
5.3.1	<i>Vodivostní hladinoměry</i>	43
5.3.2	<i>Kapacitní hladinoměry</i>	44
5.3.3	<i>Tepelné snímače hladiny</i>	46
5.4	OPTICKÉ HLADINOMĚRY	46
5.4.1	<i>Transmisní (absorpční) snímače hladiny</i>	46
5.4.2	<i>Reflexní snímače hladiny</i>	47
5.4.3	<i>Refrakční snímače hladiny</i>	48
5.5	ULTRAZVUKOVÉ SNÍMAČE	48
5.5.1	<i>Spojité měření hladiny pomocí ultrazvukového snímače</i>	49
5.5.2	<i>Limitní měření hladiny pomocí ultrazvukového snímače</i>	50
5.6	RADAROVÉ SNÍMAČE	51
5.6.1	<i>Bezkontaktní radarový hladinoměr</i>	52
5.6.2	<i>Kontaktní radarový hladinoměr</i>	52
6	METROLOGIE	54
7	PROJEKTOVANÉ SNÍMAČE V ENERGETICE.....	57
7.1	SNÍMAČE TEPLoty	57
7.2	SNÍMAČE TLAKU	63
7.3	SNÍMAČE PRŮTOKU	68
7.4	SNÍMAČE HLADINY	78
8	UKÁZKY Z PRAXE	83
8.1	MĚŘENÍ HLADINY	83
8.2	UKÁZKY MĚŘENÍ TLAKU A TEPLoty	84
8.3	UKÁZKY MĚŘENÍ PRŮTOČNÉHO MNOŽSTVÍ	88
8.4	UKÁZKY LIMITNÍHO MĚŘENÍ HLADINY	89
8.5	UKÁZKA MĚŘENÍ HLADINY POMOCÍ RADAROVÉHO SNÍMAČE HLADINY.....	91
	ZÁVĚR.....	92
9	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	94

Úvod

V době průmyslové automatizace je nedílnou součástí obor zabývající se měřením a regulací fyzikálních veličin, tzv. MaR. Při automatizaci technologického procesu jsou v bezprostředním kontaktu s měřeným médiem prvky polní instrumentace, které mají za úkol měřit a monitorovat neelektrické veličiny. Při projektování snímačů polní instrumentace je nutné pamatovat na typ měřeného média a na široké spektrum měřících principů, a proto předkládaná diplomová práce v první části popisuje měřené neelektrické veličiny a představuje měřící principy těchto veličin. V energetickém průmyslu jsou často používány jen některé z uvedených principů, ale je dobré znát všechny dostupné měřící metody z důvodu co nejpřesnějších dosažených hodnot měření. Tyto znalosti jsou důležité pro správný návrh i realizaci prvků polní instrumentace.

Hlavním přínosem této práce je analýza trhu v oboru polní instrumentace. V praktické části jsou představeny často projektované snímače v energetickém průmyslu od předních výrobců, které s nejmenovanou firmou úzce spolupracují. Pro každou neelektrickou veličinu jsou dle metody měření uvedeny často instalované výrobky od spolupracujících výrobců pro lepší orientaci na trhu. Dalším záměrem práce je nastínění problematiky instalace snímačů k technologickému procesu a znázornění připojení snímače k odběrovému místu. Práce také představuje základní informace o metrologii. Poslední část ukazuje záběry některých snímačů, které jsou instalovány na vodní elektrárně Lipno.

1 Neelektrické veličiny měřené v energetice

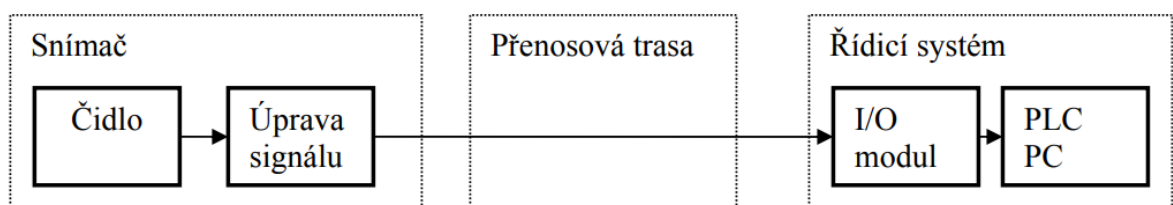
Neelektrické veličiny, které jsou v této práci uvedeny, zahrnují teplotu, tlak, průtok a výšku hladiny. Tyto veličiny se v energetickém průmyslu měří pomocí snímačů (senzorů), které generují určitý signál a ten je pomocí kabeláže dále přenášen například k řídicímu systému, kde se zpracovává a vyhodnocuje.

1.1 Snímač

Snímač tvoří první prvek v měřicím řetězci (*Obr. 1.1*) a je v přímém kontaktu s měřenou veličinou. Jeho funkcí je snímat veličinu a přenášet informace o ní dále do měřicího řetězce. Nejčastěji jsou informace pomocí převodníku převáděny na lépe zpracovatelný signál (elektrický), který odpovídá měřené veličině, pro správné vyhodnocení v řídicích systémech.

Pro správné vyhodnocení snímané veličiny je nutné, aby snímače podávaly informace s dostatečnou přesností a spolehlivostí. Při návrhu je nutné pamatovat na druh technologického procesu a prostředí, kde snímač bude pracovat.

Snímač obsahuje vlastní elektroniku, která provádí úpravu signálu z čidla a ruší parazitní vlivy na čidlo. Výstupním signálem ze snímače může být signál bez úpravy (měření teploty - Pt100, termočlánky), elektrické napětí v rozsahu od 0 V do 10 V, elektrický proud v rozsahu například 0-20 mA nebo 4-20 mA, frekvence nebo neperiodický signál. [1]



Obrázek 1.1: Schéma měřicího řetězce. Převzato z [1]

Převodník je často součástí snímače nebo se může nacházet dále v měřicím řetězci, například v přechodové či sdružovací krabici. Má za úkol převést měřenou veličinu na elektrický signál, nejčastěji na elektrické napětí nebo elektrický proud, nejčastěji 4 až 20 mA (někdy na signál tlakový či na polohu).

Snímače jsou děleny na bezdotykové a dotykové, dle vstupní veličiny na elektrické, magnetické, mechanické, optické atd, dle výstupního signálu na analogové a digitální. Dále jsou snímače děleny na aktivní nebo pasivní. Aktivní snímač díky působení měřené veličiny generuje el. napětí (např. piezoelektrický snímač generuje náboj), většinou v řádech mV. Mezi ně patří například snímače využívající termoelektrický nebo piezoelektrický jev. Naopak pasivní snímač potřebuje svůj napájecí zdroj a díky působení měřené veličiny mění některý ze svých parametrů. Tyto parametry představují odpor, indukčnost, kapacitu atd. a pro další zpracování měřené veličiny je nutné do měřicího řetězce přidat určitý převodník, který tyto parametry transformuje na analogový či binární signál.

1.1.1 Vlastnosti snímačů

a) statické vlastnosti (závislost výstupu na vstupu v ustáleném stavu)

- **plný rozsah:** nejvyšší hodnota, která může být snímačem změřena
- **limit detekce:** nejnižší hodnota, která může být snímačem změřena
- **linearita:** udává přesnost reálné kalibrační křivky s ideální statickou přenosovou charakteristikou, vyjádřena v procentech plného rozsahu, udává maximální odchylku kalibračního bodu a bodu ideální charakteristiky
- **hystereze:** maximální rozdíl výstupní hodnoty při měření zvyšování a poté snižování měřené veličiny
- **opakovatelnost měření (reprodukovatelnost):** určena odchylkou naměřených hodnot za stále hodnoty vstupní veličiny a rušivých vlivů
- **rozlišení:** nejmenší přírůstek hodnoty, který snímač zaznamená
- **přesnost:** vyjádřena relativní chybou vztaženou k horní hranici měřeného rozsahu
- **citlivost:** určena sklonem statické přenosové charakteristiky, tedy kalibrační křivky
- **dynamický rozsah:** interval přípustných hodnot snímané veličiny, ohraničený prahem citlivosti a maximální možnou měřenou hodnotou

b) dynamické vlastnosti (závislé vstupní a výstupní veličiny na čase či frekvenci)

- **přechodová charakteristika:** odezva na skokovou změnu vstupní hodnoty
- **rychlostní charakteristika:** odezva na změnu vstupní hodnoty měnící se konstantně
- **impulsní charakteristika:** reakce na změnu vstupní hodnoty ve formě impulsu
- **frekvenční charakteristika:** vyjadřuje, jak se chová snímač při harmonické změně vstupní hodnoty

Mezi další požadavky na snímače patří odolnost proti vnějším vlivům (teplota, tlak, atd.), minimální ovlivnění měřeného objektu, jednoduchá konstrukce, snadná údržba a ekonomická dostupnost. [2], [3]

1.1.2 Signál

Signálem rozumíme fyzikální veličinu, která slouží pro přenos nějaké informace. Při měření neelektrických veličin je výstupem buď rovnou elektrický signál anebo ho lze získat díky převodníku. Poté záleží, za jakým účelem je měřená veličina sledována. U místního měření je nejčastěji zobrazována měřená veličina přímo u zdroje měření a není tak signál přenášen například do řídicího systému k dalšímu vyhodnocení.

Při převodu měřené veličiny na elektrický signál je možné výstupní signály dělit na signály dvoustavové, které představují například logickou 0, stav sepnuto (první stav) a logickou 1, stav rozepnuto (druhý stav). Dále na vícestavové signály, které vyhodnocují v řídicím systému přesné informace. Vícestavové signály jsou dále děleny na analogové, kdy je hodnota přenášena v podobě elektrického napětí či proudu, digitální (binární), kde je hodnota binární číslo a pulsní, kde je hodnota přenášena pomocí počtu pulsů. Analogový signál je spojitý a digitální diskrétní. [4]

Analogový signál lze digitalizovat ve třech krocích. Nejdříve dochází ke vzorkování analogového signálu. Zde dochází v předem určených izolovaných časových intervalech k odebrání vzorku signálu. Časový interval určuje vzorkovací frekvence, která ovlivňuje zpětné získání analogového signálu na konci měřicího řetězce. Ta je dána Shannonovým teorémem, který říká, že vzorkovací kmitočty musí být alespoň dvakrát větší než nejvyšší

přenášený kmitočet. Čím je užší vzorkovací frekvence, tím více hodnot je odebráno. S takto upraveným signálem se provádí kvantování. Zde signál nemá spojitý průběh, hodnoty se mění skokově. Vytvoří se fiktivní úrovně (hladiny), kterým je přiřazena hodnota signálu. Přiřazení hodnoty je závislé na citlivosti A/D převodníků. Při těchto dvou krocích vzniká digitální signál, který tvoří posloupnost vzorků, které nabývají určitého počtu hodnot. Při zpětném získávání analogového signálu z digitálního vždy dochází ke ztrátě informace, ale díky zvyšování vzorkovací frekvence a počtu kvantizačních úrovní, se lze k původnímu signálu přiblížit pouze s malou odchylkou. [4]

1.2 Měřené neelektrické veličiny

1.2.1 Teplota

Teplota patří mezi základní fyzikální veličiny soustavy ISQ a charakterizuje tepelný stav hmoty. Měření teploty je využíváno v širokém spektru průmyslu. Patří mezi nejčastěji měřené fyzikální veličiny, z důvodu zajištění ideálního technologického procesu, a lze měřit různými nepřímými způsoby. Nejčastější jsou však založeny na:

- změně objemu se změnou teploty (změna délky)
- změně odporu kovového vodiče či polovodiče
- termoelektrickém jevu
- změně skupenství
- proměnné intenzitě tepelného záření tělesa
- rozložení energie ve spektru tepelného záření tělesa

V roce 1927 byla poprvé stanovena Mezinárodní praktická teplotní stupnice, která postupem času byla zpřesňována a upravována až do dnešní podoby. Její platost setrvává od roku 1990 a má označení ITS-90. Jedná se o empirickou teplotní stupnici, která je stanovena 17 pevně definovanými body (např. trojný bod H_2O , O_2 , Hg, Ag, atd.). Mezinárodní teplotní stupnice slouží k ověřování a kalibraci ostatních stupnic. V praktických aplikacích jsou často používány stupnice Celsiova a Fahrenheitova, které jsou odvozeny od termodynamické stupnice, tzv. Kelvinovy. Termodynamická stupnice je založena na účinnosti Carnotova cyklu a její základní jednotkou je Kelvin (K). Tato stupnice určuje absolutní 0, tedy teplotu 0 K (= -273,15 °C). Již zmiňované teplotní stupnice Celsiova a Fahrenheitova (používaná jen v některých státech) jsou od této stupnice odvozeny. [5], [13]

Měření teploty může být prováděno dotykově, kdy musí být snímač v přímém kontaktu s měřenou látkou nebo bezdotykově, kde se snímač nachází v určité vzdálenosti od měřené látky. Bezdotykové měření je možné provádět díky vyzařované vlnové délce, která určuje konkrétní teplotu.

1.2.2 Tlak

Při měření tlaku se vychází ze dvou hlavních definic tlaku. Tlak p nebo P je definován jako síla F , která působí kolmo na plochu S . Poté je pro výpočet tlaku definován vzorec:

$$P = \frac{F}{S} \text{ (Pa)} \quad (1.1)$$

Druhá definice říká, že tlak p nebo P je formulován hydrostatickým sloupcem kapaliny o hustotě ρ a výškou h a zemským gravitačním zrychlením g . Výsledný vzorec pro výpočet tlaku:

$$P = h \cdot \rho \cdot g \text{ (Pa)} \quad (1.2)$$

Hlavní jednotkou tlaku je pascal (Pa). Jedná se o tlak, který vyvolá síla $1 N$ kolmá na plochu $1 m^2$. Tato jednotka je velmi malá a proto se v praxi používají násobky pascalu (hPa , kPa , MPa) nebo jednotka bar ($1 bar = 100 kPa$).

Tlak je dělen na dynamický tlak (vektor) a statický tlak (skalár). Ze součtu těchto dvou tlaků se určuje celkový tlak, přičemž dynamický tlak se v praxi většinou neměří. Dále rozlišujeme přetlak a podtlak, které jsou vztaženy k barometrickému tlaku o hodnotě $1013,25 kPa$. Přetlak je tlak větší než barometrický a podtlak menší než barometrický tlak. Dále se rozlišuje absolutní a relativní tlak. Relativní tlak je měřen vůči atmosferickému tlaku a je dán rozdílem mezi absolutním a atmosferickým tlakem. Absolutní tlak je součtem atmosferického a relativního tlaku a je měřený vůči vakuu. [6]

V praxi je tlak měřen tlakoměry založených na různých principech.

1.2.3 Průtok

Průtočné množství určuje objem či hmotnost média, které projde určitým průřezem S v určitém místě za určitou dobu t .

K měření průtoku se využívá celá řada principů. Metody se dělí na objemové, rychlostní a hmotnostní.

Objemová metoda udává objem kapaliny, který proteče za jednotku času určitým průřezem. Pokud se jedná o uzavřené potrubí či průtokovou cestu, je proudění v celém obsahu stejné a médium není ničím ovlivňováno (rovnice continuity). Naopak při neuzavřeném potrubí je objemový průtok rozdělen, je tedy rozdílný v různých místech průtočné cesty. Objemový průtok je měřen pomocí diferencí tlaků nebo z rychlosti proudění média v potrubí o známém průřezu. Při měření objemového průtoku se předpokládá s plným zaplněním potrubí. Může také fungovat na cyklickém plnění a vyprazdňování odměrných prostorů, kde měřítkem proteklého množství je počet měřicích cyklů. Mezi objemová měřidla patří nejčastěji plynoměry a pístová měřidla. [7]

Druhým typem je hmotnostní průtok. Zde je rozdíl v měřeném množství. Neměří se objem, nýbrž hmotnost média, která za jednotku času proteče určitým průřezem.

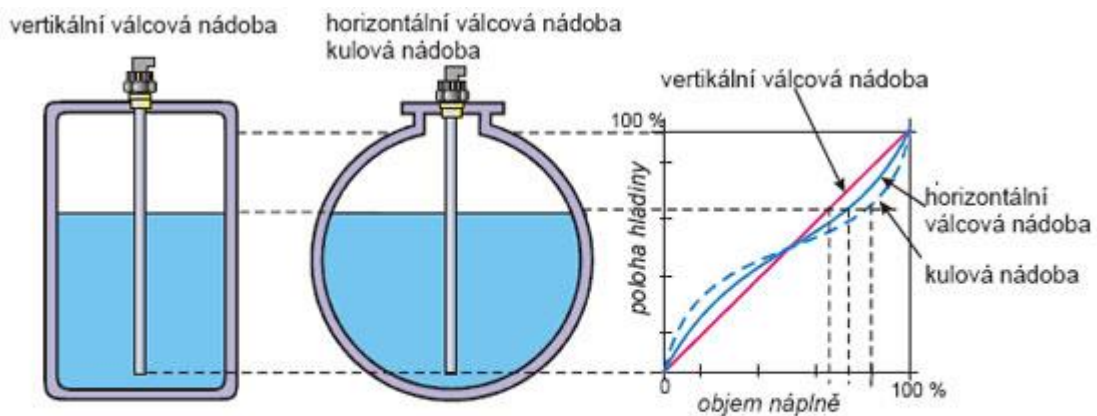
Poslední metoda je rychlostní, kde se měří rychlost proudícího média a ze známého profilu a průřezu se vyčíslí objemový průtok. Tato metoda je v energetice používána nejčastěji.

Při průtoku jak uzavřeným, tak otevřeným potrubím se rozlišují tlaky nacházející se v potrubí. Celkový tlak má dvě složky, statickou a dynamickou. V praxi je možné známými snímači měřit celkový a statický tlak a dynamický se poté dopočítává. Z tohoto část snímačů průtoku využívá diferencí tlaků před a za měřicím místem.

U měření průtoku je dobré si uvědomit, zda se měří kapalné či plynné médium a jaké jsou chemické a fyzikální vlastnosti médií.

1.2.4 Hladina

Měření výšky hladiny se provádí v praxi velmi často. Může se jednat o zjišťování polohy hladiny kapalin, sypkých hmot ale i suspenzí v různých provozních zařízeních, jako například nádrže, tanky, mísicí nádoby a další. Hladina se měří jak z důvodu zjištění polohy hladiny média v nádobě, tak hlavně kvůli zjištění množství látky v nádobě. Právě díky změření polohy hladiny je možné množství látky dopočítat v závislosti na typu nádoby. Vyhodnocení závisí na průřezu nádoby, kdy při neměnicím průřezu je vyčíslení snadné, ale problém nastává při nepravidelných tvarech a u nádob, kde se mohou vyskytovat různé pomocné vestavby uvnitř nádrže. Závislost polohy hladiny na množství látky ukazuje následující graf pro pravidelné a nepravidelné průřezy nádob. U pravidelné nádoby je nárůst objemu látky lineární, naopak u nepravidelné nelineární. [8]



Obrázek 1.2: Graf závislosti polohy hladiny na množství látky. Převzato z [8]

Pro vyhodnocení objemu látky v nádobě se využívají počítačové programy, které řeší složité výpočetní postupy. Specializované firmy disponují vybavením pro přesné určení tvaru nádoby, podle které je pak vše příslušně vyprojektováno.

Měřené médium v průmyslu má různé vlastnosti. Důležité je rozdělit měřená média podle jejich vlastností. Mohou se vyskytovat hořlavé, výbušné, znečištěné nebo lepkavé kapaliny, dále sypký materiál o různé velikosti zrn a o různé vlhkosti nebo suspenze s abrazivními účinky. Odlišné může být také prostředí, ve kterém se médium nachází a snímač v tomto prostředí pracuje. Zde je důležité při návrhu počítat s tlakem, teplotou, korozivními účinky média na různé použité materiály snímače atd.

2 Principy měření teploty

Teplota je v praxi měřena z důvodu bezpečnosti provozu, úspory energie, prodloužení životnosti, zvyšování spolehlivosti, kvality výsledného produktu atd. Mezi hlavní principy používané v energetice patří odporové a termoelektrické měření teploty. Mezi další snímače teploty patří polovodičové s PN přechodem, dilatační, optické, radiační, magnetické, atd.

Tabulka 1: Porovnání vlastností kovových odporových a termoelektrických teploměrů [11]

Porovnání	
Odporové snímače	Termoelektrické snímače
Vyšší přesnost a opakovatelnost	Velký rozsah měřených teplot
Velká citlivost na změny teplot	Nižší cena
Velká stabilita	Rychlá časová odezva
Odolnost vůči EMC	Odolnost vůči vibracím
Nepotřebují kompenzační vedení	Možnost bodového měření

V praxi se často měří teplota v prostředí s nebezpečím výbuchu (Ex). Aby nedošlo k přerušení měření, existují dva základní druhy ochran. První z nich je jiskrová bezpečnost, kde dochází k omezení energie případné jiskry (omezení napětí, proudu, výkonu, povrchové teploty). Druhým způsobem je pevný závěr, který je konstruován tak, aby došlo k ochlazení zplodin výbuchu v definované spáře závěru. [11]

2.1 Termoelektrické snímače teploty

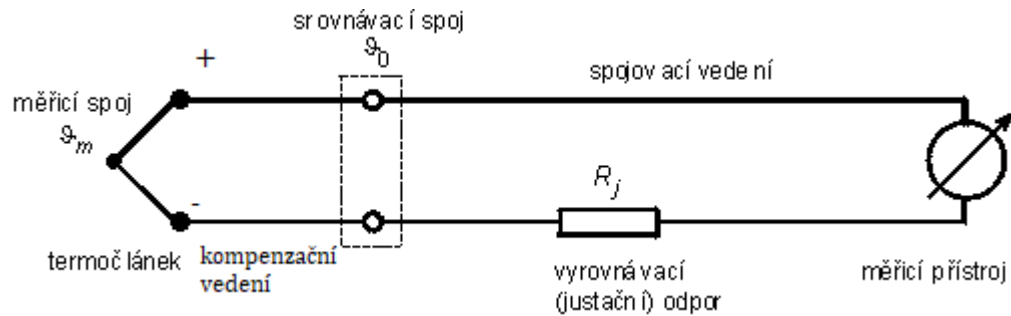
Termoelektrické snímače teploty, tedy termočlánky, fungují na základě termoelektrického jevu. Termočlánek je vytvořený pomocí dvou odlišných vodivých kovových materiálů. Zvolené materiály poté určují typ termočlánku a rozsah měřené teploty. Tabulka ukazuje nejpoužívanější typy termočlánků s měřicím rozsahem, dvojicí kovů tvořících termočlánek a jejich barevné označení.

Tabulka 2: Přehled základních termočlánků

Typ	Materiál	Měřicí rozsah [°C]	Barevné značení
“J”	Fe/CuNi	-40 ÷ 700	Černá
“K”	NiCr/NiAl	-40 ÷ 1200/800	Zelená
“R”	PtRh13/Pt	-40 ÷ 1600/1300	Žlutá
“S”	PtRh10/Pt	-40 ÷ 1300	Žlutá
“B”	PtRh30/PtRh6	-40 ÷ 1800/1600	Šedá

Měření teploty je možné díky termoelektrickému jevu, který funguje na principu uzavřeného elektrického obvodu. Spojením dvou rozdílných kovů je v místě spoje

generováno napětí (mV), jehož velikost určuje volba kovů a teplota. Při měření látky se teplota spoje termočlánek mění, a s tím se změní i velikost napětí. Proto je pro každou hodnotu generovaného napětí určena teplota z katalogových listů výrobce termočlánek. Je měřen tedy rozdíl teplot mezi spojením kovů a svorkami měřicího přístroje tj. metoda s nevyvedeným srovnávacím koncem. Problémem je velmi nízké generované napětí. S tím souvisí vysoká citlivost měřicích přístrojů pro správné odečtení teploty.



Obrázek 2.1: Měřicí řetězec termoelektrického článku. Převzato z [9]

Termočlánek obsahuje tzv. studený konec, který se musí udržovat na konstantní teplotě, protože výsledná naměřená hodnota teploty je závislá na diferenci teplot obou konců termočlánek. Toho je možné dosáhnout dvěma způsoby. Výhodnějším řešením je kompenzace pomocí termostatu, kdy je studený konec umístěn v lázni, kterou termostat udržuje na konstantní teplotě. Tímto způsobem je možné kompenzovat více termočláneků pomocí jednoho termostatu. Druhým způsobem je elektrická kompenzace. V tomto případě je v měřicím obvodu zapojen můstek se čtyřmi rezistory. Tři z nich jsou teplotně nezávislé a tvoří tak konstanty. Poslední rezistor má odpor teplotně závislý. Můstek je vyvážen na určitou teplotu (20 °C) a při změně teploty srovnávacího konce vlivem změny odporu teplotně závislého rezistoru dojde k rozvážení můstku a na výstupu můstku vznikne napětí, pomocí kterého se provede korekce termoelektrického napětí srovnávacího spoje na vztaznou teplotu. [9]

2.2 Odporové kovové snímače teploty- RTD

Tyto odporové snímače patří mezi pasivní snímače, kde je při měření teploty zaznamenávána změna elektrického odporu. Tento princip funguje díky zvyšujícímu se počtu srážek elektronů s kladnými ionty v kovu při zvyšování teploty kovu. Nevýhodou je pomalá reakce na změnu teploty a malý výstupní signál, který je způsoben nízkou citlivostí. Naopak výhodou je velký rozsah měřených teplot a časová stálost. Základním materiálem je platina Pt, u které je odpor

při teplotě 0 °C roven 100 Ω a má dlouhodobou stabilitu a odolnost proti ovlivňujícím parametrům prostředí. Tento odporový snímač je označován jako Pt100. Dalšími, často používanými, materiály jsou nikl a měď. [10], [13]

Hlavní částí odporového teploměru je měřicí odpor, který je buď vrstvený, nebo vinutý. U vrstveného provedení se jedná o tenký kovový film na keramické podložce. Naopak vinuté provedení je složeno z drátové spirály uložené v keramickém pouzdře. Tento typ je přesnější, dlouhodobě stabilnější a použitelný pro větší rozsahy. [10], [13]

Součástí odporových teploměrů jsou měřicí obvody. Ty musí splňovat vysoké kritéria, a proto jsou odporové teploměry připojovány dvou, tří nebo čtyř vodičově. S rostoucím počtem vodičů roste přesnost. Při dvou-vodičovém připojení je RTD vybaven dvěma připojovacími místy. Problémem je vlastní odpor vedení, a tím se zvyšuje celkový odpor snímače. Musí se proto zavádět korekční veličina, která zamezuje šíření chyby měření. Odpor vedení ovlivňuje i teplota okolí, a proto se v praxi používá toto připojení spíše pro orientační měření s méně přesnými výsledky. Tří-vodičové připojení využívá třetí vodič k zobrazení skutečného odporu vedení a odečítá se od celkového odporu vedení, a tím je stanoven pravý odpor snímače. Nejpřesnější hodnoty teploty lze získat se čtyř-vodičovým zapojením. Přidané dva vodiče měří každou stranu měřicího řetězce a opět jsou určeny odpory spojovacích vedení a z nich je stanoven přesný odpor snímače. Toto zapojení je finančně nejnáročnější, ale v praxi nejčastěji používané. [5], [13]

Na následujících obrázcích (*Obr. 2.2 a 2.3*) je vidět složení odporového teploměru. Je složen ze samotného snímače, stonku a jímky. Jedná se o dvouvodičové zapojení, které je poznat v hlavici snímače. V hlavici se může také nacházet převodník pro převod ohmického signálu na nejčastěji proudový 4 až 20 mA.



Obrázek 2.2: Ukázka složení a zapojení odporového snímače teploty. Zdroj vlastní



Obrázek 2.3: Připojení odporového snímače teploty k technologii. Zdroj vlastní

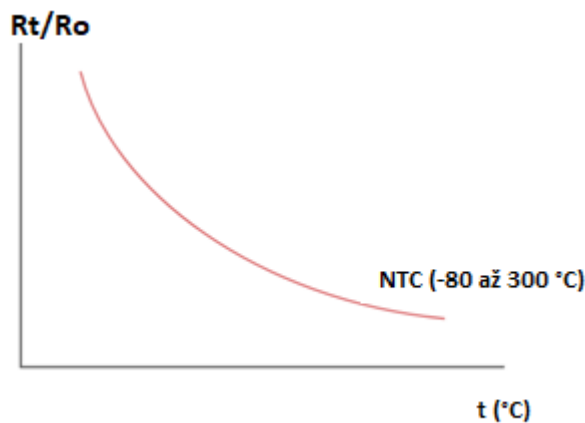
2.3 Odporové polovodičové snímače teploty – NTC, PTC

Termistory fungují na principu změny rezistivity se změnou teploty. Tyto snímače disponují velkou citlivostí a přesností pro běžný teplotní rozsah $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Termistory se dále dělí na NTC termistory (negastor) a PTC termistory (pozistor). V prvním případě se jedná o termistor s negativním teplotním koeficientem, neboť se zvyšováním teploty elektrický

odpor snímače klesá (Obr. 2.4). Naopak u PTC termistoru elektrický odpor roste při zvyšování teploty, nikoli však v celém rozsahu (Obr. 2.5).

Termistory jsou vyrobeny z oxidů kovů, které se tzv. práškovou metalurgií rozemelou na prášek. Do směsi se přidávají další příměsi a pojidlo a poté se za vysokého tlaku prášek slisuje a za vysoké teploty spéká. Důležité je stárnutí termistorů, kdy se snímač stabilizuje a získává požadované vlastnosti. Výhodou je jejich vysoký vnitřní odpor, a tak není nutná kompenzace přívodních vodičů. Nevýhodou je vysoká citlivost, a proto se musí pracovat pouze s malými proudy v řádech μA . Dále jsou časově nestabilní. [12], [13]

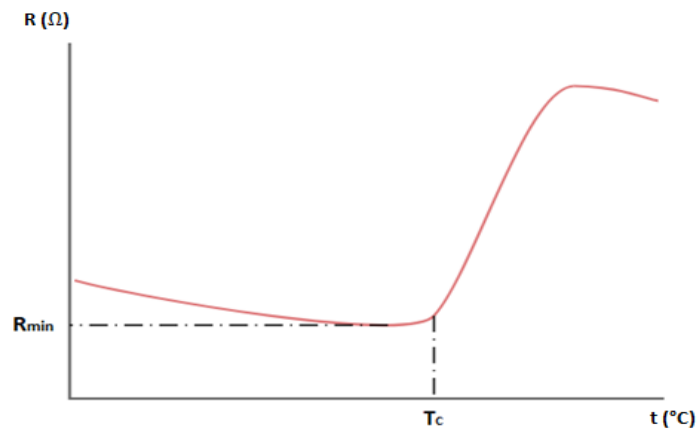
Termistor NTC je využíván pro teploty od $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Závislost odporu na teplotě je vidět na charakteristice termistoru NTC a je přibližně exponenciální.



Obrázek 2.4: Teplotní závislost NTC (R_0 je odpor při 0°C). Převzato z [12]

Negastory jsou vhodné pro měření menších teplotních změn díky vyšší citlivosti, která se pohybuje kolem $200\ \Omega/^{\circ}\text{C}$, jsou velmi přesné a stabilní.

Termistor PTC je využíván pro teploty od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pozistor má pozitivní teplotní závislost, ovšem nejdříve odpor s teplotou mírně klesá, ale při dosažení Curieovy teploty T_C (nad T_C ztrácí látka své feromagnetické vlastnosti) prudce roste. Často je Curieova teplota PTC využívána k hlídání bodu varu. [12], [13]



Obrázek 2.5: Teplotní závislost PTC. Převzato z [12]

2.4 Ostatní principy měření teploty

Mezi další teploměry patří teploměry využívající teplotní roztažnost jiných látek (pevných, plynných a kapalných). Podle konstrukce teploměru jsou děleny na tyčové, bimetalové (dva kovy) či bimateriálové (dva materiály), skleněné, kapalinové, parní nebo plynové tlakové.

Bimetalické teploměry jsou založeny na teplotní roztažnosti dvou odlišných kovových materiálů. Oba materiály jsou tvořeny z pásků a jsou svařeny. Naopak bimateriálové teploměry jsou tvořeny z jednoho kovu a jednoho polovodiče. Skleněné teploměry jsou složeny z teploměrové baňky, měřicí kapiláry, obalové trubice a stupnice. Princip je založen na teplotní objemové roztažnosti kapaliny ve skle. Kapalinové tlakové teploměry využívají stejného principu jako skleněné, ale objemová roztažnost je převáděna na měření tlaku. Je složen z teploměrové nádoby, spojovací kapiláry a tlakoměrného systému (nejčastěji deformační tlakoměr). Systém je zcela zaplněn kapalinou. Parní a plynové tlakové teploměry jsou založeny na stejném principu, ale jsou naplněny jinými skupenstvími. [13]

V posledních letech jsou často používány v různých aplikacích bezdotykové teploměry. Měří se povrchová teplota těles díky vysílanému elektromagnetickému záření. Tento princip je vhodný pro měření pohyblivých, rotujících, špatně dostupných či nebezpečných objektů. Mezi bezdotykové teploměry patří pyrometry a termovize. V energetice tato metoda není pro měření teplot příliš využívána. Je vhodná pro nalezení například špatných spojů potrubí, netěsností nebo poruch kabelů.

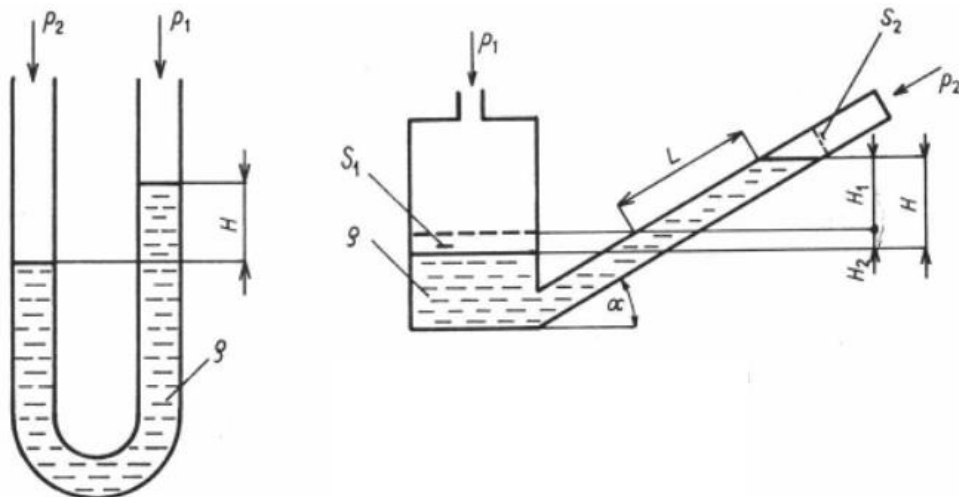
3 Principy měření tlaku

V praxi jsou tlaky měřeny tlakoměry, manometry a diferenčními tlakoměry. Ty jsou dále děleny na hydrostatické, deformační a pístové (slouží díky své vysoké přesnosti ke kalibraci a ověřování) tlakoměry a dále na elektrické převodníky tlaku.

3.1 Hydrostatické tlakoměry

Jsou založeny na účinku hydrostatického tlaku, kde $p = h \cdot \rho \cdot g$. Výsledný tlak je stanoven díky výšce kapalinového sloupce v měřicí trubici a měření je tak převáděno na měření délky. Údaje z měřicí trubice jsou však závislé na hustotě a teplotě měřicí kapaliny. Problémem je neposkytnutí signálu, který je vhodný pro přenos signálu k dalšímu zpracování. Řešení je možné, ale velmi nákladné.

Hydrostatické tlakoměry jsou tvořeny buď samotnou „U“ trubicí nebo trubicí s nádobou. Měřicí kapalinou je nejčastěji rtuť, voda nebo líh. Nejpřesnějším hydrostatickým tlakoměrem je mikromanometr, který obsahuje nádobu a šikmou trubici, kterou je možné naklánět, a tím zvyšovat citlivost. Jedná se o jednoduché, ale spolehlivé a přesné tlakoměry. Jsou vhodné pro laboratorní a metrologické účely.

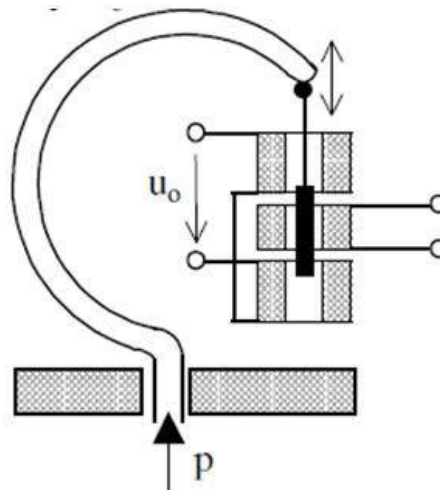


Obrázek 3.1: „U“ trubice a mikromanometr. Převzato z [14]

3.2 Deformační tlakoměry

Vlivem působení tlaku dochází k pružné deformaci tlakoměrného prvku. Jedná se o nejčastěji používané snímače tlaku v praxi. Dělí se na trubicový tlakoměr Bourdonův, membránový tlakoměr a vlnovcový tlakoměr.

Bourdonův tlakoměr se skládá z Bourdonovy trubice oválného či eliptického tvaru, která je stočena do oblouku nebo spirály. Tato trubice je na jednom konci pevně spojena s tělesem se závitem pro připojení přívodu tlaku. Druhý konec je volný a je uzavřen a spojen s ukazovatelem. Jakmile dojde k působení tlaku, elipticky stočená trubice se snaží dostat do přímého tvaru a dojde tak k napnutí oblouku. Využívají se pro měření tlaků od 0,5 MPa až do 2 GPa. [15]



Obrázek 3.2: Bourdonův tlakoměr. Převzato z [15]

Membránový tlakoměr obsahuje kovovou membránu kruhového tvaru se zvlněnými kruhy. Ta je uchycena mezi dvěma přírubami. Z jedné strany je přiváděn tlak, který vyvolá průhyb membrány, a z druhé strany je napevno spojena s ukazovatelem. Při přívodu tlaků z obou stran je možné měřit i diferenci tlaků. Výhodou je vyšší citlivost než u Bourdonovy trubice. Deformaci membrány lze elektricky snímat a tím se získává vhodný signál pro další zpracování. Tyto tlakoměry jsou vhodné pro tlaky do 4 MPa i pro média kašovitého charakteru. [15]

Vlnovcové tlakoměry se využívají pro malé tlaky do 0,4 MPa. Zde je tlakoměrným prvkem tenkostěnný kovový nebo plastový měch (vlnovec) umístěný v pouzdře, do kterého je

přiváděn tlak. Působením tlaku se vlnovec deformuje a změna tvaru je přenášena opět na ukazovatel. [15]

Tyto tlakoměry jsou schopny měřit i podtlak a pro svoji jednoduchost, spolehlivost a nezávislost na napájení jsou stále používány. Ovšem nevýhodou je možnost vzniku trvalé deformace měřicího prvku během provozu, vliv okolní teploty, která ovlivňuje pružnost materiálu. Vyžadují také častější kalibraci. [15]

3.3 Elektrické převodníky tlaku

Hlavní součástí je tlakoměrný prvek (odporový tenzometr, piezoelektrický snímač), který převádí deformaci vlivem působení tlaku na změnu elektrické veličiny (odporu, kapacity). Díky tomu poskytují tyto snímače výstupní elektrický signál.

Snímače obsahující odporové tenzometry využívají piezorezistivního jevu, kdy při mechanickém působení tlaku dochází ke změně jejich vnitřního elektrického odporu. Tenzometry mohou být fóliové nebo drátkové z kovového či polovodičového materiálu.

Kapacitní snímače tlaku jsou založeny na principu, že jedna elektroda kondenzátoru tvoří membránu, jejíž poloha se při působení tlaku mění, a tím dochází ke změně vzdálenosti obou elektrod, která se projeví změnou kapacity kondenzátoru.

U piezoelektrických snímačů dochází k deformaci krystalů, čímž dojde uvnitř dielektrika k polarizaci a k vytvoření elektrického náboje na povrchu piezokrystalu. Velikost vytvořeného elektrického náboje je úměrná působící síle, tedy působenému tlaku a dojde tak k vytvoření elektrického signálu, který je dále v měřicím řetězci zesilován. Je vhodný pro časté změny tlaků, pro měření za vysokých teplot a pro tlaky do 100 MPa.

4 Principy měření průtoku

Měření průtoku je prováděno různými typy měřicích zařízení. Mezi základní principy měření průtočného množství kapaliny a plynu patří:

- měření založené na diferenci tlaků před a za prvkem průtokoměru (škrťací orgány)
- průtokoměry turbínkové a lopátkové
- vírové průtokoměry
- magneticko-indukční průtokoměry
- ultrazvukové průtokoměry
- hmotnostní měření průtoku
- rotametry
- objemová měřidla

4.1 Snímače založené na diferenci tlaků

Mezi tyto průtokoměry patří škrťací orgány, které zahrnují clonu, dýzu, Venturiho trubici, a průtokoměry měřící přímo diferenci tlaků, a to Pitotova trubice a Prandtlova trubice.

Poměry tlaku v potrubí jsou popsány pomocí Bernoulliho rovnice neboli rovnice kontinuity. Protože dochází ke změně rychlosti média, tak dochází i ke změně kinetické energie média. Pomocí zúžení potrubí tak dojde ke zvýšení rychlosti proudění média, a tím se zvětší jeho kinetická energie. Platí zde zákon zachování mechanické energie, a proto roste kinetická energie a klesá potenciální energie, a tím klesá i tlak. Před překážkou je tedy nižší rychlost proudění a vyšší tlak a za překážkou naopak.

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + p = konst \quad (4.1)$$

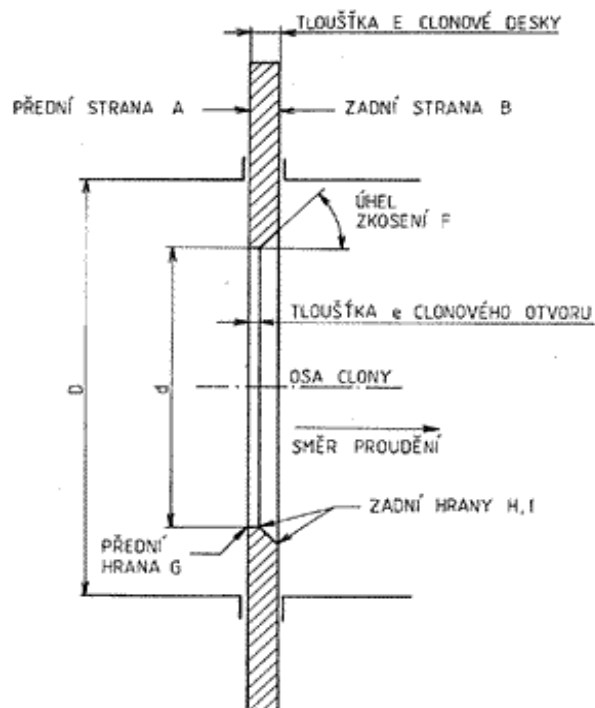
kde ρ je hustota měřené kapaliny, v je rychlost proudění média, p je tlak v kapalině. Vztah $\frac{1}{2}\rho v^2$ značí kinetickou energii a k němu přičtený tlak p potenciální energii objemu média. V každém místě potrubí je stejný součet kinetické a potenciální energie, proto je výsledek konstantní. [17]

Výhodou měření pomocí škrťicích orgánů je velký rozsah průměrů potrubí, široký rozsah měřených médií, široký rozsah tlaků a teplot měřeného média, jednoduchá montáž a příznivé ceny. Požadavky pro správné měření je konstantní čistá fáze média při změnách tlaku, rovnoměrné proudění tekutiny a zcela zaplněné potrubí.

4.1.1 Clona

Prvním typem škrťicího orgánu je clona. Jedná se o plochou desku s otvorem, který je po instalaci do potrubí umístěn na ose průřezu potrubí. Buď je samotná clona vložena do potrubí anebo se instaluje společně s odběry, tedy z části potrubí, pro lepší instalaci a přesnější měření. Měření statických tlaků se provádí před a za clonou v koutových či přírubových odběrech.

Tento typ průtokoměru je náchylný na znečištěné kapaliny, neboť díky částicím obsažených v kapalině může docházet k opotřebování clony, a tím ke změně parametrů a ovlivnění měření tlaků. Je nutné dodržet i dostatečnou délku potrubí před a za clonou, kde dochází k ustálení průtočného množství. Tyto části se nazývají uklidňující úseky a musí je obsahovat všechny typy průtokoměrů, ale u clony jsou tyto úseky nejdelší. Clona však patří mezi cenově dostupné průtokoměry.

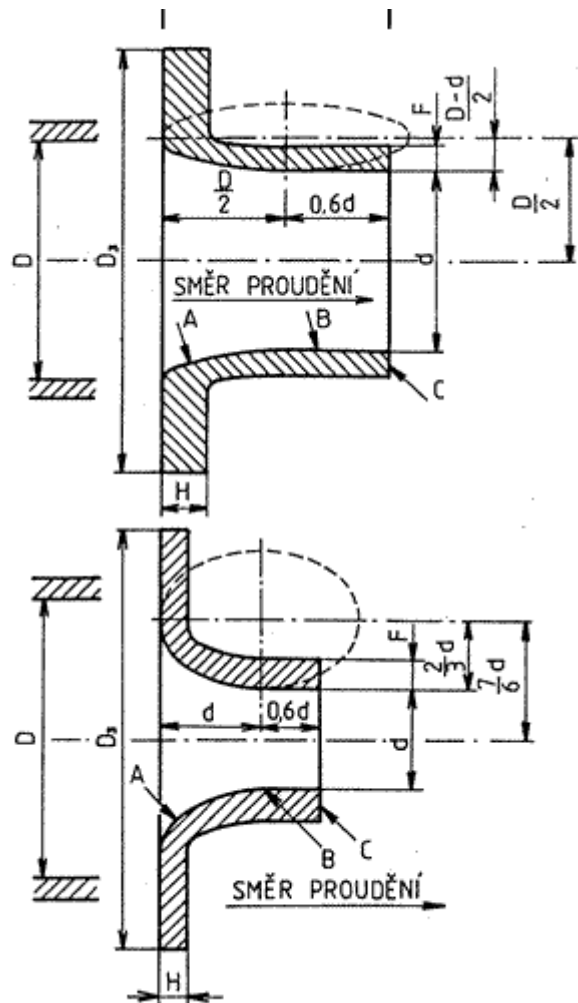


Obrázek 4.1: Schématické znázornění clony. Převzato z [16]

Podle požadavků na měření a podle měřeného média je nutné zvolit clonu s vhodnými rozměry (d , D , A , B , E , e , G , H , I , úhel zkosení).

4.1.2 Dýza

Na rozdíl od clony je dýza schopna měřit znečištěné kapaliny, a to z důvodu jiného řešení zúžení potrubí. Vtoková část dýzy je zaoblená, čímž dochází k lepšímu usměrnění kapaliny a výtoková část má naopak ostrou hranu, která neovlivňuje měření tlaku za dýzou. Dýzy nepotřebují dlouhé uklidňující úseky, mají nižší tlakovou ztrátu a jsou schopny měřit větší průtočné množství. Jsou ovšem náročnější na výrobu z důvodu složitějšího tvaru oproti dýze.

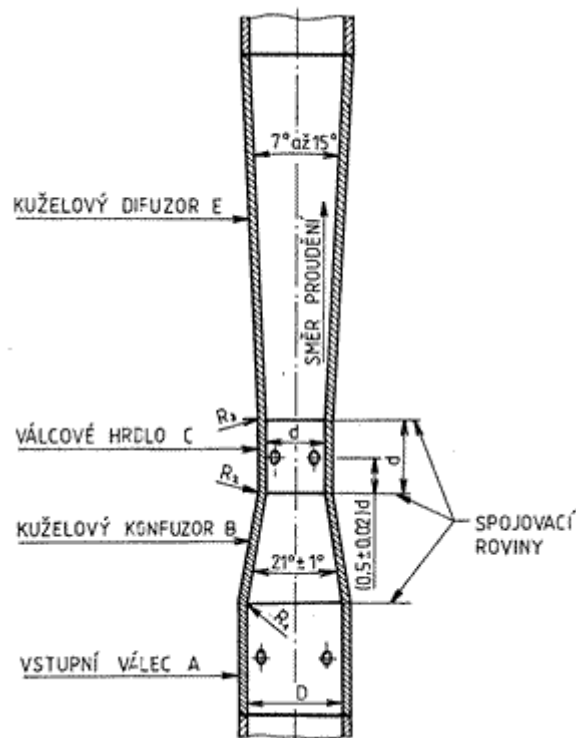


Obrázek 4.2: Schématické znázornění dýzy pro malé a velké světlosti potrubí. Převzato z [16]

Opět dle požadavků na měření a podle měřeného média je nutné zvolit dýzu s vhodnými rozměry (D , D_2 , A , B , C , H).

4.1.3 Ventouriho trubice

Posledním typem škrticích orgánů je Ventouriho trubice. Jedná se o normalizovanou dýzu, která obsahuje tzv. kuželový konfuzor, který urychlí kapalinu a dojde zde k poklesu statického tlaku. Výtoková část se nazývá difuzor, který dokáže tlak dostat zpět na úroveň tlaku před Ventouriho trubicí. Protože není žádnou překážkou pro proudící médium, nedochází tak k usazování sedimentů, jak může být u clony i dýzy. Nepotřebuje dlouhé uklidňovací úseky a poskytuje nejnižší tlakovou ztrátu a vysokou provozní spolehlivost i u vysokorychlostního proudění média. Má ovšem nižší přesnost. [17]



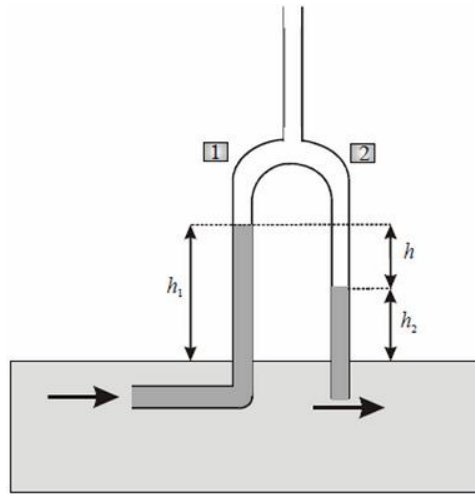
Obrázek 4.3: Schématické znázornění Ventouriho trubice. Převzato z [16]

Opět dle požadavků na měření a podle měřeného média je nutné zvolit Ventouriho trubicí s vhodnými rozměry (d , D , A , B , C , D , E , úhly zkosení).

4.1.4 Pitotova trubice

Měření pomocí Pitotovy trubice patří mezi nejjednodušší a nejdéle známé měření průtoku. Je vybavena tenkou trubičkou s otočeným ústím proti směru proudícího média, měřící statický tlak. Druhou měřící částí je trubička umístěna kolmo na směr průtoku, která měří celkový tlak. Výstupem Pitotovy trubice je tlakoměr tvaru písmene „U“, kde dochází z výšek vodních

sloupců k určení celkového a statického tlaku a z těchto tlaků je dopočten dynamický tlak, pomocí kterého je stanoveno průtočné množství.

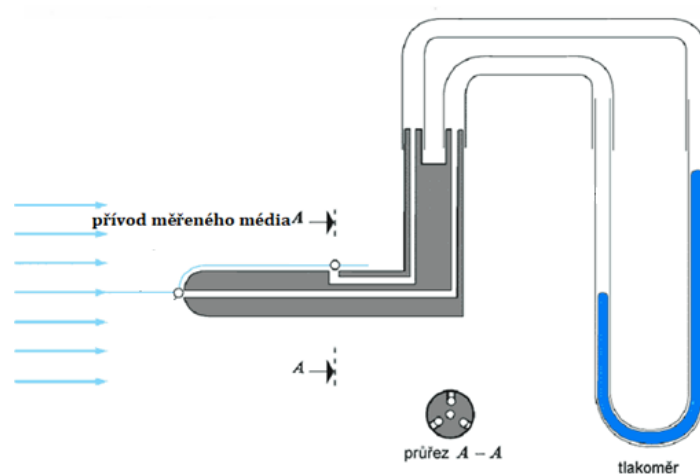


Obrázek 4.4: Znáznornění principu Pitotovy trubice. Převezato z [18]

Pitotovou trubicí je vhodné měřit čisté kapaliny či plyny, aby nemohlo dojít k zanesení poměrně malých otvorů trubic. Pitotova trubice vedla k vytvoření dalších a přesnějších měření průtoku.

4.1.5 Prandtlova trubice

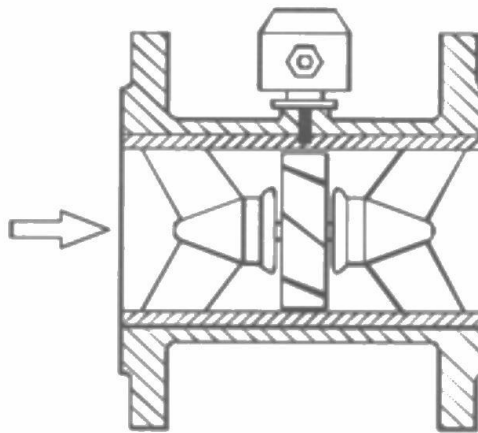
Tlaky jsou měřeny pomocí jedné části trubice, která obsahuje dva otvory. Jeden otvor umístěný na čele trubice, který se nachází proti směru proudění média, měří celkový tlak. Statický tlak je snímán pomocí otvorů umístěných po obvodě trubice. Otvory jsou dále připojeny na U trubici, kde je vyhodnocován dynamický tlak.



Obrázek 4.5: Znáznornění principu Prandtlovy trubice. Převezato z [19]

4.2 Průtokoměry turbínkové a lopatkové

Základní součástí tohoto snímače je otočný rotor s lopatkami, připomínající turbínu, který se pomocí proudu tekutiny otáčí. Otáčky jsou poté úměrné rychlosti proudění tekutiny a jsou často detekovány mechanicky indukčním snímačem nebo opticky. Výstupem jsou napěťové impulsy, pomocí kterých se vyhodnocuje průtočné množství. Tento typ se více opotřebovává z důvodu volných částí, dochází k usazování nečistot, není vhodný pro viskózní kapaliny a pro vířivé proudění. Je použitelný pro průtoky od 1,5 l/min až po 280 l/h. Je vhodné ho použít hlavně pro měření průtoku čisté vody. [19]



Obrázek 4.6: Turbínkový (lopatkový) průtokoměr. Převzato z [19]

4.3 Vířivé průtokoměry

Fungují díky tzv. Karmánovým vírům při obtékání tělesa, které vznikají střídavě z obou stran přepážky vložené do cesty průtoku média. Rychlost proudění je pak funkcí rychlosti proudění:

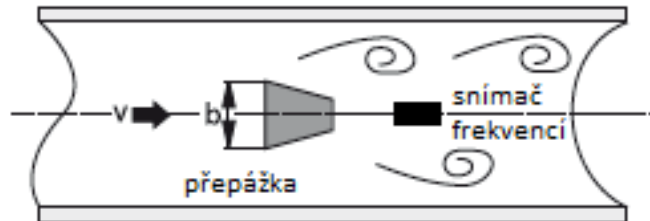
$$f = \frac{S_r}{a} \cdot v \quad (4.2)$$

kde f je frekvence tvoření vírů, S_r je Strouhalovo číslo, a je šířka překážky a v rychlost proudění. [19]

Frekvence tvoření vírů je snímána například tenzometrickými, piezoelektrickými, ultrazvukovými nebo kapacitními snímači. Dále je při výrobě a při kalibraci stanoven K-faktor pro vodu, který je použitelný pro všechny ostatní plynná a kapalná média a je určen

vnitřní geometrií překážkového tělesa. Jedná se tak o kalibrační konstantu, díky které je možné stanovit průtok:

$$\text{průtok} = \frac{\text{frekvence vírů}}{K\text{-faktor}} \quad (4.3)$$



Obrázek 4.7: Vírový průtokoměr. Převzato z [19]

Vírové průtokoměry jsou vhodnou alternativou škrťících orgánů, jsou použitelné pro široké spektrum průřezů potrubí, neobsahují pohyblivé části a výhodou je výstupní signál ve tvaru frekvence, který je vhodný pro číslicové zpracování signálu. Nevýhodou je tlaková ztráta, vznik vibrací v potrubí a nelze s nimi měřit malé průtoky. [19]

4.4 Magneticko-indukční průtokoměry

Fungují na principu Faradayova zákona elektromagnetické indukce. Nazývají se proto i indukčními průtokoměry, kde permanentní magnet nebo elektromagnet vytváří magnetické pole. Podmínkou správného fungování je měření elektricky vodivých kapalin, které v tomto případě zastávají funkci vodiče elektrického proudu. Vše funguje díky měření indukovaného napětí na elektrodách, které jsou umístěny kolmo na směr proudění kapaliny a ve směru magnetického pole. Pro indukované elektrické napětí platí vztah:

$$E = B \cdot d \cdot v \quad (4.4)$$

kde E je indukované napětí, B je magnetická indukce, d značí průměr potrubí, tedy vzdálenost elektrod a v je rychlost proudění kapaliny.

Místo rychlosti proudění je možné dosadit do vzorce přímo průtok, a tím se získá následující vzorec pro kruhový průřez potrubí:

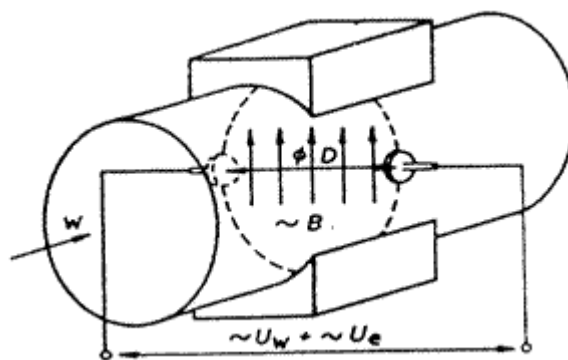
$$E = \frac{4B}{\pi d} \cdot Q_V \quad (4.5)$$

kde Q_V značí objemový průtok (m^3/s). [21]

Elektromagnetické průtokoměry jsou vyráběny ve dvou variantách. Levnější, avšak méně přesná, je varianta, kde dochází k bodovému snímání. Vytvořené magnetické pole nezabírá celý průřez potrubí a k měření a určení průtoku se využívá jen část průřezu, tedy kapaliny. Naopak plošné snímání vytváří magnetické pole přes celý průřez, a tím je zajištěno přesnější měření průtoku. Je to ovšem ale ekonomicky nákladnější varianta. [21]

Při použití permanentního magnetu pro generování magnetického pole prochází přes elektrody stejnosměrný proud a dojde k polarizaci elektrod. Následně dojde k elektrolýze a uvolní se nevodivé plyny, které mohou způsobit chybné měření. Proto byly permanentní magnety nahrazeny elektromagnety, které generují buď střídavé nebo pulsující magnetické pole dle druhu napájení. [20]

Další nezbytnou částí jsou elektrody, ze kterých je odebírán napěťový signál, který je dále převáděn na elektrický signál pro snadné vyhodnocení průtoku.



Obrázek 4.8: Magneticko-indukční průtokoměr. Převzato z [19]

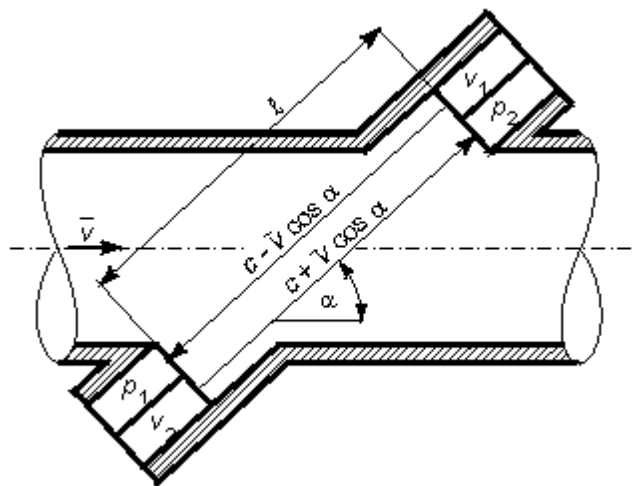
Výhodou elektromagnetických průtokoměrů je absence mechanických pohyblivých částí, kvůli kterým by se mohl snímač poškodit, měření není závislé na teplotě, tlaku a hustotě, ani na průměru potrubí. Je možné měřit znečištěné, agresivní kapaliny a kaly. V dnešní době také

tyto průtokoměry obsahují vlastní diagnostický systém pro kontrolu napájení, koroze a znečištění elektrod, pro zjištění vodivosti média a výskytu vzduchových bublin atd.

4.5 Ultrazvukové průtokoměry

Tyto průtokoměry využívají k určení průtokoměru ultrazvukový signál, který se šíří v proudícím médiu a dále je vyhodnocována buď doba průtoku nebo existují ultrazvukové průtokoměry využívající Dopplerův jev. Výhodou je, že nedochází k tlakovým ztrátám a průtokoměry jsou schopny měřit v širokém rozsahu průtoků a teplot. Je možné měřit i nevodivé kapaliny i agresivní a výbušná média. [19]

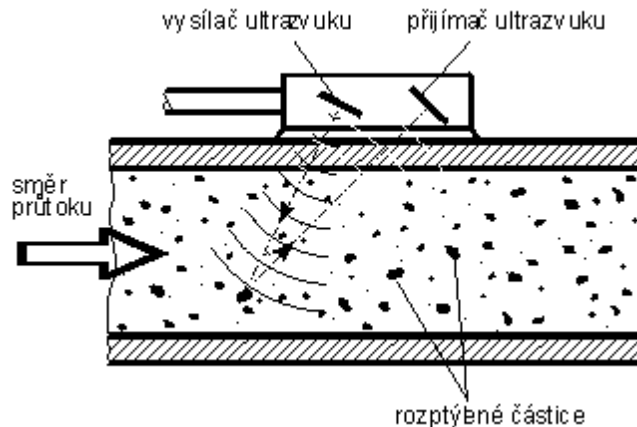
Průtokoměr využívající dobu průchodu signálu obsahuje vysílač a přijímač ultrazvukového vlnění (piezoelektrický měnič). Frekvence se pohybuje od 0,5 do 1 MHz. Dále obsahuje měřicí trubici, ve které se nachází jeden či více vysílačů a přijímačů. Často je využíváno vysílání ultrazvukového vlnění v obou směrech proudění pod úhlem α . Rychlost proudění se pak vyhodnocuje z rozdílu doby průchodu obou signálů k opačnému přijímači ultrazvukového vlnění. Při tomto měření by médium nemělo obsahovat částice, které by ovlivnily funkci průtokoměru. [17], [19]



Obrázek 4.9: Ultrazvukový průtokoměr využívající dobu průchodu signálu. Převzato z [20]

Druhou variantou ultrazvukového průtokoměru je snímač, který využívá Dopplerův jev. Zde je měřena změna frekvence vysílaného ultrazvukového vlnění, ze které je vyhodnocena rychlost proudění. Nutností je přítomnost částic (pevné částice, vzduchové bubliny), které

způsobí odraz signálu zpět k přijímači. Tento typ je vhodnější pro znečištěné kapaliny a pro velké průměry potrubí. [17], [19]



Obrázek 4.10: Ultrazvukový průtokoměr využívající Dopplerův jev. Převzato z [20]

4.6 Hmotnostní průtokoměry

Jsou založeny na objemové metodě. Pro stanovení hmotnostního průtoku se využívají Corioliosovy průtokoměry nebo tepelné průtokoměry.

4.6.1 Tepelné hmotnostní průtokoměry

Měření je prováděno na základě rozložení teploty média v měřicí části potrubí. Existují dva typy snímačů, a to kalorimetrické hmotnostní snímače a hmotnostní termoanemometry.

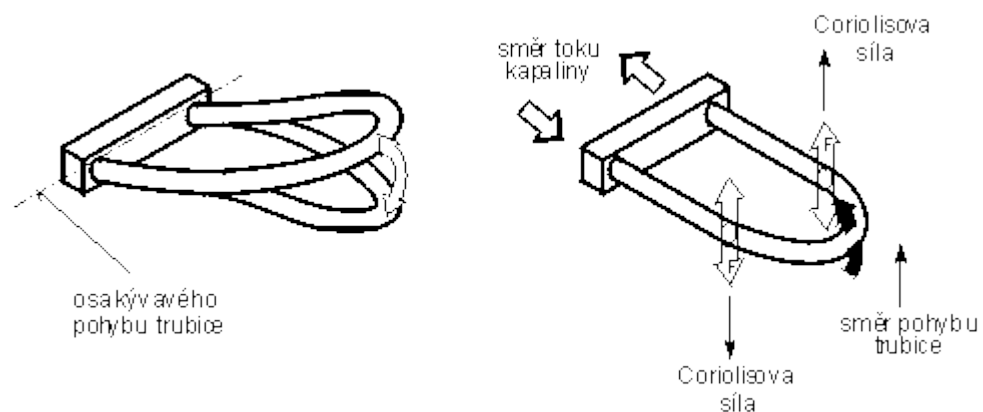
Hmotnostní termoanemometry obsahují čidla teploty, která jsou vložena přímo do proudícího média a díky konvekci dochází ve směru průtoku k ochlazení média. Čidla tvoří odporové teploměry. První z nich ve směru proudění má velmi malý odpor a ohřívá tak čidlo. Vlivem proudění kapaliny je toto čidlo ochlazováno a mění se jeho odpor. Druhé čidlo má větší odpor a má vždy teplotu média.

Kalorimetrické hmotnostní průtokoměry měří míru oteplení, které je způsobené prouděním média. Součástí snímače je obtoková kapilára, která je napojena na potrubí. Kapilárou proudí médium stejnou rychlostí jako v potrubí, ale protéká ho tu jen malé množství. Ve středu kapiláry se nachází topné vinutí, před a za vinutí jsou snímače teploty. Při nulovém průtoku budou obě teploty stejné. Při průtoku média kapilárou dojde k narušení rovnoměrnosti teplot a čidlo, které se nachází jako první v proudu média bude mít nižší teplotu než druhé čidlo. Rozdíl teplot se projeví na rozdílných hodnotách odporů rezistorů,

které si také nebudou rovny a dojde k vytvoření napětí na diagonále můstku. V praxi je dobré zachovat konstantní poměry průměru potrubí a kapiláry k určení správného určení průtoku. [22]

4.7 Coriolisův hmotnostní průtokoměr

Základem je měřicí trubice ve tvaru písmene U, která je rozkmitána elektromagnetickou silou, a tím vytváří periodický kývavý pohyb s harmonickým průběhem o známém kmitočtu. Při průtoku média měřicí trubicí budou působit Coriolisovy síly v opačném směru na úseky trubice ve směru toku opačně ve vtokové a výtokové části trubice (*Obr. 4.11*). Tím dochází ke zkroucení trubice a díky úhlu zkroucení je možné stanovit měřený průtok. Zkroucení je detekováno detektory polohy na straně vtoku a výtoku média a z doby detekce na obou stranách se stanoví objemový průtok. Při nulovém průtoku trubicí nedochází k deformaci měřicí trubice. [20]



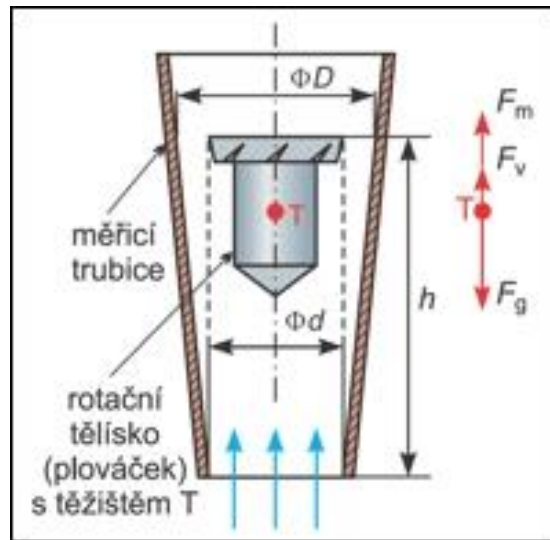
Obrázek 4.11: Znáznornění principu Coriolisova průtokoměru. Převzato z [20]

Coriolisův průtokoměr je vhodný pro měření viskózních médií, kašovitých či pastovitých hmot v širokém měřicím rozsahu. Měření neovlivňují změny hustoty, tlaku, teploty ani viskozity médií a montáž nevyžaduje ustálený profil proudění.

4.8 Rotametry

Plováčkové průtokoměry (rotametry) patří mezi průřezová měřidla, využívající změnu průtočné plochy s měnícím se průtokem. Jsou složeny ze svislé měřicí trubice kuželovitého tvaru a rotujícího tělesa, které se nazývá plováček. Průtok je vyhodnocen díky poloze plováčku v trubici. Aby se zabránilo tření plováčku o stěny, je často umístěn na vodícím sloupci. Na rotující tělísko působí čtyři síly, které je nutné zavádět při výpočtu výsledného

průtoku. Na plováček působí jeho vlastní hmotnost F_g (gravitační síla), tlaková síla F_m , vztlaková síla F_v a třecí síla F_T . Musí platit: $F_g = F_m + F_v + F_T$. [23]

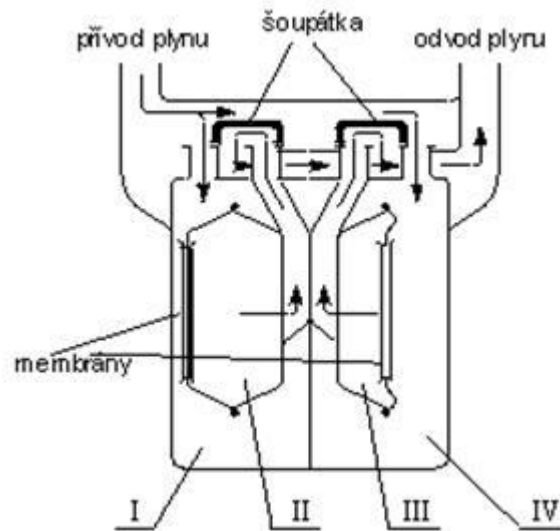


Obrázek 4.12: Rotametr s působícími silami. Převzato z [23]

Tento princip je omezen minimálním i maximálním průtokem. Existuje zde pásmo necitlivosti pro určité průtočné množství. Naopak maximální průtočné množství je omezeno výškou měřicí trubice a umístěním zarážky, která zabraňuje ucpání vývodu média z měřidla.

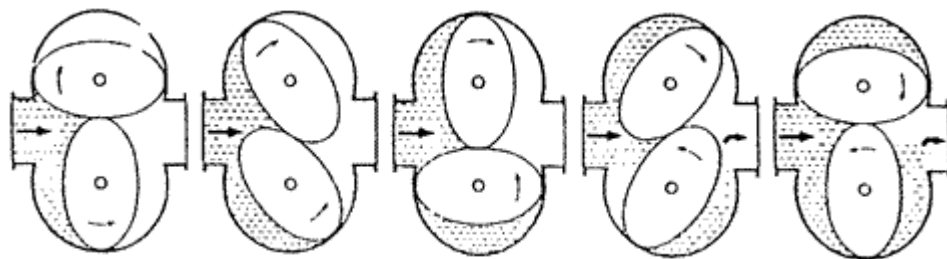
4.9 Objemová měřidla

Tento princip funguje na základě odměřování média (plyn či kapalina) v odměrných prostorách se známým objemem. Měřítkem proteklého množství je počet měřících cyklů plnění a vyprazdňování odměrných prostorů. Tato metoda je nejčastěji používána pro měření průtoků plynů a to pomocí membránového plynoměru. Jeho hlavní součástí je komora rozdělená pohyblivou membránou. Přívod a odvod plynu je řízen otevíráním této membrány a počet cyklů je měřen počítačem. Jsou často používána s vnitřní elektronikou pro automatický odečet a slouží tak jako bilanční měřidlo pro obchodní či odběratelskou síť. [24]



Obrázek 4.13: Složení membránového plynoměru. Převzato z [20]

Druhým typem objemového měřidla, kde je měřena kapalina, je pístové měřidlo. Odběrové prostory, oddělené pístem, jsou střídavě naplňovány a vyprazdňovány. Pro zajištění plynulé funkce jsou k dispozici dvě a více odběrových komor. Opět jsou počítány cykly vyprazdňování, zde vlivem tlakového spádu na měřidlu díky pohybu pístu, který je spojený s počítadlem. Příkladem je oválové měřidlo, kde v komoře jsou umístěna dvě oválová tělesa, jejichž hnací silou je diference tlaků před a za nimi. Počet otáček oválových těles je úměrné průtočnému množství. Na obrázku (Obr. 4.14) jsou vidět cykly pracovní fáze oválového měřidla. [24]



Obrázek 4.14: Pístové měřidlo- znázornění cyklů vyprazdňování naplňování. Převzato z [24]

5 Principy měření výšky hladiny

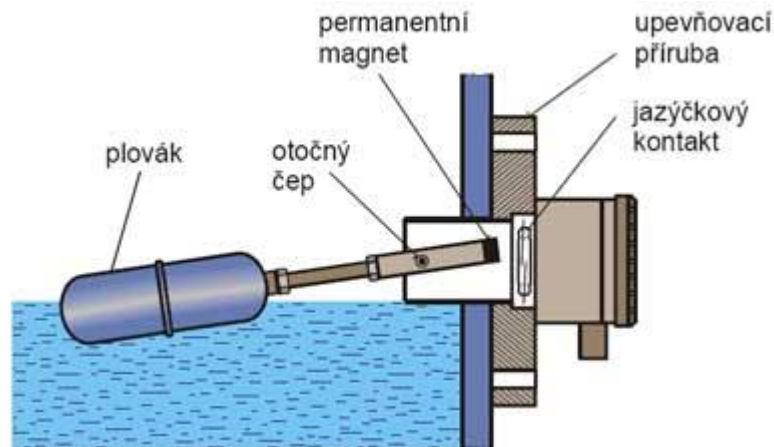
Jak již bylo zmíněno, snímače hladiny měří polohu hladiny v různých nádobách s různými médii. Měření se dělí na spojitě měření hladiny, které měří polohu (výšku) v určitém rozmezí, anebo nespojitě měření, kde se zjišťují mezní, bodové či limitní hodnoty polohy. Zde se často používají spínače, jejichž funkce spočívá například v pokynu čerpadlu odčerpat médium z nádoby.

Snímače hladiny opět fungují na různých principech, které budou popsány dále. Hladinoměry se také dělí podle toho, zda jsou v přímém či nepřímém kontaktu s médiem.

5.1 Mechanické snímače hladiny

5.1.1 Plovákové hladinoměry

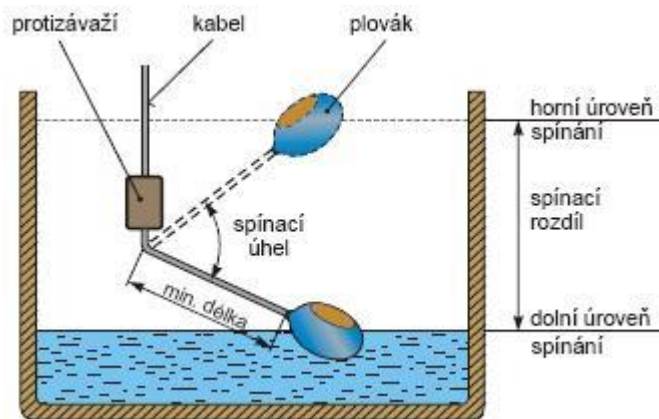
Plovákové hladinoměry jsou využívány pro otevřené nádoby a patří mezi nejstarší princip měření. Snímač je složen z plováku, který je lehký a dutý pro správnou funkci, který se díky vztlakové síle drží na hladině média, a proto musí být vyroben z materiálu s nižší hustotou než měřené médium. Plováky existují v různých tvarech a velikostech a z různých materiálů. Nesmí obsahovat žádné horizontální plochy pro zamezení změny hmotnosti plováku. Dále je veden pomocí lanka přes kladku a je vyvažován protizávažím. V dnešní době se využívá spíše k orientačnímu měření nebo obsahuje další zařízení pro jiné využití snímače, jako například spínač, který při zaznamenání určité polohy hladiny plovákem sepne a odpojí část technologie (využití jako havarijní plovák). Samozřejmě se poloha hladiny může odečítat z přiložené stupnice nebo je pomocí převodníku převáděna na elektrický signál, který je veden dále do měřicího řetězce. Druhým typem plovákových hladinoměřů jsou plovákové spínače. Ty slouží ke sledování menších změn polohy hladiny a plovák je zde často uložen na rameni páky, jejíž pohyb detekuje snímač polohy. [27]



Obrázek 5.1: Plovákový spínač. Převzato z [27]

Pro uzavřené nádoby se využívají plováky o prstencovém tvaru s vodivou tyčí. Pohyb plováku je omezen vodivou tyčí, ve které je umístěno zařízení pro převod pohybu plováku na výstupní signál. Poloha plováku je snímána například pomocí magnetického spínače.

Pro měření hladiny znečištěné kapaliny představuje nejlepší volbu z plovákových snímačů překlápěcí plovákový spínač. Jeho součástí je připojovací kabel a plastový plovák. V hermeticky uzavřené komoře je zabudovaný spínač, který je ovládaný ocelovou kuličkou. Pomocí protizávaží, které se díky změně hladiny posouvá podél kabelu snímače, je nastaven spínací rozdíl (úhel). Tento princip je používán ke spínání úrovní kapalin v nádobách. [27]



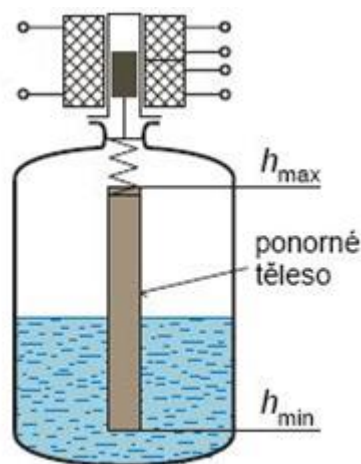
Obrázek 5.2: Překlápěcí plovákový spínač. Převzato z [27]

Existují další druhy měření založené na plovákovém principu jako například plovákové hladinoměry s magnetostrikčním senzorem nebo obtokové plovákové hladinoměry. Plovákové hladinoměry jsou vhodné svojí jednoduchostí a spolehlivostí. V praxi se používají pro snímání polohy hladiny čistých nelepkačných a neviskózních kapalin. U znečištěných

kapalin jsou používány překlápěcí plovákové spínače. Přesnost měření je závislá na tvaru a průřezu plováku a na změnách parametrů měřené kapaliny. [27]

5.1.2 Vztlakové hladinoměry

Tento princip funguje na základě Archimédova zákona a na principu vyrovnání sil. Hladinoměry jsou složeny z ponorného tělesa, které je válcového tvaru a je zavěšeno na pružině. Na pružinu působí síla vlastní vahou ponorného tělesa, zmenšenou o vztlakovou sílu. Při změně hladiny se mění i vztlaková síla a dojde k nové rovnováze sil. Důležité je, aby měřená kapalina měla konstantní hustotu. [27]



Obrázek 5.3: Vztlakový hladinoměr spojený s diferenčním transformátorem. Převzato z [27]

Změna zdvihu ponorného tělesa je často velmi malá (mm), a proto závisí na způsobu, jak je snímána poloha ponorného tělesa. Využívá se například spojení ponorného tělesa s jádrem diferenčního transformátoru. Díky mechanickému spojení železného jádra s pružinou, se toto jádro při změně ponorného tělesa pohybuje v trubce z nemagnetického materiálu, na které je navinuté primární a sekundární (od poloviny je vinuto opačným směrem) vinutí. Při změně polohy jádra se mění vzájemná indukčnost mezi primárním a sekundárním vinutím a z toho je vyhodnocen výstupní signál. Toto měření je možné provádět i v uzavřených tlakových nádobách. [27]

K těmto snímačům také patří servomechanické hladinoměry, kde ponorné těleso je zavěšeno na laně a je díky servomotoru udržováno v rovnováze, která odpovídá poloze hladiny. Natočením navíjecího bubnu je vyhodnocen výstupní signál. [27]

5.1.3 Vibrační a lopatkové spínače hladiny

Využívají principu porovnání kmitání tělesa ve volném prostoru oproti prostoru zaplněném kapalinou či sypkým materiálem. Pomocí piezoelektrického nebo elektromechanického měniče je rozkmitáván prvek snímače, často tyč nebo vidlice. Když kmitající prvek kmitá rezonanční frekvencí, jedná se o volný prostor. Při styku kmitajícího prvku s měřenou látkou však nastává změna frekvence kmitání a dochází k útlumu amplitudy kmitů. [27]

Vibrační spínač dále obsahuje další elektronické obvody pro tvoření a vyhodnocování kmitů. Vyhodnocování pracuje buď na principu měření útlumu kmitů, u kterého spínač obsahuje dva piezoelektrické měniče, kde první slouží k rozkmitání prvku a druhý k vyhodnocení útlumu signálu nebo pomocí změny rezonanční frekvence. Zde opět piezoelektrický měnič budí kmitání měřicího prvku a oscilace systému jsou drženy na rezonanční frekvenci. Při kontaktu prvku s látkou dojde ke změně rezonanční frekvence, která je dále vyhodnocována. [27]

Opět záleží na měřeném médiu, které u tohoto principu určuje použití kmitajícího prvku a jeho délku. Budič kmitů rozkmitává tento prvek na rezonanční frekvenci u delších prvků na 100-500 Hz a u krátkých prvků na vyšší frekvenci (např. 1 300 Hz). Frekvence je opět závislá na měřené látce. [27]

Problém nastává při montáži spínačů hladiny. Spínače jsou umístovány ze strany nádoby nebo do horního víka. Při boční montáži hrozí únik látky a nastává problém i při opravě či výměně. Naopak výhodou boční montáže je využití tří spínačů, které jsou umístěny do několika úrovní a signalizují tak různé stavy (maximum, minimum, havarijní maximum či minimum). Při vertikální montáži je nutné znát parametry nádoby a přibližné rozložení uložení látky. [27]

Na podobném principu pracují lopatkové (vrtulkové) spínače hladiny, které využívají útlum nebo zastavení otáčení lopatek. Lopatky jsou poháněny elektromotorem, který je dimenzován na dlouhodobé zastavení lopatek, aby nedošlo k jeho poškození. Lopatky mohou mít různý tvar i velikost a opět záleží na měřené látce, a hlavně na její hustotě, aby došlo

k dostatečnému brzdicímu momentu. Tyto spínače jsou používány jako pojistky proti přeplnění nádoby, a hlavně pro sypké materiály. [27]

5.2 Hydrostatické hladinoměry

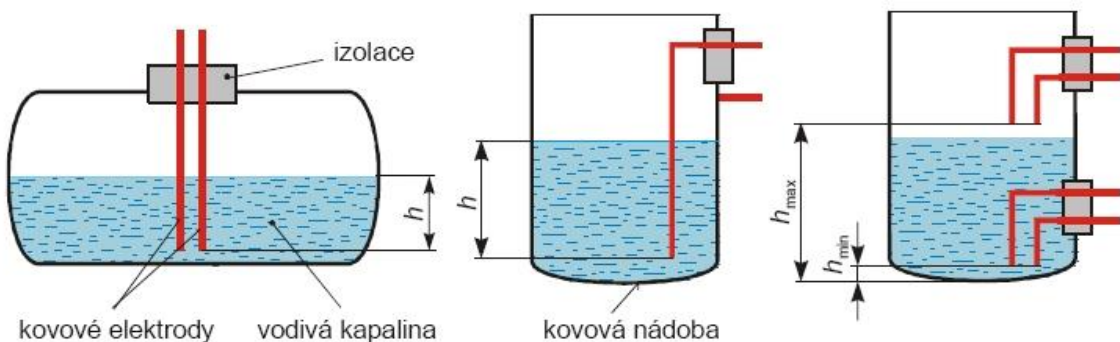
Tento princip je založen na měření hydrostatického tlaku kapalného média pomocí tlakoměru. Snímač je často umístěn pod úrovní minimální hladiny média. Nejčastěji používanými hydrostatickými hladinoměry jsou ponorné sondy tvořené membránou pro snímání tlaku pomocí tenzometru. Tenzometrický senzor ve snímači měří celkový tlak, který je složený z atmosférického a hydrostatického tlaku. Ke snímači je připojen kabel s propojovací hadicí pro přívod referenčního tlaku, a tak dochází k odečtu atmosférického tlaku. [27]

Ponorné sondy měří hladinu od 0,5 m (z důvodu stálého ponoření snímače v médiu) až do 250 m různých kapalných médií. Nevýhodou je horší přesnost měření.

5.3 Elektrické hladinoměry

5.3.1 Vodivostní hladinoměry

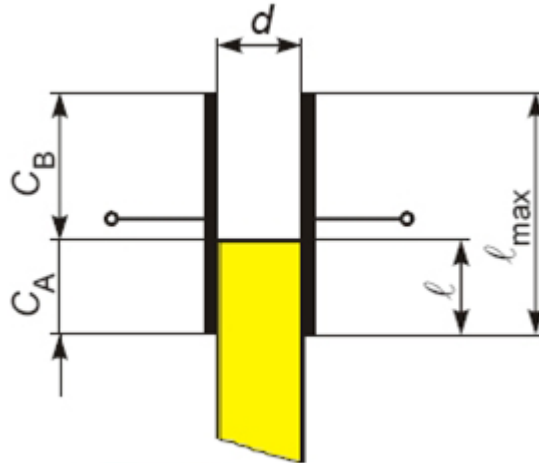
Podmínkou jejich fungování je měřená vodivá kapalina. Při spojitém měření je vyhodnocována změna elektrického odporu se změnou výšky hladiny. U nespojitého měření se měří odpor mezi dvěma elektrodami nebo mezi hrotem sondy a kovovou stěnou nádoby. Častěji jsou používány právě vodivostní spínače k signalizaci limitních stavů (např. naplňování a vyprazdňování nádoby). Důležité je opět umístění snímačů v nádobě. Pro měření je zde, z důvodu hrozby elektrolyzy při stejnosměrném napětí, použito střídavé napětí. Výhodou je jednoduchý princip a snadná instalace. [27]



Obrázek 5.4: Vodivostní hladinoměry- pro spojitě měření a limitní měření. Převzato z [27]

5.3.2 Kapacitní hladinoměry

Elektrody, které přicházejí do styku s měřeným médiem (kapalina nebo sypký materiál), měří kapacitu kondenzátoru s proměnlivou kapacitou. Často je také měřena impedance nebo admitance. Je možné je opět využívat pro spojitě i nespojitě měření. Polohu hladiny je možné získat při změně zaplnění deskového kondenzátoru médiem. Médium zde tvoří dielektrikum a lze zjistit okamžitou kapacitu součtem dvou dílčích kapacit, jak je vidět na obrázku 5.5. [27]



Obrázek 5.5: Princip měření polohy hladiny pomocí kapacitního hladinoměru. Převzato z [27]

Pro určení celkové kapacity je nutné znát permitivitu vzduchu a dielektrika a dále šířku desky kondenzátoru.

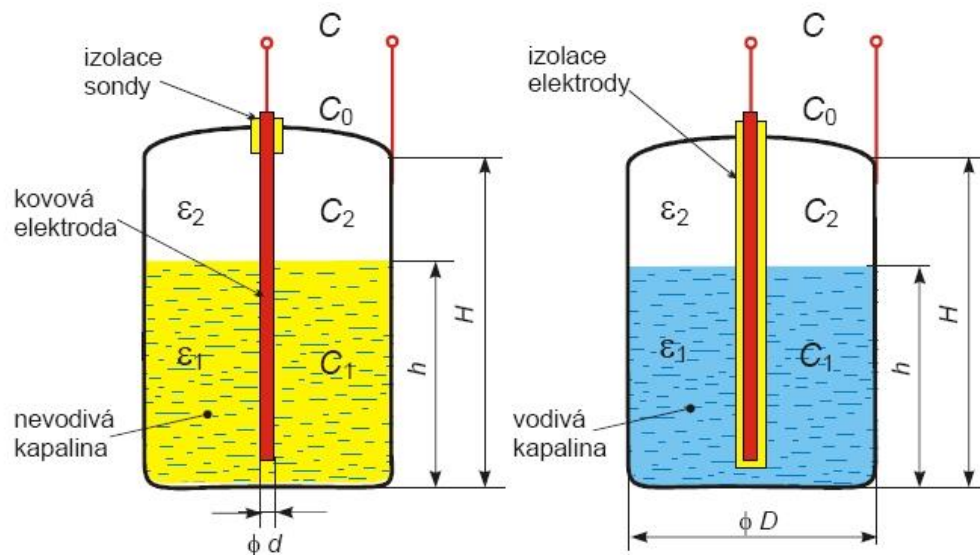
$$C = C_A + C_B = \varepsilon_0 \varepsilon_A \frac{al}{d} + \varepsilon_0 \varepsilon_B \frac{a(l_{max}-l)}{d} \quad (5.1)$$

kde C je celková kapacita, C_A a C_B jsou dvě rozdílné kapacity (Obr. 5.5), ε_A je permitivita posuvného dielektrika (médiu), ε_B je permitivita vzduchu, a je šířka desky kondenzátoru. Pomocí změny polohy l se mění i celková kapacita C . [27]

Pro snímání hladiny se využívá nejčastěji sonda kapacitního snímače válcového tvaru a je tvořena dvěma stojatými válci. Jedná se o vnitřní elektrodu (svíslá tyč, lano) a vnější elektrodu (například stěna kovové nádoby). Celková kapacita je pak součtem kapacity upevnění, proměnné kapacity ponořené části a proměnné kapacity vynořené části. Pro tento případ platí následující rovnice:

$$C = C_0 + C_1 + C_2 = C_0 + \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_1}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}h + \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_2}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}(H - h) \quad (5.2)$$

kde C_0 je kapacita upevnění a přívodů, C_1 je proměnná kapacita ponorné části sondy, C_2 je proměnná kapacita vynořené části sondy. Ostatní veličiny jsou vidět na obrázku 5.6. [27]



Obrázek 5.6: Rozdíl v měření hladiny u vodivých a nevodivých médií. Převzato z [8]

Dále se musí brát v úvahu, zda je měřené médium elektricky vodivé či nevodivé (Obr. 5.6). U nevodivých médií (benzín, olej) je kondenzátorem střední vodivá elektroda a druhou, vnější, elektrodou je například stěna kovové nádoby. Dielektrikem je potom nevodivé médium, které při změně hladiny zaplavuje střední, vnitřní, elektrodu. Naopak u vodivých médií (voda) musí být celá střední elektroda pokryta izolací, která tvoří dielektrikum kondenzátoru. Vodivé médium tvoří proměnnou plochu vnější elektrody, která se mění se změnou výšky hladiny. [27]

Tento princip měření hladiny je ideálním řešením u většího rozdílu permitivity měřeného média a prostředí, kde je hladina měřena. Při rozdílu menším než jedna, musí mít snímač vysokou citlivost. Permitivita se mění i v závislosti na teplotě, vlhkosti a složení materiálu a na velikosti částic sypkého materiálu. Z vyhodnocení změny kapacity se dále dopočítává poloha hladiny. [27]

Mezi přednosti těchto snímačů patří jednoduchá a robustní konstrukce bez pohyblivých částí, takže nedochází k opotřebení materiálu, vysoká korozní odolnost a možnost použití v prostředí s nebezpečím výbuchu. Naopak zápornou stránkou je závislost na proměnné permitivitě v závislosti na teplotě a vlhkosti, dále hrozí pokrývání povrchu sondy nečistotami, které mohou měnit její vodivost. [27]

Tyto snímače je možné využívat v širokém spektru měřených médií a nádob. Vhodné jsou jak pro spojitě i nespojitě měření, závisí poté na vlastnostech médií, hlavně na vodivosti. Používají se pro měření kapalných a sypkých materiálů.

5.3.3 Tepelné snímače hladiny

Součástí snímače tvoří sonda s elektricky vyhřívaným prvkem. V jeho okolí je instalován vhodný teploměr (např. odporový či termistor). Princip měření hladiny spočívá v ovlivnění přenosu tepla prostředím, které obklopuje snímač. Přenos tepla z vyhřívaného prvku bude do odlišných měřených materiálů jiný a při kontaktu s médiem dojde ke skokové změně teploty vyhřívaného prvku. [27]

Tyto snímače jsou využívány jako limitní. Velikou výhodou tvoří nezávislost vyhodnocování hladiny na materiálových konstantách (permitivita, vodivost, aj.), ale na povrchu sondy se mohou tvořit vrstvy nečistot, které výrazně ovlivní přestup tepla do média a sníží citlivost snímače. Jednoduchost, spolehlivost a nezávislost měření na složení média je velikou výhodou těchto snímačů, a proto jsou používány při měřeních ve víceúčelových provozních zařízeních. [27]

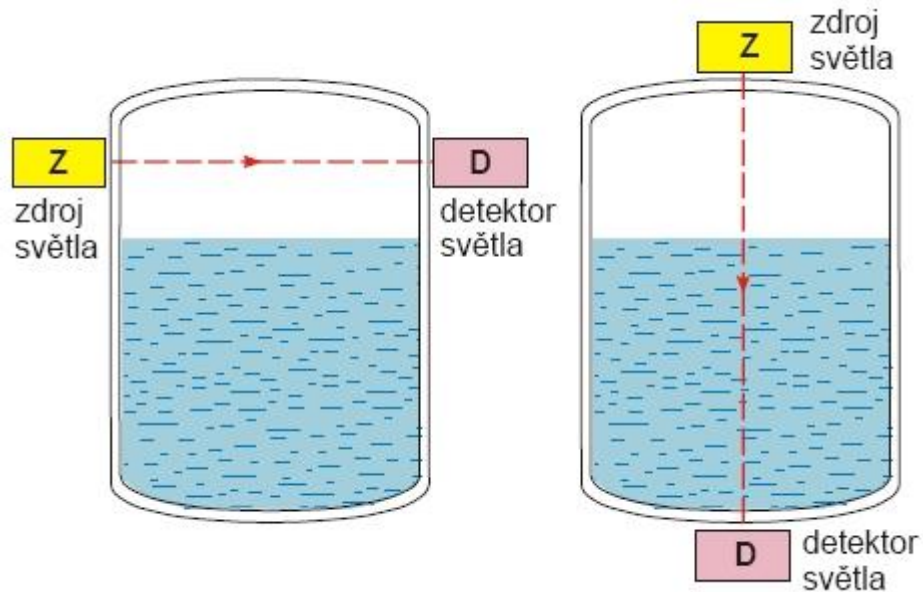
5.4 Optické hladinoměry

Tyto snímače využívají často bezdotykového měření a jsou založeny na průchodu, odrazu či lomu vyzařovaného záření, které může být viditelné, infračervené nebo laserové.

5.4.1 Transmisní (absorpční) snímače hladiny

Zde jsou použity paprsky viditelného nebo infračerveného záření, které procházejí přes průhlednou (skleněnou, plastovou) nádobou, ve které je umístěno měřené médium. Opět je možnost využívat jak spojitěho měření, tak limitního. Snímač obsahuje zdroj záření

(viditelné, IČ) a detektor tohoto záření. Při měření limitní hladiny je zdroj záření a detektor umístěn horizontálně, kdy při zvýšení hladiny nad úroveň umístění této dvojice detektor detekuje změnu intenzity záření díky absorpci záření do média. Naopak u spojitého měření hladiny je dvojice zařízení umístěná vertikálně a detektor detekuje každou změnu intenzity záření způsobenou změnou výšky hladiny. [27]

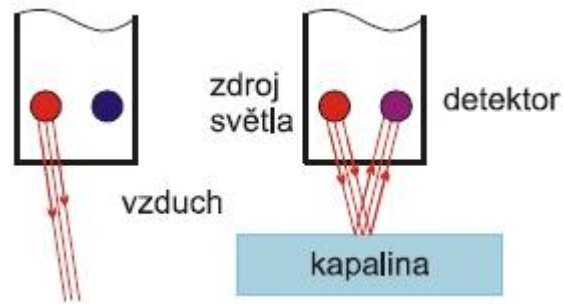


Obrázek 5.7: Transmisní (absorpční) snímač hladiny- limitní a spojitě měření. Převzato z [27]

Snímače využívající průchod světla jsou vhodné pro měření polohy hladiny různorodých kapalin a kalů. Nejčastěji se využívají pro limitní měření. Problém může nastat při vzniku povlaku na sondě, což může být příčinou chybné funkce měření.

5.4.2 Reflexní snímače hladiny

Tento princip využívá odrazu paprsku záření (viditelné, IČ) od hladiny kapalného či sypkého média. Snímač obsahuje zdroj záření, který v tomto případě vysílá paprsky směrem k hladině, a detektor, který snímá odražený paprsek. Poloha hladiny je vyhodnocena z času, kdy je paprsek vyzářen až do doby detekce paprsku v detektoru. Měření výrazně ovlivňuje odrazivost povrchu měřeného média. Dvojice zařízení je zde umístěna ve stejném pouzdře a tvoří tak jedno společné zařízení. Opět zde hrozí riziko vzniku povlaku, ale výhodou je možnost použití pro různorodá média s odlišnými vlastnostmi. [27]

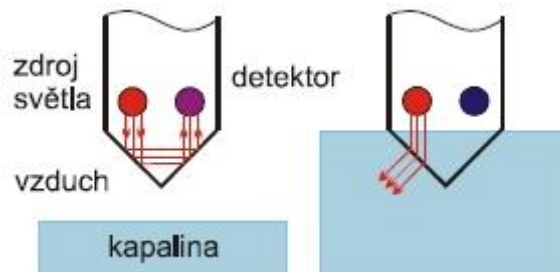


Obrázek 5.8: Reflexní snímač hladiny. Převzato z [27]

5.4.3 Refrakční snímače hladiny

Posledními optickými snímači jsou refrakční hladinoměry, tedy snímače, které využívají lomu světla na rozhraní dvou optických prostředí.

Snímač je často skleněný, protože při dopadu světla pod úhlem 45° dochází při rozhraní sklo/vzduch k totálnímu odrazu. Světlo se tedy od zdroje záření šíří vzduchem, odrazí se od rozhraní a vrací se zpět k detektoru. Naopak při zaplnění části snímače kapalinou nedojde k totálnímu odrazu, detektor tedy nezaznamená žádné záření. [27]



Obrázek 5.9: Refrakční snímač hladiny. Převzato z [27]

Refrakční snímače jsou vhodné pro malé nádoby díky malým rozměrům snímače. Jsou schopny detekovat kapaliny s různorodými vlastnostmi. Opět hrozí vznik povlaku na snímači.

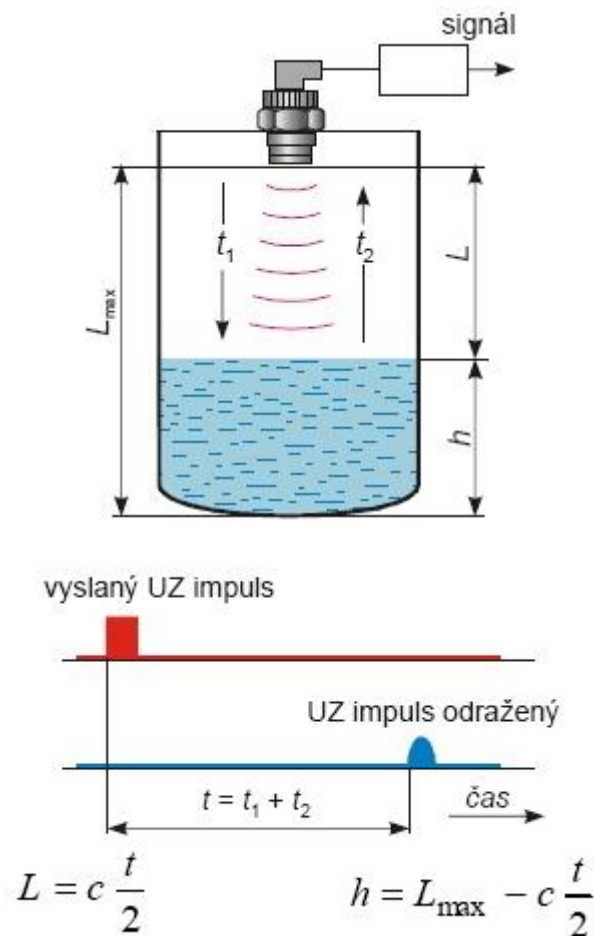
5.5 Ultrazvukové snímače

O ultrazvuk se jedná při frekvenci zvuku nad 20 kHz, má mechanické vlnění a k jeho šíření je nezbytností látkové prostředí, proto je tento princip použitelný pouze v nádobách, kde tlak neklesá pod 60 kPa. Při šíření ultrazvuku prostředím dochází ke smršťování a zředění prostředí, které představuje akustický tlak. Na rychlost šíření mají vliv vlastnosti prostředí, kde se ultrazvuk šíří. [27]

Existuje několik principů měření pomocí ultrazvukového vlnění. Může se měřit čas ultrazvukové vlny z vysílače, která se odrazí od hladiny zpět k přijímači a z této doby se určí vzdálenost snímače od hladiny. Tento princip je používán pro spojitě měření hladiny. Naopak pro limitní snímání se využívá absorpce ultrazvukových vln v médiu anebo měření odrazu ultrazvukové vlny od stěny nádoby, ve které je měřené médium.

5.5.1 Spojité měření hladiny pomocí ultrazvukového snímače

Snímač obsahuje generátor a vysílač ultrazvukového vlnění, přijímač a zesilovač vlnění a elektronické vyhodnocení. Ultrazvukový impuls vytvořen v generátoru je vyslán z vysílače, dále je odražen od hladiny měřeného média a je detekován v přijímači. Doba t je tedy součtem šíření od vysílače k hladině a šíření od hladiny k přijímači. Elektronický obvod vyhodnocuje délku dráhy ultrazvukového impulsu a z toho vyčíslí výšku hladiny. Je nutné znát výšku celé nádoby a rychlost ultrazvukového impulsu v měřeném prostředí, ze kterých je možné dopočítat aktuální výšku hladiny. [27]



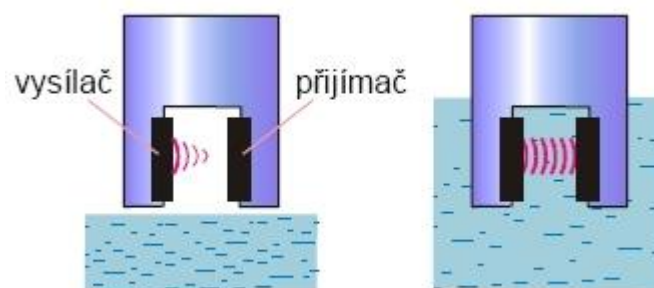
Obrázek 5.10: Princip spojitěho měření hladiny ultrazvukovým snímačem. Převzato z [27]

Vysílač a přijímač je často piezoelektrický měnič (ultrazvuk od 20 do 60 kHz) nebo magnetostrikční měnič. Aby bylo měření správné, je nutné, aby odražená vlna od povrchu média měla dostatečnou energii. Na vlastnostech média závisí tak i energie vysílaného ultrazvukového impulsu, který například v sypkých látkách může část své energie ztratit a odražená vlna by neměla dostatek energie na správné vyhodnocení hladiny. Z útlumu energie v médiu se určuje minimální požadovaná energie dopadajícího impulsu a určuje tak maximální měřitelnou vzdálenost v daném prostředí, díky které je určena tzv. neměřitelná zóna. Proto při zbytkovém kmitání vysílače se nemůže aktivovat přijímač. Neměřitelná zóna je vzdálenost snímače od maximální měřitelné výšky hladiny. Při překročení maximální hladiny snímač přestává měřit. S tím se musí počítat při instalaci snímače, aby bylo možné detekovat hladinu v požadované úrovni. [27]

Protože rychlost šíření ultrazvuku ovlivňuje teplota měřeného média, jsou často snímače vybaveny korekčními obvody, které na základě měření teploty provádějí korekci. Dále závisí na hustotě média, tvaru a kvalitě povrchu nádoby, přítomnosti pomocných zařízení v nádobě a vlastnostech média. [27]

5.5.2 Limitní měření hladiny pomocí ultrazvukového snímače

Při měření mezních stavů využívají ultrazvukové hladinoměry útlumu šíření vlnění v médiu. Snímač tvoří opět generátor ultrazvukových impulsů, opět často piezoelektrický měnič a detektor.

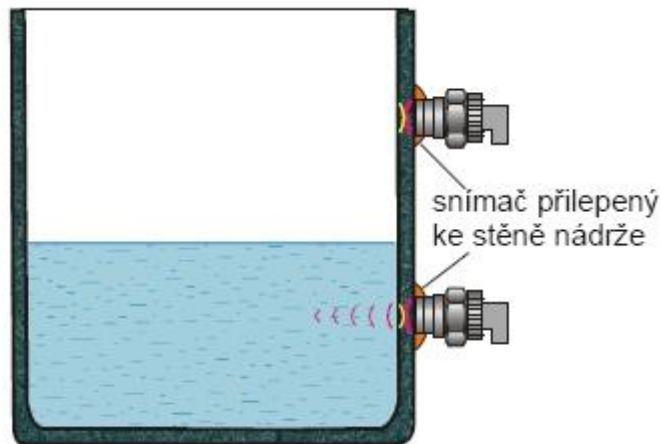


Obrázek 5.11: Limitní měření hladiny ultrazvukovým snímačem s hlavicí umístěnou v médiu. Převzato z [27]

Když v hlavicí snímače není zaznamenáno žádné médium, je útlum ultrazvukového vlnění poměrně vysoký, a tak detektor nic nezaznamená. Při naplnění hlavice médiem se

útlum sníží a ultrazvukový signál je dobře přenášen až k detektoru. Je tak zaznamenán limitní stav. [27]

Druhým způsobem limitního měření hladiny pomocí ultrazvuku je reflexní snímač (Obr. 5.12). Ten je upevněn vně nádoby a generovaný ultrazvukový impuls prochází tzv. spojovacím gelem z vnějšku nádoby do stěny nádoby a dále touto stěnou do vnitřního prostoru, kde je několikrát odražen. Z doby trvání odrazu snímač vyhodnotí, zda je za stěnou kapalina nebo vzduch a detekuje tak polohu fázového rozhraní. Při prázdné nádobě se veškerý signál vrací zpět k snímači, ale při přítomnosti kapaliny v nádobě se většina signálu absorbuje do kapaliny. [27]



Obrázek 5.12: Limitní měření hladiny ultrazvukovým snímačem (reflexním) umístěným vně nádoby.
Převzato z [27]

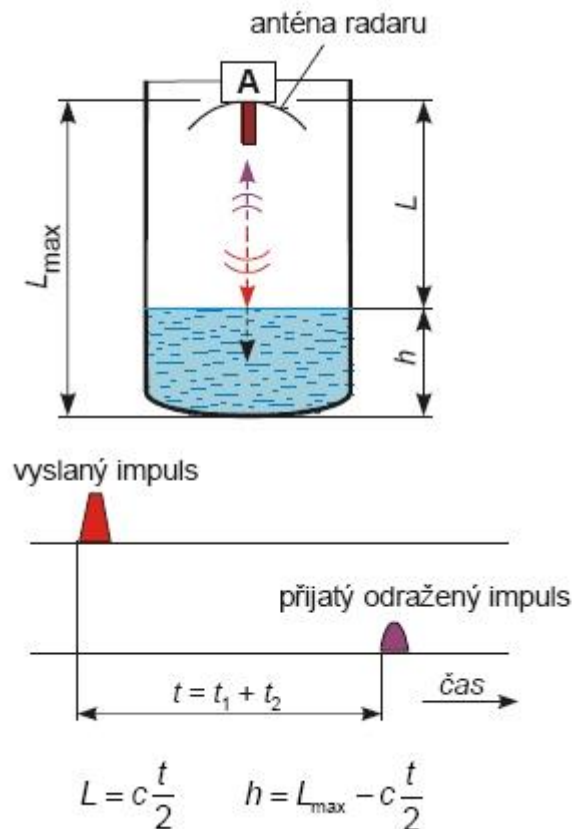
5.6 Radarové snímače

Použití a princip je velmi podobný ultrazvukovým hladinoměrům, rozdíl je jen v použitém vlnění. Zde se využívá elektromagnetické mikrovlnné záření, které se ve vakuu šíří rychlostí světla. Jedná se tak o vlnění o frekvenci od 1 do 300 GHz, ale u měření hladiny je využívána frekvence 5,8 – 26 GHz. Měření hladiny je prováděno bezkontaktně, kdy se vlnění šíří nad hladinou média, a kontaktně, kdy je vlnění šířeno přímo v médiu. [27]

Na rychlosti šíření mikrovlnného záření v prostředí má vliv permitivita a permeabilita prostředí. Z těchto známých materiálových parametrů je následně vypočtena rychlost šíření mikrovln. [27]

5.6.1 Bezkontaktní radarový hladinoměr

Pomocí antény jsou vysílány směrem k hladině média krátké mikrovlny s frekvencí 6 GHz. Na hladině dojde k částečnému odrazu mikrovlny zpět k vysílači, který je přepnut v této fázi na přijímač, a část mikrovlny proniká do média. Měří se čas, kterou vlna urazila od vysílání, přes odraz od hladiny až zpět k přijímači. Z této doby se určí poloha hladiny. [27]



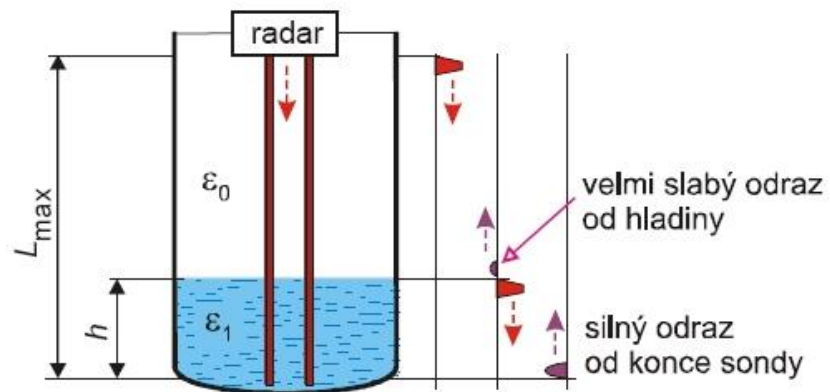
Obrázek 5.13: Bezkontaktní měření hladiny radarovým snímačem. Převzato z [27]

5.6.2 Kontaktní radarový hladinoměr

Kontaktní neboli reflektometrické hladinoměry využívají šíření mikrovlnné vlny po vlnovodu, který je instalován přímo v nádrži a je spojen se snímačem. Vlnovodem může být lano, tyč nebo koaxiální kabel, po kterém se mikrovlna od odrazu od hladiny vrací zpět k snímači. Odražená vlna je závislá na permitivitě měřeného média. U vyšší permitivity je měřen přímo časový rozdíl mezi vysláním a přijmutím vlny od hladiny, a tyto hladinoměry se značí TDR (time domain reflection). Naopak u médií s nižší permitivitou dochází ke slabému odrazu vlny od hladiny média, ale dojde k silnému odrazu vlny od dna nádrže. Vyhodnocuje se pak nárůst

doby návratu vlny s měřeným médiem a doby prázdné nádrže. Tento princip se nazývá TBF (tank bottom following). Je nutné však znát přesně permitivitu média. [27]

Při realizaci jsou kladeny vysoké nároky na instalaci vlnovodu z důvodu rozložení elektromagnetického pole. U koaxiálního kabelu nenastává problém, ale u lan a tyčí musí být okolí bez překážek pro bezchybný přenos vlny.



Obrázek 5.14: Kontaktní měření hladiny radarovým snímačem. Převzato z [27]

6 Metrologie

Metrologie je technický obor, zabývající se měřením a zjišťováním přesnosti, správnosti a jednotnosti měření. Vše potřebné a důležité je popsáno v Zákoně č. 505/1990 Sb., o metrologii v aktuálním znění.

Měřidla se dle zákona o metrologie dělí na etalony, stanovená pracovní měřidla, nestanovená pracovní měřidla a certifikované referenční materiály CRM. Etalon slouží k realizaci a uchování určité jednotky a k jejímu přenosu na měřidla s nižší přesností. Etalonem může být měřidlo, ztělesněná míra i certifikovaný referenční materiál. Stanovené měřidlo je určeno vyhláškou MPO (Ministerstvo průmyslu a obchodu) č. 345/2002 Sb., v platném znění, k pravidelnému ověřování. Nejčastěji se jedná o měřidla určená k obchodním účelům, např. taxometry, stojany na čerpacích stanicích měřící množství protékajícího paliva, elektroměry, plynoměry a vodoměry. Pracovní měřidla jsou všechna ostatní měřidla, která nejsou etalonem ani stanoveným měřidlem. Tato práce se zabývá právě pracovními měřidly, která slouží k zjišťování stavů v technologiích a k možnému zjištění problému či poruše části technologie. Certifikované referenční materiály (CRM) slouží k ověřování nebo kalibraci měřících přístrojů, vyhodnocování měřících metod a určování vlastností jiných materiálů. Jedná se o materiály či látky stanoveného složení a určených vlastností.

Dále je nutné rozlišit ověřování a kalibraci. Ověřování se provádí u stanovených měřidel. Ověřením jsou u měřidla zajištěné metrologické vlastnosti. Doba platnosti ověření je opět stanovena vyhláškou MPO č. 345/2002 Sb, v platném znění. Ověřování stanovených měřidel provádí autorizovaná metrologická střediska. Naopak kalibraci vykonává akreditovaná kalibrační laboratoř pro pracovní měřidla. Při kalibraci záleží na uživateli (provozovateli měřidel), zda zjištěné nejistoty vyhovují či ne.

Základní a všeobecné pojmy udává mezinárodní metrologický slovník, který je uveden v TNI 01 0115. Nejdůležitějšími pojmy jsou přesnost měření (= těsnost shody mezi výsledkem měření a pravou hodnotou), opakovatelnost výsledků (= těsnost shody mezi výsledkem po sobě následujících měření stejné veličiny provedených za stejných podmínek, např. stejnou osobou a stejným přístrojem), reprodukovatelnost výsledků (= těsnost shody

mezi výsledky měřené veličiny za změněných podmínek, např. jinou osobou či jiným přístrojem), nejistota měření (= parametr, který charakterizuje rozptyl hodnot, ukazuje tedy meze, v nichž se bude pravděpodobně naměřená hodnota vyskytovat), chyba měření (= rozdíl hodnoty zjištěné měřením od skutečné hodnoty) a odchylka (= rozdíl mezi zjištěnou a pravou hodnotou měřené veličiny). [25]

V této práci se pro měření neelektrických veličin v energetice nejčastěji jedná o pracovní měřidla nestanovená, kde jsou určeny intervaly kalibrací v metrologickém řádu nebo v příručce kvality podniku. Výrobci snímačů doporučují většinou časový interval pro opakovanou kalibraci. Periodická kalibrace měřidel je časově i ekonomicky náročná, ale pro správné měření nutná. Uživatel si i může kalibraci provádět sám, pokud vlastní etalony, nebo se kalibrace provádí v akreditovaných kalibračních laboratořích. Vždy ale musí být dodržován kalibrační postup se souhrnem činností při kalibraci měřidel, který slouží jako návod pro kalibraci. Po kalibraci měřidla je vydán kalibrační list s náležitými informacemi.

Kalibrací se zabývá velké množství firem v soukromém sektoru, ale také Český metrologický institut, který je složen z oddělení pro kalibraci měřidel různých veličin, jejichž oddělení jsou popsána dále. [26]

Teplota, tlak, vlhkost

Oddělení teploty, vlhkosti a tlaku s číslem 1033 se nachází v Praze, kde hlavními obory kalibrací jsou průtok, teplota, vlhkost a tlak. Mezi kalibrované přístroje patří odporové teploměry (průmyslové, etalony), termoelektrické články, vlhkoměry, tlakoměry (pístové, deformační, číslicové), měřicí převodníky tlaku a měřicí řetězce tlaku.

Oddělení primární metrologie tepelně-technických veličin 1012 sídlící také v Praze se zabývá kalibrací průtoku, teploty a vlhkosti a kalibrují platinové odporové teploměry, termistory, termočlánky z obecných kovů (K, T, J, N), ušlechtilých kovů (S) a čistých kovů. Dále termovizní kamery, bezdotykové teploměry, infračervené teploměry, rosnobodový vlhkoměr, platinové odporové teploměry a termoelektrické články z ušlechtilých kovů v definičních bodech teplotní stupnice ITS-90. Dále kalibrují pevné body různých materiálů (voda, rtuť, zinek, cín, atd.), trojný bod vody a černá tělesa.

V Brně se nachází oddělení s číslem 6036, kde jsou kalibrovány bezdotykové, skleněné a indikační teploměry, odporové teploměry (průmyslové, etalony), termoelektrické články i se simulací výstupních signálů, vlhkoměry a měřicí řetězce vlhkosti.

Oddělení 5012 v Pardubicích se zabývá kalibrací deformačních tlakoměrů, oddělení 6013 v Brně kalibruje pístové tlakoměry a v Opavě je možné kalibrovat deformační a číslicové tlakoměry v oddělení 7051

Průtok, hladina

Kalibrací měřících zařízení pro ověřování měřidel proteklého množství vody se zabývá oddělení 1012 a 1033 (Praha), kalibrací objemových průtočných měřidel i na kapalná paliva oddělení 1052 (Praha), 2051 (České Budějovice), 3051 (Plzeň), 4051 (Liberec), 4151 (Most), 5051 (Pardubice), 6051 (Brno), 6251 (Kroměříž), 7151 (Olomouc). Plynové průtokoměry jsou kalibrovány v Pardubicích v oddělení 5012.

Oddělení 6015 (Brno) kalibruje kapalinové průtokoměry, anemometry, měřidla průtočného množství kapaliny, průtokoměrné členy měřičů tepla, průtokoměry na kapaliny, měřicí zařízení pro ověřování měřidel proteklého množství, hladinoměry s automatickou činností.

7 Projektované snímače v energetice

V této části jsou představeny a porovnány snímače často projektované v energetice pro měření představených neelektrických veličin. Pro každou kategorii je vybráno několik hlavních zástupců od spolupracujících dodavatelů snímačů. Dále je ukázána na příkladech instalace a připojení k technologii, kde je vidět, že ke správné funkci snímače není dostačující pouze samotný snímač (spínač), ale důležité je i správně navrhnout odběrové místo s různými konstrukčními prvky a celý měřicí řetězec. Proto je nutné znát veškeré informace o měřeném médiu, okolních podmínkách, požadavky zákazníka na měření. Dle zjištěných informací se projektuje celý měřicí řetězec (snímač, převodník, kabel, konstrukční prvky.)

V následující části jsou informace čerpány z katalogových listů výrobců.

7.1 Snímače teploty

V energetice jsou nejčastěji používány odporové teploměry nebo termočlánky. Mezi hlavní výrobce snímačů teploty patří JSP, ZPA, ABB a EMERSON a k výrobcům převodníků teploty patří i SIEMENS.

Termoelektrické snímače

Všichni výrobci termoelektrických snímačů nabízí plášťové, tyčové termočlánky, snímače teploty s jímkou i bez jímky nebo bez ochranné armatury, snímače vhodné do prostorů s nebezpečím výbuchu, s převodníkem či bez, atd. Termoelektrické snímače teploty jsou u všech výrobců na srovnatelné úrovni, nelze říci jaký výrobce je vhodnější. Pro uvedení některých vlastností jsou uvedeny základní termoelektrické snímače firmy JSP.

FlexiTEMP 60

Mezi termoelektrické snímače teploty patří termočlánky jednoduchého či dvojitého provedení typu "J", "K" a "N". Jedná se o plášťové provedení o průměru pláště od 1 do 6 mm z nerezové oceli odolného vůči korozi s volitelnou délkou kompenzačního vedení od 0,1 do 50 m. Výhodou je ohebný stonek snímače, vysoká přesnost, rychlá reakce na změny teplot, odolnost proti vysokému tlaku a hlavně vyšší stabilita výstupního signálu, a tak je vhodnou volbou pro řídicí systémy. Naopak nevýhodou je absence ochranné armatury.

V praxi je nejčastěji používán a doporučen používat termočlánek typu “K”. Jeho měřicí rozsah je od -200 °C do 1300 °C s třídou přesnosti A a s napěťovým výstupem (s použitím převodníku např. i s proudovým výstupem 4 – 20 mA).

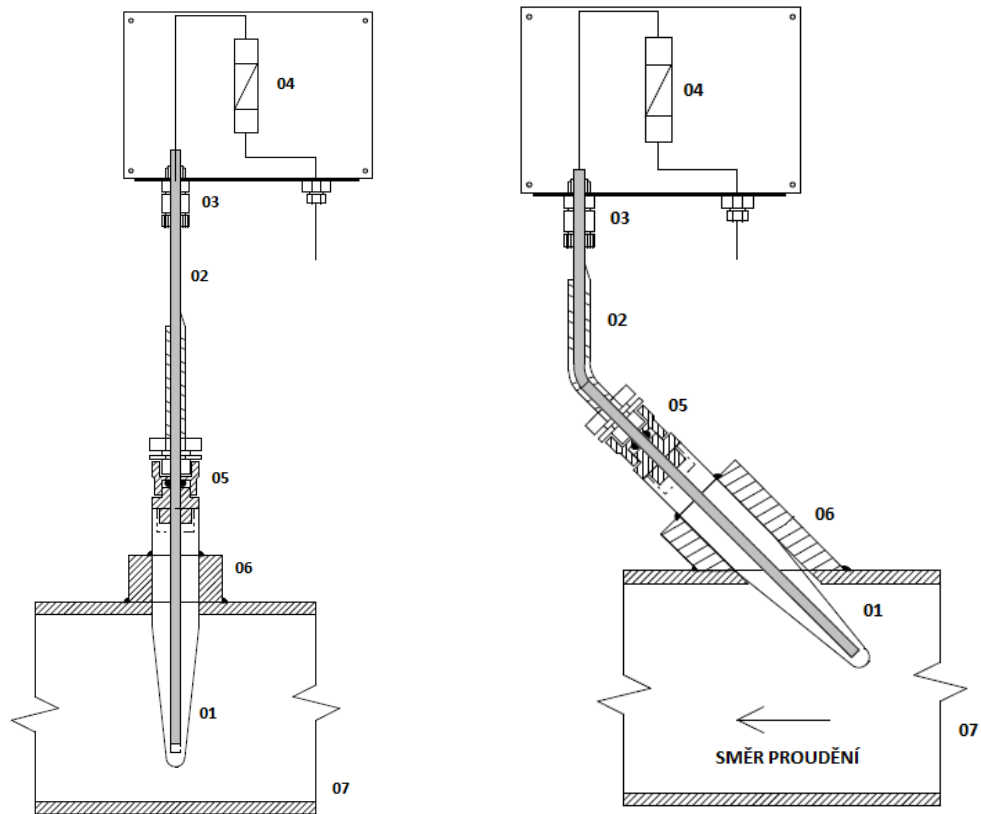
ModuTEMP 70

Modulární termoelektrické snímače slouží k měření teploty v proudících kapalných i plynných médiích i v prostředí s nebezpečím výbuchu. Mohou obsahovat i převodník s proudovým výstupem 4 až 20 mA či s dalšími druhy výstupního signálu (HART, Profibus, atd). Kvůli proudícímu médiu se snímače umisťují do jímek. Na jímku jsou kladeny poměrně vysoké nároky, jako odolnost proti abrazi, korozi nebo vibraci. Snímače s jímkou jsou vhodnější používat pro vyšší rychlosti proudění a vyšší tlaky. Naopak snímače bez jímky je možné použít pro měření teploty média o nižší rychlosti. Výhodou je rychlejší doba reakce na změnu teploty.

Čidlem snímače je opět buď jeden nebo dva termočlánky typu “J”, “K” a “N” s třídou přesnosti A (TP u “N” je B) a měřicím rozsahem od -200 °C do 1300 °C (pro “J” do 800 °C).

CeraTEMP 80

Tyto tyčové termoelektrické snímače s termočlánky “J”, “K”, “R”, “S” nebo “B” s měřicím rozsahem od -40 °C do 1600 °C s třídou přesnosti 1, 2, 3 jsou vhodné pro měření teploty ve spalovacích zařízeních. Termočlánky jsou vloženy do ochranné trubky (kovové, keramické či safírové). S převodníkem je opět možno získat proudový výstup 4 až 20 mA.



Obrázek 7.1: Připojení termoelektrického teploměru k technologii. Zdroj vlastní

Na obrázku 7.1 je připojení termoelektrického teploměru. Termočlánek (01) je umístěn v ochranné jímce v měřeném médiu v potrubí (07). Přes navařený konstrukční prvek (06) a další montážní díly, jako jsou vývodky, šroubové závity a matice (05) je vyveden kabel termočláneku ochrannou trubicí (02) přes vývodku do převodníku (04) v přechodové či sduřovací krabici. Na druhém obrázku 7.1 vpravo je ukázáno připojení termoelektrického teploměru k potrubí s rychle proudícím médiem. Konstrukčně se jedná o podobné připojení, jen musí být čidlo termočláneku umístěno proti proudu média.

Odporové snímače teploty

Odporové teploměry projektované v praxi jsou nejčastěji platinové (PT100). Opět existuje celá řada použití a nabízejí se v provedení plášťovém či modulárním. Na ukázkou teploměry od firmy JSP.

FlexiTEMP 60, ModuTEMP 70

Tento odporový teploměr je složen z jednoho nebo dvou čidel PT100 s měřicím rozsahem od -200 °C do 600 °C. Třída přesnosti závisí na vodičovém zapojení (A,B) a vnějším průměru stonku. Jsou určeny pro měření, kde je nutná rychlá reakce na změny teplot a odolnost proti korozi. Výhodou je vysoká přesnost, stabilita, ohebnost stonku a malé rozměry. Výstupním signálem je měřený odpor, který může být pomocí převodníku změněn například na proudový. Tato řada RTD je opět vhodná k připojení řídicích systémů.

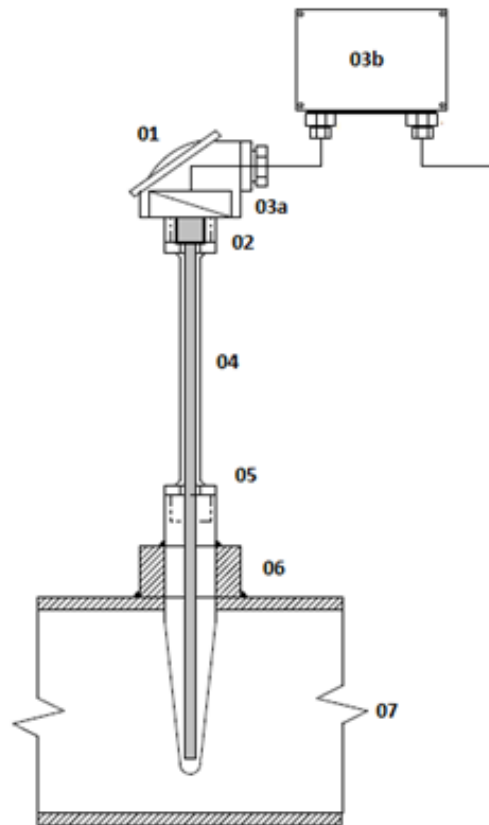
Druhým řešením je řada ModuTEMP 70, kde se jedná o modulární odporové snímače teploty. Ty jsou vhodné pro aplikace měření kapalných či plyných proudících médií s totožnými parametry jako FlexiTEMP 60, vhodné také do prostředí s nebezpečím výbuchu. Umisťují se ideálně opět do jímek jako termoelektrické snímače teploty stejné řady.

T1031

Pro měření teploty v agresivních kapalinách jsou na trhu uvedeny odporové teploměry s jedním či dvěma čidly PT100 s měřicím rozsahem od -50 °C do 105 °C s vyšším stupněm krytí IP68 a třídou přesnosti A nebo B.

T1010

Čidlem u tohoto snímače může být PT100, PT500 nebo PT1000 s měřicím rozsahem od -50 °C do +150 °C a stupněm krytí IP65 nebo IP68 s třídou přesnosti A nebo B. Jsou určeny k prostorovému měření teploty, nejčastěji okolního vzduchu. Dle použité hlavice pro ochranu čidla je možné měřit i v prostředí s nebezpečím výbuchu, kde v provedení s pevným závěrem je horní limit detekce 85 °C. Odporový signál je opět pomocí převodníku měněn na proudový výstup 4 až 20 mA.



Obrázek 7.2: Připojení odporového teploměru k technologii. Zdroj vlastní

Na obrázku 7.2 je znázorněno připojení odporového teploměru k potrubí s měřeným médiem. Čidlo odporového teploměru (02) je umístěno v ochranné hlavici (01). Převodník teploty na výstupní signál může být umístěn přímo v hlavici teploměru (03a) nebo se nachází dále v měřicím řetězci, nejčastěji v přechodové či sružovací krabici (03b). Kabel vycházející z hlavice teploměru může být integrovaný nebo musí být zvolen dle správných náležitostí. Pro správně měření je odporový teploměr prodloužen (04) a čidlo se nachází až na samotném konci ochranné teploměrové jímky (05). Navařený konstrukční prvek (06) slouží k upevnění celého teploměru k potrubí (07).

Tabulka 3: Porovnání představených kovových odporových a termoelektrických teploměrů

Termoelektrické snímače teploty			
Typ	Měřicí rozsah	Třída přesnosti	Stupeň krytí
FlexiTEMP 60	-200 °C až +800 °C („J“)/1300 °C („K“, „N“)	A/B	IP50/IP64/IP67
ModuTEMP 70	-200 °C až +800 °C („J“)/1300 °C („K“, „N“)	A/B	IP65/IP68
CeraTEMP 80	-40 °C až +900 °C („J“)/1200 °C („K“) 0 °C až 1600 °C („R“, „S“) +300 °C až +1800 °C („B“)	A/B	IP53/IP65
Odporové snímače teploty			
Typ	Měřicí rozsah	Třída přesnosti	Stupeň krytí
FlexiTEMP 60	-200 °C až 600 °C	A/B	IP50/IP64/IP67
ModuTEMP 70	-200 °C až 600 °C	A/B	IP65/IP68
T1031	-50 °C až 105 °C	A/B	IP68
T1010	-50 °C až +150 °C	A/B	IP65/IP68

Převodníky teploty

Jak již bylo psáno, pro převod z odporového či napětového výstupu snímačů teploty slouží teplotní převodníky. Ty převádí výstupní signál nejčastěji na proudový 4 až 20 mA (popřípadě s podporou komunikačního protokolu HART, Profibus, Fieldbus, atd.). Výrobci opět nabízejí několik převodníků signálu různých provedení dle přesnosti, účelu použití, stupně krytí atd. Princip převodníku spočívá v přeměně napětového signálu (u TC) nebo ohmického signálu (u RTD) na digitální. Důležité je, aby byl převodník odolný vůči EMC.

Mezi univerzální převodníky teploty patří převodníky SITRANS TH od výrobce SIEMENS, instalované přímo do hlavičky snímače, které převádějí ohmický či napětový signál na proudový 4-20 mA.

Převodník SITRANS TH100 je určen k měření teploty společně s odporovými teploměry (PT100). Výstupní signál 4 až 20 mA odpovídá naměřené teplotě dvou, tří i čtyř vodičového zapojení odporového teploměru. Přesnost měření je závislá na měřicím rozsahu. Při měření do 250 °C je přesnost < 0,25 °C a při měření nad 250 °C udává výrobce přesnost < 0,1 % z měřicího rozsahu. Opakovatelnost je menší než 0,1 °C a je možné tento převodník používat pro rozsahy měřených teplot od -200 °C do 850 °C. Výstupní signál může ovlivnit teplota, napájení a zátěž měřicího řetězce.

Dalšími převodníky jsou SITRANS TH200, 300, které umožňují připojit jak odporový teploměr, tak termoelektrický snímač. U připojení termoelektrického snímače dochází

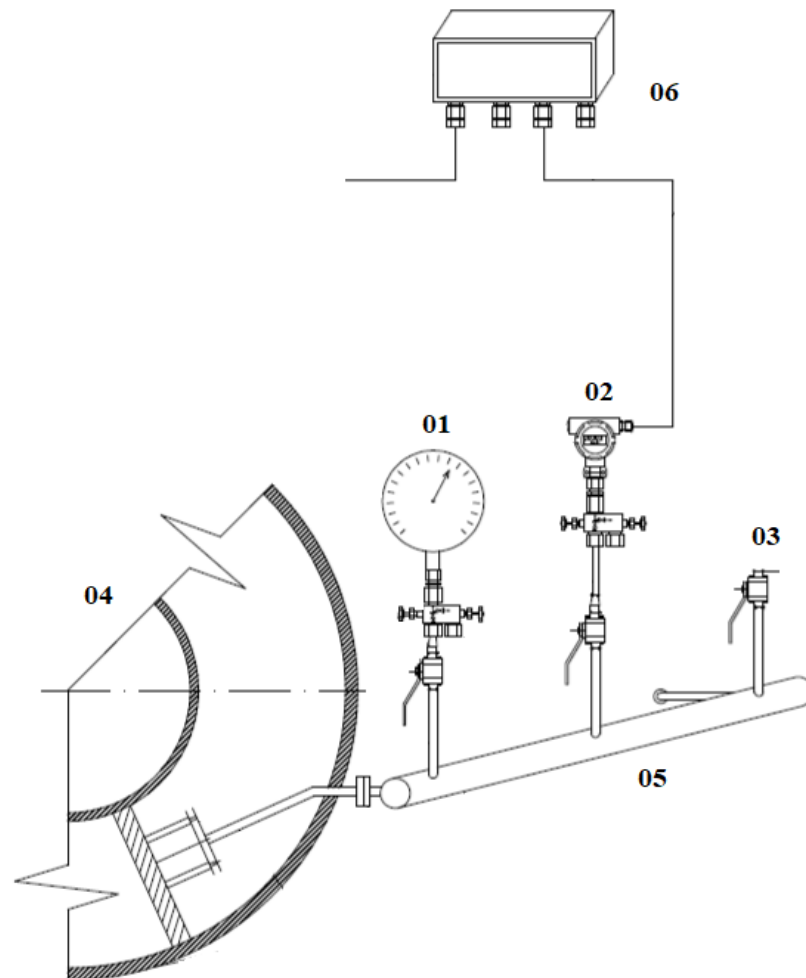
ke kompenzaci studeného spoje. Ten může být řešen interně, kde je termočlánek nebo je kompenzační vedení připojeno k převodníku a teplota studeného konce je získána interním odporovým čidlem PT100. Druhým způsobem je externí kompenzace buď pomocí termostatu nebo pomocí odporového čidla PT100. Chyba u analogového měření je 0,02 % z rozsahu výstupního proudu/ 10 °C a u digitálního měření 0,06 °C/10 °C u odporových teploměrů a u termoelektrických teploměrů 0,6 °C/ 10 °C.

Alternativou k montáži do hlavice snímače je univerzální převodník na DIN lištu od výrobce SIEMENS SITRANS TR200, TR300 s přesností digitálního výstupního signálu < 0,25 % z rozsahu pro odporové i termoelektrické snímače. Má ovšem nižší stupeň krytí (IP20), ale je umístován do sduřovacích či přechodových skříní s podporou komunikačního protokolu HART. Firmy nabízejí i převodníky na DIN lištu s menší šířkou pro šetření místa v přechodových krabicích s vysokou přesností (< 0,05 % z rozsahu) a rychlou odezvou (< 30 ms).

Výrobce EMERSON uvedl na trh převodník Rosemount 3144P pro všechna čidla odporových i termoelektrických teploměrů s výstupním signálem 4 až 20 mA a s podporou komunikačního protokolu HART. U analogového měření je přesnost měření $\pm 0,1$ °C.

7.2 Snímače tlaku

Mezi snímače tlaku využívající se v praxi patří manometry (založené na různých principech) a spínače tlaku. Dále výrobci nabízí tlakové převodníky a další příslušenství (ventilové soupravy, impulsní potrubí, atd).



Obrázek 7.3: Připojení manometru, snímače tlaku s převodníkem a připravené odběrové místo.
Zdroj vlastní

Na obrázku 7.3 je ukázána technologie s měřením tlaku (04). Místní měření tlaku je řešeno manometrem (01), aktuální hodnota tlaku je pomocí tlakového snímače s převodníkem (02) pomocí kabelu přenášena například do řídicího systému (signál 4-20 mA) přes sdružovací krabici (06). Poslední odběrové místo (03) je připraveno například pro garanční měření nebo pro další snímač či spínač tlaku. Měření tlaku je vyvedeno mimo technologii a k pomocnému potrubí (05) jsou připojeny snímače. Ostatní prvky tvoří impulsní potrubí, ventily či ventilové soupravy a různé redukční či navařovací prvky.

Tlakové převodníky

SIEMENS

SITRANS P DS III

Převodníky tlaku řady SITRANS P DS III jsou schopny měřit v korozivních i nekorozivních kapalinách, plynech a parách s přesností až 0,075 % tlak v rozsahu od 0,01 mbar do 400 bar, dále tlakovou diferencí (pomocí diferenčních tlaků i průtok) v rozsahu od 1 mbar do 30 bar, absolutní tlak od 8,3 mbar do 30 bar a hladinu korozivních i nekorozivních kapalin v otevřených i zavřených nádržích v rozsahu od 25 mbar do 5 bar. Výstupním signálem je proudový signál 4 až 20 mA.

EMERSON/ROSEMOUNT

Rosemount 2051

Dokáže měřit tlak, tlakovou diferencí, relativní a absolutní tlak, hladinu kapalin, plynů a par s přesností až 0,075 % v rozsahu od 120 Pa do 13,8 MPa. Měření tlaku je prováděno kapacitním principem (2051C) nebo pomocí piezoelektrických senzorů (2051T). Výstupem je signál 4 až 20 mA.

Rosemount 3051

Tento převodník s výstupem 4 až 20 mA je schopen měřit tlakovou diferencí, absolutní a relativní tlak kapalin, plynů a par s přesností 0,04 % v rozsahu od 24 Pa do 27,6 MPa.

Rosemount 2088, 2090

Převodník 2088 slouží k měření přetlaku, relativního a absolutního tlaku kapalin, plynů a par v rozsahu od 4,14 kPa do 27,58 MPa s přesností 0,065 % a převodník 2090 je určen k měření přetlaku, relativního a absolutního tlaku tekutin a látek s velkou viskozitou.

Manometry

Manometry slouží k místnímu měření tlaku. V praxi často projektované manometry jsou manometry od výrobce WIKA. Tlakoměrným prvkem je u těchto manometrů Bourdonova trubice.

Model 111.10, 111.12

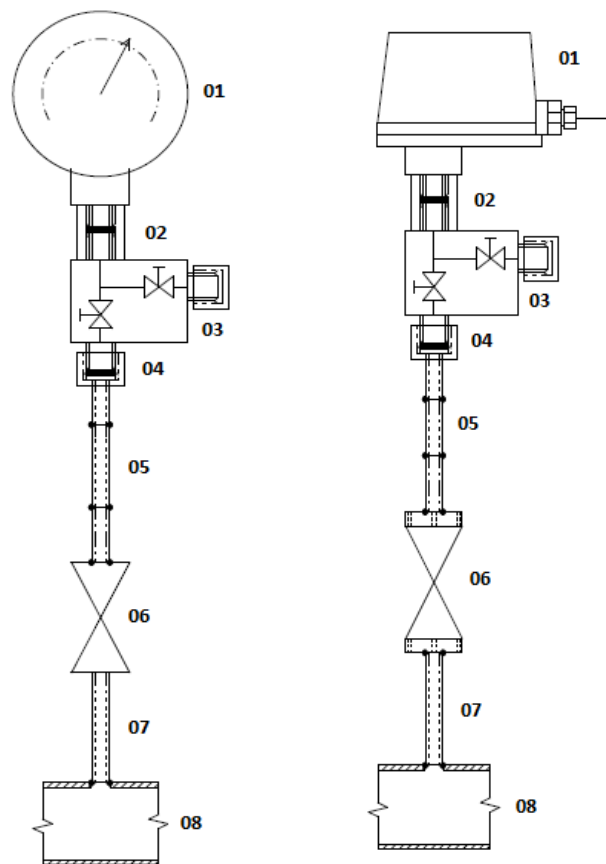
Tyto tlakoměry jsou vhodné pro měření plynných a kapalných médií, které nejsou agresivní, vysoce viskózní a nekystalizující a neohrožují tak části tlakoměrů, které jsou v kontaktu s médiem. Stupnice je v rozmezí od 0 do 400 bar pro měření přetlaku a podtlaku s třídou přesnosti 2,5 %. Rozdíl mezi modely je v místě připojení. Typ 111.10 obsahuje spodní přípojku, typ 111.12 naopak zadní přípojku.

Model 213.53

Umožňuje měření přetlaku a podtlaku neagresivních a nekystalizujících médií v rozsahu od 0 do 1000 bar. Je vhodné pro měření s vysokým zatížením dynamickým tlakem nebo v místech s výskytem vibrací. Třída přesnosti závisí na průměru přípojky (1 % nebo 1,6 %). Stupeň krytí je IP65.

Model 232.50, 233.50

Tento manometr je vhodný pro měření agresivních nekystalizujících a málo viskózních kapalin, plynů a par v rozsahu od 0 do 1600 bar. Všechny prvky, které přichází do kontaktu s měřeným médiem, jsou z nerezové oceli, jsou vhodné pro měření technologie s vysokým dynamickým tlakem a vibracemi a jsou odolné proti nárazům, pro média až do 200 °C. Třída přesnosti je závislá na průměru přípojnice (1 % nebo 1,6 %).



Obrázek 7.4: Připojení manometru k technologii (místní měření) a připojení tlakového snímače (spínače) k technologii. Zdroj vlastní

Na obrázku 7.4 je vidět připojení manometru (01) k potrubí s měřeným médiem (08). Manometr je připojen přes konstrukční část se šroubovým závitem a tesněním (02) k dvou-cestnému ventilu (03), dále přes konstrukční prvek (04) k impulsnímu potrubí (05). Do měřicího řetězce je možné zasahovat (výměna některé části, kalibrace manometru) díky uzavíracímu ventilu (06). Celá sestava je připojena pomocí navažené části potrubí (s menším DN) k potrubí s měřeným médiem. Stejně se může připojit i spínač tlaku (Obr. 7.4 vpravo).

Spínače tlaku

Slouží ke spínání elektrických obvodů při změně tlaku v tlakových nádobách, nádržích nebo potrubích. Většinou jsou spojeny s jiným strojem (např. čerpadlem), kdy při detekci vyššího tlaku sepne tento stroj. Mezi výrobce patří ZPA, Honeywell, SAUTER.

ZPA

Tento výrobce nabízí spínače tlaku pro neagresivní měřená média. Jsou použitelné ve vlhkých a mokřích prostorech pro kontrolu tlaku v kapalině, oleji či vzduchu. Spínací tlak je libovolně nastavitelný, stupeň krytí je IP54 a vhodný do teplot okolí od -10 do 55 °C.

HONEYWELL

Spínače tlaku vhodné pro plynná média (C6097) a vzduch (C6095). C6097 se projektují pro detekci horní a dolní meze tlaku zemního plynu, vzduchu, propanu a dalších plynů. Změna tlaku je detekována pomocí membrány uvnitř spínače, kde dojde při detekci nastaveného tlaku k sepnutí přepínacího kontaktu, který ovládá vnější elektrické obvody. Stupeň krytí je ovšem pouze IP40 a rozsahy nastavitlených tlaků jsou od 2,5 do 500 mbar.

C6065 je nastavitelný pro rozsahy od 40 do 400 Pa. Membrána reaguje na změny tlaku o hodnotě 25 Pa. Tento typ je vhodný pro detekci tlaku ve vzduchu nebo spalinách.

SAUTER

Regulátory tlaku DFC 17B, 27B od výrobce SAUTER jsou určeny pro náročnější aplikace, kde je vyžadována jak regulace tlaku, tak sledování tlaku. Pro svou činnost nepotřebují napájení, lze nastavit horní a dolní spínací body na dvou samostatných stupnicích, jsou odolné proti vibracím. Provádí se ve variantě pro neagresivní média, kde je čidlo tlaku z mosazi, nebo pro agresivní média s čidlem z nerezové oceli. Nastavitelný rozsah tlaků je od -1 do 50 bar, stupeň krytí IP44.

7.3 Snímače průtoku

Mezi preferované výrobce patří firma KROHNE, Endress+Hauser a EMERSON. Dále jsou představeny některé jejich výrobky.

Magneticko-indukční průtokoměry

Prvním principem, který je v energetice často využíván, je magneticko-indukční princip. Mezi jeho přednosti patří nezávislost na tlaku, hustotě, teplotě a viskozitě, je možné měřit

znečištěné kapaliny pevnými částicemi, neobsahuje žádné pohyblivé části a je možno měřit v širokém rozsahu jmenovitých průměrů (DN 2-3000 mm).

KROHNE

OPTIFLUX 2000

Símač je vhodný pro měření průtoku pitné, chladicí a odpadní vody pro jmenovité rozsahy světlostí od DN25 do DN1200. Jedná se o snímač s celosvařeným provedením, bez pohyblivých částí, tím nedochází k tlakovým ztrátám. Je možné ho s převodníkem použít jako stanovené měřidlo. Primárně měří rychlost proudění a sekundárně objemový průtok. Mezi hlavní výhody patří stabilita, životnost, měření v obou směrech a snadná montáž.

Tabulka 4: Vlastnosti snímače OPTIFLUX 2000 s převodníky

Vlastnosti	IFC 050	IFC 100	IFC 300
Měřicí rozsah	-12 až +12 m/s		
Přesnost měření	± 0,3 % nebo ± 1 mm/s		
Opakovatelnost	± 0,1 % z MH, min. 1 mm/s		
Stabilita	± 0,1 % z MH		
Max. chyba měření	0,2 % z MH ± 1 mm/s	0,3 % z MH ± 1 mm/s	0,2 z MH ± 1 mm/s
Stupeň krytí	IP66/67		

OPTIFLUX 4000

Používaný pro měření abrazivních a agresivních médií, kalů s vysokým obsahem pevných částic ale i pro čisté kapaliny. Je velmi odolný proti korozi a mechanickému opotřebení, spolehlivý pro měření za vysokých teplot a tlaků a je možno s ním měřit v obou směrech se jmenovitou světlostí od DN2,5 do DN3000. Primárně měří rychlost proudění a sekundárně objemový průtok.

Tabulka 5: Vlastnosti snímače OPTIFLUX 4000 s převodníky

Vlastnosti	IFC 050	IFC 100 dle DN	IFC 300 dle DN
Měřicí rozsah	-12 až +12 m/s		
Přesnost měření	$\pm 0,3$ % nebo ± 1 mm/s		
Opakovatelnost	$\pm 0,1$ % z MH, min. 1 mm/s		
Stabilita	$\pm 0,1$ % z MH		
Max. chyba měření	0,5 % z MH ± 1 mm/s	0,4 (0,3) % z MH ± 1 mm/s	0,2 (0,3) z MH ± 1 (2) mm/s
Stupeň krytí	IP66/67		

Alternativkou k OPTIFLUXU 4000 je OPTIFLUX 5000. Ten sekundárně měří i hmotnostní průtok nebo vodivost. S použitím převodníku IFC 300 lze dosáhnout i menší chyby měření (0,15% z MH). Je ovšem použitelný pouze pro světlosti od DN2,5 do DN300.

Snímače řady POWERFLUX

Tyto snímače jsou využívány pro aplikace v jaderné energetice pro světlosti od DN2,5 do DN100. Jsou vhodné pro měření průtoku chladicí, transportní vody a pro roztoky kyseliny borité. Dodávají se se snímači a převodníky, které odolávají radiaci. Výhodou je odolnost proti korozi, agresivním a abrazivním kapalinám.

Tabulka 6: Vlastnosti snímače řady POWERFLUX s převodníky

Vlastnosti	IFC 300 dle DN	AFC 030
Měřicí rozsah	-12 až +12 m/s	0 – 12 m/s
Přesnost měření	$\pm 0,15$ (0,3) % nebo ± 1 (2) mm/s	
Opakovatelnost	$\pm 0,5$ % z MH, min. 1 mm/s	
Max. chyba měření	0,3 % (0,15) z MH ± 2 (1) mm/s	1 % z MH $\pm 2,5$ mm/s

ENDRESS+HAUSER

Proline Promag L400

Vhodný pro vodní a odpadní hospodářství v rozsahu světlosti od DN25 do DN2400. Nesmírnou výhodou je možnost dálkového připojení přes WLAN, neobsahuje pohyblivé části a nedochází k tlakové ztrátě.

Tabulka 7: Vlastnosti snímače Proline Promag L400

Vlastnosti	IFC 300 dle DN
Měřicí rozsah	0,01 až 10 m/s
Přesnost měření	$\pm 0,15$ (0,3) % nebo ± 1 (2) mm/s
Opakovatelnost	$\pm 0,5$ % z MH, min. 1 mm/s
Max. chyba měření	0,2 % z MH (standardně 0,5 %)

EMERSON

Rosemount 8705

Jedná se o průtokoměr s přírubami vhodný pro vodivé kapaliny (min 5 $\mu\text{S/cm}$) a suspenze. Celosvařovaná konstrukce poskytuje hermetické těsnění, které chrání vlastní snímač před vlhkostí a nečistotami a je díky tomu velmi spolehlivý. Měřicí rozsah je závislý na složení měřeného média. Pro čisté kapaliny detekuje i malé průtoky, ale pro neabrazivní kaly reaguje až při vyšším průtoku. Je navrhovaný pro světlosti od DN15 do DN900.

Tabulka 8: Vlastnosti snímače Rosemount 8705

Vlastnosti	
Měřicí rozsah	0 – 12 m/s
Přesnost měření	$\pm 0,15$ % z MH (standardně 0,25 %)
Opakovatelnost	$\pm 0,1$ % z MH
Stupeň krytí	IP68

Druhým zástupcem je bezpřírubový průtokoměr vhodný opět pro vodivé kapaliny (min 5 $\mu\text{S/cm}$) a suspenze, ale použitelný pouze pro rozsah světlosti potrubí od DN4 do DN200 s označením 8711. Měřicí rozsah je opět závislý na složení měřeného média.

Ultrazvukové průtokoměry

Dalším typem jsou ultrazvukové průtokoměry. Ty jsou vhodné pro kapalná a plynná média nezávisle na teplotě, tlaku, viskozitě či elektrické vodivosti. Existují dva typy, a to přírubové, které se využívají pro jejich vysokou přesnost, a příložné, pro jejich jednoduchou montáž na vnější stranu potrubí bez nutnosti zásahu do potrubí a pro dodatečnou montáž.

KROHNE

OPTISONIC 3400

Tento snímač měří rychlost šíření zvuku a pomocí tří jednotlivých kanálů dokáže určit míru znečištění média. Je použitelný pro rozsahy světlosti od DN25 do DN3000, vhodný pro extrémní teploty (od -200 °C do $+250$ °C), nízké a vysoké tlaky (do 135 bar), velmi viskózní kapaliny, vodivé i nevodivé kapaliny. Je možné měřit průtok v obou směrech, nevyžaduje dlouhé uklidňovací úseky a neobsahuje pohyblivé části, které by vytvářely tlakovou ztrátu. Je vhodným snímačem pro jadernou energetiku pro měření chladicí a

napájecí vody, kondenzátu a množství tepla a pro vodní hospodářství. Primárně měří dobu průchodu ultrazvukového signálu, ze kterého dále určuje objemový či hmotnostní průtok, rychlost či směr proudění atd.

Tabulka 9: Vlastnosti snímače OPTISONIC 3400 s převodníky

Vlastnosti		IFC 100 dle DN	IFC 300 dle DN
Měřicí rozsah	0,3 až 20 m/s		
Opakovatelnost	± 0,2 % z MH		
Max. chyba měření	± 0,3 % z MH ± 2 mm/s	0,4 % z MH ± 1 mm/s	0,2 z MH ± 1 mm/s
Stupeň krytí	IP66/67		

OPTISONIC 4400 HP a HT

Alternativou k předchozímu snímači jsou průtokoměry OPTISONIC 4400 HP (pro měření kapalin za vysokých tlaků) a OPTISONIC 4400 HT (pro měření kapalin za vysokých tlaků).

Obsahují buď dva kanály, a díky tomu dokáží kompenzovat vliv rychlostního profilu a zajistit stabilitu, nebo pouze jeden kanál. Jsou složeny z celosvařené konstrukce, mají velký dynamický rozsah, dlouhodobou stabilitu a jsou ekonomicky nenáročné na provoz. Jsou využitelné v prostředích s nebezpečím výbuchu.

OPTISONIC 4400 HT slouží k měření vodivých i nevodivých kapalin za vysokých teplot. Používá se v jaderné energetice, v technologiích využívajících obnovitelné zdroje energie (teplonosný olej), je použitelný v rozsahu světlostí od DN25 do DN1000. V porovnání s OPTISONIC 3400 umožňuje měření při teplotách od 250 °C do 600 °C.

Naopak OPTISONIC 4400 HP je vhodný pro vysoké tlaky (až 500 bar) a pro teploty od -45 °C do 180 °C. Zde je ovšem rozsah jmenovitých světlostí pouze od DN25 do DN200.

Tabulka 10: Vlastnosti snímačů OPTISONIC 4400 HT a HP

Vlastnosti	HT (1/2 kanálový)	HP (1/2 kanálový)
Měřicí rozsah	0,5 až 20 m/s	0,5 až 20 m/s
Opakovatelnost	± 0,6/0,3 % z MH	± 0,6/0,3 % z MH
Max. chyba měření	± 1/0,5 % z MH ± 10/5 mm/s	± 1% z MH ± 10 mm/s
Stupeň krytí	IP66/67	IP66/67

OPTISONIC 8300

Posledním ultrazvukovým průtokoměrem od firmy KROHNE je OPTISONIC 8300 pro měření přehřáté páry a pro plyny za vysokých teplot. Dokáže měřit do 620 °C a do tlaku 200 bar. Při integraci snímače tlaku a teploty je schopen stanovit hmotnostní průtok či entalpii páry. Neobsahuje žádné pohyblivé části a překážky, a tím nedochází k tlakovým ztrátám. Pro světlosti od DN100 do DN600.

Tabulka 11: Vlastnosti snímače OPTISONIC 8300

Vlastnosti	
Měřicí rozsah	-60 až 60 m/s
Opakovatelnost	< ± 0,2 % z MH
Max. chyba měření	± 1% z MH

Hmotnostní Coriolisovy průtokoměry**KROHNE****OPTIMASS 1400**

Snímač hmotnostního průtokoměru je univerzálním pro běžné aplikace pro média do 130 °C. Je schopen měřit hmotnostní průtok, hustotu, objem, teplotu a dále dopočítává i jiné složky (rychlost, objem) kapalin i plynů pro jmenovité světlosti potrubí od DN15 do DN100. Nedochází k velké tlakové ztrátě, umí se samovolně zbavit média uvnitř dvojice trubic. Teplota je měřena pomocí odporových teploměrů PT100. Přesnost měření je vztažena k měřenému médiu (kapaliny ± 0,15 %, plyny ± 0,35 % z okamžitého hmotnostního průtoku). Opakovatelnost je lepší než 0,05 %. Maximální hodnota průtoku je až 170 000 kg/h, stupeň krytí IP67. Tento průtokoměr nevyžaduje uklidňovací úseky. Je ho možné použít do prostředí s nebezpečím výbuchu. Standardně se dodává s převodníkem a je možné dodávat i s topným pláštěm pro média, kde se jejich vlastnosti mění s teplotou.

OPTIMASS 6400

Coriolisův hmotností průtokoměr určený pro náročné aplikace s velmi vysokou přesností ($\pm 0,05$ %) pro extrémní teploty médií (-200 až 400 °C) a pro rozsahy světlosti potrubí od DN10 do DN300. Průtok je měřen i při výskytu plynné fáze, průtokoměr má v sobě integrovaný snímač teploty.

OPTIMASS 7400

Tento průtokoměr je schopen měřit velmi agresivní kapaliny, plyny a suspenze, viskózní kapaliny a média s malou rychlostí proudění. Měří i při výskytu plynné fáze v kapalném médiu. Dokáže měřit objemový, hmotnostní průtok, hustotu a teplotu v potrubích od DN10 do DN100. Přesnost měření je stanovena na $\pm 0,1$ % z měřeného průtoku.

EMERSON**Řada S, F, T**

Průtokoměry řady S se aplikují pro měření objemového i hmotnostního průtoku a hustoty kapalin a plynů v rozsahu od 0 do 87 100 kg/h (l/h) v potrubích o jmenovité světlosti od DN6 do DN50. Přesnost měření je pro kapaliny 0,5 % a pro plyny 0,75 % z okamžitého průtoku. Přesnost měření je nezávislá na teplotě, tlaku, vodivosti a viskozitě. Dochází k poměrně malým tlakovým ztrátám, stupeň krytí je IP66/67 pro snímač i převodník. Přesnějšími hmotnostními průtokoměry jsou snímače řady F, kde přesnost měření až 0,1 % (hmotnostní průtok) a až 0,15 % (objemový průtok) z měřeného průtoku. Snímače řady T jsou vhodné pro média o vysoké teplotě a tlaku i pro extrémně nízké rychlosti proudění.

Vírové průtokoměry**KROHNE****OPTISWIRL 4200**

Vírový průtokoměr slouží k měření průtoku kapalin, suchých i vlhkých plynů, syté a přehřáté páry v potrubích od DN15 do DN300. Obsahuje integrované snímače teploty a tlaku a díky tomu nahrazuje ostatní samostatně instalované snímače, které se nemusejí projektovat jednotlivě. Je tedy ekonomicky výhodným prvkem do celé řady aplikací a

i do prostor s nebezpečím výbuchu. Opakovatelnost měření je $\pm 0,1$ % z měřené hodnoty a přesnost měření je závislá na typu média a druhu měřeného průtoku (objemový, hmotnostní).

Tabulka 12: Přesnost měření dle typu média a druhu měřeného průtoku

Objemový průtok- kapaliny	$\pm 0,75$ % z měřené hodnoty
Objemový průtok- plyny a pára	$\pm 1,0$ % z měřené hodnoty
Hmotnostní průtok- kapaliny	$\pm 1,5$ % z měřené hodnoty
Hmotnostní průtok- kapaliny	$\pm 1,5$ % z měřené hodnoty

Průtokoměr je omezen rychlostmi proudění kapaliny (0,3 až 7 nebo 10 m/s) a plyných médií (2,0 až 80 m/s dle světlosti potrubí). Stupeň krytí je IP66/67. Výrobce nabízí i redundantní provedení s dvěma snímači průtoku a dvěma převodníky pro vysokou spolehlivost a použitelnost měření. Toto zdvojené provedení je vhodné aplikovat pro měření průtoku v potrubích, kde se střídají různá média.

EMERSON

Rosemount 8800D

Vhodný pro měření kapalin, plynů a par o extrémních teplotách (-200 až 427 °C plyny, -40 až 232 °C kapaliny) v potrubích od DN15 do DN300 i v prostředích s nebezpečím výbuchu. Existuje celá řada provedení (redukce jmenovité světlosti potrubí, redundantní provedení s dvěma převodníky, atd).

Škrticí orgány

Škrticí orgány (clona, dýza, venturiho trubice) nabízí na trhu řada firem (KROHNE, JSP, EMKOMETER, atd). Vlastnostmi a parametry si jsou výrobky hodně blízké. Nutností ke správnému měření je snímač tlakové difference, takže tato varianta měření průtoku je ekonomicky náročnější. Výstupem je standardně proudový výstup 4 až 20 mA.

Výrobci nabízejí clony komorové a bodové. Jsou určeny k měření okamžitého průtoku ve jmenovitých světlostech potrubí od DN15 do DN1000 do teploty 550 °C a tlaku 40 MPa (dle materiálu clony). Clony jsou vyráběny z uhlíkové, nerezové či žáruvzdorné oceli. Bodové a komorové clony se instalují mezi příruby přímo do potrubí. Komorová clona je tvořena dvoudílnou obrubou s navařenými odběrovými potrubími a clonovým kotoučem. Z obou dílů

obrubby je odebírán tlak komorou. Naopak bodová komora je tvořena jednodílnou obrubou s navařenými potrubími a clonovým kotoučem. Nevýhodou je však nevyměnitelný clonový kotouč u bodové clony, který je vevařený. Tento typ je vhodný pro vysoké teploty a tlaky média. Odběry tlaku jsou prováděny bodově v otvorech před a za kotoučem. Při instalaci je nutné dodržet požadavky na uklidňovací úseky, sklony potrubí. U nekalibrovaných clon se typická nejistota měření pohybuje okolo $\pm 0,5 \%$. Clona způsobuje tlakovou ztrátu mezi 40 až 95 % z výsledného rozdílu tlaku před a za clonou. Tlaková ztráta média je závislá na poměru průměru potrubí a vnitřního průměru otvoru clony.

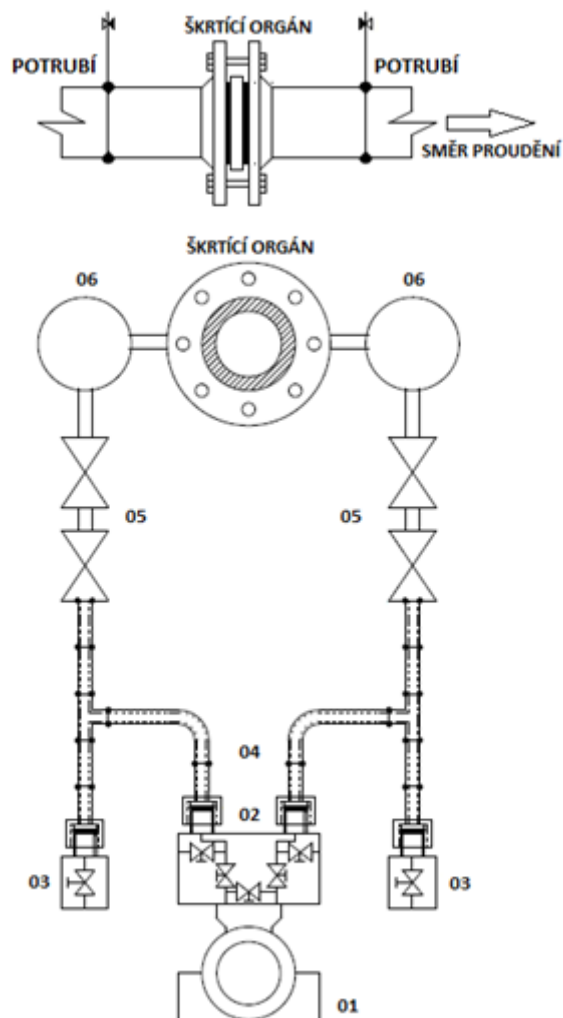
Dále je na trhu clonová měřicí trať s koutovými odběry. Ta je použitelná pro měření průtoku ve jmenovitých světlostech od DN15 až DN1000 (bodový odběr) nebo od DN50 do DN300 (komorový odběr). Celá trať je vyráběná z různých ocelí pro odlišné požadavky, nabízí volitelnou délku přímých úseků dle odběrového místa. Aplikuje se pro měření, kde je vyžadována vysoká přesnost a existuje v provedení s instalací mezi přírubou nebo na svár. Přesnost kalibrovaných clonových měřicích tratí je okolo 0,2 %.

Clony jsou vhodné pro měření čistých, neagresivních kapalin v místech s dostatečnými uklidňujícími úseky potrubí a je u nich dovolana vyšší tlaková ztráta než u dýz.

Komorové a bodové dýzy nabízejí výrobci v provedení pro zavaření do potrubí. Součástí dýzy je integrovaná část potrubí s délkou max. 2D před dýzou a 0,5D (bodová dýza), 2D (komorová dýza) za dýzou (delka sestavy je tak závislá na světlosti potrubí). Dýzy se nabízejí pro jmenovité světlosti potrubí od DN50 do DN500 z různých materiálů a také pro média až do teploty 550 °C. Použití dýzy je možné pro měření okamžitého průtoku kapalin, plynů a par. Komorová dýza je tvořena opět dvoudílnou obrubou, mezi nimiž je sevřen kotouč dýzy, tlak je odebírán komorami. V případě poruchy je nutné měnit celou sestavu, neboť je nerozebíratelná. Bodová dýza je tvořena jednou trubkou s odběrovými potrubími. Kotouč je zde navařen a odběrová místa pro tlak tvoří otvory před a za ním. Sestava je zakončena konstrukčními prvky pro přivaření na technologii. Opět je pro správně měření nutno dodržovat zásady instalace dýzy (uklidňovací úsek, sklon potrubí). Firma JSP nabízí i dýzu bez integrované části potrubí opět v komorovém či bodovém provedení pro DN50 až DN500, ale dle materiálu do teplot max. 400 °C a tlaku 40 MPa.

Dýzy se aplikují pro média vysoké rychlosti, málo viskózní a znečištěná média. Výhodou je kratší délka uklidňujících úseku než u clony, menší tlaková ztráta. Dokáže tak měřit dvakrát vyšší průtok než clona o stejném poměru průměru potrubí a průměru otvoru. Nejistota nekalibrovaných dýz je $\pm 0,8 \%$.

Řešením měření průtoku kapalných a plyných médií s nízkou tlakovou ztrátou (4 až 20 % z měřeného diferenčního tlaku) je Venturiho trubice. Přínosem je použití kratších uklidňovacích úseků oproti clonám a dýzám, možnost měření médií o vysoké rychlosti proudění, vysoká provozní spolehlivost a odolnost proti abrazi.

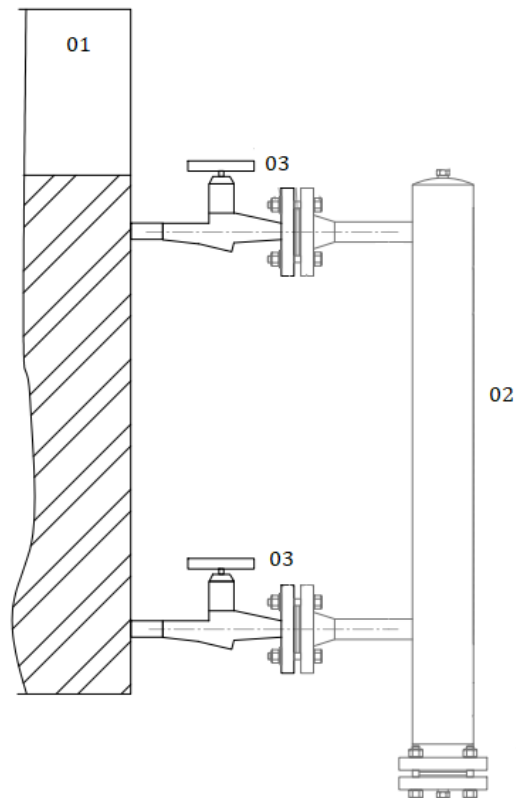


Obrázek 7.5: Připojení škrticího orgánu k technologii. Zdroj vlastní

Na obrázku 7.5 je ukázáno připojení škrticího orgánu s měřením diference tlaku (01). Tlak je odváděn přes potrubí, uzavírací ventily (05), impulsní potrubí (04) a např. 5-cestný ventil (02) až do snímače tlakové diference.

7.4 Snímače hladiny

V praxi je často řešen problém s umístěním měření hladiny v technologii. Problém může nastat při extrémních nátocích měřeného média do nádrže či šachty, výskytu nějakého předmětu v okolí měření hladiny (žebřík) atd. Proto se instalují často hladinoměry do tzv. obtokových komor (bypass). Na obrázku 7.6 je vidět instalace obtokové komory (02). Měření hladiny může být prováděno různými principy. Poté je nutné připravit obtokovou komoru z hlediska montáže hladinoměru. V obtokové komoře bude stejná výška hladiny jako v nádrži (01). Měřicí rozsah však záleží na rozpětí přívodů (03) z nádrže do obtokové komory. Ventily jsou na nádrži z důvodu renovace či kalibrace obtokové komory nebo hladinoměru.



Obrázek 7.6: Obtoková komora pro měření hladiny. Zdroj vlastní

Následuje přehled několika hlavních snímačů/spínačů hladiny založených na různých principech. Vybrané hladinoměry jsou často projektované, ale i zde nezmíněné principy měření výšky hladiny či výrobce dalších snímačů je možné aplikovat do podobných měřicích míst. Vždy záleží na konkrétním měření, proto je zde popsáno jen několik hlavních snímačů/spínačů.

Vibrační hladinoměry

EMERSON

ROSEMOUNT 2110, 2120

Je určen ke spínání výšky hladiny kapalných médií bez nutnosti kalibrace. Je odolný proti proudění, turbulencím a vibracím média, jeho funkci neovlivní ani výskyt bublin, pěny, nečistot v médiu. Využívá vibrační krátké vidlice z nerezové oceli, díky které je možné měřit i hladiny viskózních a kašovitých kapalin. Je vhodný pro hlídání přeplnění nádrže, detekci nízké a vysoké hladiny či k detekci netěsností. Stupeň krytí je IP66/67, nutností ke správné funkci je hustota měřeného média minimálně 600 kg/m^3 . Signalizace sepnutí je prováděna pomocí LED.

Rosemount 2120 je vhodný do prostor s nebezpečím výbuchu se stupněm krytí IP66/67 při teplotách od -40 do $302 \text{ }^\circ\text{C}$.

Oba typy spínačů jsou vybaveny nastavením zpoždění spínání, které zabrání sepnutí při stříkajících či turbulentních aplikacích, a díky vhodné konstrukci vidlice je prováděno rychlé sušení, a tím je zajištěna rychlá doba odezvy.

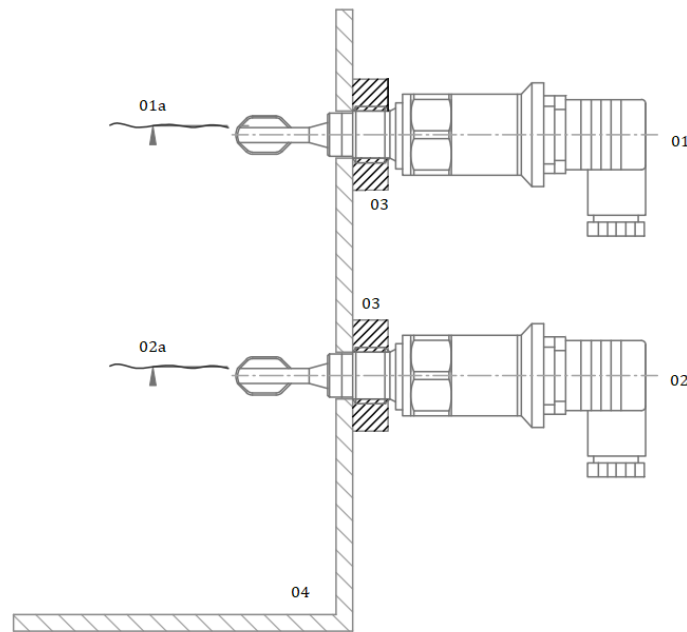
SIEMENS

SITRANS LVL200, LVS100, LVS200

Výrobce hladinoměřů SIEMENS nabízí vibrační spínač hladiny LVL200 pro měření kapalných médií a suspenzí pro hustoty od 700 do 2500 kg/m^3 pro teploty od -50 do $250 \text{ }^\circ\text{C}$.

Je možné měřit v prostředí s nebezpečím výbuchu či v hygienických aplikacích se stupněm krytí až IP68. Vibrační vidlice jsou z nerezové oceli.

LVS100 a LVS200 jsou určeny pro měření sypkých látek. Detekují horní i dolní meze hladiny, LVS200 umí detekovat pevné látky v kapalných médiích.



Obrázek 7.7: Připojení vibračních spínačů hladiny k technologii. Zdroj vlastní

Na obrázku 7.7 je ukázáno zapojení vibračních spínačů hladin pro detekci maximální a minimální hladiny v nádrži. Spínač hladiny (01) detekuje hladinu při dosažení úrovně hladiny (01a). Naopak při detekci minimální hladiny (02a) dojde k sepnutí hladinového spínače (02). Vibrační spínače hladiny jsou pomocí šroubení a navařených konstrukčních prvků (03) nainstalovány do nádrže.

Hydrostatické hladinoměry

Výrobce ponorných sond BD SENSORS pro měření výšky hladiny nabízí na trhu několik sond s označením LMP, založené na piezorezistivním principu. Další označení je závislé na volbě měřicího rozsahu a na požadované přesnosti měření. Jsou vhodné pro měření i velmi viskózních kapalin. Rozsahy měření se pohybují v mezích od 1 do 250 m vodního sloupce

nebo v rozsahu od 10 kPa do 2,5 MPa. Sondy se vyrábějí buď z nerezové oceli, keramiky či plastu v průměrech od 19 do 45 mm. Přesnost měření je závislá na výšce vodního sloupce nad snímačem ($\pm 0,1$ až $0,5$ % z horní meze rozsahu). Ponorné sondy mají dlouhodobou stabilitu ($\leq \pm 0,1$ % z horní meze rozsahu), odezva na změnu výšky hladiny je méně než 10 ms, stupeň krytí IP68. Výstupem ze snímače je proudový signál 4 až 20 mA.

Optické hladinoměry

Firma JSP nabízí optické spínače hladiny s označením LS1187 a LS1287. Lze je aplikovat pro snímání polohy hladiny těžce měřitelných tekutin (ropa, slabé roztoky kyselin a zásad, oleje, emulze). Podle měřeného média se v označení spínače udává ještě typ A nebo B pro dosažení přesnějších výsledků měření. Typ B je vodný pro kapaliny s tvořící se pěnou. Jedná se o refrakční snímání hladiny pro hlídání limitních hodnot hladiny a pro nastavení spínání pomocné technologie.

Ultrazvukové hladinoměry

Ultrazvukový snímač od výrobce SIEMENS SITRANS Probe LU v rozsahu od 0 do 12 m pro kontinuální měření. Dokáže měřit výšku hladiny čisté a odpadní vody a chemických látek s přesností $\pm 0,15$ % z rozsahu. Úhel vyzařovaného paprsku je 10° , takže je nutné brát v úvahu stavební uspořádání nádrží pro správné měření.

SIEMENS také nabízí ultrazvukový spínač hladiny s označením Pointek ULS. Je vhodný pro spínání polohy hladiny sypkých látek, kapalin i kalů. Rozsah měření je pro sypké látky od 0,25 do 3 m a pro kapaliny a kaly 0,25 až 5 m. Je možné nastavit dvě spínací úrovně, například pro odčerpávání či načerpávání média.

Radarové hladinoměry

VEGA

Kontaktní hladinoměry VEGAFLEX jsou vhodné pro kontinuální měření výšek hladiny kapalin a sypkých materiálů a pro měření rozhraní kapalin, nejčastěji pro měření množství oleje na hladině vody. Dle typového označení nabízí výrobce hladinoměry i pro média s vysokou teplotou a tlakem nebo s nízkou viskozitou. Přesnost měření výšky hladiny

je ± 3 mm (typy 65, 66), ± 5 mm (typy 61, 62, 63) a ± 10 mm (typ 67), maximální měřená výška hladiny je závislá na typu snímače a vlnovodu, a je od 4 m do 60 m. Pro přesnější měření (± 2 mm) a vyšší rozsahy (až 75 m) je na trhu typ 81, který je také odolný vůči výskytu výparů, pěny, kondenzace nebo nálepu.

Tento výrobce nabízí i bezkontaktní měření hladiny pomocí radarového principu s označením VEGAPULS. Tyto snímače obsahují buď trychtýřovou nebo parabolickou anténu o průměrech 40, 48, 75 nebo 95 mm. Dle průměru antény je dán měřicí rozsah do 10 až 30 m. Přesnost měření závisí na vzdálenosti konce antény od hladiny, a proto je stanovena minimální vzdálenost od konce antény k hladině na 50 mm (u trychtýřové antény), kde je přesnost měření až ± 10 mm (trychtýřová anténa). U parabolické antény je stanovena minimální vzdálenost na 2 m a přesnost měření v této vzdálenosti je ± 40 mm (parabolická anténa). Ve vzdálenosti od minimálních vzdáleností je přesnost ± 3 mm. Je možné měřit v prostorech od -40 do 200 °C. Existuje opět několik variant hladinoměřů s rozdílnou přesností.

8 Ukázky z praxe

8.1 Měření hladiny

Pro měření hladiny v tlakové studni byl externí firmou vyprojektován kontaktní radarový snímač hladiny. Při samotném návrhu nebyly uvedeny všechny důležité parametry měřeného média, technologického místa a ani nebyly známy požadavky k měření. Předpokládala se instalace na poklop studny, kde by byla spuštěna lanová anténa na dno studně. Při obhlídce tlakové studny byla zjištěna přítomnost žebříku po celé výšce studny, byly stanoveny požadavky k měření hladiny i při otevření poklopu, byly zjištěny extrémní nátoky u dna studny. Pro správné měření tímto hladinoměrem je nutné dodržet volný prostor okolo lanové antény, který kvůli žebříku nebyl dodržen. Při tomto problému se lanová anténa umísťuje do ochranné vodivé trubky, ve které musí být lanová anténa vystředěna pro správný přenos signálu. Z důvodu extrémních nátoků bylo podmínkou připevnění antény, umístěné na konci lana, ke dnu studny, aby nedocházelo ke kontaktu lanové antény s vodivou trbkou a nebyl tak přerušen přenos signálu. Při návrhu ochranné trubky a umístění snímače na poklop studny by však nebyla dodržena podmínka měření i při otevřeném poklopu. Proto se začalo uvažovat s provedením jádrových vrtů, ve kterých by byla vedena ochranná vodivá trbka až ke dnu studni, ve které by byla vedena lanová anténa. Kvůli nedostačujícím informacím při začátku projektování měření a odběrového místa, absenci prohlídky studně, byl navržen právě kontaktní radarový hladinoměr. Po zvážení všech okolností musel být projekt změněn, tím se zvýšilo finanční řešení měření a byla zpožděna samotná montáž snímače.

Z tohoto příkladu je jasně vidět, jak je důležité znát na začátku návrhu správného principu měření všechny důležité okolnosti o měřeném médiu a místo, pro zabránění případných problémů v průběhu samotné instalace.

Z důvodu, že kontaktní radarový hladinoměr zde byl projektován s nedostatečnými informacemi, by bylo dobré počítat se všemi možnými vlivy, a proto by bylo vhodné navrhnout v začátku jiný princip měření, vhodný i do extrémnějších podmínek. Vhodnou alternativou by mohlo být použití ponorné sondy z důvodu známých rozměrů studny. Snímač by byl připojený pomocí kabelu přímo do řídicího systému či místního zobrazovače a stálým minimálním zaplavením studny by probíhalo neustálé měření. Jednalo by se také

o ekonomicky výhodnější alternativu. Měření by neovlivňovaly extrémní nátoky média, snímač by byl pomocí konstrukčních prvků zafixovaný ke stěně či dnu studny. Přenos signálu by neovlivňovala existence žebříku a měření by nebylo závislé na otevření poklopu. Alternativou by mohly být také bezkontaktní radarové hladinoměry, ovšem problém je zde opět s místem a umístěním v okolí poklopu a žebříku. Nemusela by být však řešena ochrana lanové antény a tedy by realizace byla ekonomicky výhodnější. Klasické plovákové hladinoměry zde z důvodu stavebního uspořádání nepřicházejí v úvahu.

8.2 Ukázky měření tlaku a teploty

Na obrázku 8.1 je ukázána technologie s měřením tlaku a teploty. Pro místní měření je zde instalován manometr. Ten slouží pouze k informativním účelům v místě technologie. Další instalovaný snímač tlaku je připojen kabelem k řídicímu systému, kde je také ukazována aktuální hodnota tlaku. Display tohoto snímače má také informativní charakter. V tomto místě je měřena teplota měřeného média, ale není od teploměru veden signál dále měřicím řetězcem.



Obrázek 8.1: Technologie s manometrem, snímačem tlaku, teploměrem. Zdroj vlastní

Dálší obrázek (*Obr. 8.2*) ukazuje zapojení měřidel tlaku a teploty v olejovém hospodářství. Teplota je měřena pomocí odporového snímače. Zde ještě není připojen kabelem, ale po zapojení bude vyhodnocena teplota přes převodník umístěný ve sduřovací krabici dále v měřicím řetězci v řídicím systému. Tlak měří manometr pro zobrazení tlaku na daném místě a zbylé dva membránové snímače tlaku s převodníkem slouží k zobrazování okamžitého tlaku v řídicím systému. Dva snímače zde jsou z důvodu nadzemního a podzemního velínu na elektrárně. Nádrž s olejem obsahuje připravená odběrová místa pro snadnou montáž snímačů.



*Obrázek 8.2: Olejové hospodářství se snímači tlaku, manometrem a odporovým teploměrem.
Zdroj vlastní*

Na obrázku 8.3 je měření tlaku pomocí jednoho informativního manometru a jednoho membránového snímače tlaku.



Obrázek 8.3: Měření tlaku- manometr (místní měření) a snímač tlaku. Zdroj vlastní

Instalované tlakové spínače tlaku, jejichž spínací body lze nastavit pomocí integrované stupnice, jsou vidět na obrázku 8.4. Tyto spínače nejsou vybaveny výstupním signálem, proto je k této technologii ještě připojen membránový tlakový snímač tlaku pro kontrolu v řídicím systému.

Některé odporové snímače teploty lze dle stupně krytí používat k měření teploty i ve venkovním prostředí. Na obrázku 8.5 je vidět umístění v ochranném krytu z důvodu zabránění ovlivnění měření povětrnostními vlivy. Stonek v ochranné jímce může být v libovolné poloze.



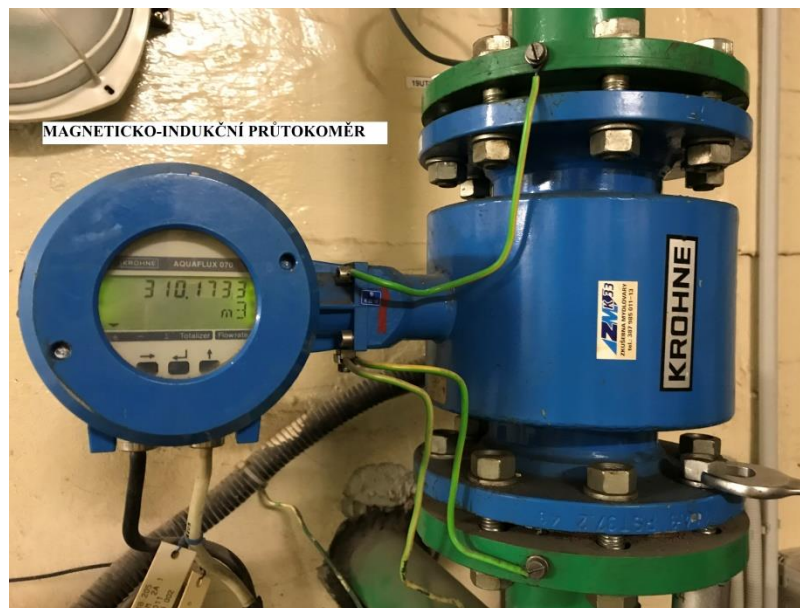
Obrázek 8.4: Tlakové spínače a snímač tlaku. Zdroj vlastní



Obrázek 8.5: Odporové teploměry v ochranném krytu. Zdroj vlastní

8.3 Ukázky měření průtočného množství

K měření průtočného množství se na elektrárnách v současné době nejčastěji používají magneticko-indukční průtokoměry. Na ukázkou jsou zde průtokoměry v horizontálním (*Obr. 8.6*) i vertikálním zapojení (*Obr. 8.7*), které byly dodatečně instalovány do měřicí trati pomocí navařených přírub. Při instalaci je pak nutné dodržet správné postupy pro dokonalé těsnění.



Obrázek 8.6: Magneticko-indukční průtokoměr- vertikální připojení



Obrázek8.7: Magneticko-indukční průtokoměr- horizontální připojení. Zdroj vlastní

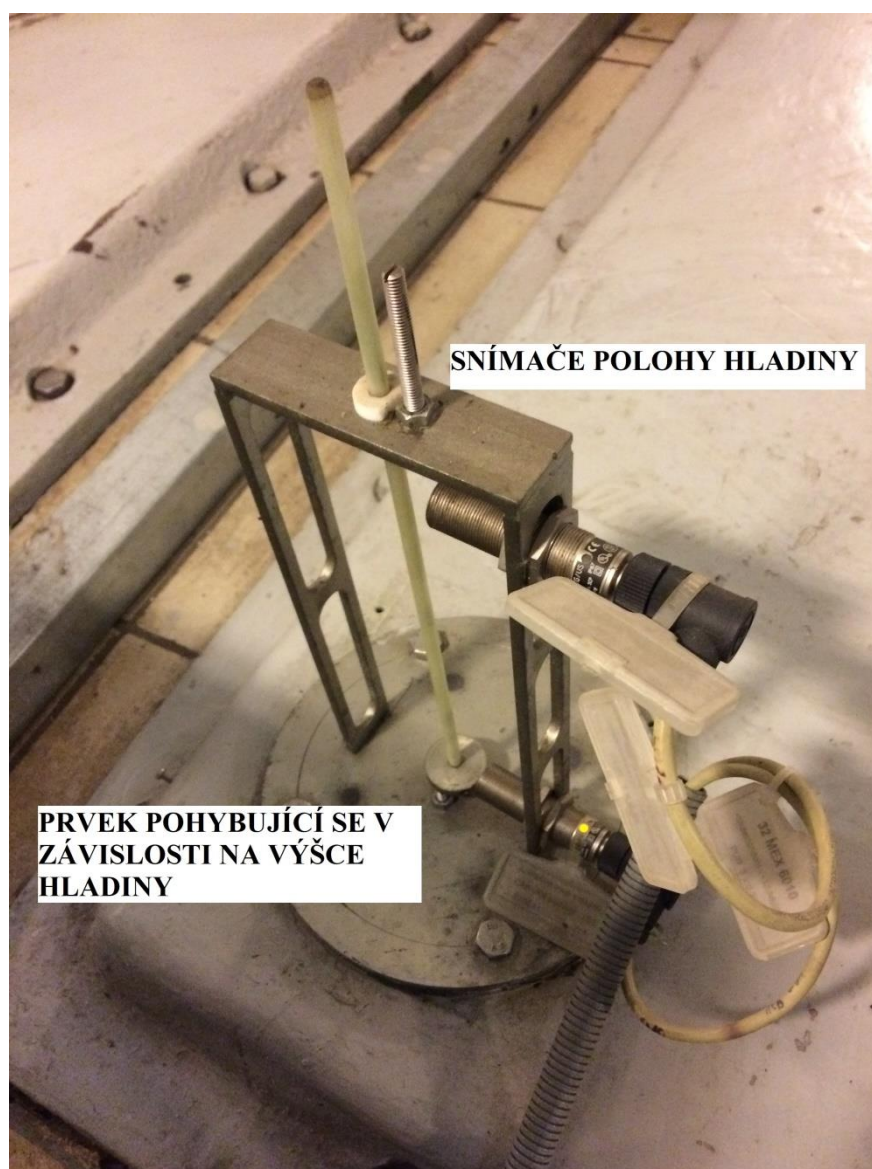
8.4 Ukázky limitního měření hladiny

Vodní elektrárny z důvodu bezpečnosti disponují s havarijními plováky. Ty slouží při havárii jak k signalizaci zatopení prostoru, tak k uzavření části technologie bezpečnostními prvky. Proto jsou nezbytnou součástí havarijních plováků spínače polohy hladiny, které při nadzdvihu plováku sepnou havarijní obvody a spustí tak odstavení technologií. Na obrázku 8.8 spínač ještě není kabelově připojen k řídicímu systému. Havarijní plováky se umisťují také do ochranných krytů pro zabránění nedovoleného či nechtěného sepnutí.



Obrázek 8.8: Instalace havarijního plováku se spínačem. Zdroj vlastní

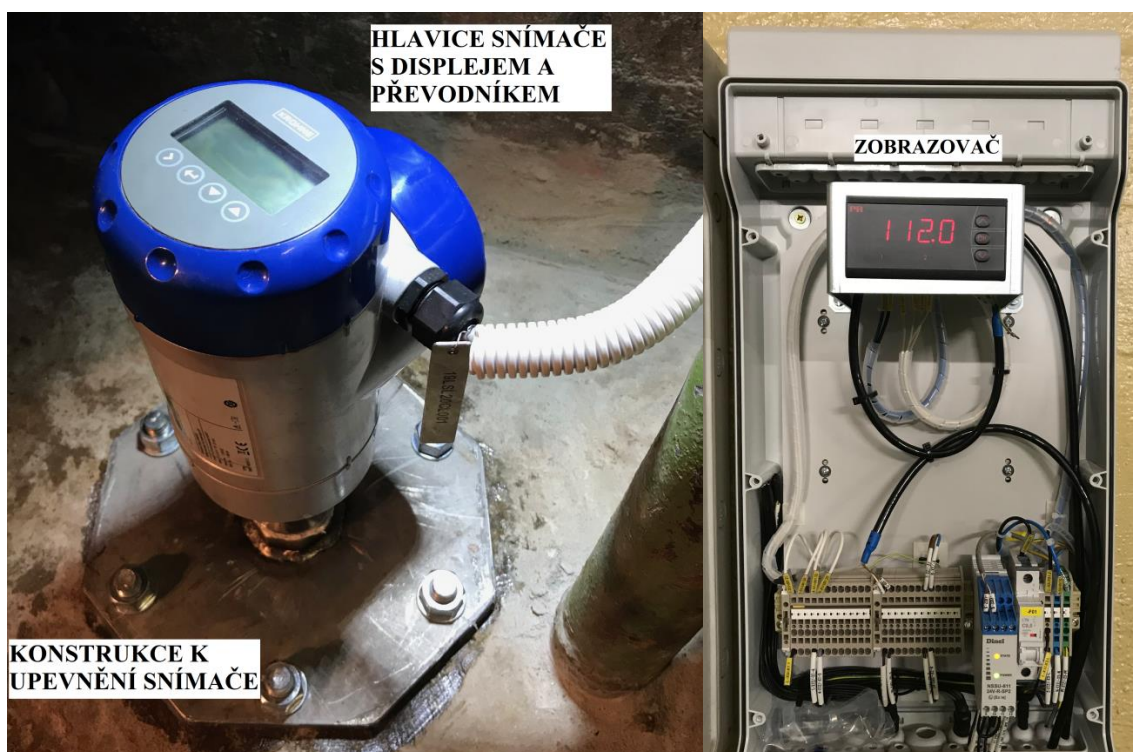
Limitní měření hladiny je snímáno pomocí spínačů, umístěných mimo nádrž s médiem (Obr. 8.9) V nádrži se nachází polovák, který je pevně spojen s vodící tyčí, která obsahuje konstrukční prvek pro detekci polohy hladiny. Na obrázku je vidět signalizace minimální polohy hladiny spodním snímačem hladiny. Při zvyšující se hladině se prvek bude pohybovat směrem vzhůru a při maximální hladině detekuje polohu horní snímač.



Obrázek 8.9: Limitní měření hladiny. Zdroj vlastní

8.5 Ukázka měření hladiny pomocí radarového snímače hladiny

Radarový snímač (Obr. 8.10a), který je k technologii připojen pomocí masivní konstrukce z nerezové oceli z důvodu vedení vlny po laně antény, měří výšku hladiny ve špatně dostupném místě. Lano vychází ze spodu hlavice snímače v místě závitu a je vedeno dlouhou ochrannou nerezovou trubkou až ke dnu studny. Kovová příruba je kotvena k podlaze z důvodu vysokých tlaku uvnitř studny. Na obrázku je také vidět připojení kabelu, který slouží jak k napájení snímače, tak pro vyhodnocení proudového výstupního signálu 4 až 20 mA. Z důvodu špatně přístupného místa a kvůli požadavku zákazníka na zobrazení aktuální hodnoty výšky hladiny, je tento snímač připojen přes proudovou smyčku k zobrazovači hodnot, který je umístěný v přechodové krabici (Obr. 8.10b). Tento zobrazovač je možné také nastavit ke spínání elektrických zařízení (čerpadlo) při dosažení požadované úrovně hladiny.



Obrázek 8.10a: Radarový snímač hladiny- kontaktní, Obrázek 8.10b- zobrazovač

Závěr

Tato diplomová práce byla zadána firmou, která se zabývá primárně řídicími systémy, ale je zaměřena také na projektování prvků polní instrumentace. Kladla si za cíl pochopit měřené neelektrické veličiny, podrobně vysvětlit měřicí metody a zmapovat trh pro lepší orientaci při návrhu snímače pro konkrétní měřené médium v technologii.

První kapitola pojednávala o snímači, jeho hlavních vlastnostech a o přenášených signálech. Následoval popis základních zkoumaných neelektrických veličin v energetickém průmyslu pro jejich správné fyzikální pochopení.

Ve druhé kapitole byly uvedeny měřicí principy měření teploty. Byly zde popsány hlavně termoelektrické a kovové odporové snímače, které jsou v praxi používány nejčastěji a dále polovodičové odporové snímače teploty a několik dalších principů měření teploty.

Následovala kapitola třetí s představením principů měření tlaku. Jednalo se o nejstarší, ale stále používané a velice přesné hydrostatické tlakoměry, deformační tlakoměry často používané k místnímu měření a elektrické převodníky, které se používají v řídicích systémech pro vyhodnocení tlaku v technologii.

Kapitola čtvrtá se zabývala principy měření průtočného množství. Průtok lze měřit širokou škálou principů, od škrťících orgánů, založených na diferenci tlaků, až po modernější ultrazvukové či elektro-magnetické průtokoměry, proto v této kapitole bylo popsáno mnoho měřících principů.

Měření výšky hladiny a její principy měření byly popsány v kapitole páté. Existuje opět celá řada měřících principů, které v této kapitole bylo podrobně představeny.

Měření výšky hladiny a průtočného množství jsou nejobsáhlejšími obory měření, které v této práci byly popsány, a je zde opravdu důležité znát veškeré okolnosti o měřeném médiu, technologiích a měřících principech.

Vzhledem k tomu, že snímání měřených veličin má za úkol informovat provozovatele technologie o měřeném médiu, je nedílnou součástí obor metrologie. Kapitola šestá byla zaměřena na základní pojmy v metrologii, a hlavně na kalibraci snímačů, která je dle metrologického systému v ČR pro provozovatele snímačů velmi důležitá. V energetice je kladen důraz na co nejpřesnější a bezchybné měření, a proto zde byla vypsána oddělení Českého metrologického institutu pro případné informování čtenáře.

Hlavním přínosem této práce bylo zanalyzovat trh snímačů uvedeneých neelektrických veličin, a proto v poslední části byl zmapován současný trh polní instrumentace. V kapitole 7 byly představeny snímače, spínače a převodníky, které jsou firmou často projektovány v technologiích energetického průmyslu. Dnešní výrobci a dodavatelé nabízejí mnoho snímačů s odlišnými parametry, ale většina z nich je založena na stejných principech. Důležité je poté na projektantovi, jaký princip snímače a jaké parametry zvolí podle dostupných informací o měřeném médiu a technologii, kde snímač bude pracovat. Proto zde byly vybrány jen některé z nich. Vybrané měřicí metody ukázaly také složení sestav snímačů na odběrových místech. Podle těchto sestav je nutné postupovat při montáži snímačů z důvodu správného měření.

Závěr diplomové práce byl věnován ukázkám z praxe. Obrázky ukázaly snímače, spínače i převodníky instalované na elektrárně Lipno.

9 Seznam literatury a informačních zdrojů

[1]: Moderní číslicové řídicí systémy vstupy, výstupy, připojení snímačů, problematika rušení. P.Beneš [online].[cit.: 2017-10-4], Dostupné z:
http://www.uamt.feec.vutbr.cz/~zezulka/download/LAUP/MAUP08_Benes.pdf

[2]: ĎAĎO, Stanislav a Marcel KREIDL. Senzory a měřicí obvody. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. ISBN 80-01-02057-6.

[3]: Statické vlastnosti senzorů. [online]. [cit.: 2017-11-09]. Dostupné z:
http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_1_3_1.htm

[4]: Analogový vs. Digitální přenos hodnot. Kdy ještě volit analogový výstup?. Automatizace.hw.cz [online]. [cit.: 2018-01-10]. Dostupné z:
<https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace-prumyslove-sbornice-a-komunikace/analogovy-vs-digitalni-prenos-hodnot-kdy-jeste-volit-analogovy-vystup>

[5]: Snímače teploty. [online]. automatizace-issnp.wz.cz [cit.: 2018-03-15]. Dostupné z:
<http://automatizace-issnp.wz.cz/Soubory/Snimace%20teploty.pdf>

[6]: BERAN, Vlastimil a Olga TŮMOVÁ. Měření veličin životního a pracovního prostředí. Plzeň: Západočeská univerzita, 2007. ISBN 80-7082-248-1.

[7]: ĎAĎO, Stanislav, Ludvík BEJČEK a Antonín PLATIL. Měření průtoku a výšky hladiny. Praha: BEN- technická literatura, 2005. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-7300-156-x.

[8]: Úvod do měření hladiny. [online]. [cit.: 2018-03-02]. Dostupné z :
http://www.jsp.cz/cz/sortiment/seznam_dle_kategorii/snimace_hladiny/teorie-hladina/uvod/

[9]: Měření teploty[online]. [cit.: 2018-03-05]. Dostupné z:
<http://www.maryshfmmi.webzdarma.cz/mttd.htm>

[10]: Měření teploty- kovové odporové sensory teploty. [online].[cit.: 2018-03-15]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-kovove-odporove-senzory-teploty.html>

[11]: 11. ročník odborné konference- Nové trendy v oboru měření a regulace v prostředí s nebezpečím výbuchu. SBORNÍK PŘEDNÁŠEK [cit. 2018-03-12]. Poskytla firma ZAT a.s.

[12]: Odporové sensory teploty. [online]. umel.feec.vutbr.cz. [cit.: 2018-03-17]. Dostupné z:
http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_3_2_4.htm

- [13]: KREIDL, Marcel. Měření teploty: senzory a měřicí obvody. Praha: BEN - technická literatura, 2005. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-7300-145-4.
- [14]: Měření tlaku. [online]. maryshfmmi.webzdarma.cz [cit.: 2018-03-17]. Dostupné z: <http://www.maryshfmmi.webzdarma.cz/mertl.htm>
- [15]: Snímače tlaku- deformační manometry [online]. [cit.: 2018-03-21]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1586>
- [16]: Škrťící orgány [online]. Jan Klepárník- WEB podpora výuky [cit.: 2018-04-02]. Dostupné z: http://user.mendelu.cz/xklepar0/fls/sn_prskrtici.htm
- [17]: Měření průtoku tekutin- principy průtokoměrů [online]. elektroveue.cz [cit.: 2018-04-02]. Dostupné z: http://www.elektroveue.cz/clanky/01049/index.html#_%C3%9Avod
- [18]: Návrh zkušebního zařízení pro zkoušení odlučovacích mříží zpracovaných do 3D podoby CAD programem CATIA [online]. cad.cz [cit.: 2018-04-05]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/component/content/article/5319.html>
- [19]: Výukové texty- Podklady k principu měření rychlosti a rychlosti proudění [online]. [cit.: 2018-04-05]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~formanek/mmvvyuka/Data/ivk-mt-soubory/12-F.pdf>
- [20]: Měření průtoku a proteklého množství [online]. [cit.: 2018-04-10]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F4/F4k45-prut.htm>
- [21]: Zajímavé principy měření- Elektromagnetické (indukční) průtokoměry [online]. automatizace.hw.cz [cit.: 2018-04-10]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/zajimave-principy-mereni-elektromagneticke-indukcni-prutokomery>
- [22]: Tepelné hmotnostní průtokoměry a regulátory [online]. automa.cz [cit.: 2018-04-10]. Dostupné z: http://automa.cz/cz/casopis-clanky/tepelne-hmotnostni-prutokomery-a-regulatory-2003_12_29006_599/
- [23]: Plováčkové průtokoměry- průtokoměry s proměnlivým průřezem [online]. automa.cz [cit.: 2018-04-13]. Dostupné z: http://www.automa.cz/cz/web-clanky/plovackove-prutokomery-prutokomery-s-promenlivym-prurezem-0_9085/
- [24]: Objemové průtokoměry [online]. Jan Klepárník- WEB podpora výuky [cit.: 2018-04-18]. Dostupné z: http://user.mendelu.cz/xklepar0/fls/sn_probjemove.htm
- [25:] Základní pojmy [online]. ČESKÝ METROLOGICKÝ INSTITUT [cit.: 2018-04-29]. Dostupné z: <https://www.cmi.cz/node/537>

[26]: Obory měření [online]. ČESKÝ METROLOGICKÝ INSTITUT [cit.: 2018-04-29].
Dostupné z: https://www.cmi.cz/Obory_mereni_a_CMC

[27]: Odborná konference- Nové trendy v oboru měření a regulace. Měření hladiny v teorii a praxi. SBORNÍK PŘEDNÁŠEK [cit. 2018-05-12]. Poskytla firma ZAT a.s.