



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

MĚŘENÍ HLADINY VÝŠKY KAPALIN

MEASURING OF HEIGHT LIQUID LEVEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Koksa Martin

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Doc. Ing. Zdeněk Němec, CSc.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky
Student: **Martin Koksa**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Zdeněk Němec, CSc.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Měření výšky hladiny kapalin

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vyhodnocování výšky hladiny je častou potřebou v průmyslové automatizaci. Je mnoho variant řešení, úkolem je shrnout metody, principy a vlastnosti měření.

Větší pozornost věnovat měřením, které jsou vhodné pro vodní elektrárny.

Cíle bakalářské práce:

Shrnout dosavadní poznatky o měření výšky hladiny kapalin v otevřených i uzavřených nádobách. Analyzovat možné principy měření a zpracovat přehled přístrojů na trhu automatizačních prostředků. Vlastnosti posuzovat z hlediska použití v automatizaci a speciálně pak v oboru hydroenergetiky.

Seznam doporučené literatury:

ĎAĎO, S., KREIDL, M. Senzory a měřicí obvody. Praha: ČVUT Praha, 1996.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá přiblížením a popisem moderních způsobů měření výšky hladiny kapalin. Téma je zde objasněno z několika různých hledisek, z nichž byl kladen důraz na rozdělení podle užití v hydroenergetice. Práce také ukazuje základní principy vodních elektráren a senzorů v nich používaných.

ABSTRACT

This bachelors thesis is engaged of the approach and description of modern methods of measuring a liquid level. The topic is clarified from several different points of view, from which the emphasis was put on the division according to usage in hydropower. This thesis also shows the basics hydroelectric power plants and sensors used in them.

KLÍČOVÁ SLOVA

Výška hladiny kapalin, měřící senzory, hydrostatický tlak, vodní elektrárny, hydroenergetika.

KEYWORDS

Liquid level, measuring sensors, hydrostatic pressure, hydroelectric power station, hydropower.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOKSA, Martin. *Měření výšky hladiny kapalin* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/135499>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky. Vedoucí práce Zdeněk Němec.

PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování za pomoc a užitečné rady patří vedoucímu mé práce, panu Doc. Ing. Zdeňku Němci, CSc. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu v průběhu celé doby studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Doc. Ing. Zdeňka Němce, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu literatury.

V Brně dne 22.5.2021

.....

Martin Koksa

OBSAH

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	3
ABSTRAKT	5
KLÍČOVÁ SLOVA	6
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	7
PODĚKOVÁNÍ	9
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ	11
OBSAH	13
1. ÚVOD O MĚŘENÍ	15
1.1 Historie měření	15
1.2 Měření obecně	15
1.3 Chyby měření	16
2 TYPY A ROZDĚLENÍ SNÍMACÍCH PŘÍSTROJŮ	18
2.1 Parametry ovlivňující výběr snímače	18
2.2 Rozdělení snímačů podle funkčního způsobu měření	18
2.3 Rozdělení snímačů podle ostatních kritérií:	20
3 VLASTNOSTI ZÁKLADNÍCH TYPŮ SNÍMAČŮ	21
3.1 Mechanické.....	21
3.1.1 Ponorné tyče	21
3.1.2 Plovákové hladinoměry	21
3.1.3 Vibrační hladinoměry	22
3.2 Hydrostatické.....	23
3.2.1 Tlakové hladinoměry	23
3.2.2 Snímače hydrostatického tlaku vhodné pro uzavřené nádoby.....	25
3.2.3 Snímače hydrostatického tlaku vhodné pro otevřené nádoby	25
3.2.4 Měření s probubláváním	27
3.3 Elektrické.....	28
3.3.1 Vodivostní hladinoměry	28
3.3.2 Kapacitní hladinoměry	29
3.3.3 Tepelné snímače hladiny	31
3.4 Fyzikální	32
3.4.1 Ultrazvukové hladinoměry	32
3.4.2 Radarové hladinoměry s vedenou vlnou	34
3.4.3 Optické hladinoměry	35
3.5 Přehled předních prodejců snímačů na měření výšky hladiny	36

4	VODNÍ ELEKTRÁRNY	37
4.1	Princip vodních elektráren	37
4.2	Použití průtokoměrů.....	38
4.3	Typy průtokoměrů.....	38
5	ZÁVĚR.....	40
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	41
	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	43

1. ÚVOD O MĚŘENÍ

V dnešní době je měření nedílnou součástí téměř všech technických procesů, a tím pádem zkoumání výšky hladiny kapalin není výjimkou. Nachází využití v mnoha průmyslových odvětvích, od hydroenergetiky až po potravinářský průmysl. V těchto dnech již existuje široký sortiment vhodných snímačů, které lze použít pro získání dat popisujících měřenou veličinu.

Cílem této práce je přiblížení metod, kterými se v dnešní době dá měřit výška hladiny kapalin. Dále se zabývá představením několika typů přístrojů na trhu automatizačních prostředků, pro které specifikuje možnosti použití pro konkrétní podmínky. Po seznámení s předními dodavateli měřících a snímacích produktů práce přibližuje princip fungování vodních elektráren a zběžný výčet typů snímačů, které jsou v elektrárnách využívány.

1.1 Historie měření

Historie měření sahá do daleké minulosti lidstva. Již několik tisíců let před naším letopočtem byli naši předkové schopni vymyslet a vytvořit (na tehdejší dobu) velmi propracované systémy použitelné pro měření hladiny kapalin. Postupem času se jejich principy zdokonalovaly, vytvářely se kompletně nové metody a postupy. Snad největší posun však tohle odvětví zaznamenalo v posledním tisíciletí s příchodem dokonale využitě techniky a obecného rozmachu technologií.

1.2 Měření obecně

Mezi nejčastěji měřené veličiny patří hmotnost [kg], termodynamická teplota [K], délka [m], čas [s], elektrický proud [A], svítivost [cd] a látkové množství [mol]. Uvedené veličiny patří mezi základní jednotky soustavy SI. Frekventovaně se používá taktéž průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] a nepochybně i výška hladiny [m]. Tohle je však jen hrubý výčet, ale měřit se dá neskutečné množství dalších fyzikálních veličin.

Výška hladiny se měří v jednotkách délky, která má základní jednotku metr (m) a využívají se další od ní odvozené dílčí jednotky, jako milimetr (mm), centimetr (cm) atd. V případě, že je známa geometrie nádoby, lze se setkat se snímači kalibrovaných rovnou v objemových jednotkách, nikoliv délkových.

1.3 Chyby měření

Ačkoliv dnešní doba oplývá neuvěřitelnými technologiemi, tak v praxi nejsou žádná měření, která by byla absolutně přesná. Můžou za to různé vnější vlivy, které se při procesu měření vyskytují. Ty se potom projeví nenulovou odchylkou mezi naměřenou a skutečnou hodnotou. Výsledek měření se tak pohybuje v určitém přípustném intervalu kolem skutečné hodnoty, ale pouze velmi raritně nastane ideální případ, kdy by hodnoty byly opravdu totožné. Tento jev se nazývá chyba měření a vyjadřuje se buď jako absolutní, nebo relativní hodnota.[1]

Matematické vyjádření jednotlivých chyb se uvádí pomocí vztahů:

$$\Delta = y - x_{stř} \sim x_s - x_i \quad (1)$$

kde	Δ . . .	absolutní chyba [x],
	y . . .	údaj přístroje [x],
	$x_{stř}$. . .	střední hodnota měřené veličiny [x],
	x_s . . .	naměřená hodnota [x],
	x_i . . .	skutečná (ideální) hodnota [x].

A

$$\delta = (\Delta/y) \cdot 100\% \quad (2)$$

kde	δ . . .	relativní chyba [%],
	y . . .	údaj přístroje [x],
	Δ . . .	absolutní chyba [x].

Druhů chyb je několik. Podle jejich účinků na výsledek měření se dělí na:

- Chyby náhodné

Náhodné chyby nelze předvídat, působí nahodile a těžko se identifikují. Při opakování se mění jejich velikost i znaménko. Pro určení jejich hodnoty se využívá statistických metod, ve většině případů se na měření aplikuje normální, neboli Gaussovo rozdělení.[1]

- Chyby systematické

Systematická chyba se vyznačuje konstantní hodnotou při opakování měření. Mezi možné příčiny se řadí chyba metody, špatné nastavení nuly na přístroji, zaokrouhlování konstant, či chybné kalibrace měřidel.

Možnost nalezení systematické chyby je omezené, protože v naprosté většině případů je znám pouze odhad její velikosti, nikoliv přesná hodnota. To má za následek existenci tzv. nevyločitelné systematické chyby. Ta vzniká po odstranění odhadu původní chyby a má pro nás neznámou hodnotu. Hledání a eliminace systematických chyb je velmi zdoluhavá a náročná, takže se praktikuje pouze v nutných případech.[1]

- Chyby hrubé

Hrubé chyby jsou pro měření velmi nebezpečné, protože se ve většině případů vyznačují významně odlišnou hodnotou od ostatních. Z toho důvodu se takové hodnoty vyřadí z dalšího zpracování dat, jinak by mohly znehodnotit celý proces měření. Jejich výskyt se dá efektivně omezit dodržováním určených předpisů měření a pozorností při jeho vykonávání.[1]

2 TYPY A ROZDĚLENÍ SNÍMACÍCH PŘÍSTROJŮ

Na měření výšek hladin se využívají nejrůznější druhy a typy snímačů, které se mohou dělit na základě několika kritérií.

2.1 Parametry ovlivňující výběr snímače

Korektní volba typu snímače je nezbytná pro správné a přesné měření. Snímač je první člen v měřicím řetězci, proto je na správnost jeho výběru kladen veliký důraz. Parametry, podle kterých by měl být snímač zvolen jsou:

- Fyzikální a chemické vlastnosti měřené látky – zda-li měříme výšku hladiny kapalin čistých, či s pevnými částicemi, je-li materiál nějakým způsobem chemicky agresivní, elektricky vodivý, hořlavý, nebo ostatní důležité vlastnosti, by měly být zohledněny během volby snímače
- Vlastnosti okolního prostředí – zda-li bude v okolí extrémní teplota, nebo tlak
- Měřicí rozsah – interval, v kterém budeme očekávat naměřené hodnoty (nízká/vysoká výška hladiny)
- Požadovaná přesnost
- Účel – signalizace mezních stavů, určování množství kapalin v nádržích, regulace výšky hladiny
- Cena a ekonomická stránka věci

2.2 Rozdělení snímačů podle funkčního způsobu měření

Podle tohoto kritéria lze snímače zahrnout do čtyř kategorií, přičemž pod každou z nich lze zařadit několik konkrétních typů. Tyto základní rozdělení budou dále rozvedena v kapitole 3.

- Mechanické
 - tyčové
 - plovákové
 - vztlakové
 - vibrační

- Hydrostatické
 - snímače hydrostatického tlaku
 - pneumatické s probubláváním
 - snímače tlakové difference
- Elektrické
 - vodivostní
 - kapacitní
 - tepelné
- Využívající složitější fyzikální jevy
 - optické
 - ultrazvukové
 - radarové

2.3 Rozdělení snímačů podle spojitosti vyhodnocování měření

Podle tohoto kritéria lze snímače rozdělit pouze do dvou základních skupin, avšak požadavek na spojitost měření bývá jedním ze základních aspektů rozhodujících při výběru vhodného snímače.

- Snímače poskytující spojité měření – Výstup tohoto typu snímačů je konkrétní hodnota výšky hladiny kapalin (případně jiného druhu výstupu, z něhož lze výšku hladiny určit). Použití je hlavně informativní, kdy se měřené hodnoty ukládají do statistik a v případných kritických momentech je na jejich základě provedena akce lidským pracovníkem.
- Snímače poskytující limitní měření – Převádějí změnu hladiny kapaliny na skokovou změnu výstupu v podobě vypnuto- sepnuto. Využití těchto snímačů je téměř ve všech průmyslových odvětvích, kdy se dbá na dostatečné množství nejrůznějších kapalin v nádržích. V případě, že se v nádrži nenachází určený objem kapaliny, snímač zaznamená uvedenou skutečnost a upozorní na ni (například kontrolkou), nebo sám přeruší obvod.

2.4 Rozdělení snímačů podle ostatních kritérií

- Podle měřeného materiálu – kapalin, sypkých materiálů, kalů, granulátů
- Podle způsobu měřicí metody – přímá (hodnota se odečítá přímo ze stupnice, či měřidla), nebo nepřímá (hodnota se získává následnou úpravou podle fyzikálních, či jiných vztahů)
- Podle nutnosti kontaktu s kapalinou – dotykové, bezdotykové (využití záření, či elektromagnetického vlnění)
- Podle typu nádoby – snímače do uzavřených nádob, snímače do otevřených nádob

3 VLASTNOSTI ZÁKLADNÍCH TYPŮ SNÍMAČŮ

V této kapitole bude představeno několik zástupců jednotlivých typů senzorů, které jsou v dnešní době nejrozšířenější. V průběhu celé problematiky této kapitoly je okrajově čerpáno ze zdroje [17].

3.1 Mechanické

Mechanické snímače se řadí k těm nejstarším. Mezi ně patří ponorné tyče, plovákové, vibrační a vztlkové hladinoměry. Tento typ snímačů se vyznačuje většinou jednodušší konstrukcí a tím pádem nižší pořizovací cenou.

3.1.1 Ponorné tyče

Ponorná tyč se dá uvažovat jako vůbec nejstarší měřidlo výšky hladiny v historii. Je to způsobeno velice jednoduchou konstrukcí, ovšem na úkor přesnosti. Tyto tyče jsou dodnes velmi často používaná metoda orientačního měření, na jehož přesnosti příliš nezáleží. Využití mají například u břehů vodních ploch a toků, kde signalizují povodňové nebezpečí, nebo sjízdnost řeky.

Jedná se o měřidla délky, která se umístí směrem kolmým k hladině měřené kapaliny. Součástí tyče je také stupnice, podle které se výška odečítá. Stupnice je buď přímo součástí tyče, nebo je s ní pevně spojena. Nevýhoda této metody měření je nepřesnost a skutečnost, že změřenou hodnotu nelze jednoduše automaticky zpracovat, tudíž není umožněn dálkový přenos dat. [3]

3.1.2 Plovákové hladinoměry

Základní součástí hladinoměru je plovák, obvykle v podobě dutého tělesa, či tělesa vyrobeného z materiálu o velmi malé hustotě (menší než hustota měřené kapaliny). Jeho poloha, která odpovídá výšce hladiny, může být snímána mnoha způsoby. Existují například řetězové a pásové stavoznaky, Hallova sonda, či magnetostriční hladinoměry. [2]

Při měření se taktéž využívá notoricky známého Archimedova zákona pro výpočet síly, která je potřebná pro překonání mechanických odporů polohy plováku. Její vztah je

$$F = S \cdot \Delta h \cdot \rho \cdot g \rightarrow \Delta h = \frac{F}{S \cdot \rho \cdot g} \quad (3)$$

Kde F . . . vyvozená síla [N],
 S . . . průřez plováku v horizontálním směru [m²],
 Δh . . . změna ponoření [m],
 P . . . hustota kapaliny [kg·m³],
 g . . . tíhové zrychlení [m·s⁻²].

Jedná se o dodnes užívaný způsob měření výšky hladiny z důvodu jejich jednoduchého použití, avšak jejich popularita upadá na úkor bezkontaktních alternativ měření. Užití mají především v oblasti čistých, nepříliš hustých kapalin v otevřených nádobách.



Obr. 1 – plovákový hladinoměr HENNLICH – HENNLIC LC [4]

3.1.3 Vibrační hladinoměry

Vibrační snímače mají podobu tyče, nebo ve většině případů podobu ladičky. Fungují na principu změny rezonanční frekvence nebo utlumení kmitů při kontaktu s měřeným materiálem. Piezoelektrický měnič rozpohybuje “packy“ ladičky, na její obvyklou frekvenci. V případě, že dochází ke kontaktu s povrchem měřeného materiálu, vibrace se utlumí, což zaznamenává druhý piezoelektrický snímač. To umožňuje spojitě měření hladiny kapalin.[3]

Vlastnosti vibračních hladinoměřů:

- Používají se pro registraci mezních stavů kapalin, či jiných materiálů
- Lze pomocí nich měřit hloubky až několik desítek metrů
- Jejich činnost není závislá na mechanických vlastnostech měřené látky, jako je hustota, vodivost, atd.



Obr. 2 – vibrační snímač hladiny SICK – SICK LBV310 [5]

3.2 Hydrostatické

Mezi hydrostatické měřiče hladin se řadí snímače, které pracují s tlakem. Ty se dělí na snímače hydrostatického tlaku a snímače tlakové difference. Poměrně populární jsou také systémy, které měří výšku hladiny pomocí probublávání.

V případě spojitého měření kapalných látek se dá použít široké spektrum manometrů, které zaznamenávají hydrostatický tlak. Zde je zásadní, zda měříme kapalinu v nádobě uzavřené, kde se může nacházet přetlak, či podtlak, nebo v nádobě otevřené, kde nad kapalinou můžeme očekávat tlak atmosferický. [6]

3.2.1 Tlakové hladinoměry

Tlakové hladinoměry představují nejrozšířenější skupinu běžně používaných hladinoměrů v praxi. Jak již bylo zmíněno, určují výšku hladiny podle naměřeného hydrostatického tlaku, což může způsobovat různé potíže a nepřesnosti. I z toho důvodu se v dnešní době technika snaží přizpůsobit a využívat modernější, bezkontaktní měřiče. [3]

Zde hraje zásadní rozdíl skutečnost, zda-li se měří kapalina v nádobě uzavřené, nebo otevřené.

V uzavřených tlakových nádobách měřiče fungují na principu dvou dílčích výsledků, z nichž jeden je výsledný tlak na dně nádoby a druhý tlak v prostoru plynu (nejčastěji) nad kapalinou. Pro výpočet diferenčního tlaku je potřeba provést rozdíl těchto dílčích měření, ačkoliv to může znamenat poměrně značné zkreslení od skutečnosti, kvůli nedostatečnému využití rozsahu senzorů. [3]

V otevřených nádobách, kde se nad kapalinou nachází atmosféra (atmosferický tlak), se výška hladiny měří opět pomocí hydrostatického tlaku naměřeného u dna nádoby, nýbrž v tomto případě se porovnává s barometrickým tlakem. I u těchto nádob je možnost použití diferenčních snímačů.

Manometry jsou ve většině případů propojeny přes oddělovací membránu, což znamená, že měřící prvek není v kontaktu s měřenou kapalinou v nádobě. Membránové oddělovače dělíme na 2 základní typy:

- Plochý
- Tubusový



Obr. 3 – Plochý membránový oddělovač OPTIBAR DSP 3000 [7]

3.2.2 Snímače hydrostatického tlaku vhodné pro uzavřené nádoby

U uzavřených (tlakových) nádob je nutné měřit tlak snímačem tlakové diference, který má ve většině případů dva přívody. Spodní, který je u dna nádoby, je připojen buď napřímo, nebo přes oddělovací membránu. Horní přívod je zaveden do prostoru plynu nad kapalinou a musí být vždy nad maximální možnou výškou hladiny kapaliny. Tímto přívodem je změřen referenční tlak (může být i atmosferický). Jednotlivé tlaky se poté vyhodnocují elektronickými obvody uvnitř snímače, který naměřené data následně převádí na výšku měřené hladiny. [3]

Takové snímače se připojují buď:

- Suchou větví
- Mokrou větví
- Přes oddělovací membránu s hydraulickou kapalinou

Používají se tedy pro měření v uzavřených nádobách. Jejich výhodou je též, že měří spojitě a nevyžadují konstantní hustotu měřené látky. Konkrétní využití mají například v tlakových převodnicích s elektrickým, či pneumatickým výstupem.



Obr. 4 – hydrostatický snímač tlakové diference XMD [8]

3.2.3 Snímače hydrostatického tlaku vhodné pro otevřené nádoby

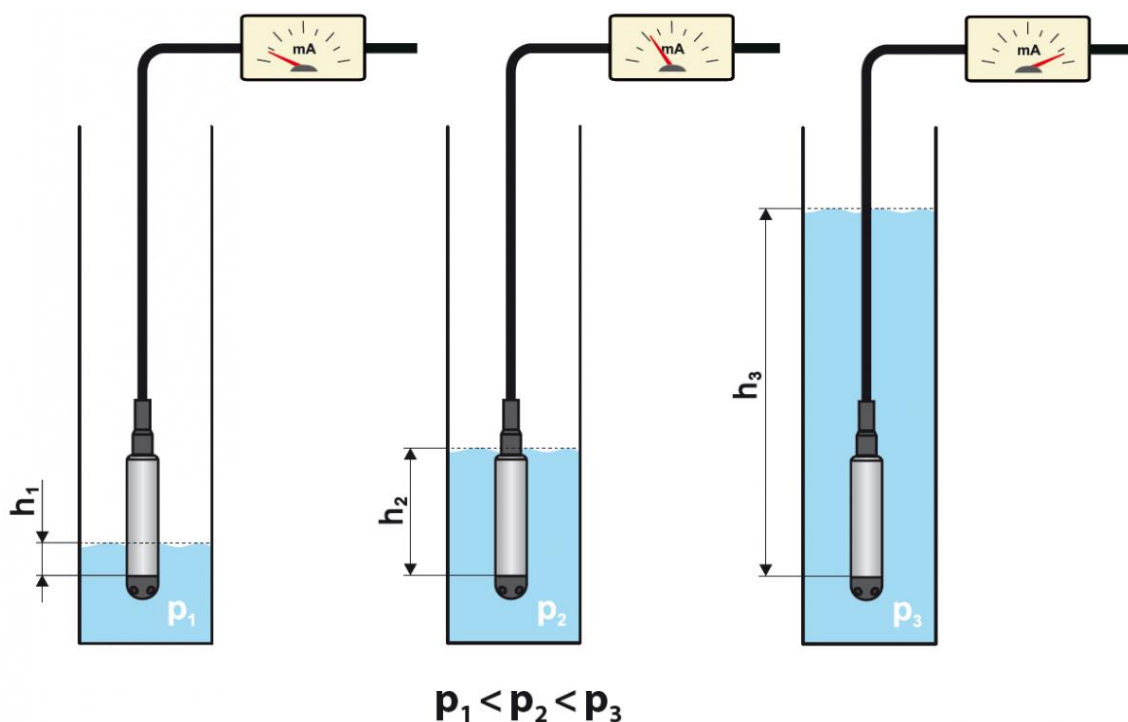
Oproti snímačům pro uzavřené nádoby se liší v počtu přívodů. V tomto případě mají snímače pouze jeden přívod, ke kterému je přes oddělovací membránu příslušný vodní sloupec kapaliny. Snímač poté přepočítá zaznamenaný tlak na výšku hladiny kapaliny. [2]

Jedna z nejjednodušších variant je malý ponorný senzor, který je zavěšen na izolovaném elektrickém kabelu, který je spouštěn do kapaliny. S narůstajícím ponořením roste i velikost hydrostatického tlaku, až do chvíle, než se hodnota tlaku ustálí. V praxi to znamená, že senzor přistál na dnu nádoby. Moderně zařízené senzory mají spoustu “vychytávek“, které mají za úkol měřit přesněji. Jedná se například o tlakovou žílu, jejíž účel je kompenzovat změny v barometrickém tlaku vlivem meteorologických změn, nebo elektronické obvody vyrovnávající teplotní změny. Tento způsob měření je využíván u vodních nádrží, studní a většiny stojatých vodních ploch. [3]

Snímače výšky hladiny v atmosférických nádobách pracují na jednoduchém principu hydrostatického tlaku. Sloupec hladiny působí svou tíhou a vyvíjí tlak úměrný hloubce pod hladinou, hustotě kapaliny a zdejšímu tíhovému zrychlení. Následující vzorec objasňuje výpočet výšky hladiny kapaliny pomocí naměřeného tlaku.

$$P = h \cdot \rho \cdot g \rightarrow h = \frac{P}{\rho \cdot g} \quad (4)$$

Kde $P \dots$ výsledný tlak vodního sloupce [Pa],
 $H \dots$ hloubka pod hladinou [m]
 $\rho \dots$ hustota měřené kapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],
 $g \dots$ místní tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],



Obr. 5 – Princip měření hydrostatického tlaku [9]

Využití tohoto typu snímačů, jak už z názvu vyplývá, je převážně v otevřených atmosférických nádobách. Nejsou vhodné do chemicky agresivních kapalin, avšak rozdílná viskozita pro ně problém nepředstavuje. Jejich výhodou je obrovský rozsah pro měřené výšky hladin (mohou být i několik set metrů).



Obr. 6 – hydrostatický snímač hladiny AFRISO – AFRISO DMU 08 [10]

3.2.4 Měření s probubláváním

Tento způsob měření výšky hladiny je dalším způsobem měření, který využívá hydrostatického tlaku. Není však měřen přímo v nádobě, ale za pomoci ponořeného potrubí. Z něj vniká do kapaliny vzduch, či jiná plynná látka, která je v chemickém souladu s měřenou kapalinou. Tlak je měřen tlakoměrem v prostoru vzduchu, takže není vystaven případnému agresivnímu chování kapaliny. [3]

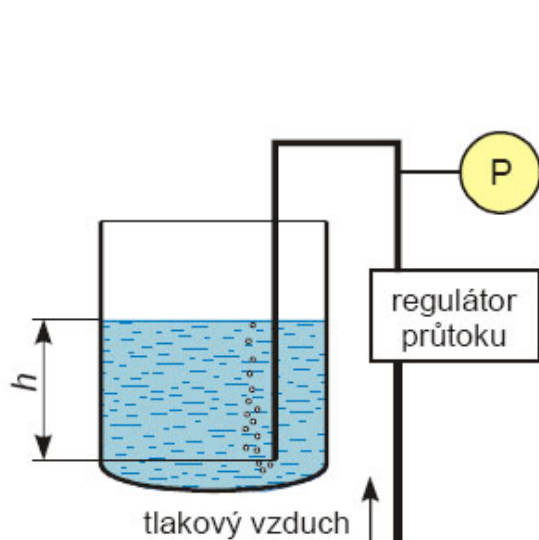
Měření s probubláváním může být využito jak v nádobách uzavřených, tak v nádobách otevřených. Jejich princip je znázorněn na obrázku 7a) a 7b).

Tlak vzduchu naměřený tlakoměrem odpovídá hydrostatickému tlaku v ústí trubice, zvýšenému o tlakovou ztrátu p_z prouděním v trubici, což je uvedeno v následujícím vztahu,

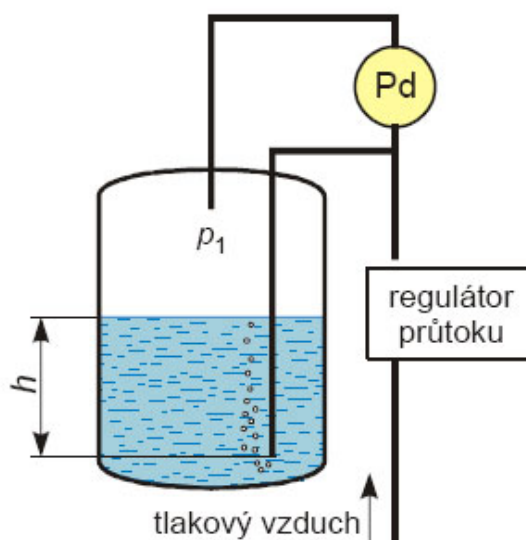
$$P = h \cdot \rho \cdot g + p_z \quad (5)$$

Kde P . . . výsledný tlak ve sloupci kapaliny [Pa],
 h . . . změna ponoření [m],
 ρ . . . hustota měřené kapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],
 g . . . místní tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],
 p_z . . . tlaková ztráta prouděním v trubici [Pa].

Využití této metody je zejména měření viskózních, nebo chemicky agresivních kapalin. Mohou být také silně znečištěné (kaly).



Obr. 7a) Měření s probubláváním
v otevřených nádobách [11]



Obr. 7b) Měření s probubláváním
v uzavřených nádobách [11]

3.3 Elektrické

Elektrické snímače výšky hladiny zahrnují vodivostní, kapacitní a tepelné principy. Fungují na základě elektrických vlastností měřených kapalin, či změn v elektrickém obvodu snímačem, v důsledku kontaktu s kapalinou. Korektní volba elektrického hladinoměru je závislá na druhu měřeného média, tvaru nádoby a vyžadovaných provozních vlastností.

3.3.1 Vodivostní hladinoměry

Tyto hladinoměry využívají elektrické vodivosti měřeného média. Z toho důvodu je použití tohoto typu hladinoměru velmi specifické, a to na vysoce vodivé materiály obsahující vodu. Jsou tvořeny elektrodami umístěnými v nádrži s měřenou kapalinou. U spojitých hladinoměru se měří změna elektrického odporu (resp. vodivosti) se změnou polohy hladiny. Jejich přesnost je silně závislá na změnách ve složení kapaliny, její vodivosti i teploty. U spínačů se vyhodnocuje odpor buď mezi dvěma elektrodami, nebo mezi hrotem sondy a kovovou stěnou nádoby.[11]

Vodivostní snímače se využívají zejména k signalizaci mezních stavů a k dvoupolohové regulaci. Používají se například při naplňování a vyprazdňování nádob mezi dvěma polohami hladiny a k řízení čerpadel v provozech zpracovávajících odpadní vody.



*Obr. 8 – dvouelektrodový systém pro nevodivé nádoby (nalevo)
Tříelektrodový spínač s tyčovými elektrodami (uprostřed)
Dvouelektrodový spínač s lanovými elektrodami (vpravo) [11]*

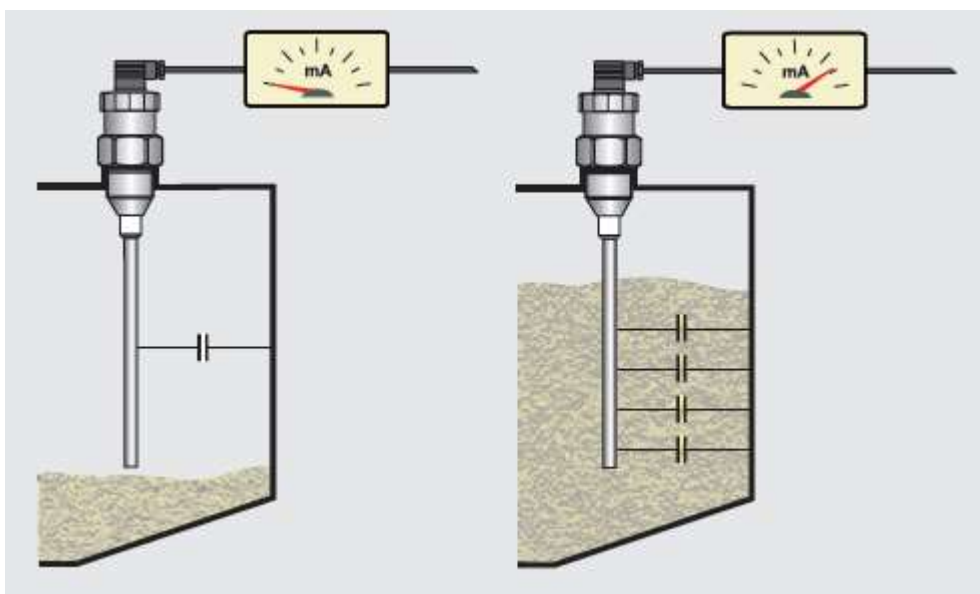
3.3.2 Kapacitní hladinoměry

Kapacitní snímače hladiny pracují na principu měření kapacity kondenzátoru, jehož elektrody přicházejí do styku s měřeným materiálem (kromě kapaliny lze měřit i sypký materiál).

Rozlišujeme 2 hlavní případy měření podle toho, jestli měříme materiál vodivý, či nevodivý

- Nevodivé materiály:

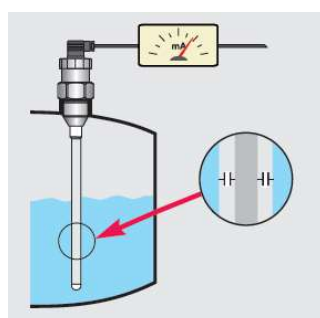
Tato varianta měření se provádí jednodušším způsobem. Kondenzátor je v tomto případě tvořen vodivou střední elektrodou a stěnou nádoby. Mezi “deskami” kondenzátoru je dielektrikum, které představuje měřenou látku, nebo vzduch.



Obr. 9 – princip spojitého měření výšky hladiny nevodivých materiálů [12]

- Vodivé materiály:

U vodivých materiálů nastává trochu složitější situace v tom, že snímací elektroda musí být izolována. Tím pádem se dielektrikem stává právě zmíněná izolace, jejíž tloušťka je známa a vodivá měřená látka je proměnnou plochou vnější elektrody.



Obr. 10 – Princip kapacitních hladinoměrů v případě vodivých materiálů [12]

Výhodou kapacitních hladinoměrů je poměrně vysoká rychlost měření (krátká reakční doba na změnu hladiny) a vysoká mechanická, teplotní i chemická odolnost na podmínky v nádrži. Tato metoda je také imunní vůči veškerým změnám v atmosféře nad hladinou. Naopak její nevýhodou je nutnost kontaktu elektrody s měřeným materiálem. Kapacitní hladinoměry také nelze použít v případě proměnlivé dielektrické konstanty.

Využití kapacitních hladinoměrů je široké, například pro měření olejů, nafty, benzínu, mouky, cementu, či třeba písku. V případě izolované elektrody se používají k měření čisté i znečištěné vody v kovových nádržích a betonových jímkách, ale také vodivých a agresivních, či velmi horkých kapalin například v potravinářství. [12]



Obr. 11 – kapacitní hladinoměry DINEL – CLM 36 [13]

3.3.3 Tepelné snímače hladiny

Základem snímacího prvku je sonda s elektricky vyhříváním elementem, v jehož blízkosti je umístěn vhodný senzor teploty (odporový teploměr, nebo termistor). Prostředí obklopující snímač ovlivňuje přenos tepla z topného prvku do okolí. Například odvod tepla do kapalného materiálu bude intenzivnější, než odvod tepla do vzduchu. To způsobuje, že při kontaktu snímače s hladinou kapaliny dojde k náhlému ochlazení vyhřívajícího prvku a ke skokové změně jeho teploty.

Je tedy zřejmé, že tento typ snímačů měří převážně limitní hodnoty výšek, nikoliv spojitě. Jejich výhodou je nezávislost na materiálové charakteristice, jako například vodivost a permitivita. Nevýhodou však spočívá v možném povlaku, který se opakovaným namáčením mohl na snímači vytvořit. Ten by znamenal horší přístup tepla ke snímači a tím pádem k snížení citlivosti detekce.

Využití nachází především ve víceúčelových provozních zařízeních, kde musí snímač být kompatibilní s řadou technologických materiálů a provozních podmínek. [2]

3.4 Fyzikální

Fyzikální snímače využíváme především k měření ve speciálních případech, kdy dochází k měření výšky hladiny nějakým způsobem nebezpečných, nebo chemicky agresivních materiálů, protože se ve většině případů jedná o bezkontaktní měření.

Každé provedení má svoje specifické výhody a nevýhody dané použitým fyzikálním principem měření a tím pádem se více či méně hodí pro měření určitých materiálů. Měření následujícími typy snímačů je sice velice efektivní, avšak navzdory pokročilým technologiím se pořád vyznačují vyšší pořizovací cenou.

3.4.1 Ultrazvukové hladinoměry

Princip funkce ultrazvukových hladinoměrů je založen na měření doby zpoždění odrazu vyslané akustické vlny od hladiny. Snímač se ve většině případů umístí nad měřenou hladinu a vysílá akustické vlny v podobě ultrazvukových impulsů. Ty se šíří od snímače, odrazí se od hladiny a navrací se zpět k čelu snímače. Zde jsou impulzy přijaty a opět přeměněny na elektrický signál. Následně vnitřní elektronika odfiltruje rušivé signály, které mohou způsobit míchadla, žebříky, výztuhy atd. Výška hladiny se potom určuje podle doby letu impulsů z následujícího vztahu,

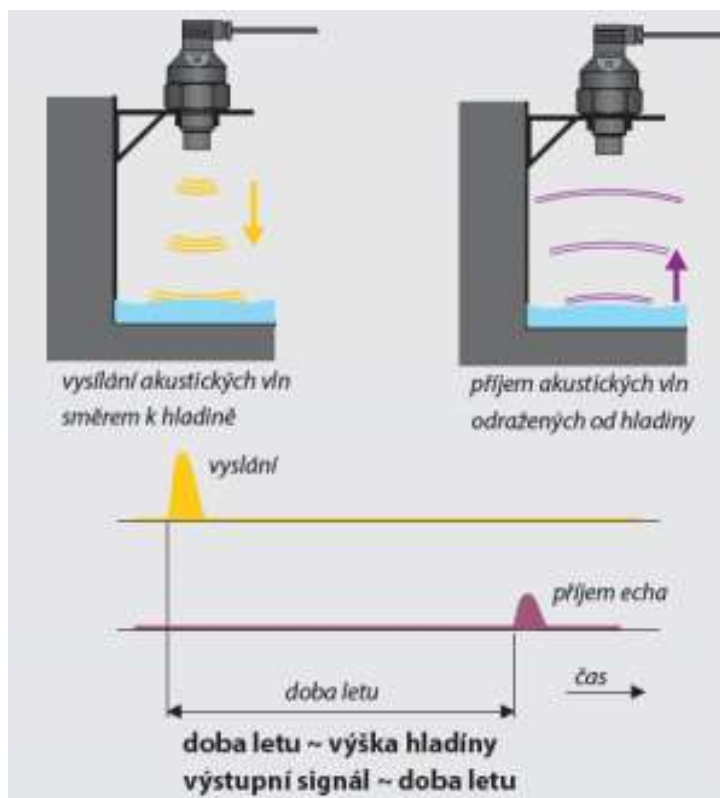
$$t = \frac{2 \cdot h}{c} \rightarrow h = \frac{c \cdot t}{2} \quad (4)$$

Kde h . . . vzdálenost mezi snímačem a povrchem měřené kapaliny [m],

c . . . rychlost šíření ultrazvukových vln [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

t . . . čas mezi odeslaným a přijatým impulzem [s].

Skutečnou výšku hladiny měřeného materiálu poté získáme až po odečtení naměřené vzdálenosti h mezi snímačem a hladinou od celkové výšky nádoby.



Obr. 12 – Princip ultrazvukových hladinoměrů [12]

Hlavní výhodou ultrazvukového principu měření je skutečnost, že snímač není v žádném kontaktu s měřeným materiálem. Z tohoto důvodu je tato metoda odolná vůči změnám parametrů materiálu (změny dielektrické konstanty, nebo vodivosti).

Nevýhoda tohoto způsobu měření je vliv nepříznivých jevů v atmosféře nad hladinou (pěna, prudké turbulence a rychlé proudění vzduchu, nebo velmi silné odpařování). V uzavřené nádobě s vakuem nad hladinou použít nelze vůbec, protože by se impulzy neměly jak šířit. [12]

Ultrazvukovými hladinoměry lze měřit hladiny kapalných látek, pastovitých hmot a sypkých materiálů v otevřených i uzavřených jímkách, otevřených kanálech a ostatních nádob s rozsahem od pár centimetrů až po desítky metrů. Nejlepší využití mají pro kontinuální měření výšky hladiny odpadních vod, kalů, lepidel, či pryskyřic.



Obr. 13 – Bezkontaktní ultrazvukový hladinoměr HENNLICH – LU9X2 [14]

3.4.2 Radarové hladinoměry s vedenou vlnou

Radarové hladinoměry fungují na obdobném principu jako hladinoměry ultrazvukové. Základní odlišnost spočívá v tom, že tyto hladinoměry nevysílají ultrazvukové vlny, nýbrž elektromagnetické signály, které jsou vedeny vodivou elektrodou. Opět se měří časová prodleva mezi vysláním vlnění na hladinu měřeného materiálu, od které se odrazí a je vodičem vedena zpět do snímače, kde je zaznamenána. Elektronika ve snímači měří dobu letu vlny, přepočítává na výšku hladiny a vyšle ve formě signálu analogového výstupu.

Existuje také varianta bezkontaktní, která není vybavena elektrodou a elektromagnetická vlna se šíří plynným prostředím nad kapalinou. Tento typ disponuje obdobnými vlastnostmi jako měřič ultrazvukový.

Využití radarových hladinoměrů s vedenou vlnou vychází z jejich odolnosti vůči změnám jak atmosféry nad kapalinou, tak změnám vlastností samotného měřeného média. Měření bývají velmi přesné (v řádu milimetrů). Jejich nevýhoda spočívá opět v nutnosti neustálého kontaktu elektrody s měřeným materiálem, a tedy je nezbytné přizpůsobení materiálu elektrody vzhledem k měřenému materiálu (hlavně v případě chemicky agresivních, nebo naopak hygienicky čistých látek). [12]

Jejich bezkontaktní verze se potom hojně užívá pro bezdotykové měření velmi agresivních a toxických materiálů za vysokých teplot a tlaku. Rozsah měření se pohybuje od 0 m do 50 m.

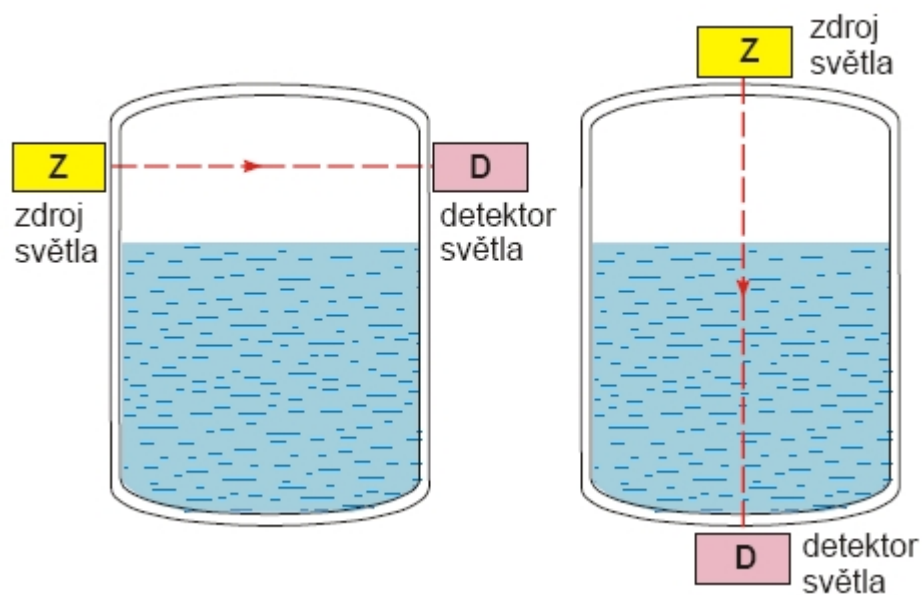


Obr. 14 – Varianty radarových hladinměřů HENNLICH [14]

3.4.3 Optické hladinoměry

Princip optických snímačů hladiny může být založen na využití průchodu, odrazu, nebo lomu paprsků viditelného, infračerveného, nebo laserového záření.

Snímače, které se označují jako transmisní (absorpční) hladinoměry, využívají průchod paprsku viditelného, nebo infračerveného záření skrz průhlednou, či průsvitnou nádobu. Snímač může fungovat i jako mezní spínač, nebo může hladinu měřit spojitě.



Obr. 15 – Transmisní hladinoměry [11]

Pokud hladina vystoupá nad úroveň umístění spínače, dochází k absorpci světla a detektor zaznamená změnu intenzity. Pro spojité měření se využívá umístění nad a pod měřenou nádobou, přičemž se zaznamenává intenzita světla dopadajícího na detektor. S vyšší hladinou se intenzita postupně snižuje. U nádob z neprůhledných materiálů je nutno použít vhodné okénko. [11]

Také lze využít speciální ponornou sondu, která má v pevné vzdálenosti od sebe umístěna zdroj světla a detektor. Celá sonda se poté ponoří do měřené kapaliny.

Transmisní snímače jsou vhodné pro detekci polohy kapalin a kalů a lze je využít i pro určení polohy rozhraní mezi kalem a kalovou vodou v sedimentujících látkách. Obvyklejší je užití jako detektory mezních stavů. Nevýhodou představuje nebezpečí vzniku povlaků, nebo vytvoření kapky na detekující sondě, což by mohlo vést k chybám měření. [11]

3.5 Přehled předních prodejců snímačů na měření výšky hladiny

K výrobcům a dodavatelům, kteří v tuzemsku dodávají největší množství nejružnějších senzorů z oblasti měření a regulace výšky hladiny se řadí například:

Tab. 1: Dodavatelé a výrobci snímačů na měření výšek hladin.

Výrobce, dodavatel	Odkaz na Internetové stránky
DINEL s.r.o.	http://www.dinel.cz
KROHNE CZ, spol. s.r.o.	https://cz.krohne.com/cs/
Endress+Hauser Czech, s.r.o.	https://www.cz.endress.com/cs
NIVELCO Bohemia s.r.o.	https://nivelco.com/cz/
SIKA Siebert, Kühn Co.	https://www.sika.net/en/
HENNLICH s.r.o.	https://www.hennlich.cz
Omega Engineering Česká republika	http://www.omegaeng.cz
REGMET s.r.o.	https://www.regmet.cz

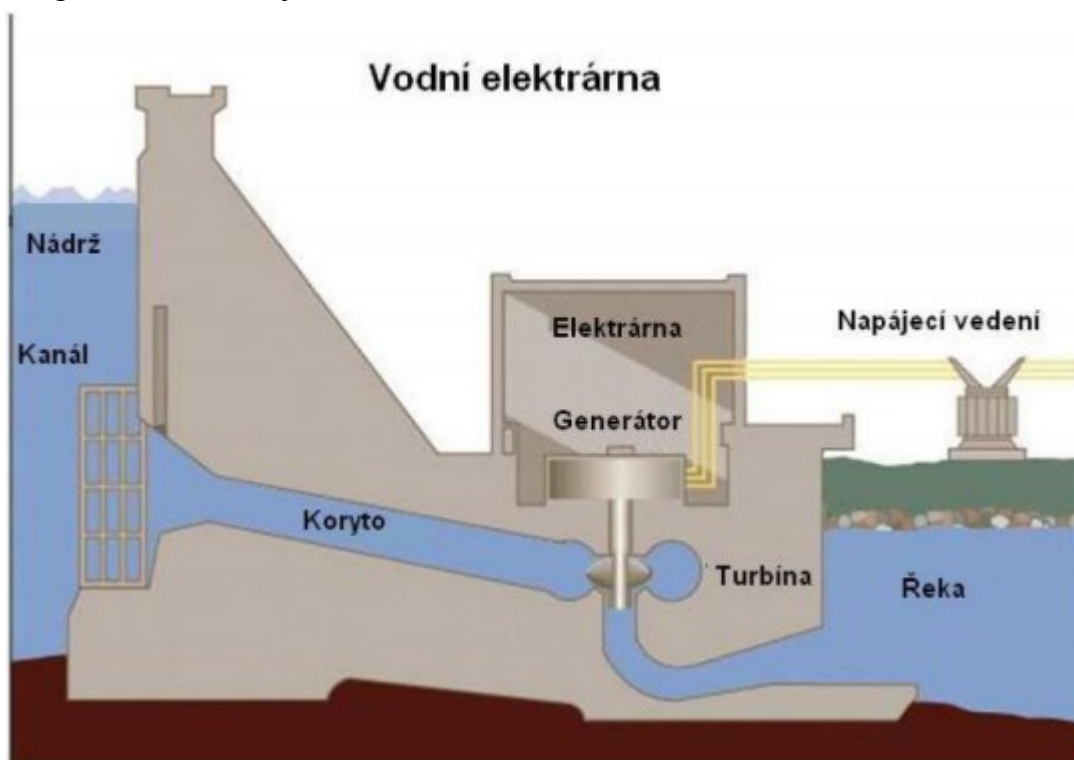
4 VODNÍ ELEKTRÁRNY

Vodní elektrárny patří k nejstarším energetickým zdrojům, které se lidstvo ve své historii naučilo využívat. Vodní kola (zprvu horizontální, později vertikální) se pro nejrůznější účely používala již před několika tisíci lety. V ČR nejsou přírodní poměry pro budování vodních elektráren ideální, kvůli skutečnosti, že naše toky nemají dostatečný spád ani dostatečné množství vody.

4.1 Princip vodních elektráren

Ve vodních elektrárnách proudí voda, která roztáčí turbínu připojenou na hřídel s elektrickým generátorem. Tím pádem se mechanická energie vody mění na elektrickou, která se transformuje a odvádí do míst spotřeby. Existuje několik typů vodních elektráren a v každé se vyplatí využít jiný typ vodních turbín. Obecně ale platí, že tyto turbíny jsou jedny z technicky nejdokonalejších zařízení s účinností až 95%.

Způsob fungování elektráren je znázorněn na obrázku:



Obr. 16 – Zobrazení a princip spádové vodní elektrárny [15]

4.2 Použití průtokoměrů

Jak již z názvu vyplývá, vodní elektrárny budou převážně využívat měřičů vhodných pro měření kapalin. Kromě snímačů výšky hladiny jsou hojně používány také průtokoměry.

Jsou to zařízení, která transformují rychlost průtoku na jinou fyzikální veličinu funkčně závislou na rychlosti proudění kapaliny, či na její kinetické energii.

Přímé měření objemového nebo hmotnostního průtoku je možné dávkovacími senzory, které rozdělují tekutinu na přesně definované díly a transportují je ve směru proudění. Základem těchto senzorů jsou odměrné nádoby, které se vlivem proudění kapaliny střídavě plní a vylévají. Druhým typem přímých průtokoměrů jsou ty, které jsou založeny na vážení určité části protékající kapaliny.

Většina měření je nepřímá a snímač obsahuje elektroniku provádějící přepočty změřených veličin na objemový/hmotnostní průtok.

4.3 Typy průtokoměrů

- Průřezové – Princip měření využívá jevu, ke kterému dochází při zúžení průtočného průřezu. Do potrubí se umístí škrťací orgán zužující průtočnou plochu. Rozdíl statických tlaků, snímáný diferenčním tlakoměrem před a za zúžením, je závislý na velikosti průtoku. [16]
- Rychlostní – Rychlostní průtokoměry využívají závislosti dynamického tlaku proudící kapaliny. Do této skupiny patří Pitotova trubice a Prandltova trubice. [16]
- S proměnným průřezem – Průtokoměry s proměnným průřezem opět pracují na principu tlakové difference, avšak s tím rozdílem, že při jejich činnosti zůstává tlaková difference na průtokoměru konstantní a rychlost proudění vyvolává změnu polohy plováčku. [16]

- Turbínové a lopatkové senzory průtoku – Jejich základem je volně otočný rotor s lopatkami. Rotor se vlivem proudění tekutiny otáčí úhlovou rychlostí, která je funkcí rychlosti proudění kapaliny. Otáčky rotoru jsou ve mnoha případech snímány bezdotykovým indukčním snímačem, jehož výstupem jsou napěťové impulzy, které se dále zpracovávají a vyhodnocují. Jedná se o nejpoužívanější skupinu průtokoměrů, jejich jediná nevýhoda je, že lopatky či turbína musí být v přímém kontaktu s měřenou kapalinou. [16]
- Objemové – Průtokoměry určené pro měření objemového průtoku měří objem tekutiny přímo rozdělením objemu do samostatných odměrných prostor se známým objemem. Obvykle na počítadle ukazují rovnou celkový proteklý objem, ovšem zastaralejší kusy mohou mít výstup v jednotkách naplněných dílčích nádobek. Tento typ průtokoměrů je velice variabilní, může se měnit jak objem jednotlivých nádobek, tak jejich tvar, uložení lopatek atd. Vzhledem k velkému množství pohyblivých částí nejsou vhodné pro měření znečištěných kapalin, či kapalin obsahující pevné částice. [16]
- Ultrazvukové – Podobně jako u snímačů hladiny kapalin využívající ultrazvuk, i v tomto případě se jedná o bezdotykové měřiče, které mají využití u silně znečištěných, agresivních, či dokonce výbušných kapalin. Fungují na principu změny šíření frekvence v kapalině v důsledku jejího proudění. Vektor rychlosti pohybu kapaliny se poté promítne do vektoru rychlosti ultrazvukového vlnění a tuto změnu zaznamená snímač na druhé straně potrubí. Následně změnu přepočítá na žádanou veličinu a data odešle. [16]
- Indukční senzory – Jsou založeny na využití Faradayova zákona o elektromagnetické indukci při pohybu vodiče v magnetickém poli. Pohybující vodič je představován protékající vodou. Permanentní magnet, či elektromagnet vytváří magnetické pole, které celým potrubím prochází. Pro korektní výsledky musí být část potrubí mezi magnety z neferomagnetického materiálu. [16]
- Tepelné – Tepelné průtokoměry jsou založeny na závislosti intenzity výměny tepla mezi zdrojem (čidlo) a okolím tvořeným proudící tekutinou na hmotnostním průtoku. Z hlediska tohoto fyzikálního principu však tento typ měřičů vyhovuje měření průtoků plynů a to s co nejmenší možnou hustotou. [16]

5 ZÁVĚR

Měření výšky hladiny kapalin se řadí mezi významné a poměrně časté veličiny, které pozorujeme v každodenní technické praxi. Na spolehlivosti a přesnosti měření může záviset provozuschopnost a dokonce bezpečnost ostatních dílů nějakého velkého mechanismu, či stroje. Extrémní případy v podobě přetečení nádrže, či poklesu hladiny pod přípustnou mez, můžou vést k havárii a mnohdy obrovskými nejen ekonomickými škodami. Proto je naprosto zásadní, aby došlo k výběru korektního typu snímače pro danou situaci a možnosti. Právě tímto tématem se zabývá tato práce.

V přední části se nachází výpis s kritérii, podle kterých lze hladinoměry dělit. Následně se práce věnuje seznámení s moderními a zaběhlými systémy, které se v posledních letech objevují na poli měřící, řídicí a regulační techniky. Podstatné je seznámení se širokým výběrem právě těchto metod a principů činností měřičů výšek hladin. Ačkoliv technologie v dnešní době téměř “neznají hranic“, některé typy snímačů disponují znatelně vyšší pořizovací cenou. Z toho důvodu je také potřeba zvážit, zda by bylo ekonomicky výhodné používat nejpřesnější řady snímačů hladin, nebo by stačil mnohem běžnější měřič například na principu snímání hydrostatického tlaku. Pro porovnání cen a samozřejmě i ostatních vlastností slouží přiložená tabulka s několika výrobci i dodavateli výrobků z oblasti měřící techniky.

Ke konci se práce zaměřuje na princip a fungování vodních elektráren, které jsou dodnes významným zdrojem energií v několika státech. Jelikož jsou při jejich provozu zásadní průtoky, rychlosti proudění kapalin a tlaky v různých místech a strojích, zaměřuje se poslední kapitola na seznámení se s principem průtokoměrů. Pro lepší orientaci a představu se práce zabývá jak výčtem několika základních a nejpoužívanějších druhů průtokoměrů, tak způsobem, jakým kapalinu měří.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] RADA, Václav. *Teorie měření a regulace* [online]. Brno: VUT Brno, 2015 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.fce.vutbr.cz/tst/rada.v/TMaR/t-mar-2015-p2p-tm2-CHYB1.pdf>
- [2] Měření a regulace. *JSP* [online]. -: -, 2012 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: http://www.jsp.cz/cz/sortiment/seznam_dle_kategorii/snimace_hladiny/teorie-hladina/
- [3] ĎAĎO, S.; BEJČEK, L.; PLATIL A. Měření průtoku a výšky hladiny. 1. vyd. Praha : Nakladatelství BEN – technická literatura, 2005. 448 s. ISBN 80-7300-156-X.
- [4] *HENNLICH* [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/produkty>
- [5] *JSP* [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <http://www.jspshop.cz/limitni-mereni-hladiny/sick-lbv310-xxagdrax-vibracni-limitni-spinac-hladiny-sypkych-latek/>
- [6] SLÁDEK, Z.; VDOLEČEK, F. Technická měření. 1. vyd. Brno : Nakladatelství VUT, 1992. 220 s. ISBN 80-214-0414-0.
- [7] *KROHNE* [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://cz.krohne.com/cs/vyrobky/mereni-tlaku/membranove-oddelovace/optibar-dsp-3000/>
- [8] *JSP* [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: https://www.jsp.cz/cz/sortiment/seznam_dle_kategorii/snimace_tlaku_a_tlakove_diference/
- [9] *APLISENS* [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/senzory-hydrostatickeho-tlaku-pro-mereni-hloubky-ci-regulaci-vysky-hladiny.html>
- [10] *AFRISO* [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.afriso.cz/obchod/hydrostaticke-mereni-hladiny-naplne-s-prevodnikem-tlaku-dmu-08/>
- [11] *JSP* [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <http://www.jsp.cz/cz>

- [12] *APLISENS* [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/spojite-mereni-vyska-hladiny-principy-mereni-a-provedeni-snimacu.html>
- [13] *DINEL* [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.dinel.cz/>
- [14] *HENNLICH* [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/>
- [15] *VODNÍ ELEKTRÁRNY* [online]. , 6 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: https://projekty.osu.cz/akreditace2017/Vodni%20elektrarny_principy.pdf
- [16] *COMAC CAL* [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.comaccal.cz/prutokomery/>
- [17] *AUTOMA: Měření polohy hladiny*. 2005. 2005.

SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1 – Plovákový hladinoměr HENNLICH – HENNLIC LC [4].....	22
Obr. 2 – Vibrační snímač hladiny SICK – SICK LBV310 [5].....	23
Obr. 3 – Ploché membránový oddělovač OPTIBAR DSP 3000 [7].....	24
Obr. 4 – Hydrostatický snímač tlakové difference XMD [8].....	25
Obr. 5 – Princip měření hydrostatického tlaku [9]	26
Obr. 6 – Hydrostatický snímač hladiny AFRISO – AFRISO DMU 08 [10]	27
Obr. 7 – Měření s probubláváním [11]	28
Obr. 8 – Elektrodové spínače [11]	29
Obr. 9 – Princip spojitého měření výšky hladiny nevodivých materiálů [12]...	30
Obr. 10 – Princip kapacitních hladinoměrů v případě vodivých materiálů [12].	30
Obr. 11 – Kapacitní hladinoměry DINEL – CLM 36 [13].....	31
Obr. 12 – Princip ultrazvukových hladinoměrů [12].....	33
Obr. 13 – Bezkontaktní ultrazvukový hladinoměr HENNLICH – LU9X2 [14].	34
Obr. 14 – Varianty radarových hladinoměrů HENNLICH [14]	35
Obr. 15 – Transmisní hladinoměry [11]	35
Obr. 16 – Zobrazení a princip spádové vodní elektrárny [15]	37
 Tab. 1: Dodavatelé a výrobci snímačů na měření výšek hladin	 36

Seznam zkratk

Obr.	Obrázek
Tab.	Tabulka
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným
tzv.	Takzvaný/á