MĚŘENÍ HLADINY

Měřená média:

- **kapaliny**
  - čistá voda, roztoky, hořlavé kapaliny, viskózní kapaliny apod.
- **suspenze**
  - jemné suspenze, suspenze s abrazivními účinky
- **sypké látky**
  - tekoucí suché prášky, vlhké a spékající se hrudkovité sypké látky

Měření hladiny

- slouží většinou **ke zjišťování množství**
  - **vyčíslení množství** z údaje o výšce hladiny je jednoduché pro nádrže, jejichž průřez se s výškou nemění
  - obtížnější vyčíslení je např. pro ležaté válcové zásobníky s vyklenutým dnem (existují výpočetní programy)
- často vystačíme v praxi s **měřením bodovým**
  - měření mezního stavu
  - **limitní snímače** pro indikaci určité úrovně stavu hladiny
- **měření spojité** poskytuje univerzální informaci, je náročnější

1

Přehled snímačů stavu hladiny

- **Mechanické hladinoměry**
  - plovákové hladinoměry
  - hladinoměry s ponorným tělesem
  - hladinoměry založené na měření hmotnosti
  - vibrační a vrtulkové stavoznaky
- **Hydrostatické hladinoměry**
  - přímé měření hydrostatického tlaku
  - měření s probubláváním
- **Elektrické hladinoměry**
  - vodivostní
  - kapacitní
  - fotoelektrické
- **Fyzikální hladinoměry**
  - ultrazvukové
  - radarové
  - s radioaktivním zářičem

2

Mechanické hladinoměry

Mechanická měřidla:

- **Tyčové měřidlo** je historicky nejstarším měřidlem výšky hladiny.
- **Průhledové stavoznaky** (skleněná trubice nebo průzor) se často využívají pro vizuální sledování stavu hladiny.

Nevýhody:

- neposkytují signál pro další zpracování
- zanášení nečistotami (rez)

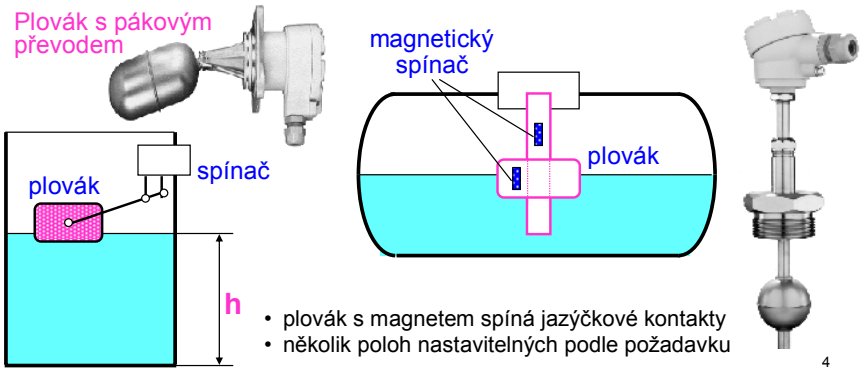
Hladinoměry založené na měření hmotnosti :

- ✓ výšku hladiny lze zjišťovat i **měřením hmotnosti nádrže** s materiálem
- ✓ hmotnost nádrže se zjišťuje pomocí **siloměrného členu**
- ✓ citlivým prvkem siloměrného členu bývá nejčastěji **tenzometrický senzor**
- ✓ hladinoměry založené na měření hmotnosti se používají např. při **dávkování a směšování** různých materiálů

3

Plovákové hladinoměry

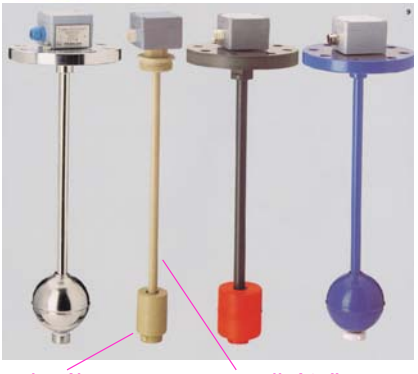
- **pohyb plováku** je vyveden z nádrže:
  - řetízkem nebo **lankem přes kladku** (obvykle s protizávažím)
  - **pákovým mechanizmem**
  - mezní spínač může být ovládán např. **magneticky**
- **převod na elektrický signál** může být zajištěn např.:
  - při signalizaci mezních stavů **kontakty spínače**
  - při spojitém měření **odporovým vysílačem**



- plovák s magnetem spíná jazýčkové kontakty
- několik poloh nastavitelných podle požadavku

4

Plováky – příklady provedení



- lehká dutá tělesa anebo tělesa s velmi malou hustotou
- do kapaliny ponořeny velmi málo
- při měření menších změn výšky hladiny (do 1 m) se používá **plováků ve tvaru koule**
- pro měření velkých změn hladiny (do 40 m) se používají **plováky válcového tvaru** s vodicí tyčí

Materiál plováku
- polyethylen, polypropylen, PVC,
- mosaz, nerez,

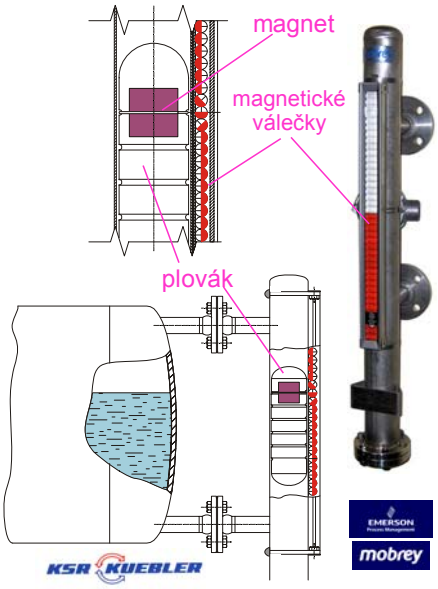
Aplikace
- nelepkavé a neviskózní kapaliny (jednoduchost, spolehlivost)

5

Obtokový hladinoměr s magnetickými válečky

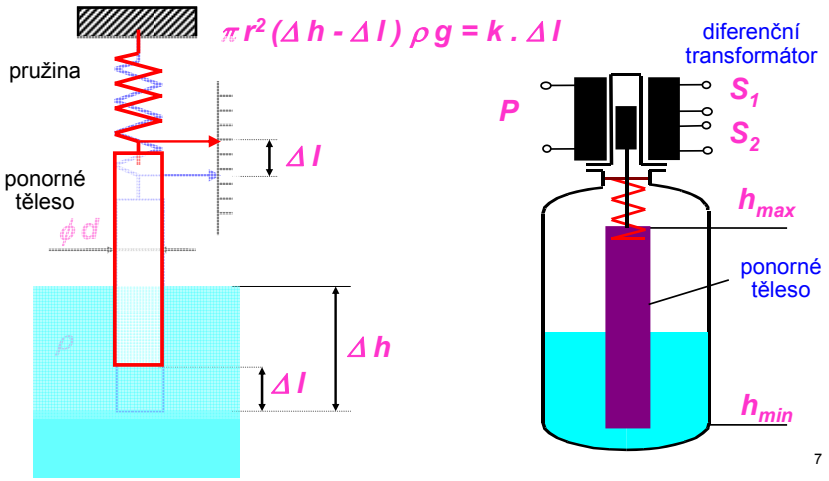
- indikace polohy hladiny analogicky jako u **průhledového stavoznaku**
- plovák v trubici hladinoměru je opatřen magnetem
- magnet při pohybu převrací válečky na zobrazovací liště
- poloha hladiny je prezentována výraznou barvou

Aplikace:
- agresivní, hořlavé, toxické, horké kapaliny
- pro teploty (-160 až 400) °C
- od vakua až do 42 MPa



Snímač hladiny s ponorným tělesem

- založen na platnosti Archimedova zákona
- ponorné těleso zavěšené na pružině a částečně ponořené do kapaliny
- pracuje na principu vyrovnání sil (síla tíhová, vztlaková, síla pružiny)

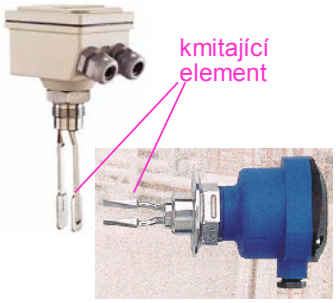


7

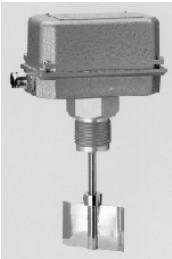
Vibrační a vrtulkové snímače hladiny

Vibrační stavoznaky:

- **kmitající element** vidlicového nebo tyčkového tvaru, který je rozkmitáván obvykle piezoelektricky
  - ➢ při dotyku rezonátoru s hladinou se tlumí kmity oscilátoru
- ladička kmitá při rezonanční frekvenci např. 1 200 Hz



Vrtulkové stavoznaky:

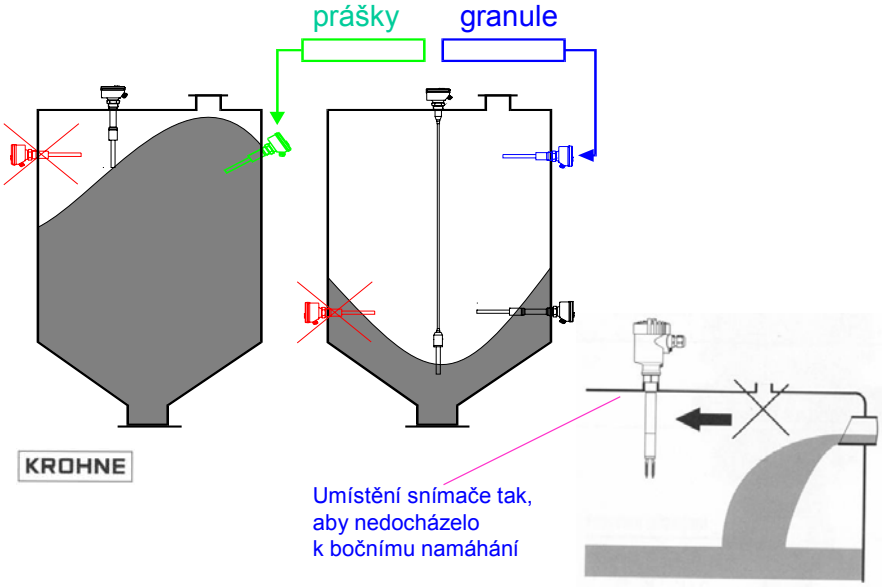


- využívají útlum, popřípadě zastavení otáčení vrtulky poháněné elektromotorkem a zavěšené nad hladinou
- při dotyku s hladinou měřené látky se vrtulka zastaví a signalizuje se dosažení výšky hladiny
- k limitnímu určování výšky hladiny
- jako pojistky proti přeplnění nádrží
- měření není ovlivněno změnami hustoty, vodivosti, relativní permitivity a viskozity kapaliny

KROHNE

8

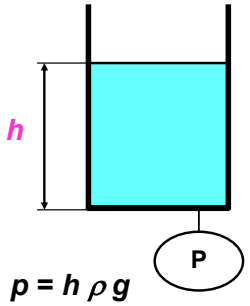
Instalace vibračních snímačů



Hydrostatické hladinoměry

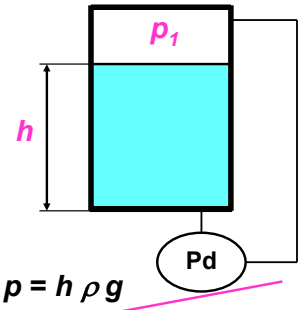
Přímé měření hydrostatického tlaku

Měření v otevřené nádrži



$p = h \rho g$

Měření v uzavřené nádrži



$\Delta p = h \rho g$

- při kondenzaci par v referenčním přívodu manometru, je nutno zařadit kondenzační nádoby nebo referenční přívod naplnit vhodnou oddělovací kapalinou

Ovlivnění:
- hustota měřeného média
- teplota

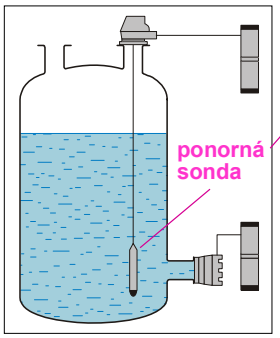
10

Provedení snímačů hydrostatického tlaku

Membránový tenzometrický snímač:

Membránový kapacitní snímač:

Ponorná sonda:
- membrána s tenzometrickým snímačem
- přívod referenčního tlaku propojovací hadicí
- měření v zásobnících od 1 m
- měření ve vrtech až do 200 m

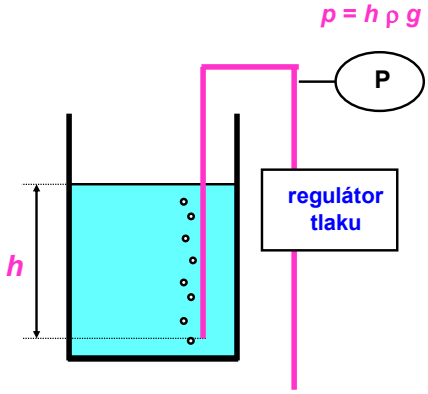


11

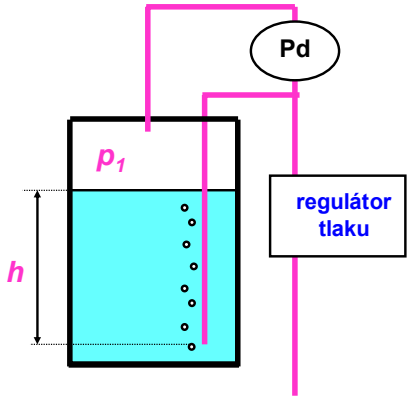
Měření hladiny probubláváním a měřením hydrostatického tlaku

- trubkou přivedenou ke dnu nádrže proudí tlakový vzduch
- měří se hydrostatický tlak, který musí vzduch překonávat

Měření v otevřené nádrži



Měření v uzavřené nádrži

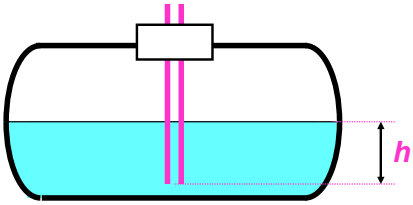


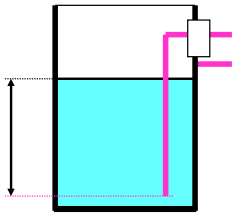
12

Elektrické hladinoměry

Vodivostní elektrodové snímače hladiny

Spojité snímání stavu hladiny:

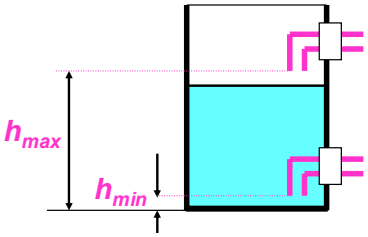




- stěna kovové nádrže slouží jako elektroda

Provedení elektrodového snímače:

Indikace mezních stavů:



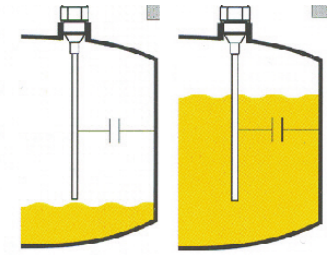
Aplikace:

- pro elektricky vodivé kapaliny
- jednoduchý princip a instalace
- pro signalizaci mezních stavů
- plnění a vyprazdňování nádob
- řízení čerpadel v provozech odpadních vod

13

Kapacitní hladinoměry

- hladinoměr tvoří elektrický **kondenzátor s proměnlivou kapacitou**
- změna kapacity se měří můstkovými nebo frekvenčními metodami
- provedení závisí na vodivosti měřeného média



Snímací část kapacitního hladinoměru

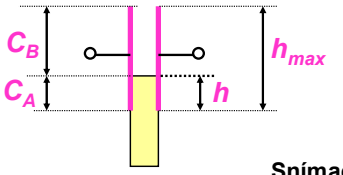
- kapacitní sonda má obvykle **válcový tvar** (tyč, trubka, lanko)
- sondy se umisťují většinou přímo do nádrže
- sonda je izolovaná od kovových stěn nádoby
- při měření je podstatné, zda je možné využít stěnu měřeného prostoru jako protielektrodu

14

Kapacitní hladinoměr pro nevodivé kapaliny

Princip: $C = \varepsilon_0 \varepsilon_r S/d$

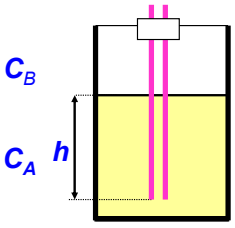
ε_0 - permitivita vakua
ε_r - relativní permitivita prostředí
S - plocha elektrod
d - vzdálenost elektrod

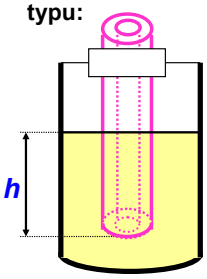


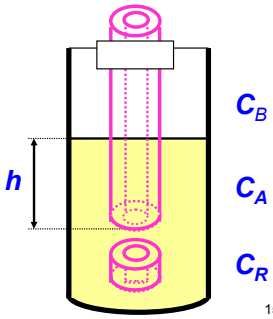
$C = C_A + C_B$

Referenční kondenzátor pro kompenzaci změn permitivity média:

Snímač válcového typu:



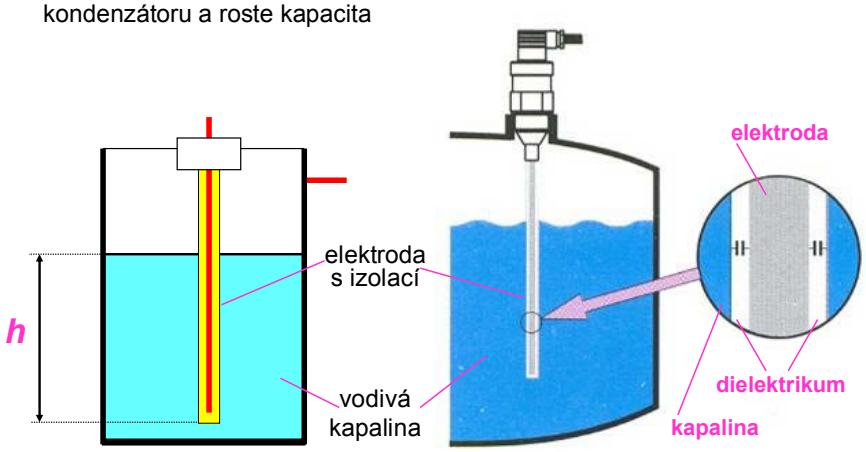




15

Kapacitní hladinoměr pro vodivé kapaliny

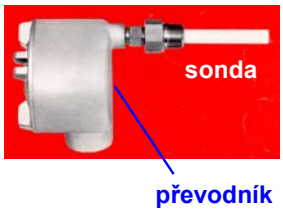
- snímač je tvořen kovovou elektrodou, která je opatřena **izolačním povlakem** (např. gumou nebo teflonem)
- druhou elektrodu válcového kondenzátoru vytváří vodivá kapalina
- s rostoucí **výškou hladiny se zvětšuje plocha elektrod** kondenzátoru a roste kapacita



Provedení kapacitního snímače hladiny

Kapacitní snímač pro spojité snímání stavu hladiny:

Limitní kapacitní snímač:



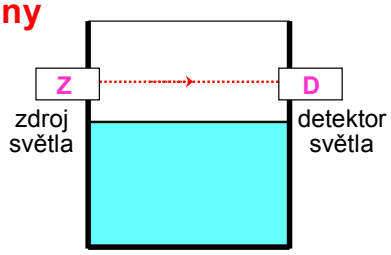
Použití kapacitních snímačů hladiny:

- vhodné pro měření kapalných i sypkých medií
- pro měření při teplotách (-40 až +200) °C a vysokém tlaku
- možnost snímání mezihladiny dvou nemísitelných kapalin (např. rozhraní vody a oleje)
- nevhodné pro měření pěnicích medií

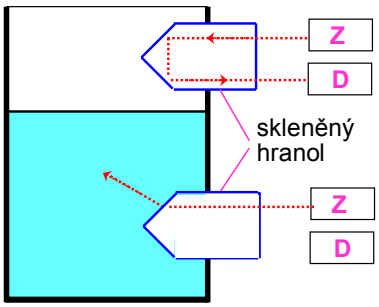
17

Fotoelektrické snímače hladiny

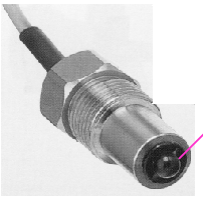
- senzor hladiny tvoří:
  - **zdroj světla**
    žárovka, svíticí dioda
  - **detektor světla**
    fotodioda, fototranzistor, fotodpor
- pracují s IČ nebo viditelným zářením



Limitní snímač s hranolem nebo se světlovodem:



- změna indexu lomu při změně prostředí



- dosažení hladiny je indikováno, když se koncovka světlovodu dotkne kapaliny

18

FYZIKÁLNÍ HLADINOMĚRY

Fyzikální stavoznaky využívají k měření výšky hladiny určité fyzikální veličiny, jako rychlost šíření ultrazvuku, mikrovlnné záření nebo absorpce radioaktivního záření.

Ultrazvukové hladinoměry

Měření doby šíření ultrazvuku

- měří se doba šíření ultrazvukové vlny od vysílače přes odraz od hladiny zpět k přijímači
- z naměřené doby se při známé rychlosti šíření ultrazvuku vypočte vzdálenost
- této metody se využívá **pro spojité měření výšky hladiny**

Vyhodnocení útlumu ultrazvukových vln:

- vyhodnocuje se útlum ultrazvukových vln v závislosti na složení prostředí, kterým ultrazvuk prochází
- této metody se využívá **k limitnímu měření hladiny**

19

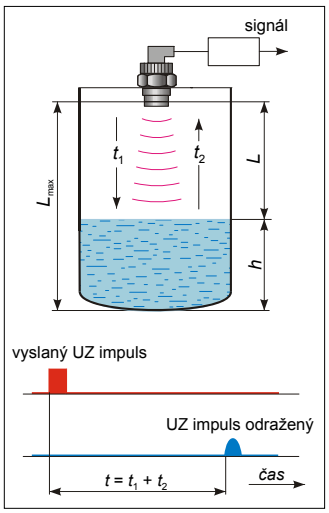
Ultrazvukový hladinoměr (měření doby šíření UZ)

- vysílač ultrazvuku vysílá k hladině UZ pulzy
- odražená vlna je přijata přijímačem
- doba šíření vlny se změří
- skutečná výška hladiny se stanoví po odečtení od maximální vzdálenosti
- doba odezvy na změnu polohy hladiny se pohybuje od desetin sekundy až po jednotky sekund

$$L = c \cdot \frac{t}{2} \qquad h = L_{max} - c \cdot \frac{t}{2}$$

c - rychlost šíření ultrazvuku v prostředí [m.s^{-1}]
t - čas [s], *L* - vzdálenost [m]

Ovlivňující veličiny:
- hustota prostředí, teplota
- přítomnost míchadla, pěna na hladině



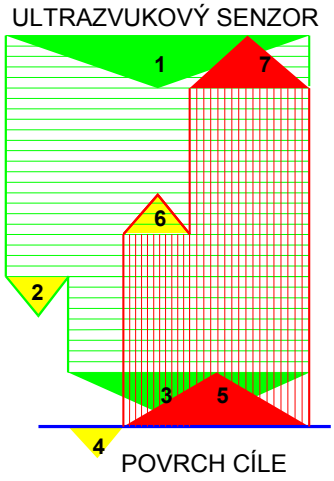
20

Cesta ultrazvukového signálu

21

Energie ultrazvukového signálu

1) Energie vysílaného ultrazvukového signálu
2) Ztráta energie tlumením prostředí
3) Energie ultrazvukového signálu dopadající na povrch cíle
4) Ztráta energie absorpcí materiálu
5) Odražená energie
6) Ztráta energie tlumením prostředí
7) Energie ultrazvukového signálu navracející se k senzoru



22

Provedení ultrazvukového hladinoměru

Senzor UZ-hladinoměru tvoří:

- **generátor a vysílač ultrazvukového signálu**
- **přijímač ultrazvuku a zesilovač signálu**
- **elektronické vyhodnocovací zařízení**

- jako vysílačů a přijímačů ultrazvuku se používá **piezoelektrických nebo magnetostrikčních měničů**
- frekvence používaného ultrazvuku je **20 až 50 kHz**

Umístění sondy:

- v horní části nádrže nebo u dna nádoby
- hlavní osa vysílače signálu by měla směřovat kolmo k povrchu měřené látky
- u sypkých látek je třeba respektovat jak násypný, tak vyprázdňovací úhel produktu

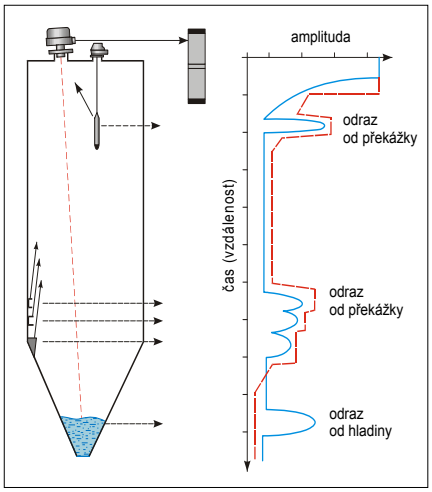
Vysílač a přijímač UZ:

displej
a nastavovací tlačítka

23

Potlačení falešných odrazů

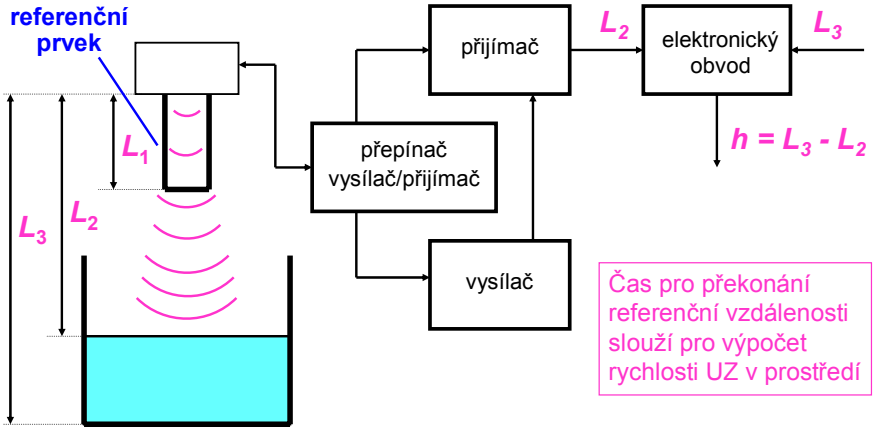
- u nádrží s míchadly či různými přepážkami je měření ovlivněno
- při prázdné nádobě se zaznamenají všechny odrazy
- zaznamená se doba i amplituda odraženého signálu (**mapování nádoby**)
- po statistickém vyhodnocení se výsledek uloží do paměti (**zvukový obraz prázdné nádoby**)
- při vyhodnocování měření (vhodný software) se bere v úvahu pouze signál odražený od hladiny
- nežádoucí signály (falešné odrazy) jsou eliminovány



24

Ultrazvukový hladinoměr s kompenzací

- kompenzace vlivu změn hustoty prostředí
- periodická kontrola rychlosti šíření UZ v daném prostředí
- automatická korekce

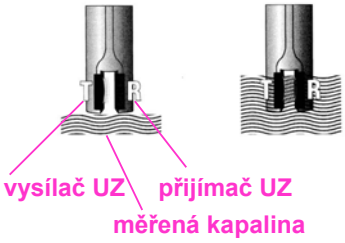


Čas pro překonání referenční vzdálenosti slouží pro výpočet rychlosti UZ v prostředí

25

Limitní ultrazvukový snímač hladiny

- využívá se **útlumu ultrazvukových vln** při průchodu měřeným prostředím
- piezoelektrický generátor a detektor UZ jsou umístěny v měřicí hlavici senzoru
- při průchodu vzduchovou vrstvou je amplituda signálu tlumena a signál nedospěje k detektoru
- při průchodu kapalinou je útlum ultrazvuku výrazně menší a detektor jej zaznamená



Vlastnosti:

- jednoduché zařízení, nenáročné na obsluhu
- možno použít i větší počet sond
- pracuje i při vysokých teplotách a tlacích (např. 160 °C a 100 bar)

26

Aplikace ultrazvukových hladinoměrů

- spojité bezdotykové měření hladiny kapalných látek všech typů
- měření hladiny sypkých látek (prášky, granule)
- měření hladiny znečištěných, kašovitých a pastovitých hmot
- měření hladiny pěny
- měření v otevřených i uzavřených nádržích
- rozsah měření od desetin metru až po desítky metrů
- rozsah provozních teplot –30 až +70 °C
- konstrukce rezonátoru obvykle nedovoluje použití ultrazvukových snímačů při tlacích větších než několik stovek kPa
- chyba měření dosahuje 0,1 % rozsahu

UZ-hladinoměr s inteligentním převodníkem:

Ultrazvukové hladinoměry - shrnutí

Výhody:

- nemají pohyblivé součásti
- bezkontaktní spojité měření
- možnost měření hladiny i znečištěných kapalin, kašovitých a pastovitých hmot v otevřených i uzavřených nádobách a jímkách
- nezávisí na elektrické vodivosti a dielektrických vlastnostech materiálu
- kompaktní provedení snímačů, jednoduché nastavení a údržba
- přesnost měření v řádu desetin % měřicího rozsahu
- rozlišovací schopnost je až 1 mm

Nevýhody:

- ovlivnění signálu
  - ✓ prašné materiály, těžké páry
  - ✓ turbulentní povrchy hladiny
  - ✓ pěna a okolní znečištění
- nelze použít pro měření ve vakuu

28

Radarové hladinoměry

Funkční princip

- analogie ultrazvukových hladinoměrů
- využití odrazu mikrovlnných vln od měřené hladiny

RADAR - RAdio **D**etecting **A**nd **R**anging

Mikrovlnné záření

- frekvence vyšší než asi 2 GHz (vlnová délka kratší než asi 0,15 m)
- příklady využití mikrovln v rozsahu 2 až 120 GHz
  - družicová komunikace a vysílání rozhlasu a televize
  - mikrovlnné trouby (2,45 ± 0,05 GHz)
  - lodní a letecké radary
  - měření rychlosti vozidel v silničním provozu
  - měření hladiny v průmyslu

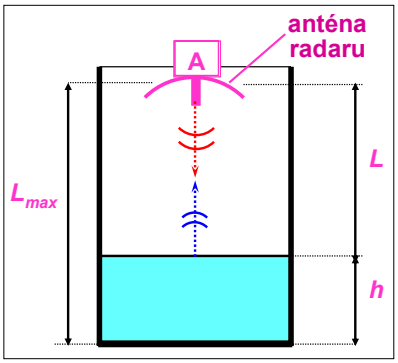
Principy radarového měření hladiny:

- **metoda časová (pulzní)**
- **metoda frekvenční (rozmítaný spojitý signál)**

29

Měření hladiny pulzním radarem

- elektromagnetické vlnění je vysíláno anténou v podobě krátkých impulzů
- na rozhraní dvou prostředí (na hladině) se vlna částečně odrazí zpět a částečně prochází do druhého prostředí
- z časového údaje mezi vyslanou a přijatou vlnou se stanoví vzdálenost



- jedná se o měření velmi malých časových intervalů (řádově v ps)
- na každý metr vzdálenosti mezi anténou a hladinou urazí mikrovlnný signál vzdálenost 2 m za dobu asi 6,6 . 10^{-9} s

$$L = c \cdot \frac{t}{2}$$

$$h = L_{max} - c \cdot \frac{t}{2}$$

c - rychlost šíření mikrovln v prostředí [m.s^{-1}]
t - čas [s]
L - vzdálenost [m]

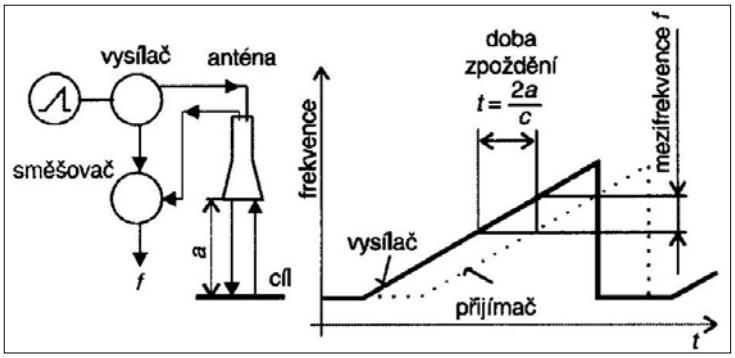
30

Radar s rozmítaným spojitým signálem

Metoda frekvenční - FMCW

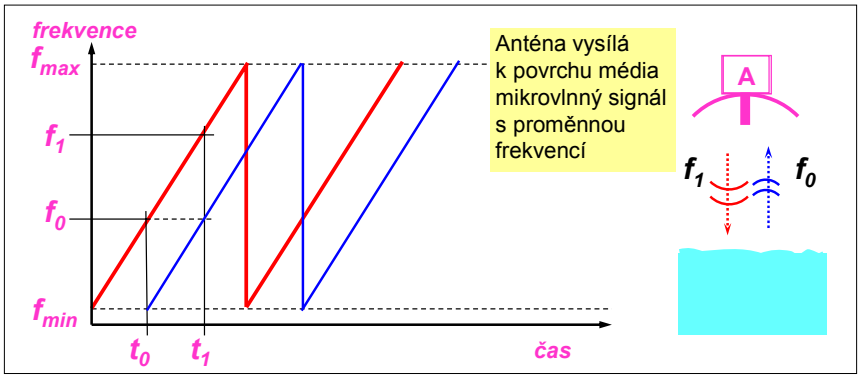
Frequency **M**odulated **C**ontinuous **W**ave

- elektromagnetické vlnění je vysíláno spojitě
- frekvence vysílaného signálu je modulována (obvykle pilovitě)
- přijímaný signál je směšován s vysílaným a hodnota mezifrekvenčního kmitočtu je mírou vzdálenosti cíle



31

Frekvenční metoda měření radarem



- přijímaný odražený signál je proti vysílanému zpožděn o dobu potřebnou k průchodu vlnění po dráze od vysílací antény k hladině a zpět
- při příjmu signálu o frekvenci f_0 vysílá anténa signál o frekvenci f_1
- diferenci $\Delta f = f_1 - f_0$ odpovídá $\Delta t = t_1 - t_0$ pro vypočet vzdálenosti
- rozdíl frekvence (řádově v kHz) je možno stanovit velmi přesně

32

Provedení radarových snímačů

Různá provedení antény senzorů:

Inteligentní snímač

- sdružuje anténu vysílače i přijímače, elektronické obvody řízené μP
- poskytuje analogový a číslicový výstup
- možnost výpočtu objemu náplně

Anténa

- vyzařuje a směruje elektromagnetické vlnění do prostoru
- vyzařovací úhel je tím menší, čím větší je výstupní plocha antény
- zisk antény je přímo úměrný ploše výstupního průřezu antény

- uklidňovací trubka se umisťuje uvnitř tanku

33

Aplikační možnosti radarových snímačů

- vhodné pro měření médií s relativní permitivitou $\varepsilon > 2$
- materiálem s nízkou permitivitou (izolanty např. oleje) mikrovlnné záření proniká a odráží se až od rozhraní s vyšší permitivitou (dno nádoby)
- parazitní odrazy od stěn či míchadla se odlišují softwarově
- vysoká přesnost měření (až ± 1 mm)

Výhody:

- vysoká přesnost, spolehlivost
- bez pohyblivých mechanických součástí
- bez kontaktu s měřenou látkou (neinvazivní metoda)
- možnost využití při náročných provozních podmínkách (vysoká teplota, přetlak i vakuum, mlha, agresivní prostředí)

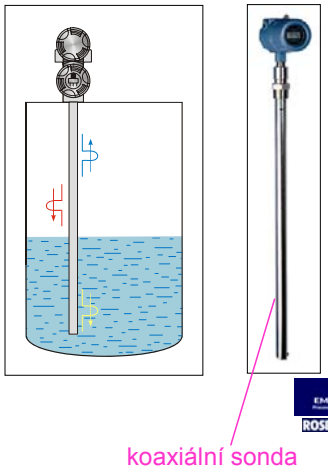
Nevýhody:

- nevhodné pro měření medií s nízkou permitivitou
- poměrně vysoká cena

34

Reflektometrické hladinoměry

- zvláštní skupinu mezi mikrovlnnými hladinoměry tvoří zařízení s vedeným mikrovlnným signálem (reflektometrické nebo reflexní radarové hladinoměry)
- mikrovlny jsou "vedeny" tělesem z pevného materiálu (tyčí, lanem, koaxiál), které je ponořeno do média
- v rovině hladiny dochází k odrazu mikrovlnného záření
- intenzita odraženého signálu závisí na permitivitě média
- vyhodnocuje se časový rozdíl mezi vysláním impulsu a přijetím impulsu odraženého
- tento princip se nazývá **TDR** – Time Domain Reflection



35

Vlastnosti reflektometrických hladinoměrů

Výhody

- impulsy se šíří po vedení, nejsou tlumeny prostředím
- na přesnost měření nemá vliv prach, páry, pěna, teplota ani tlak
- je možno měřit kapaliny i práškové a granulované materiály
- lze použít i pro měření rozhraní dvou kapalin
- signál není ovlivňován falešnými a vícenásobnými odrazy
- vysoká spolehlivost a opakovatelnost měření
- možnost aplikace při teplotách od –50 do +200 °C a tlaku od –0,1 do 10 MPa

Nevýhoda

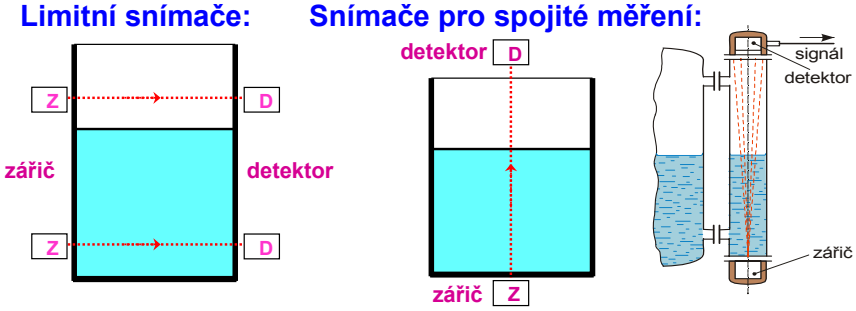
- kontakt antény s měřeným médiem

36

Snímače hladiny s radioaktivním zářičem

- **princip:**
  - měření zeslabení svazku ionizujícího záření při jeho průchodu monitorovaným hmotným prostorem
- **radioaktivní zářiče:**
  - zdroje gama záření (proniká materiálem, nevyvolává jeho radioaktivitu)
  - izotopy s delším poločasem rozpadu, např. Co 60, Cs 137, aby nebylo nutno často kalibrovat
- **detektory**
  - Geiger-Müllerův detektor, scintilační detektory s fotonásobičem

Limitní snímače: **Snímače pro spojité měření:**



- intenzita záření dopadající na detektor závisí na tloušťce vrstvy kapaliny

37

Použití radioizotopových hladinoměrů

- měření hladiny kapalin i sypkých látek, viskózní média
- v náročných provozních podmínkách, u nichž jiné metody nevyhovují:
  - ✓ vysoké teploty, velmi vysoké tlaky nebo vakuum
  - ✓ vysoká agresivita či toxicita pracovního média
  - ✓ vysoká prašnost, vibrace nádoby

Výhody:

- bezkontaktní měření (montáž vně nádrže)
- nezávislost na teplotě
- nezávislost na tlaku a jeho změnách
- nezávislost na změnách chemického složení média
- minimální poruchovost i ve ztížených podmínkách

Nevýhody:

- nutnost ochrany před radioaktivním zářením
- povinnost zajištění kontroly ve smyslu zákona 18/97 Sb.

38

Výběr vhodného typu snímače hladiny

- **fyzikální a chemické vlastnosti** měřeného média
- charakter okolního prostředí a **podmínky měření**
- požadavek na **spojité či nespojité snímání** stavu hladiny
- **účel měření**
  - signalizace mezních stavů
  - regulace úrovně hladiny
  - zjišťování množství náplně (bilanční účely)
- měřicí **rozsah**
- požadovaná **přesnost**
- **cena** zařízení

39

Odborná a firemní literatura

Ďaďo S., Bejček L., Platil A.:
Měření průtoku a výšky hladiny. BEN Praha 2005

Chudý. V., Palenčár R., Kureková E., Halaj M.:
Meranie technických veličín, STU Bratislava 1999

Kadlec K.: Snímače hladiny – principy, vlastnosti, použití (část 1 a 2).
AUTOMA č. 5 a 6 (2005)

Brumbi D.: Základy radarové techniky pro měření výšky hladiny.
Automatizace **42**, 6, P1-P20 (1999)

Wim van de Kamp: The theory and practice of level measurement.
Endress+Hauser, Narden, Holland 2001

40

Odborná a firemní literatura

Internetové odkazy:

http://www.emersonprocess.cz
http://www.emersonprocess.com/rosemount/products/level/index.html
http://www.mobrey.com/products/level/index.php
http://www.bdsensors.cz
http://www.dinel.cz
http://www.endress.com/, http://www.endress.cz
http://www.krohne.cz, www.krohne.com
http://www.ksr-kuebler.com
http://www.levelin.cz
http://www.nivelco.cz
http://www.turck.cz
http://www.vega.com

41