

Snímače hladiny

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 spojitě poskytuje univerzální informaci, je náročnější

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

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:

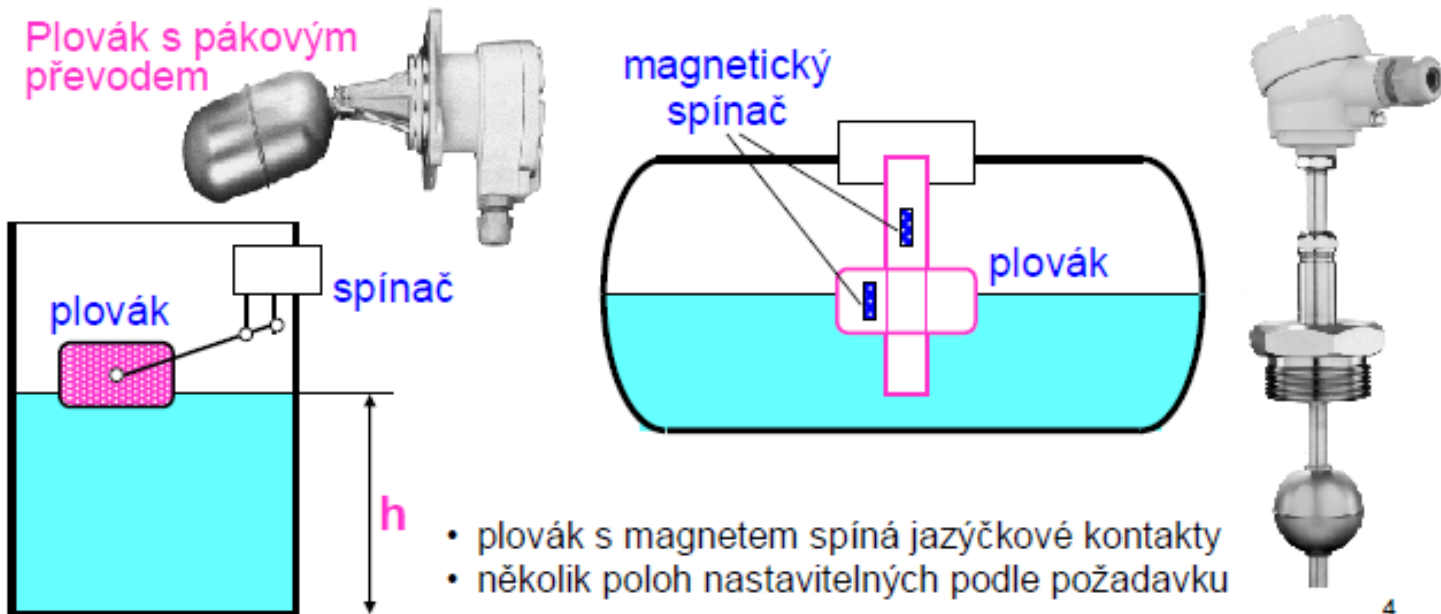
- neposkytují signál pro další zpracování
- zanášení nečistotami (rez)

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

Plovákové hladinoměry

- **pohyb plováku** je vyveden z nádrže:
 - řetízkem nebo **lankem přes kladku** (obvykle s protizávažím)
 - **pákovým mechanismem**
 - 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**



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

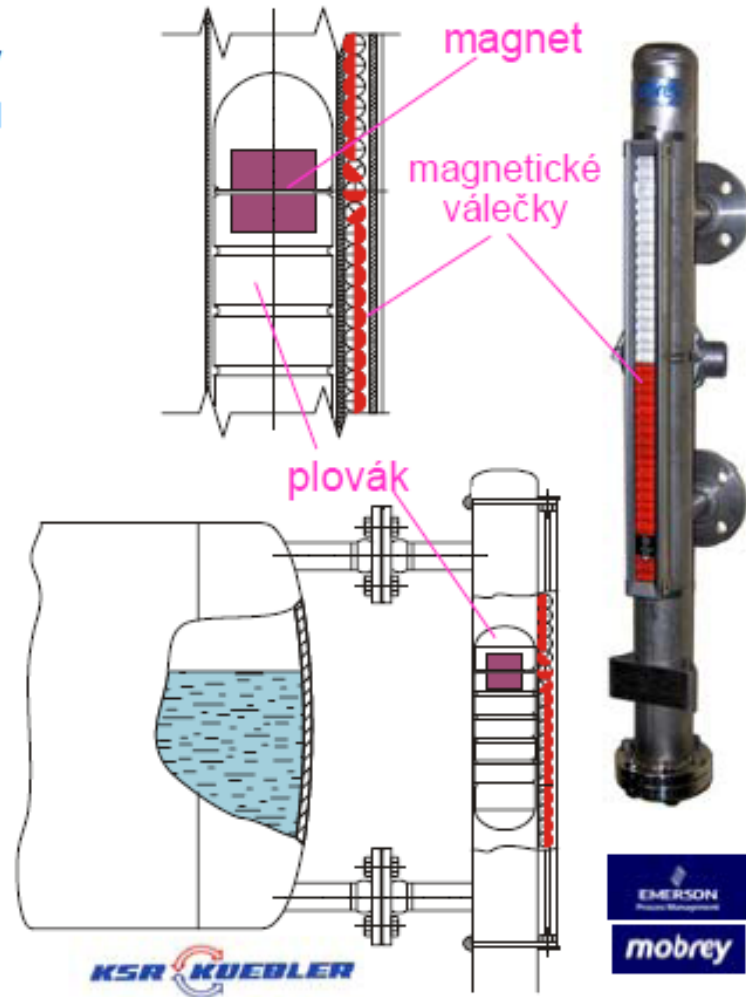
- nelepivé a neviskózní kapaliny (jednoduchost, spolehlivost)

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

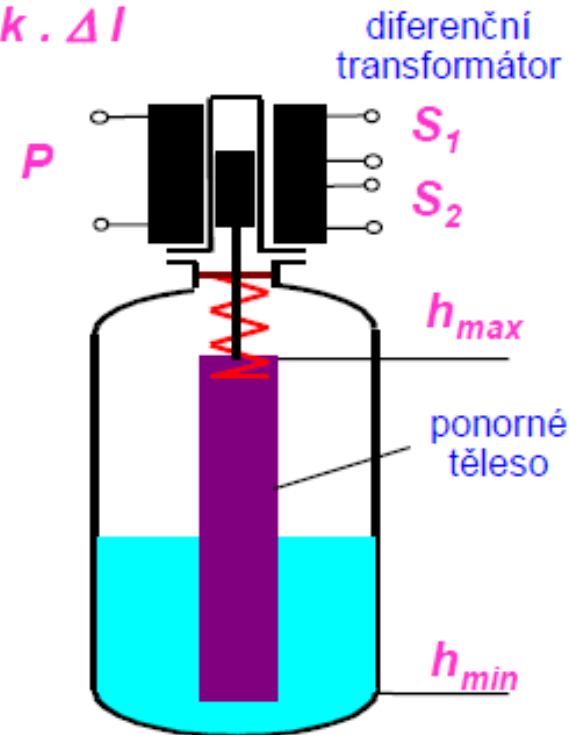
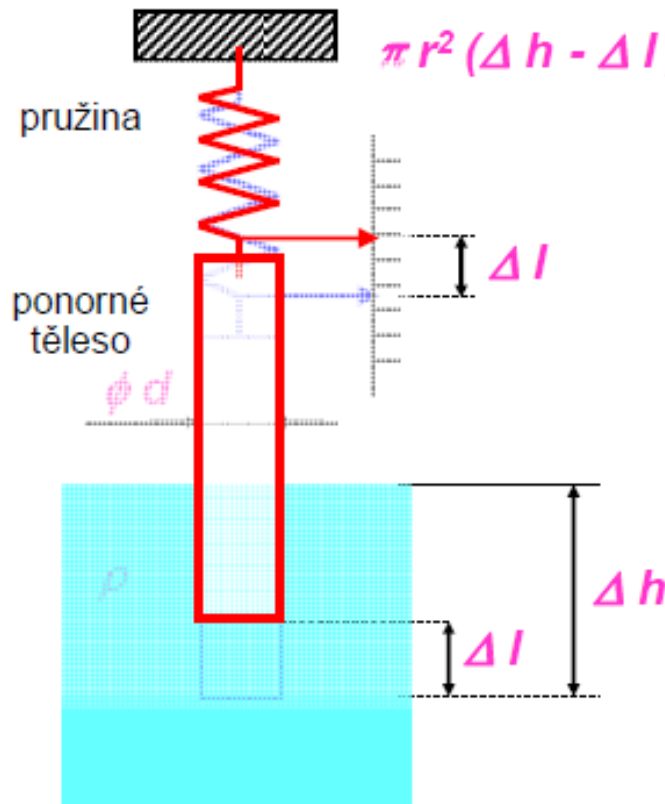
Aplikace:

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



Snímač hladiny s ponorným tělesem

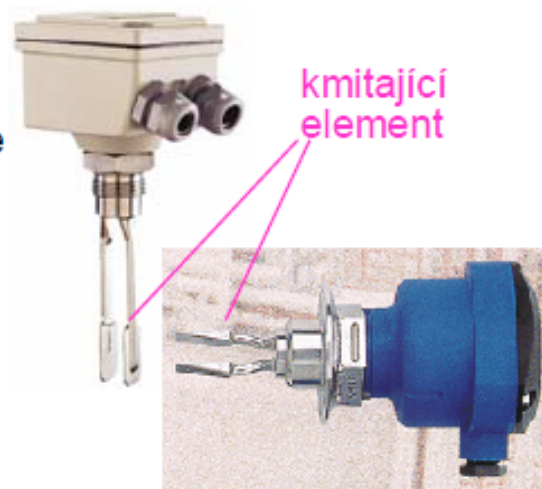
- založen na platnosti Archimedova zákona
- ponorné těleso zavěšené na pružině a částečně ponořené do kapaliny
- pracuje na principu vyrovnaní sil (síla tíhová, vztlaková, síla pružiny)



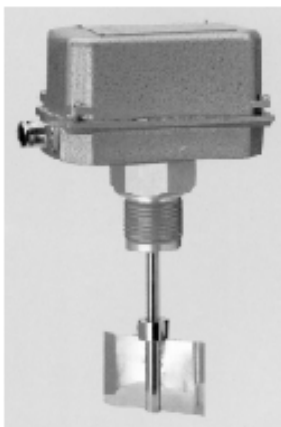
Vibrační a vrtulkové snímače hladiny

Vibrační stavoznaky:

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



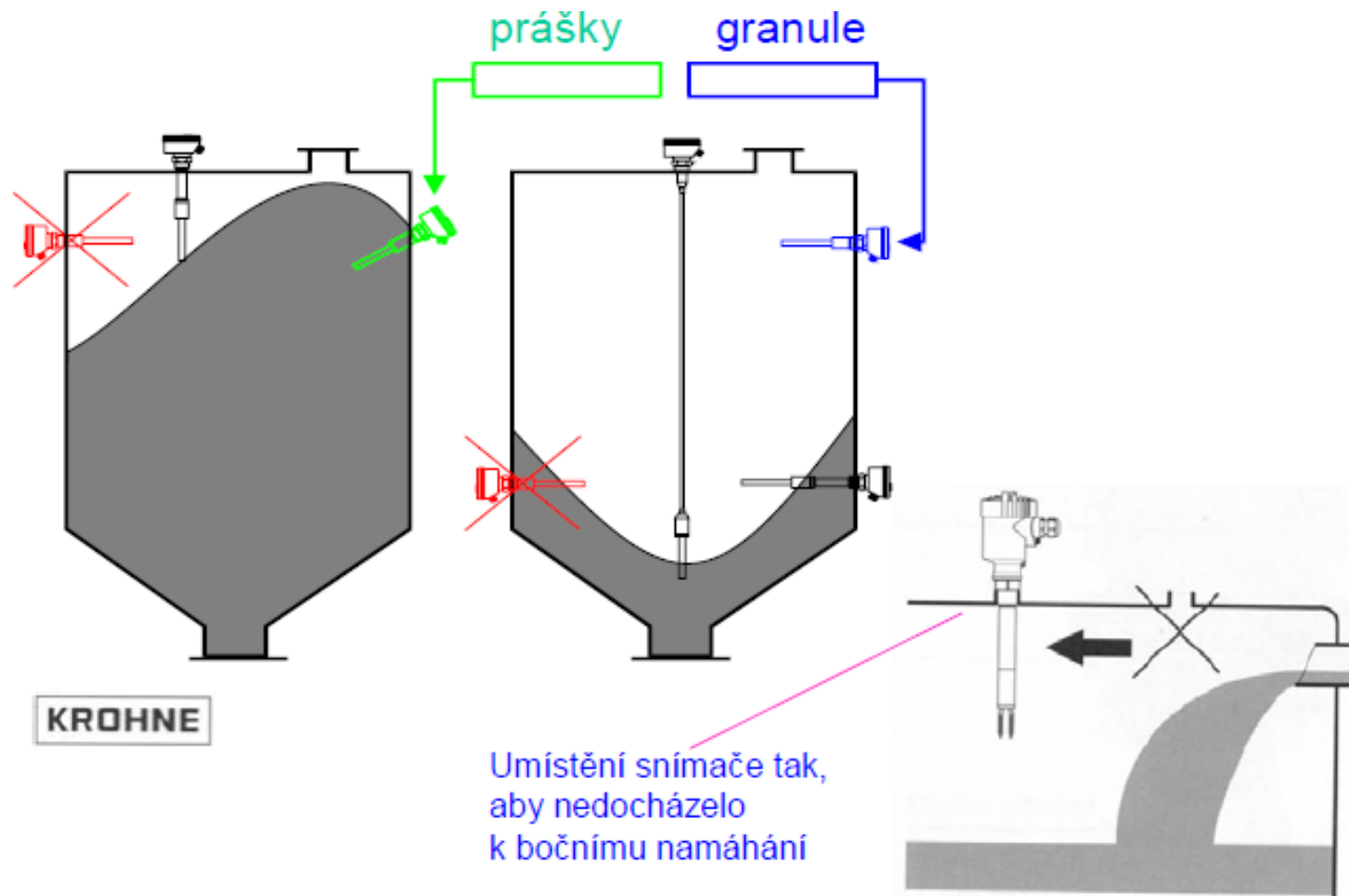
Vrtulkové stavoznaky:



KROHNE

- 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

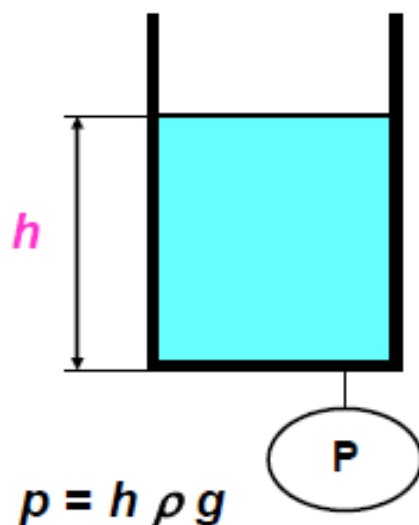
Instalace vibračních snímačů



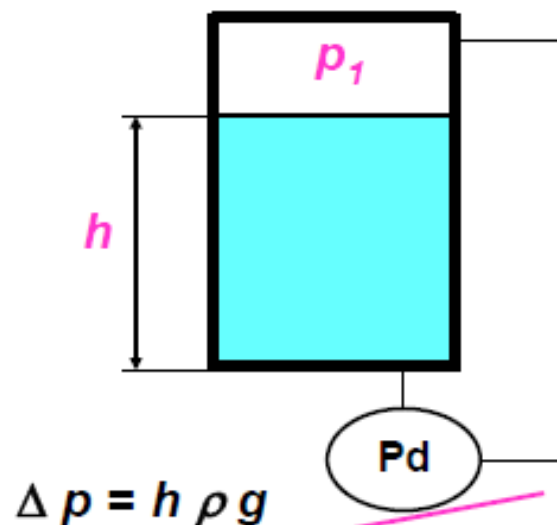
Hydrostatické hladinoměry

Přímé měření hydrostatického tlaku

Měření v otevřené nádrži



Měření v uzavřené nádrži



Ovlivnění:

- hustota měřeného média
- teplota

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

Provedení snímačů hydrostatického tlaku

Membránový
tenzometrický snímač:

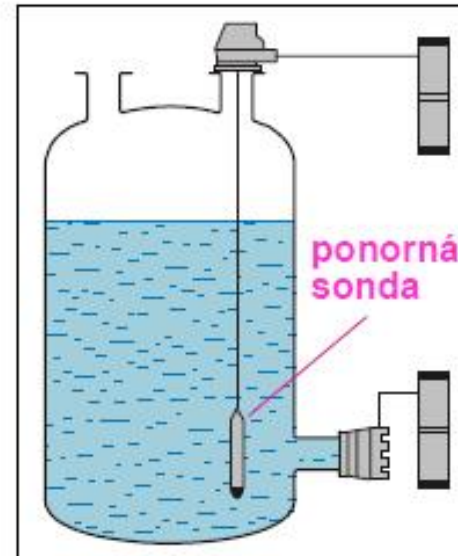


Membránový
kapacitní snímač:



Ponorná sonda:

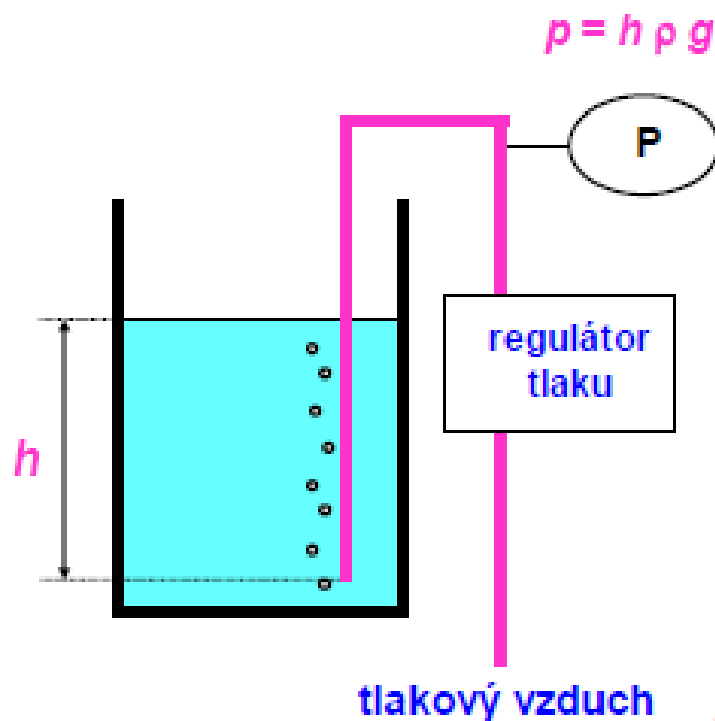
- membrána s tenzometrickým snímačem
- přívod referenčního tlaku propojovací hadicí
- měření v zásobnících od 1 m
- měření ve vrtech až do 200 m



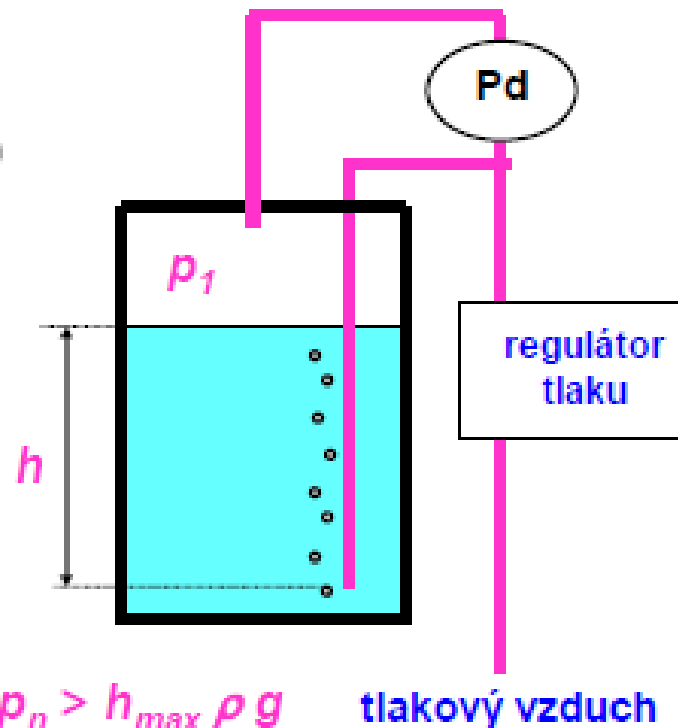
Měření hladiny probubláváním a měřením hydrostatického tlaku

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

Měření v otevřené nádrži



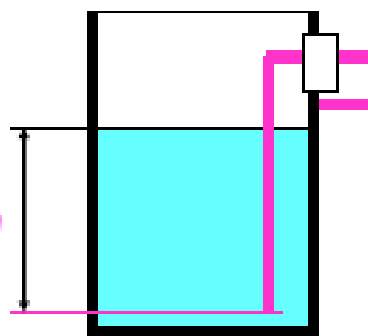
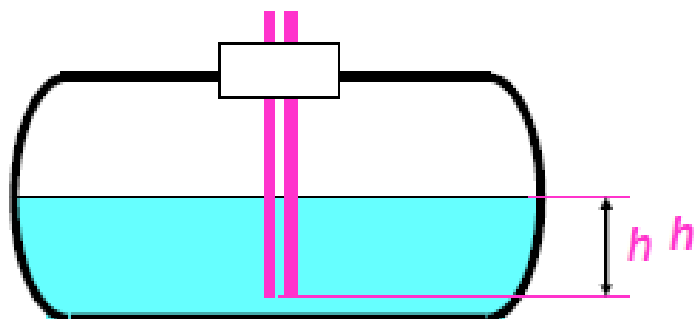
Měření v uzavřené nádrži



Elektrické hladinoměry

Vodivostní elektrodové snímače hladiny

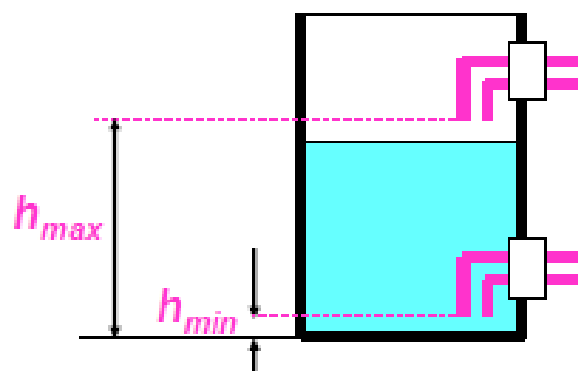
Spojitě snímání stavu hladiny:



Provedení elektrodového snímače:



Indikace mezních stavů:



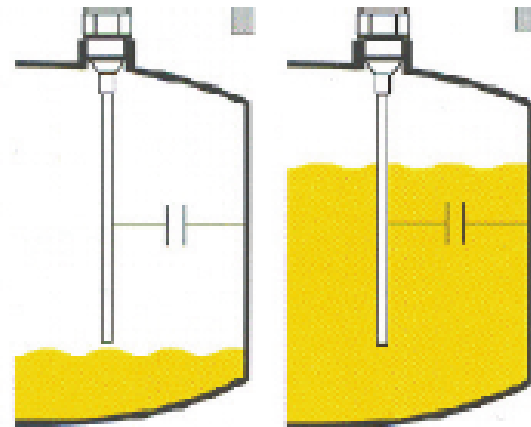
- stěna kovové nádrže slouží jako elektroda

Aplikace:

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

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

Kapacitní hladinoměr pro nevodivé kapaliny

Princip:

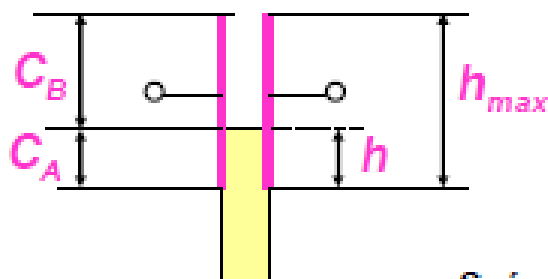
$$C = \epsilon_0 \epsilon_r S/d$$

ϵ_0 - permitivita vakua

ϵ_r - relativní permitivita prostředí

S - plocha elektrod

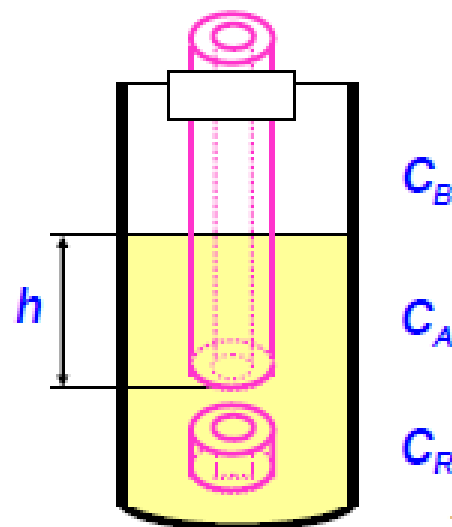
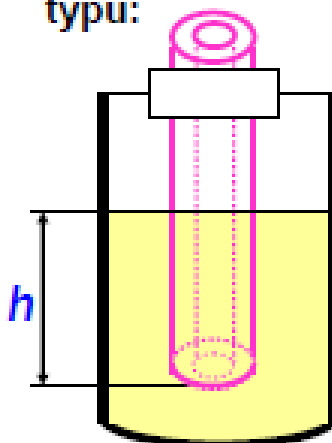
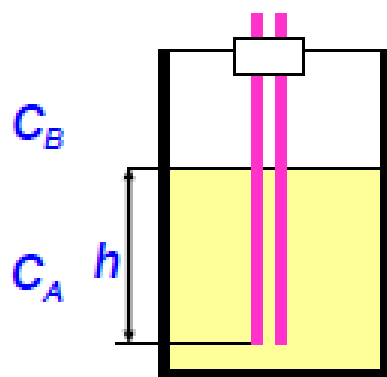
d - vzdálenost elektrod



$$C = C_A + C_B$$

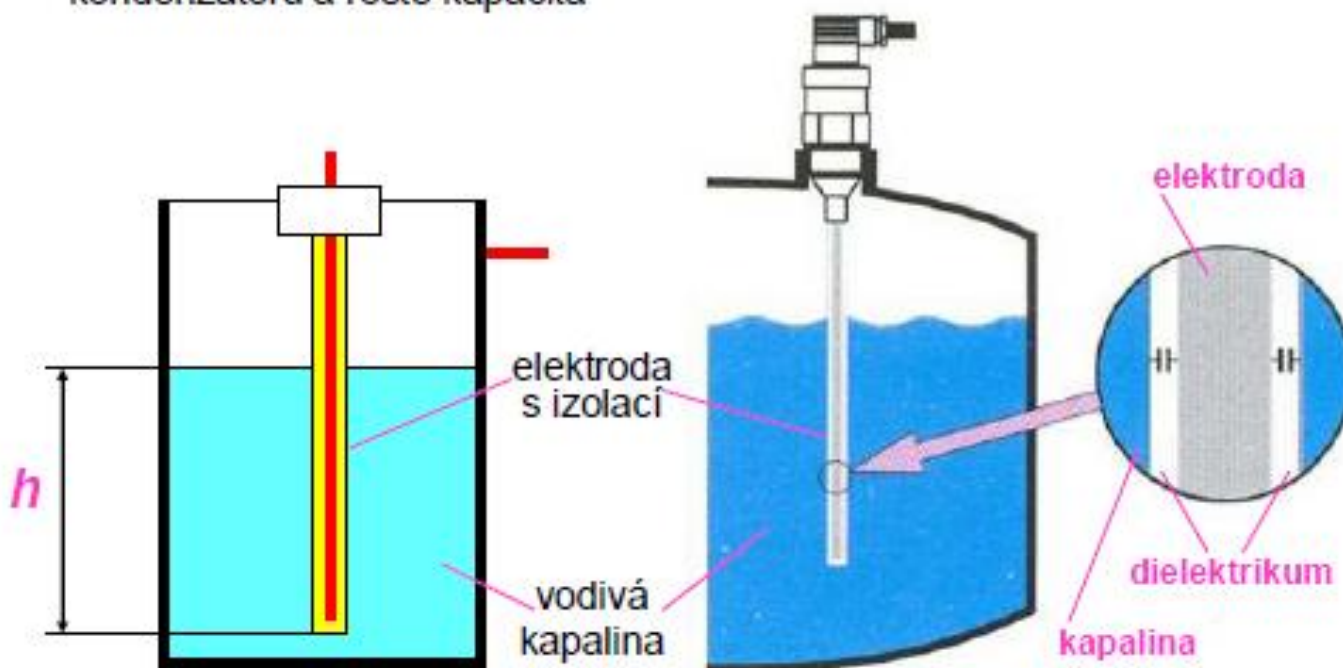
Referenční kondenzátor pro kompenzaci změn permitivity média:

Snímač válcového typu:



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

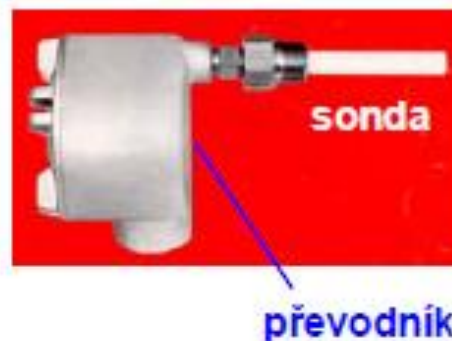


Provedení kapacitního snímače hladiny

Kapacitní snímač pro spojitě snímání stavu hladiny:



Limitní kapacitní snímač:

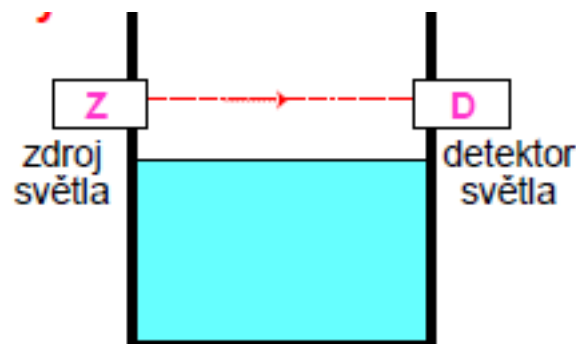


Použití kapacitních snímačů hladiny:

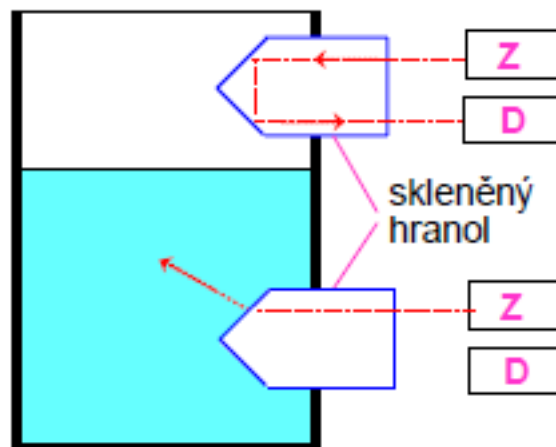
- vhodné pro měření kapalných i sypkých medií
- pro měření při teplotách (-40 až +200) °C a vysokém tlaku
- možnost snímání mezihladiny dvou nemísitelných kapalin (např. rozhraní vody a oleje)
- nevhodné pro měření pěnicích medií

Fotoelektrické snímače hladiny

- senzor hladiny tvoří:
 - **zdroj světla**
žárovka, svítící 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



koncovka světlovodu

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

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 spojitě 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**

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

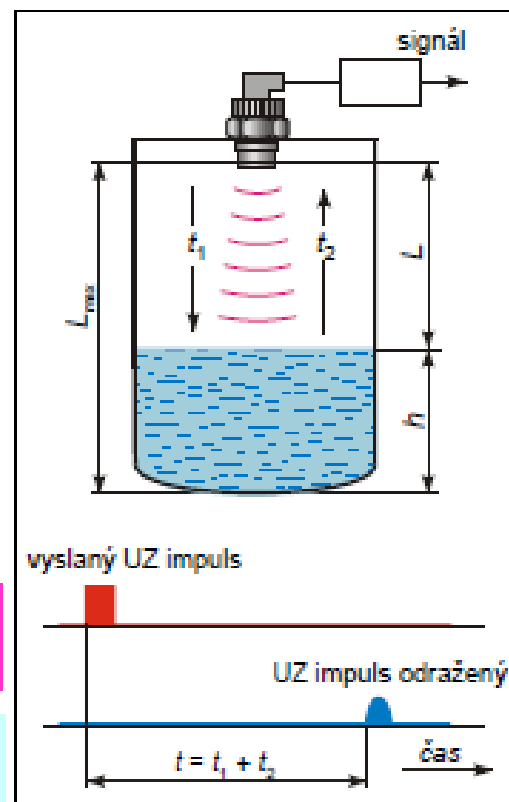
$$L = c \cdot \frac{t}{2}$$

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

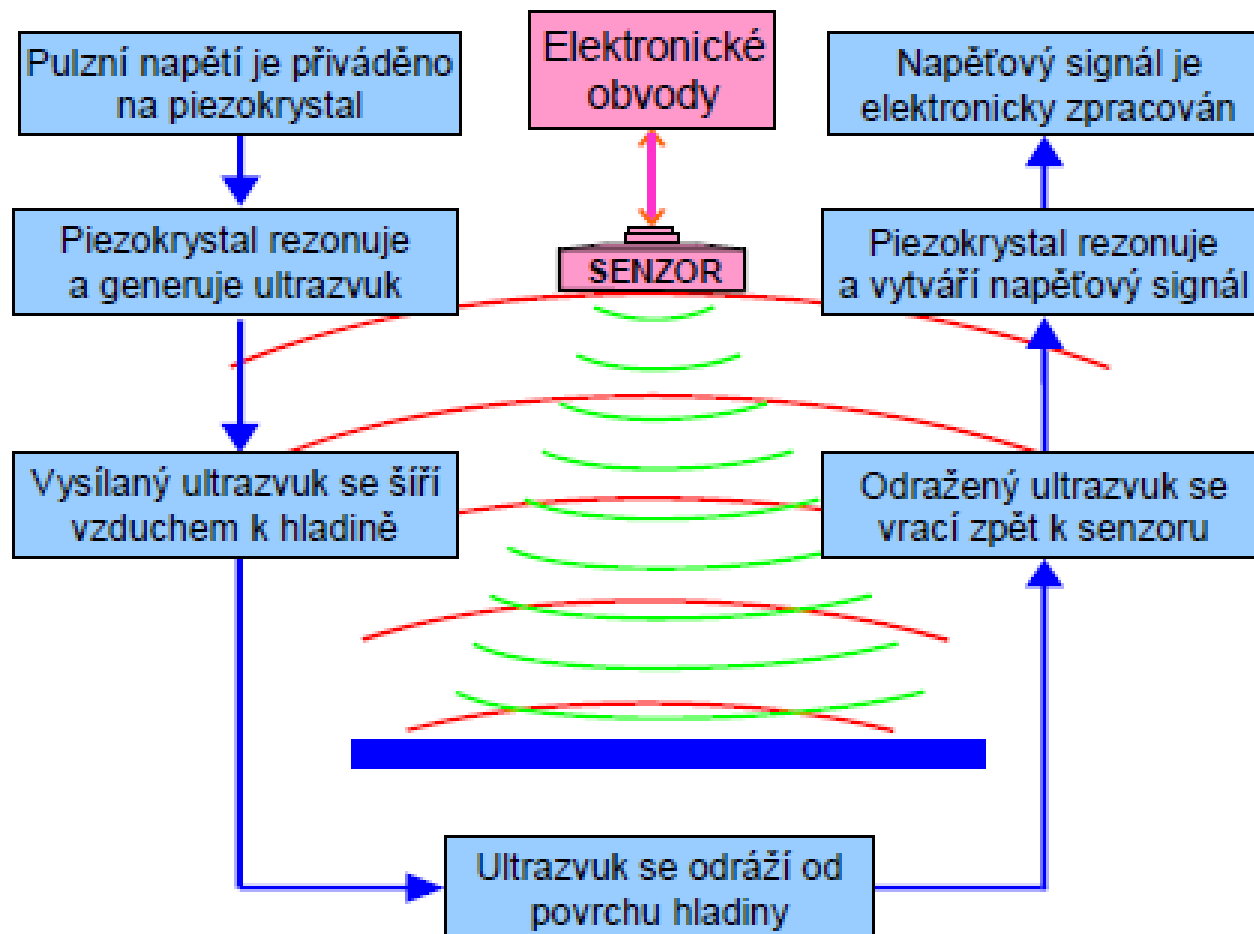
c - rychlost šíření ultrazvuku v prostředí [m.s⁻¹]
t - čas [s], **L** - vzdálenost [m]

Ovlivňující veličiny:

- hustota prostředí, teplota
- přítomnost míchadla, pěna na hladině

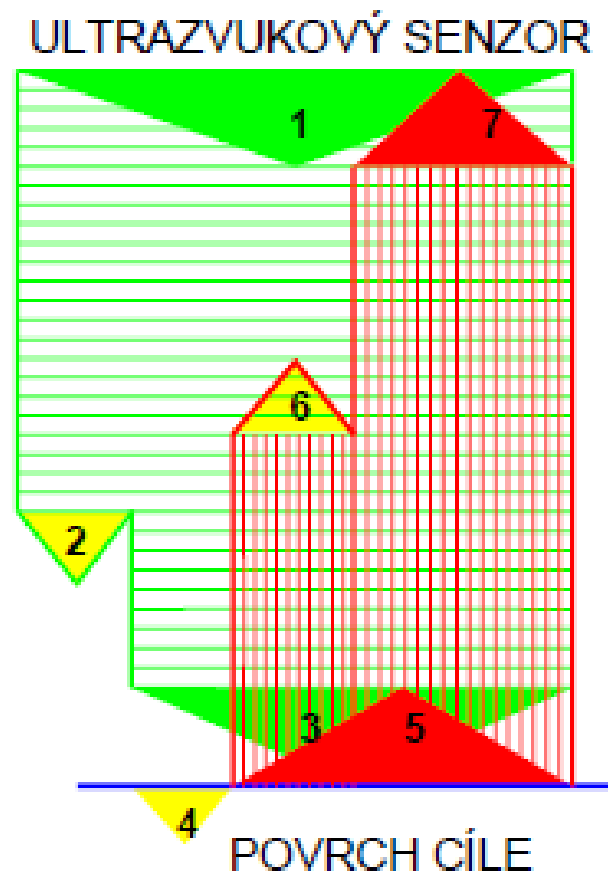


Cesta ultrazvukového signálu



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



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 vyprázdnovací úhel produktu

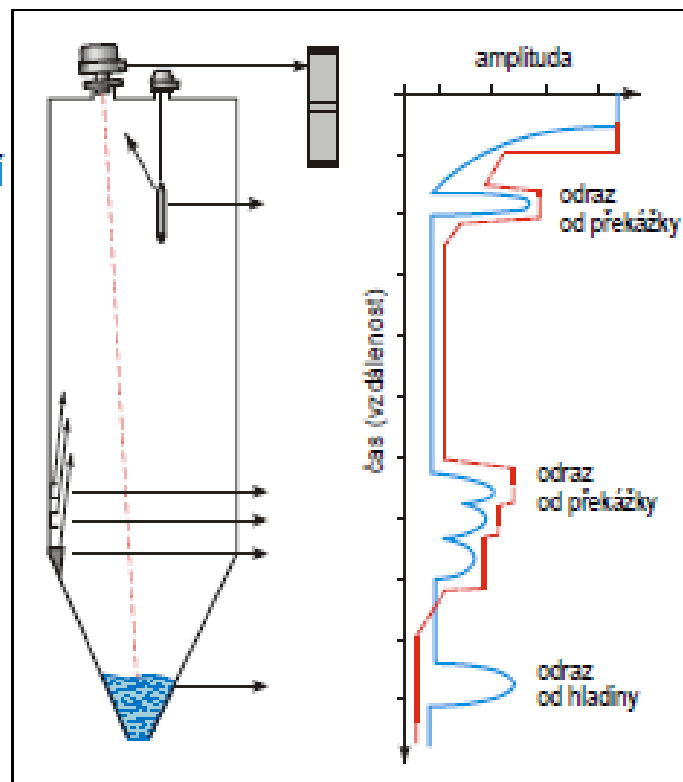
Vysílač a přijímač UZ:



displej
a nastavovací tlačítka

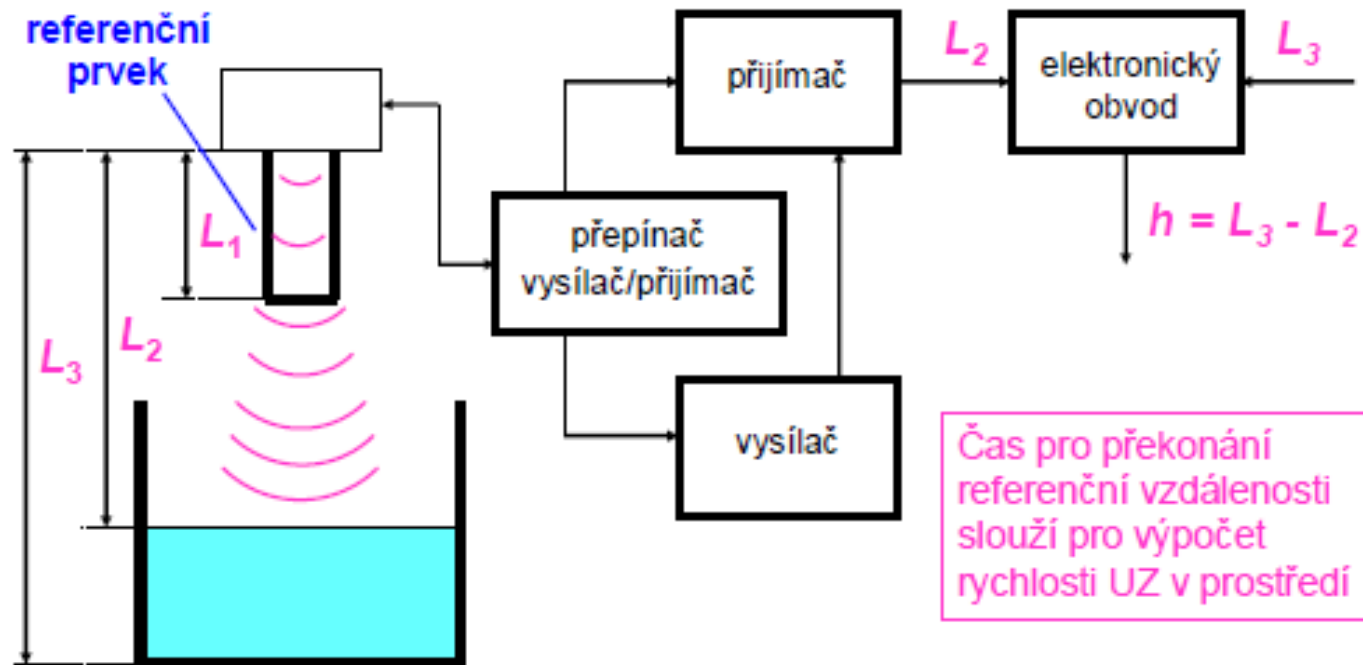
Potlačení falešných odrazů

- 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



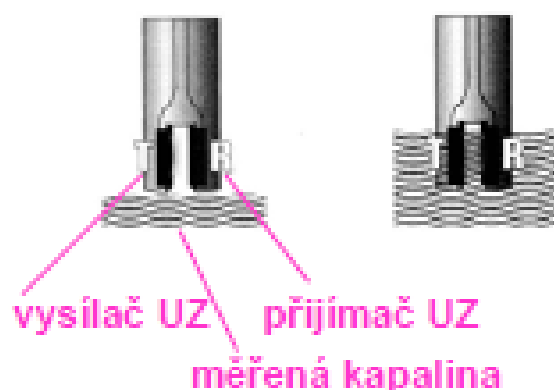
Ultrazvukový hladinoměr s kompenzací

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



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)

Aplikace ultrazvukových hladinoměů

- 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

Radarové hladinoměry

Funkční princip

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

RADAR - **RA**dio **D**etecting **A**nd **R**anging

Mikrovlnné záření

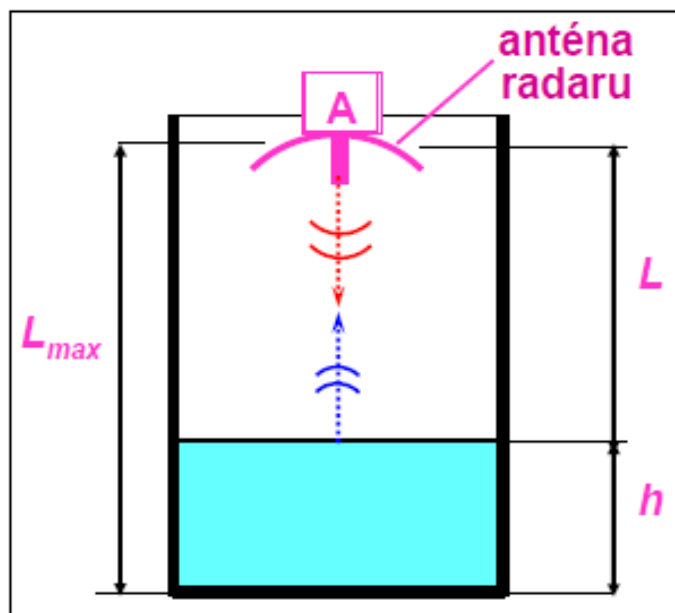
- frekvence vyšší než asi 2 GHz (vlnová délka kratší než asi 0,15 m)
- příklady využití mikrovln v rozsahu 2 až 120 GHz
 - družicová komunikace a vysílání rozhlasu a televize
 - mikrovlnné trouby ($2,45 \pm 0,05$ GHz)
 - lodní a letecké radary
 - měření rychlosti vozidel v silničním provozu
 - měření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

Principy radarového měření hladiny:

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

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 $6,6 \cdot 10^{-9}$ s

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

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

c - rychlost šíření mikrovln v prostředí [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

t - čas [s]

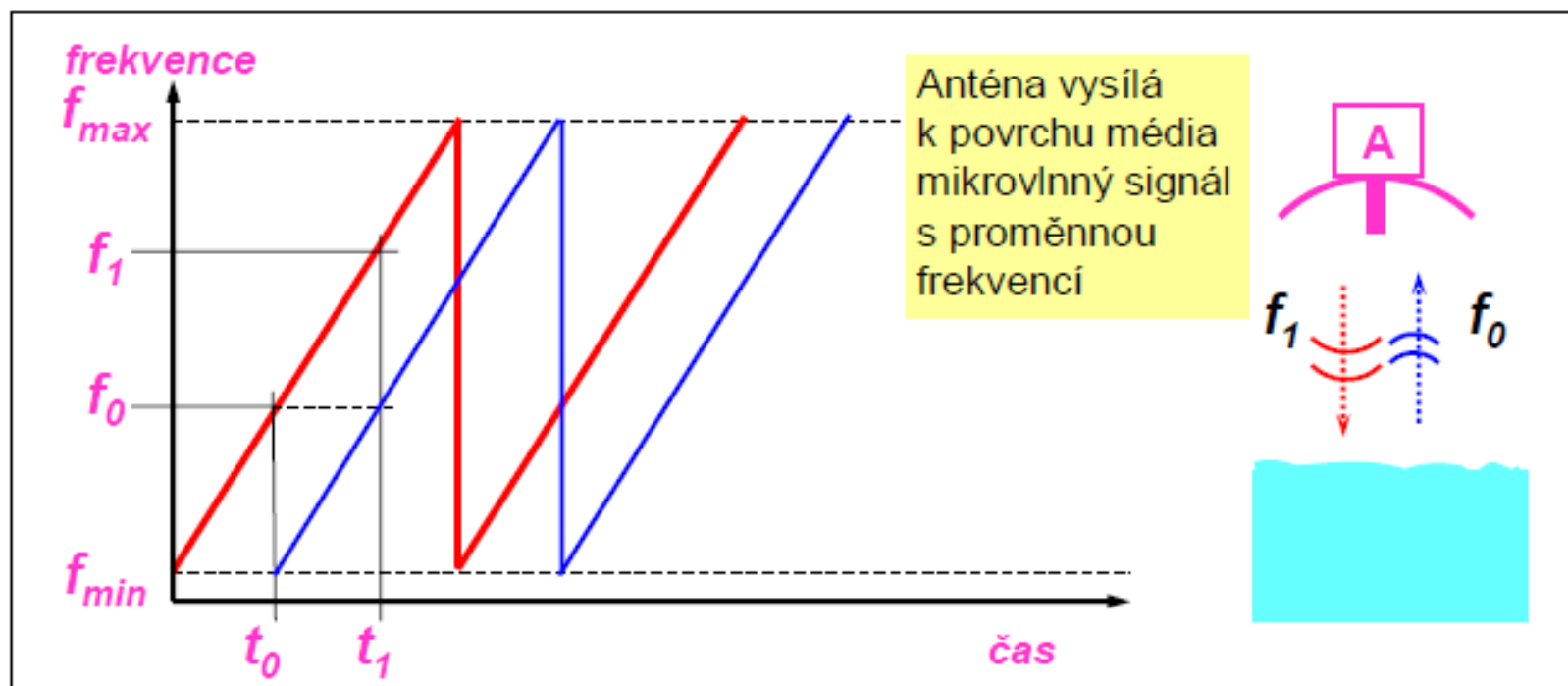
L - vzdálenost [m]

Radar s rozmítaným spojitým signálem

Metoda frekvenční - FMCW

Frequency Modulated Continuous Wave

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



- 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 výpočet vzdálenosti
- rozdíl frekvence (řádově v kHz) je možno stanovit velmi přesně

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



Anténa pro uklidňovací trubku



uklidňovací trubka

SAAB ROSEMOUNT
Tank Control

- uklidňovací trubka se umísťuje uvnitř tanku