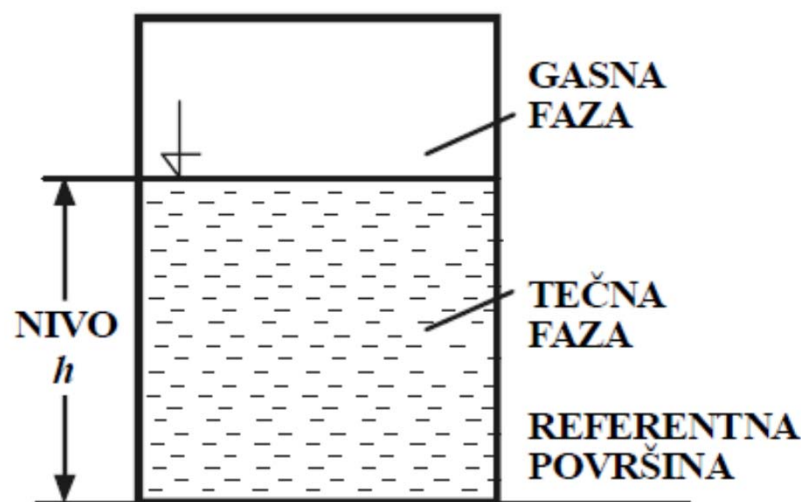


# SENZORI ZA MERENJE NIVOA



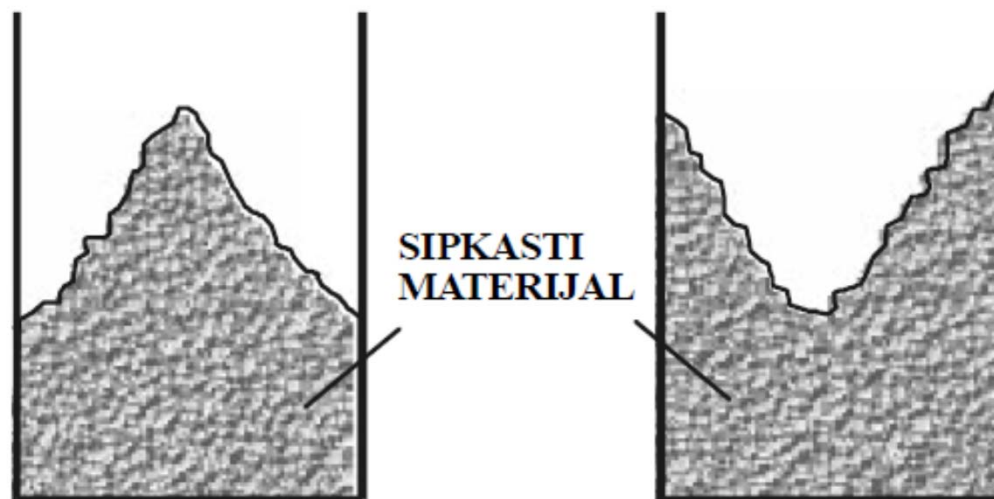
# Karakteristike merenja nivoa I/2

- Nivo je visina tečnog ili usitnjenog (sipkastog, praškastog) materijala u posudi
- Nivo radnog medijuma je tehnološki parametar, pa je informacija o njemu neophodna za kontrolu rada tehnoloških aparata, a u nizu slučajeva i za upravljanje tehnološkim procesima
- U suštini nivo predstavlja graničnu površinu između dve sredine različite gustine u odnosu na neku horizontalnu površinu uzetu kao referentnu. Granična površina je obično između praškastog materijala i gasa (vazduha), tečne i gasne faze, a ređe između dve tečne faze.
- Iz definicije nivoa proizilazi da je merenje nivoa merenje rastojanja, odnosno debljine. Iz toga sledi da se nivo izražava u jedinicama dužine



# Karakteristike merenja nivoa 2/2

- Merenje nivoa usitnjenog materijala, kao što je ugalj, brašno, žito, cement i drugo, sa tehničkog aspekta značajno se razlikuje od merenja nivoa tečnosti jer nivo takvih materijala najčešće nije horizontalan. Za tačno merenje neophodno je poznavanje kretanja materijala, veličine i oblika zrna, načina punjenja i pražnjenja, kao i oblika rezervoara.



- Merenje količine (zapremine) tečnog i usitnjenog materijala u rezervoaru vrši se na osnovu informacije o nivou. Zbog promenljivog poprečnog preseka rezervoara zapremina je data integralnom jednačinom:

$$V = \int_0^h S(h)dh$$

Promena poprečnog preseka zavisno od nivoa  $S(h)$  poznata je za dati rezervoar

# Metode merenja nivoa 1/2

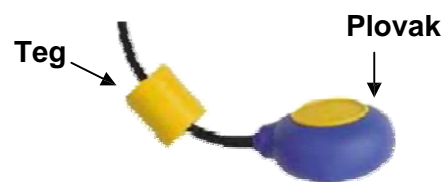
- Metode merenja nivoa mogu se podeliti u dve grupe.
  - U prvu grupu spadaju metode detekcije nivoa u odabranim (diskretnim) tačkama – binarni senzori nivoa
  - U drugu grupu spadaju kontinualne metode merenja – analogni senzori nivoa
- Detektori nivoa markiraju kritične vrednosti nivoa, kao što su minimalna ili maksimalna vrednost. Senzori koji rade na ovom principu služe za signalizaciju alarma (prepunjen ili prazan rezervoar) i dovode do iniciranja odgovarajuće akcije, automatski ili ručno
- Senzori koji mogu da se isključivo koriste kao detektori, odnosno binarni senzori nivoa su:
  - Plovne kruške,
  - Konduktivni detektori,
  - Vibracione viljuške,
  - Vibracione šipke.

# Metode merenja nivoa 2/2

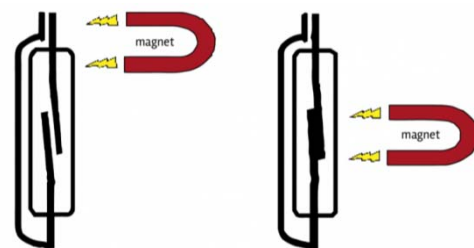
- Izbor kontinualnih metoda praćenja nivoa zavisi od vrste medija, od toga da li je rezervoar otvoren ili zatvoren, te od toga da li je zatvoreni rezervoar pod natpritiskom ili potpritiskom. U zavisnosti od ovih karakteristika, postoji veliki broj različitih metoda u tehnici merenja nivoa.
- U automatizaciji tehnoloških procesa za kontinualno merenje, odnosno kao analogni senzori nivoa, najviše se upotrebljavaju:
  - Hidrostatički senzori,
  - Senzori na principu plovka,
  - Kapacitivni senzori,
  - Otpornički senzori nivoa,
  - Ultrazvučni senzori
- Navedeni senzori nivoa, pored toga što se koriste za kontinualno merenje, odnosno kao analogni senzori nivoa, imaju i svoje izvedbe u kojima se koriste kao detektori, odnosno binarni senzori nivoa.

# Plovne kruške – osnovne karakteristike

- Plovne kruške se koriste za detektovanje nivoa tečnosti
- Nije im potrebno bilo kakvo napajanje za rad, posto se prekidanje i zatvaranje kontakata unutar plovne kruške vrši pod uticajme sile zemljine teže na kuglicu koja se nalazi u plovku.
- Plovak plovne kruške je loptastog oblika, prečnika 80 - 120 mm. Pluta na površini tečnosti čiji se nivo meri
- Različit položaj plovka utiče na kretanje magnetne kuglice u plovku, čije granične položaje registruje reed relej (vrsta releja čiji se kontakti otvaraju i zatvaraju pod uticajem magneta)



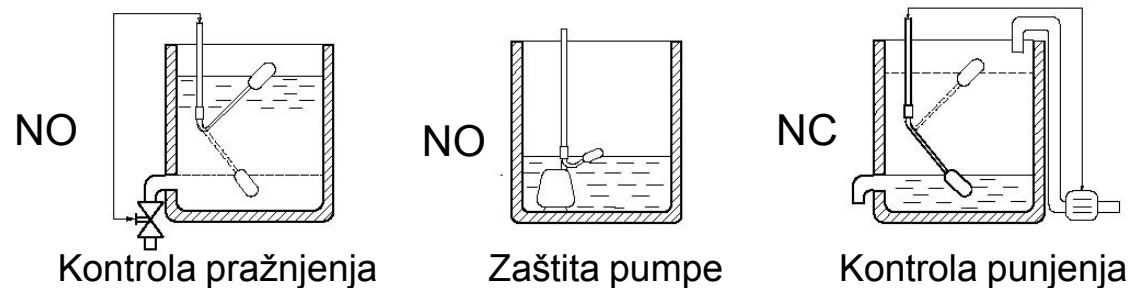
Princip rada reed releja



- Plovne kruške su u potpunosti hermetički zatvorene i izrađene su od netoksičnih materijala (za detekciju položaja plovka se više ne primenjuje živa nego magnetna kuglica i reed relej), tako da imaju veliku primenu u merenju nivoa pijaće vode

# Plovne kruške – način ugradnje

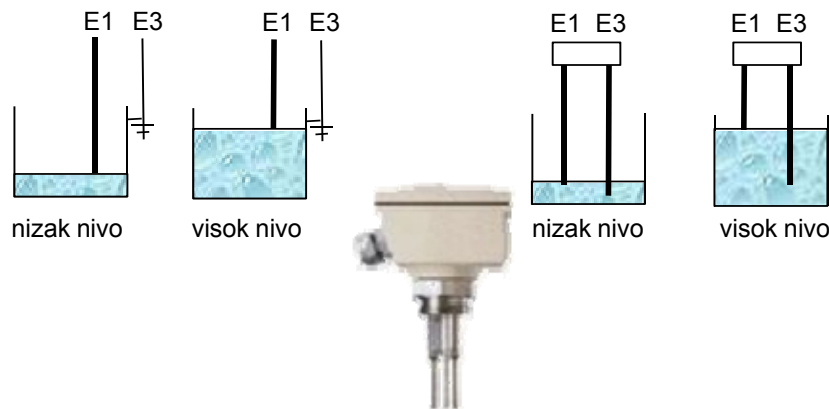
- Ugradnja je vrlo jednostavna i vrši se samo polaganjem plovka na površinu tečnosti čiji nivo se meri.
- Podešavanje histerezisa uključanja/isključenja vrši se regulisanjem rastojanja između tega i plovka plovne kruške,
- Praktična primena plovnih kruški je pri detekciji nivoa od pijaće vode do kanalizacije, zaštita pumpi od rada na suvo kao i kontrola rada pumpi pri procesu punjenja odnosno pražnjenja rezervoara



- U slučaju kontrole pražnjenja plovna kruška registruje kada je nivo pao ispod minimalnog i isključuje ventil pražnjenja
- Kod primera instalacije plovne kruške u cilju zaštite rada pumpe na suvo, plovna kruška registruje opadanje nivoa tečnosti ispod kritične vrednosti i isključuje pumpu
- Pri kontroli punjenja, plovna kruška registruje maksimalan nivo i isključuje rad pumpe

# Konduktivni detektori nivoa

- Konduktivni detektor nivoa baziran je na principu detekcije provodnosti
- Detektuje se provodnost dva ili više provodnika zaronjenih u tečnost
- Kako se nivo tečnosti menja, tako se menja i dužina provodnika koji su uronjeni u njih, odnosno provodnost
- Sa obzirom na sam princip rada mogu se primenjivati samo kod tečnosti sa minimalnom provodnošću od  $2 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$
- U slučaju konduktivnih detektora kod rezervoara sa provodnim zidom, obično se jedna sonda kratko spaja sa zidom rezervoara.
- Kod rezervoara sa neprovodnim zidom obe sonde se zaranjaju u tečnost čiji se nivo detektuje



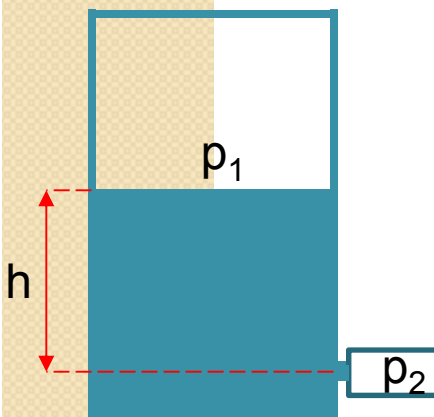
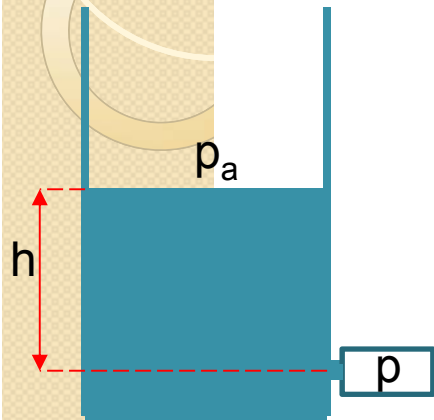


# Vibracione viljuške i šipke

- Detektori (binarni senzori nivoa) koji rade na principu praćenja promene rezonantnih karakteristika senzora
- Viljuška/šipka pod uticajem sile koja se dobija na osnovu piezoelektričnog efekta ili magnetostrikcije osciluje na svojoj mehaničkoj rezonantnoj frekvenciji
- Ako materijal dođe u kontakt sa viljuškom/šipkom koja osciluje, prisustvo materijala prigušuje vibracije, smanjuje amplitudu/frekvenciju vibracija
- Kada amplituda/frekvencija vibracija padne ispod nekog kritičnog nivoa, senzor se aktivira, odnosno detektuje prisustvo materijala
- Mogu se koristiti za detektovanje nivoa tečnosti, zrnastih i praškastih materijala
- Kod detektovanja nivoa tečnosti prati se promena frekvencije oscilacija, a kod detektovanja nivoa zrnastih i praškastih materijala prati se promena amplitude



# Hidrostatički senzor nivoa 1/3



- Mogu da se primenjuju samo za merenje nivoa tečnosti
- Ako je slobodna površina tečnosti, čiji se nivo meri, na atmosferskom pritisku, tada je pritisak u mirnom i homogenom fluidu gustine  $\rho$  na dubini  $h$  veći u odnosu na atmosferski za:

$$p = \rho gh$$

- Merenjem relativnog pritiska  $p$ , moguće je dobiti informaciji o dubini, odnosno nivou

$$h = \frac{p}{\rho g}$$

- Promene gustine fluida usled promene temperature dovode do greške merenja
- Ukoliko je pritisak gasa iznad tečnosti  $p_1$ , različit od atmosferskog, (zatvoren rezervoar) pritisak  $p_2$  na nekoj dubini  $h$  je:

$$p_2 = p_1 + \rho gh$$

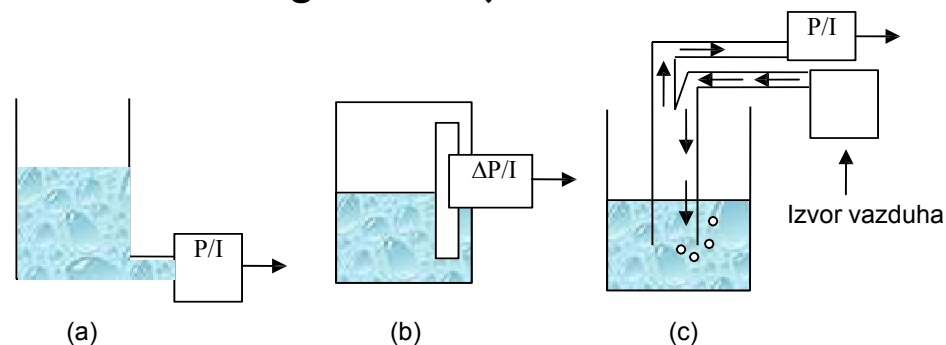
- Tako da se dubina, odnosno nivo, može dobiti na osnovu diferencijalnog pritiska

$$h = \frac{p_2 - p_1}{\rho g}$$

- Može da se koristi i kao detektor, odnosno binarni senzor nivoa

# Hidrostatički senzor nivoa 2/3

- Postoje tri tipa hidrostatičkih senzora nivoa:
  - Prvi tip izrađuje se kao senzor relativnog pritiska koji meri pritisak stuba tečnosti na dnu rezervoara (nadpritisak u odnosu na atmosferski) (Slika a.).
  - Drugi tip se pravi kao senzor diferencijalnog pritiska, kako bi se mogla dobiti tačna informacija o nivou, bez obzira na pritisak gasa iznad razdelne površine (Slika b.).
  - Kod trećeg tipa hidrostatskog senzora ubacuje se vazduh pod pritiskom (Slika c). Kada se pritisak vazduha izjednači sa hidrostatičkim pritiskom, na dnu rezervoara izlaze mehurići. Merenjem pritiska vazduha koji je ubačen u cevovod, dobija se hidrostatički pritisak u tački u kojoj se nalazi kraj cevi, na osnovu čega se dobija dubina, odnosno nivo.



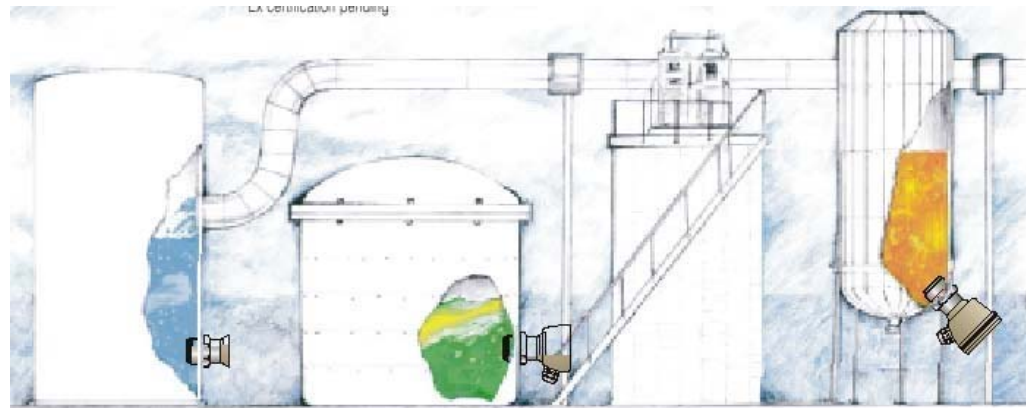
# Hidrostatički senzor nivoa 3/3



Utopni hidrostatički senzor nivoa  
(tip a.)



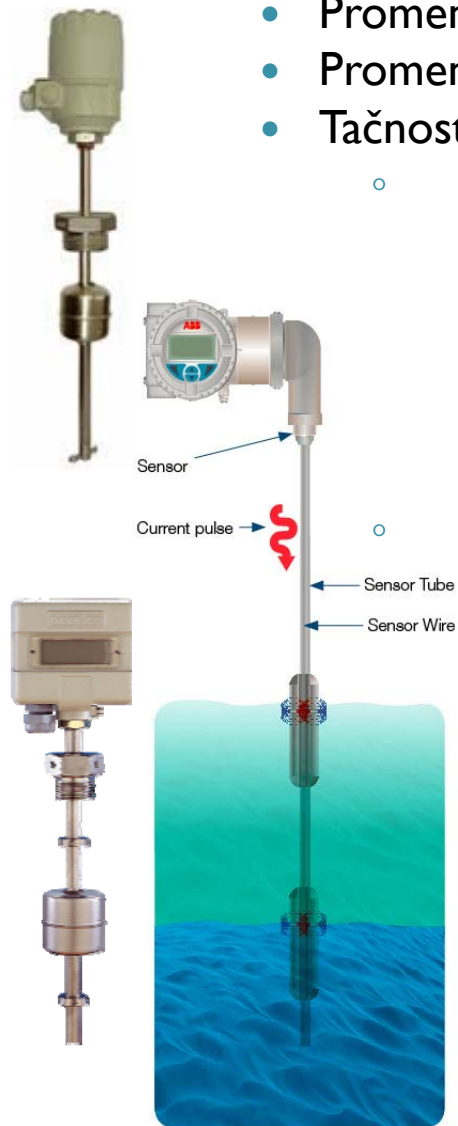
Hidrostatički senzor nivoa (tip a.  
ili b.) koji se montira na rezervoar



Primer ugradnje hidrostatičkih  
senzora

# Senzori na principu plovka

- Obično se izvode sa plovkom valjkastog oblika koji je postavljen tako da klizi po fiksiranoj sondi
- Promenom nivoa tečnosti, menja se i položaj plovka na fiksiranoj sondi
- Promena položaja plovka se registruje na različite načine
- Tačnost senzora zavisi od načina registracije položaja plovka



○ Senzori nivoa kod kojih kretanje plovka utiče na promenu otpornosti kontrolnog provodnika u fiksiranoj sondi. U plovku se nalazi magnet čije kretanje duž fiksirane sonde se registruje tako što pod njegovim uticajem na tom mestu dolazi do spoja kontrolnog otpornika i promene njegove otpornosti.

○ Senzori nivoa kod kojih se položaj plovka, koji u sebi ima permanentni magnet, detektuje na osnovu principa magnetostrikcije. Kroz sondu prolazi provodna žica duž koje se u trenutku merenja pošalje strujni impuls ( $1-2\mu s$ ). Usled delovanja magneta u plovku na provodnik kroz koji protiče struja, dolazi to magnetostrikcije i pojave torzione sile na provodniku, koja se kao talas prostire do kućišta senzora u kome se detektuje. Na osnovu poznate brzine prostiranja talasa (oko  $3000m/s$ ) i vremena koje je proteklo od generisanja strujnog impulsa do detekcije sile na kućištu, određuje se položaj plovka.

# Kapacitivni senzori nivoa 1/3

- Prave se kao pločasti ili cilindrični kondenzatori, između kojih se nalazi tečnost, zrnasti ili praškasti materijal
- Tečnost može biti provodna ili neprovodna
- Metalne elektrode kapacitivne sonde fiksirane su pomoću zaptivača od izolatorskog materijala i potopljene u tečnost do visine  $h$ , a ostatak prostora između elektroda  $H-h$  ispunjen je gasnom fazom. Sonda je najčešće cilindrična (koaksijalna), pri čemu kao vanjska elektroda može da posluži i zid rezervoara.

Za neprovodne tečnosti, otpor  $R$  između elektroda je beskonačan, pa je ekvivalentni kapacitet

$$C_e = C_1 + C_2 + C_3$$

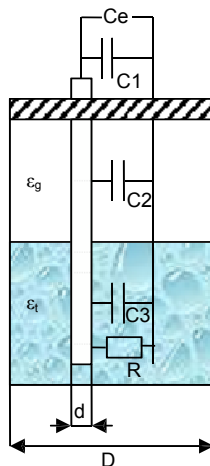
$C_1$  - kapacitet između elektroda na segmentu gde je između njih izolator,

$C_3$  kapacitet između elektroda u tečnoj fazi

$C_2$  kapacitet u gasnoj fazi.

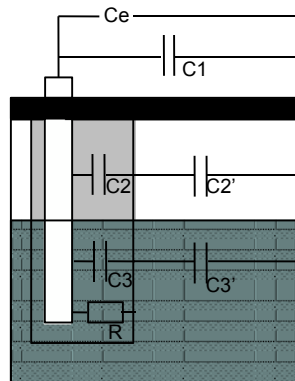
Na osnovu relacije za kapacitet cilindričnog kondenzatora, dobija se da je ekvivalentni kapacitet linearno proporcionalan sa merenim nivoom  $h$

$$C_e = C_1 + \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_t h}{\ln(\frac{D}{d})} + \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_g (H-h)}{\ln(\frac{D}{d})} = k_1 + k_2 h.$$



# Kapacitivni senzori nivoa 2/3

- Za merenje nivoa provodnih tečnosti (tečnosti sa specifičnom provodnošću većom od  $10^{-4} \text{ S/cm}^2$ ) unutrašnja elektroda presvučena je slojem kvalitetnog čvrstog izolacionog materijala, obično plastikom ili teflonom.
- Zbog izolacije, otpor tečnosti nema uticaja na merenje i takva sonda primenljiva je i za provodne i neprovodne tečnosti.
- Ekvivalentni kapacitet senzora sa presvučenom elektrodom proporcionalan je merenom nivou prema izrazu

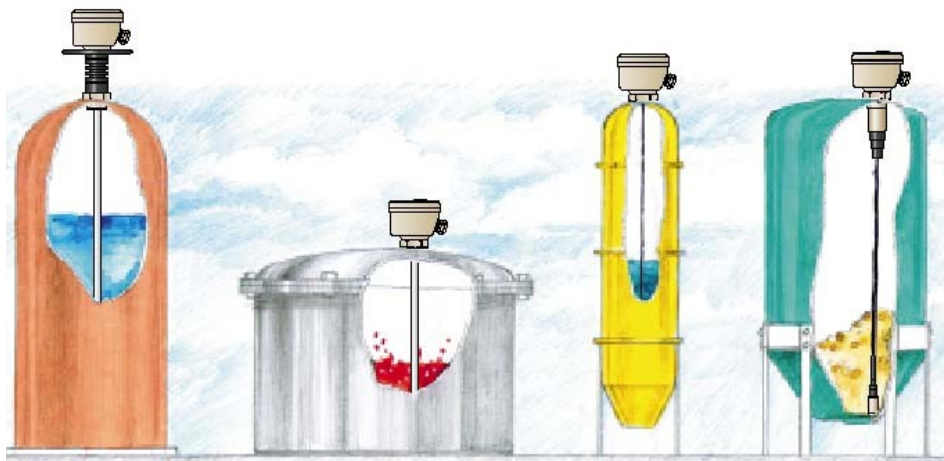


$$C_e = C_1 + \frac{C_2 C_2'}{C_2 + C_2'} + \frac{C_3 C_3'}{C_3 + C_3'} = k_3 + k_4 h$$

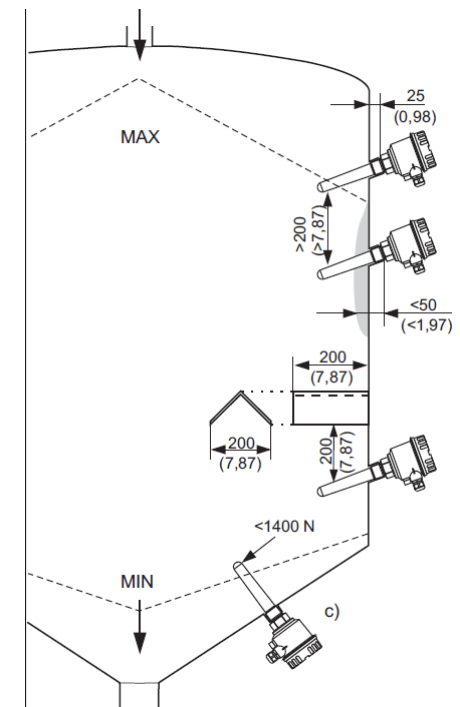


# Kapacitivni senzori nivoa 3/3

- Može da se koristi i kao detektor, odnosno binarni senzor nivoa
- Detektori mogu da budu u izvedbama koje omogućavaju i bočno montiranje, na zid rezervoara ili silosa



Primer ugradnje kapacitivnih senzora

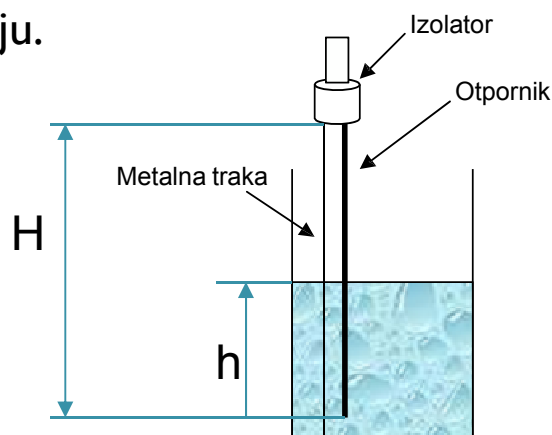


Primer ugradnje kapacitivnog detektora nivoa na zid silosa



# Otpornički senzori nivoa

- Otpornički senzori nivoa rade na principu promene otpornosti provodnika sa promenom njegovih dimenzija
- Sastoje se od zategnute metalne trake i otporničke žice
- Ispod površine provodne tečnosti ili sipkastog materijala, traka i žica su u kratkom spoju.



- Otpor u petlji iznad površine proporcionalan je merenom nivou

$$R = \frac{\rho}{A}(H-h)$$

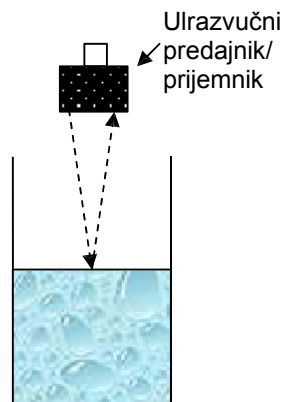
$A$  - poprečni presek otpornika

$\rho$  - specifični otpor materijala od kojeg je napravljen otpornik

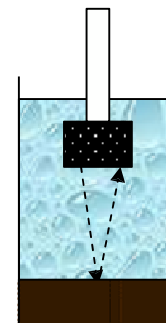
- Za neprovodne materijale upotrebljava se isti senzor, pri čemu su traka i otpornik obavijeni elastičnom folijom, koja služi kao membrana koja je osetljiva na mali bočni pritisak. Čim je pritisak veći od određene vrednosti, traka i otpornik su u kratkom spoju

# Ultrazvučni senzori nivoa I/4

- Odbijanje zvučnih, ultrazvučnih i mikrotalasnih zračenja od razdelne površine između dva fluida efikasno se primenjuje u tehnici merenja nivoa
- Nivo je proporcionalan vremenu  $T$  za koje talas pređe od izvora do prijemnika zračenja
- Kao izvor ultrazvuka uzima se kvarcni ili keramički pijezelement, koji se pobuđuje električnim impulsima visoke frekvencije



Merenje udaljenosti od senzora do fluida/materijala



Merenje udaljenosti od senzora do razdelne površine između dva fluida koji se ne mešaju

# Ultrazvučni senzori nivoa 2/4

- Vreme koje je potrebno ultrazvučnom impulsu da od senzora dodje do razdelne površine i vrati se nazad je

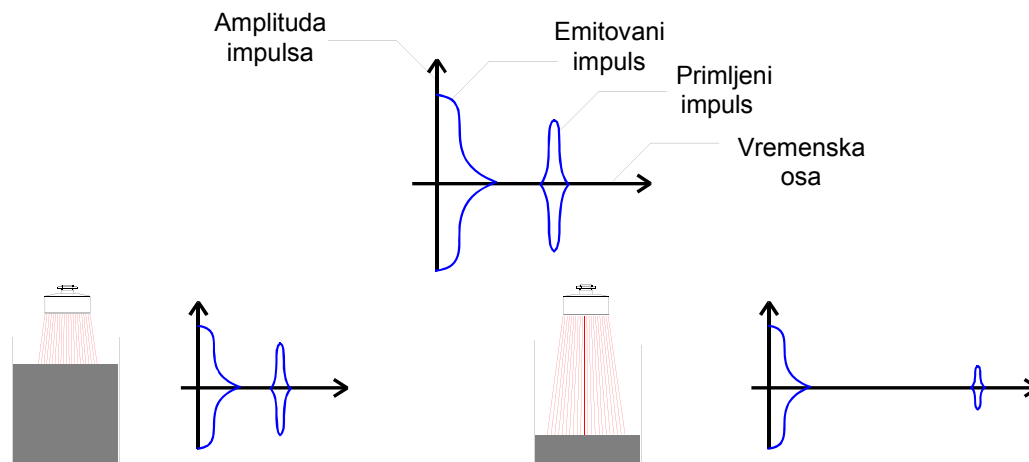
$$T = \frac{2h}{v}$$

$h$  – Udaljenost od ultrazvučnog senzora do razdelne površine

$v$  – brzina zvuka u fluidu (vazduhu) između senzora i razdelne površine

- Udaljenost od ultrazvučnog senzora do razdelne površine se dobija izrazom

$$h = \frac{vT}{2}$$

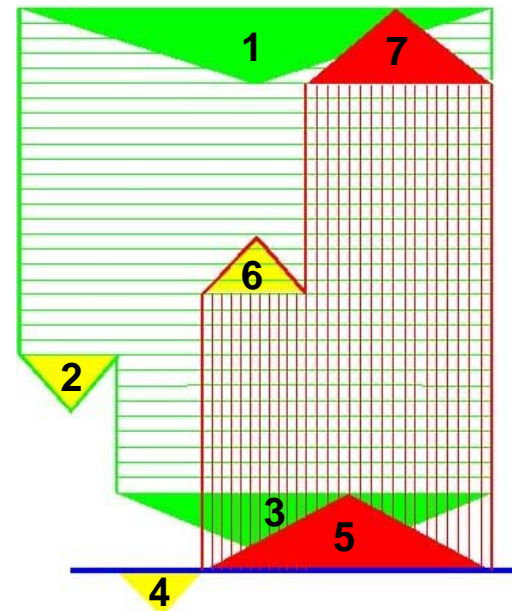


Veza vremena prostiranja impulsa i rastojanja senzora od razdelne površine

# Ultrazvučni senzori nivoa 3/4

Na slabljenje impulsa tokom prostiranja utiče više faktora:

1. Snaga emitovanog ultrazvučnog signala
2. Gubitak snage tokom prostiranja kroz fluid
3. Snaga ultrazvučnog signala na razdelnoj površini
4. Gubitak snage usled upijanja od strane razdelne površine
5. Snaga ultrazvučnog signala reflektovanog o razdelnu površinu
6. Gubitak snage tokom prostiranja kroz fluid
7. Snaga ultrazvučnog signala na prijemu senzora



Slabljenje ultrazvučnog impulsa tokom prostiranja

# Ultrazvučni senzori nivoa 4/4

