

MJERENJE RAZINE:

Primjena: mjerenje razine tekućina i krutih tvari u različitim spremnicima (rezervoarima, silosima, ...)

Podjela prema načinu mjerenja:

- **kontinuirano:** omogućeno je stalno praćenje trenutne razine
- **diskretno:** signalizira se kada trenutna razine poraste ili se smanji u odnosu na zadanu vrijednost

Podjela prema izvedbi:

Mjerenje razine može se izvesti:

- pomoću plovka (za mjerenje razine tekućih tvari):
 - o gustoća plovka manja od gustoće tekućine – plovak pluta na površini
 - o gustoća plovka veća od gustoće tekućine – plovak je uronjen u tekućinu
- mjerenjem tlaka:
 - o mjerenjem diferencijalnog tlaka
 - o pomoću mjehurića plina (*engl. bubble*)
- mjerenjem težine (vaganjem) spremnika
- uspostavljanjem električkog kontakta, za vodljive tvari
- pomoću kapacitivnih pretvornika:
 - o električki vodljive tvari
 - o električki nevodljive tvari
- pomoću ultrazvuka
- pomoću mikrovalova
- pomoću lasera
- optičkim metodama:
 - o korištenjem totalne refleksije za prozirne tekućine
 - o prekidanjem zrake svjetla za neprozirne tvari
- mjerenjem promjene apsorpcije ionizirajućeg zračenja
- pomoću rotirajućih lopatica
- mjerenjem prigušenja vibracija¹
- mjerenjem duljine užeta
- pomoću temperaturnih senzora
- pomoću otporničkih traka

POSTAVLJANJE MJERILA RAZINE:

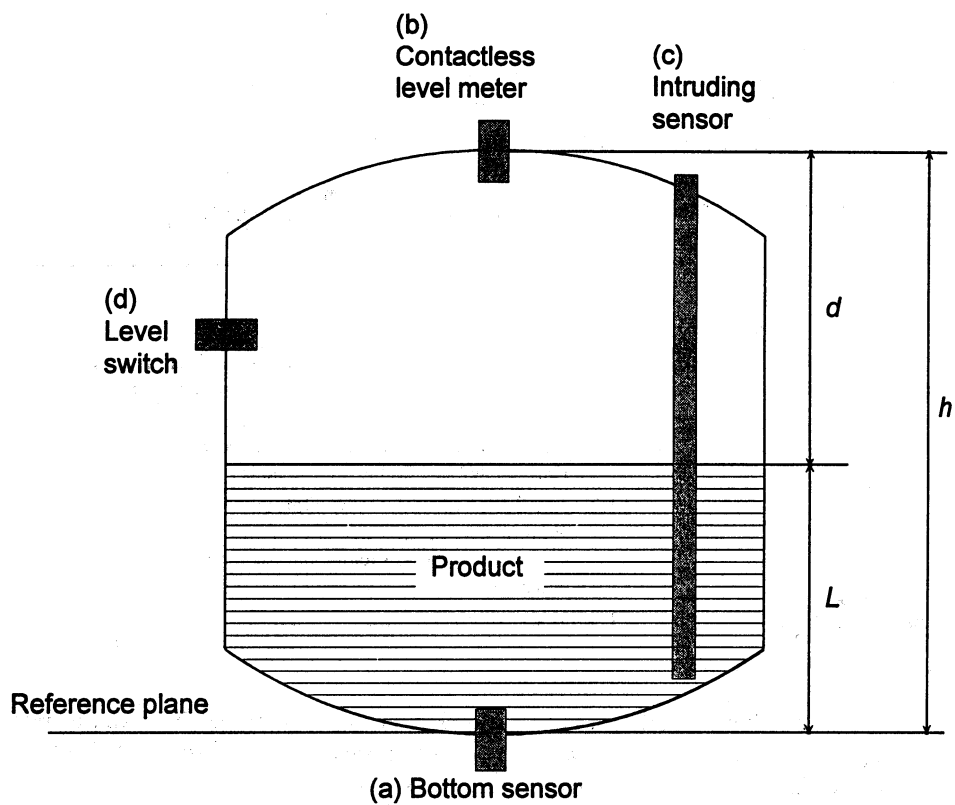


FIGURE 11.1 Representation of a tank with a liquid or solid material (hatched area), the product to be measured. The level sensor can be mounted (a) contacting product at the bottom, (b) as a contactless instrument on top, (c) as an intrusive sensor, or (d) at the sides as a level switch.

MJERENJE RAZINE POMOĆU PLOVKA:

Gustoća plovka manja od gustoće tekućine – plovak pluta na površini: (engl: float)

Izvode se kao diskretna i kao kontinuirana mjerila razine.

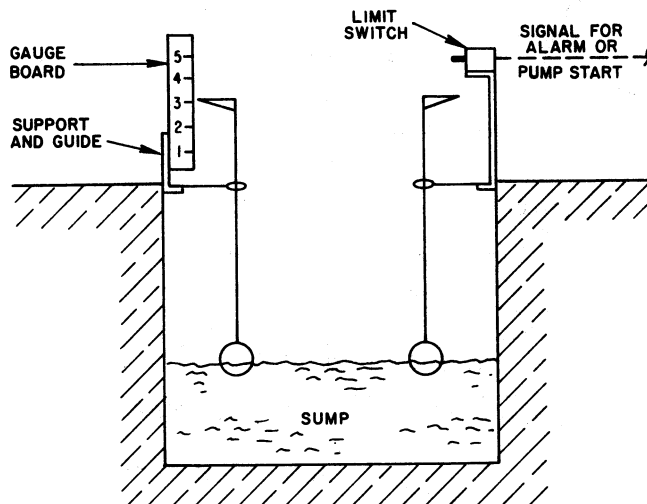


FIG. 3.8a
Float-operated point or switch trip for sump level.

Zavisno od položaja plovka predviđeni su za montažu na vrhu spremnika ili bočno.

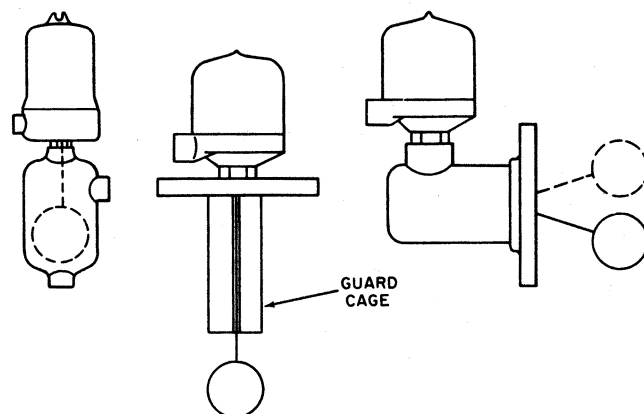


FIG. 3.8e
External float chamber or top- and side-mounted float switches.

Korištenjem magneta izbjegava se kontakt između tvari čija razina se mjeri i mjerne instrumentacije.

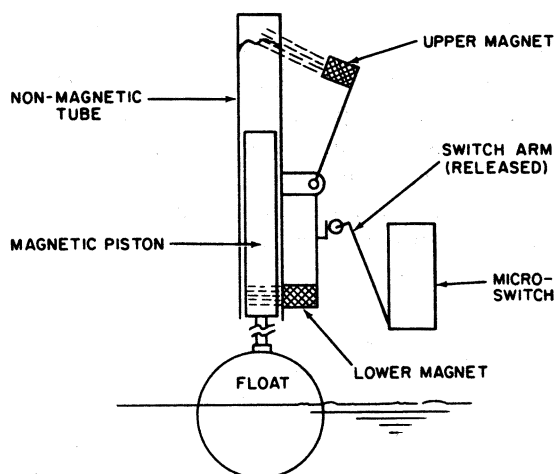


FIG. 3.8d
Float switch with microswitch.

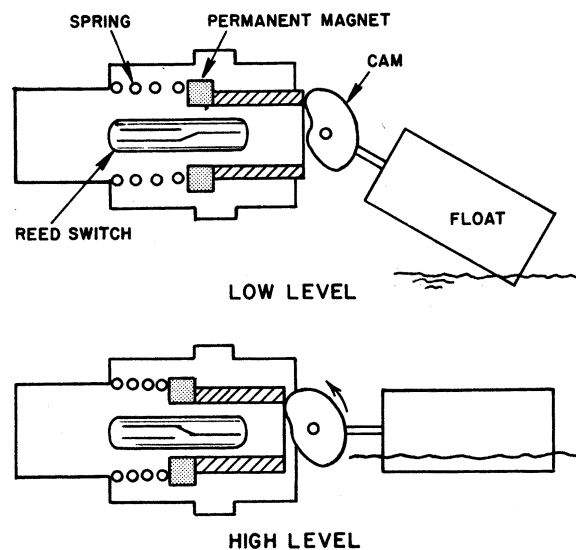


FIG. 3.8g
Float and cam operated magnetically coupled switch.

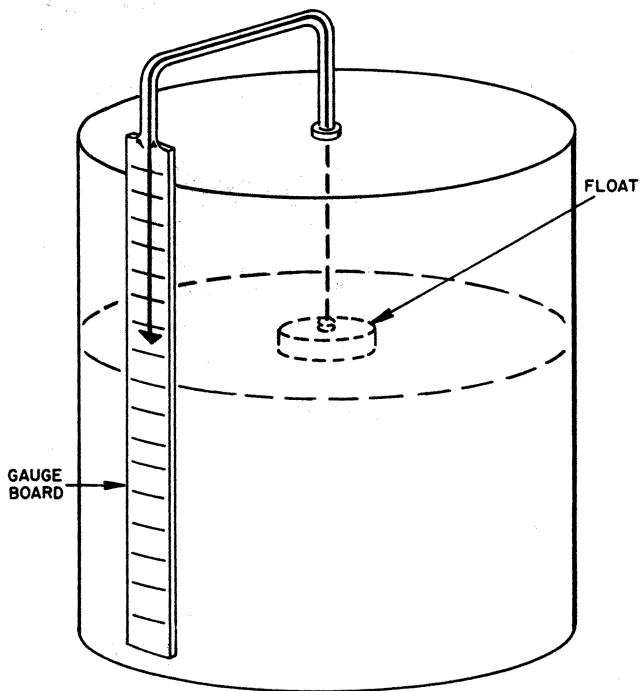


FIG. 3.8n
Tape gauge using float and gauge board.

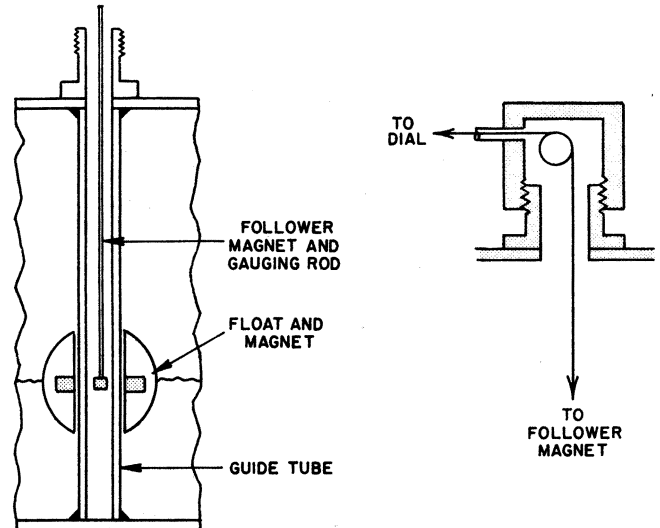


FIG. 3.8r
Ground reading gauge using guide tube, float, and magnetic follower.

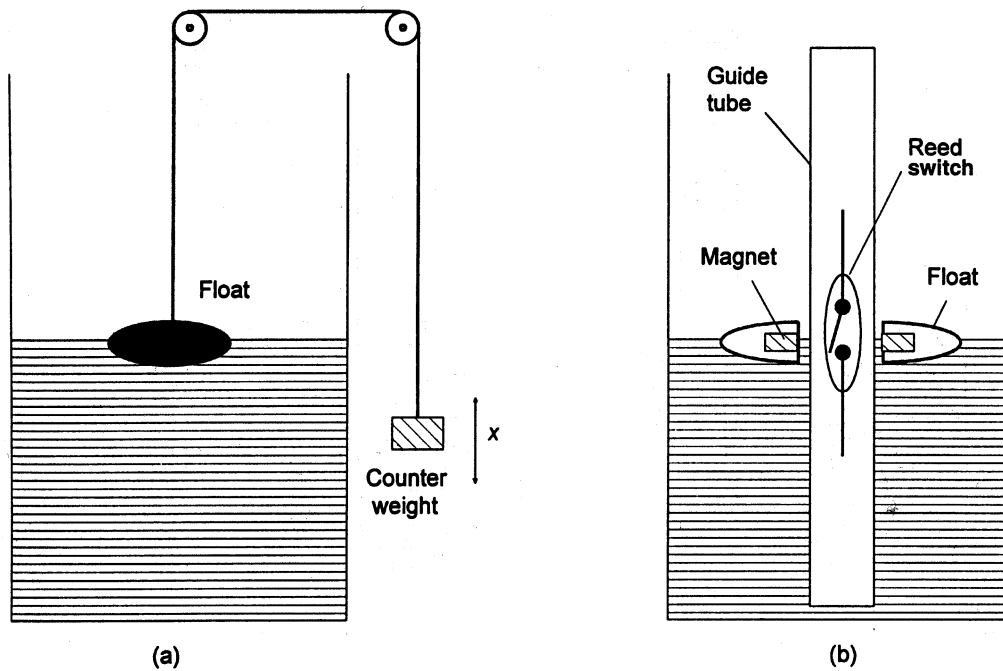


FIGURE 11.4 Principle of operation for float level meters. (a) A counter weight balances the float that swims on the liquid's surface. Its position represents the level. (b) The float contains a magnet that contacts a reed switch inside a guide tube. Using a bistable relay, this system is used as a level switch. One can also insert multiple relays into the tube to achieve different switching points for quasicontinuous operation.

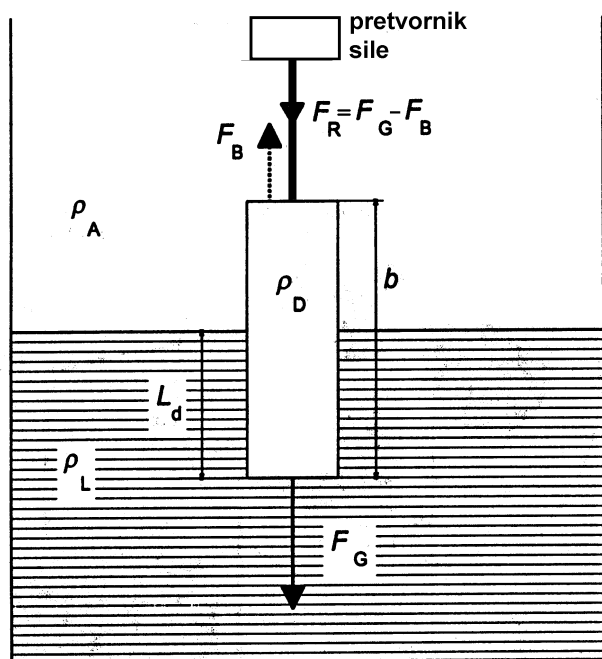
Karakteristike mjerila razine s plovkom:

- točnost: 1% pune skale
- u izvedbi diskretnog mjerila razine često se koriste u kombinaciji s drugim kontinuiranim mjerilima razine (ultrazvučni, kapacitivni, ...).
- zahtjev za čistoćom zbog pokretnih dijelova

Gustoća plovka veća od gustoće tekućine – plovak je uronjen u tekućinu:

(engl: displacer)

Za razliku od plovka koji se pomiče zajedno s površinom tekućine čija razina se mjeri, kod ove izvedbe tijelo je više ili manje **uronjeno** u tekućinu.



Težina tijela:

$$F_G = mg = Ab\rho_D g$$

A – površina presjeka tijela

b – ukupna duljina tijela

ρ_D – specifična težina tijela

Potisak (uzgon): sila koja djeluje prema gore i po iznosu je jednaka težini istisnutog fluida.

$$F_B = AL_D\rho_L g$$

L_D – duljina dijela tijela uronjenog u tekućinu

ρ_L – gustoća tekućine

Ukupna sila F_R koju mjeri pretvornik proporcionalna je L_D :

$$F_R = F_G - F_B = mg = Ab\rho_D g - AL_D\rho_L g$$

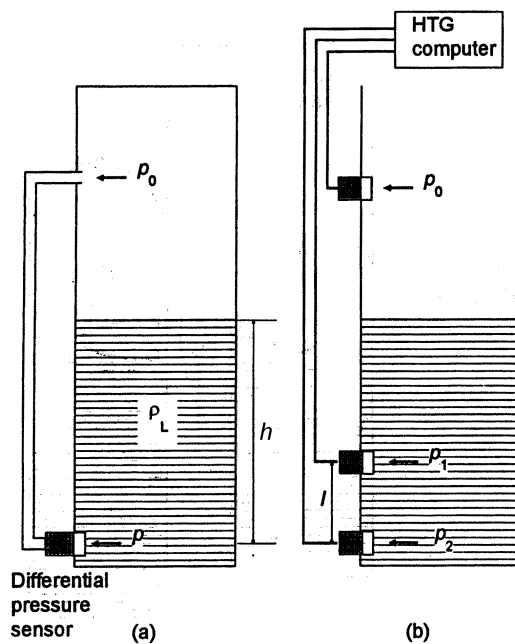
$$L_D = \frac{gAb\rho_D - F_R}{gA\rho_L} = \frac{b\rho_D - \frac{F_R}{gA}}{\rho_L}$$

Karakteristike:

- točnost: 0.5% pune skale.
- standardne izvedbe pokrivaju raspon od 0.35 m do 1.5 m, posebne izvedbe do 18 m.
- nisu prikladni za mjerenje razine ljepljivih tekućina

MJERENJE RAZINE MJERENJEM TLAKA

Mjerenje razine mjerenjem hidrostatskog tlaka:



Hidrostatski tlak u rezervoaru (a) iznosi:

$$p = p_0 + g\rho_L h$$

p_0 – atmosferski tlak

ρ_L – gustoca tekucine

h – visina stupca tekucine u rezervoaru

$$h = \frac{p - p_0}{g\rho_L}, \quad h = k(p - p_0)$$

Za mjerenje razine koristimo diferencijalno mjerilo tlaka.

Kod rezervoara (b) mjeri se diferencijalni tlak unutar tekućine radi kompenzacije varijacije gustoće tekućine (*engl. HTG = hydrostatic tank gaging*).

$$\rho_L = \frac{p_2 - p_1}{gl}$$

$$h = \frac{p_2 - p_0}{p_2 - p_1} l$$

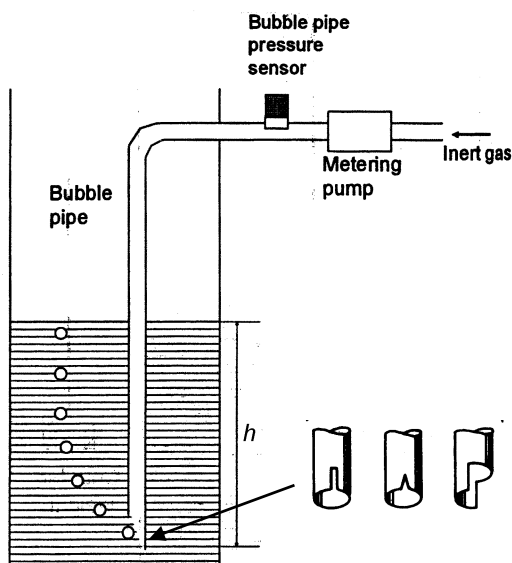
Karakteristike:

- točnost:

- 0.5 do 2% pune skale za diskontinuirana mjerila razine (prekidači)
- 0.1 do 0.5% pune skale za mjerila razine s diferencijalnim mjerilom tlaka
- 0.1 do 0.2% pune skale za mjerila razine s diferencijalnim mjerilom tlaka i temperaturnom kompenzacijom.

raspon: gornja granica je ograničena samo fizičkim dimenzijama rezervoara, budući da su diferencijalna mjerila tlaka raspoloživa u rasponu do 7MPa.

Mjerenje razine pomoću mjehurića zraka (*engl. bubblers*)



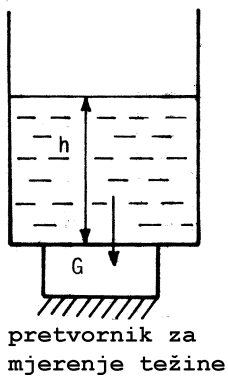
Budući da nije uvijek moguća ugradnja mjerila tlaka na dno rezervoara, rješenje je "prenijeti" hidrostatski tlak s dna na površinu.

Najčešće se koristi kod otvorenih rezervoara koji sadrže korozivnu, ljepljivu ili viskoznu tekućinu.

Tlak p u sustavu će ovisiti o razini tekućine

Mjehurić se stvara kada se izjednači hidrostatski tlak i tlak u sustavu.

MJERENJE RAZINE MJERENJEM TEŽINE (VAGANJEM) SPREMNIKA



$$G = G_0 + gAh\rho_L$$

G_0 – težina praznog spremnika

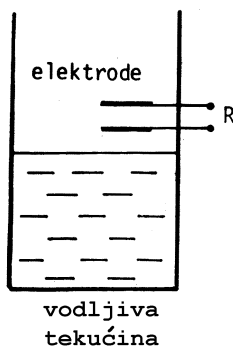
A – površina presjeka spremnika

ρ_L – specifična težina materijala u spremniku

$$h = \frac{G - G_0}{gA\rho_L}$$

Nedostatak ove metode je potreba za kompletnim mehaničkim odvajanjem spremnika od okoline.

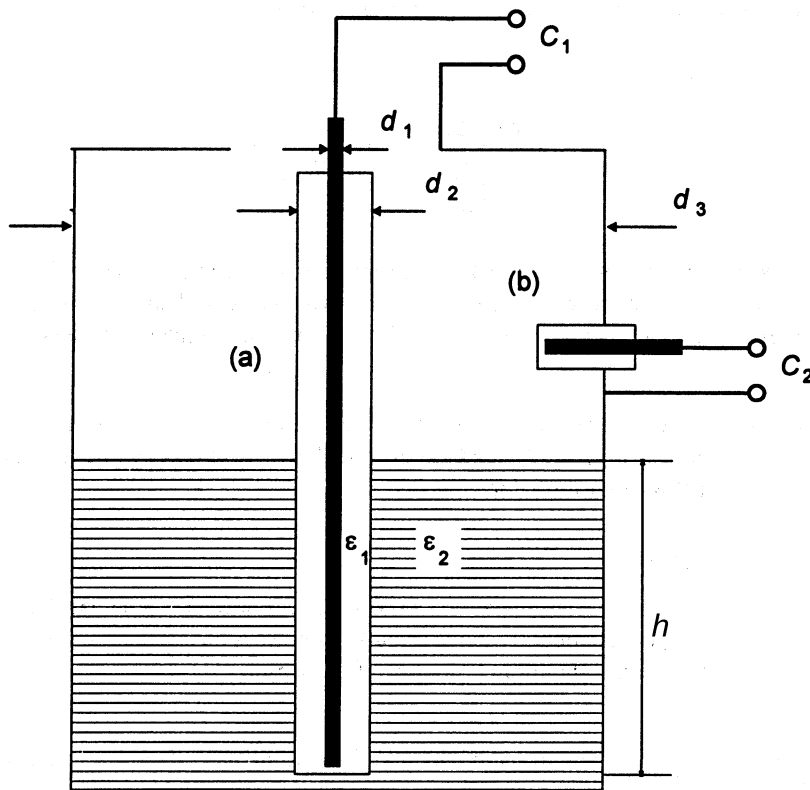
MJERENJE RAZINE USPOSTAVLJANJEM ELEKTRIČKOG KONTAKTA VODLJIVE TVARI



Najčešće se koristi za diskretno određivanje razine vodljivih tekućina.

MJERENJE RAZINE POMOĆU KAPACITIVNOG PRETVORNIKA

Koriste se za kontinuirano mjerenje razine (a) i za senziranje zadane razine (b).



Uz pretpostavku da su spremnik i elektrode cilindričnog oblika i da je u spremniku nevodljiva tekućina:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 h}{\frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{d_3}{d_2}}$$

$$h = C \frac{\frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{d_3}{d_2}}{2\pi\epsilon_0}$$

Za vodljivu tekućinu izraz se pojednostavljuje:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_1 h}{\ln \frac{d_2}{d_1}}, \quad h = C \frac{\ln \frac{d_2}{d_1}}{2\pi\epsilon_0\epsilon_1}$$

Ako tekućina nije vodljiva, srednja elektroda ne mora biti izolirana:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_2 h}{\ln \frac{d_3}{d_1}}, \quad h = C \frac{\ln \frac{d_3}{d_1}}{2\pi\epsilon_0\epsilon_2}$$

Karakteristike:

- mjerenje razine, kontinuirano i diskontinuirano vodljivih i nevodljivih tekućina
- raspon mjerenja od 10 do 4000 pF.
- osjetljivost 0.1 do 0.5 pF
- temperaturni drift za 100°C iznosi od 0.2 do 5pF
- točnost: 1 do 2% pune skale

MJERENJE RAZINE POMOĆU ULTRAZVUKA

Koriste se kao kontinuirana mjerila razine i kao detektori diskretne razine.

Kontinuirano mjerenje razine:

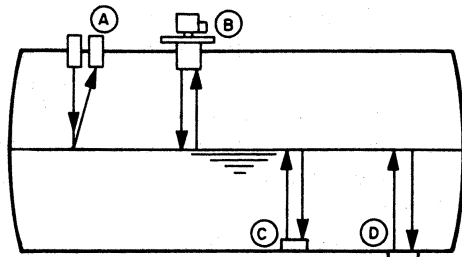


FIG. 3.21b

Continuous ultrasonic level detectors.

- A) Odvojeni predajnik i prijamnik ultrazvuka (više se ne koristi)
- B) Isti kristal služi i kao predajnik i kao prijamnik, koristi se za mjerenje razine tekućih i krutih tvari. Daje podatak o razmaku između vrha spremnika i površine mjerene tvari.
- C) Sonda je smještena na dno spremnika – daje pravu informaciju o razini mjerene tvari, za razliku od A) i B) može se koristiti samo za tekućine.
- D) Sonda je smještena izvan spremnika – prednost je da spremnik ne treba bušiti, a samo mjerilo ne dolazi u kontakt s tvari čija razina se mjeri. Može se koristiti samo za mjerenje razine tekućina.

Detekcija diskretnih razina pomoću ultrazvuka

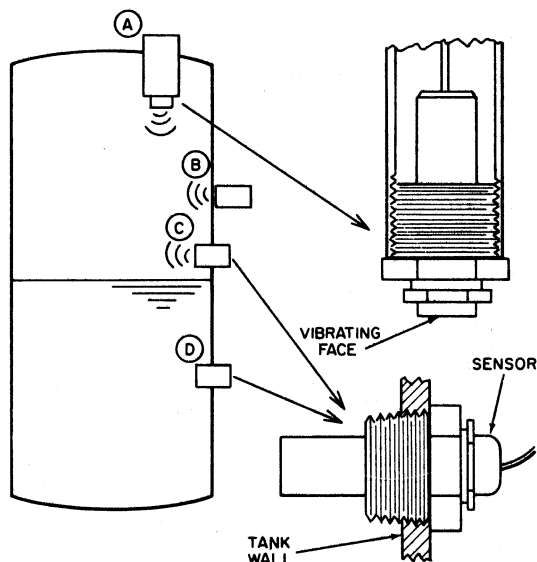


FIG. 3.21a

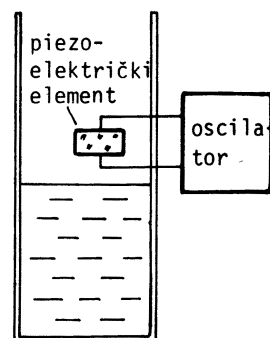
Dampened ultrasonic sensors.

Promjena prigušenja vibracija ultrazvučne sonde:

Sadrže samo generator ultrazvuka.

Kada je piezo element potopljen u tekućinu dolazi do prigušenja vibracija samog elementa.

Primjena je ograničena na tekućine jer učinak prigušenja kod većine krutina redovito nije dovoljan.



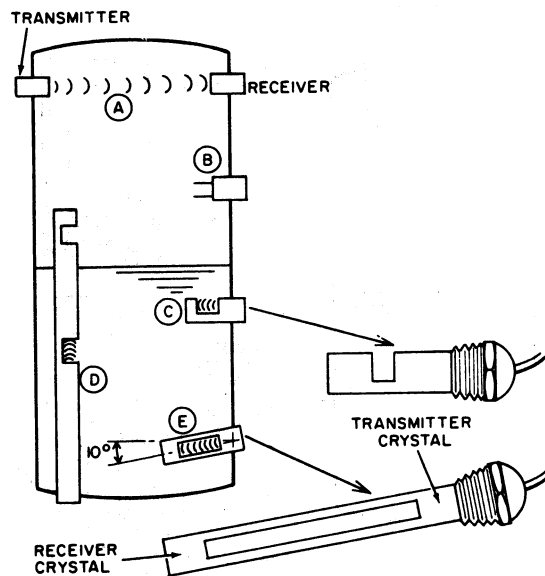


FIG. 3.21b
Transmitting ultrasonic point sensors.

Promjena apsorpcije ultrazvuka:

Sastoje se od odašiljača i prijamnika ultrazvuka.

- A) Izvedba u kojoj su odašiljač i prijamnik ultrazvuka odvojeni. Prijamnik prima signal tako dugo dok ne dođe do prekida zbog porasta razine. Koristi se za mjerenje razine krutih tvari
- B) Veza između odašiljača i prijamnika uspostavlja se tek kada su potopljene u tekućinu.
- C) Isto kao i kod B), druga izvedba.
- D) Omogućava detekciju niske i visoke razine tekućine.
- E) Omogućava detekciju granice između dviju tekućina (na granici između dva medija dolazi do refleksije ultrazvučnog vala).

Nisu pogodna za mjerenje razine ljepljivih tekućina.

Karakteristike:

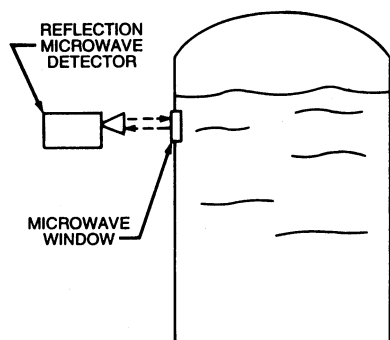
- **raspon:**
 - za sonde koje odašilju ultrazvučni impuls u zrak (npr. silosi) do 8 m, a posebne izvedbe i do 60 m
 - za sonde koje odašilju ultrazvučni impuls u tekućini (npr. bušotine) do 600 m.
- **točnost:** od 0.25 do 2%

MJERENJE RAZINE POMOĆU MIKROVALOVA

Koristi se mikrovalno zračenje frekvencije 10 GHz i 24 GHz, male snage: 0.1 do 5 mW/cm².

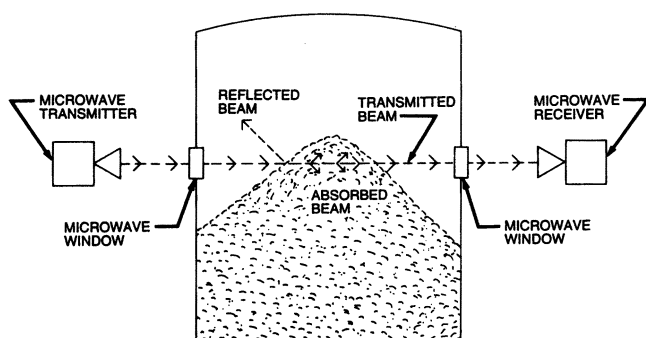
Prednost: neosjetljivi su na prisutnost prašine i sitnih nemetalnih čestica u zraku.

Koriste se za mjerenje razine materijala koji se sastoje od krupnih komada te abrazivnih materijala.



Diskretni detektori razine na temelju razlike u amplitudi ili fazi reflektiranog signala.

Jednostavniji za postavljanje, dovoljan je pristup do jedne strane spremnika.



Diskretni detektori razine na temelju apsorpcije mikrovalnog zračenja

Zahtjevniji za postavljanje, potreban je pristup suprotnim stranama spremnika.

FIG. 3.11c
Beam-breaker detector.

MJERENJE RAZINE POMOĆU LASERA

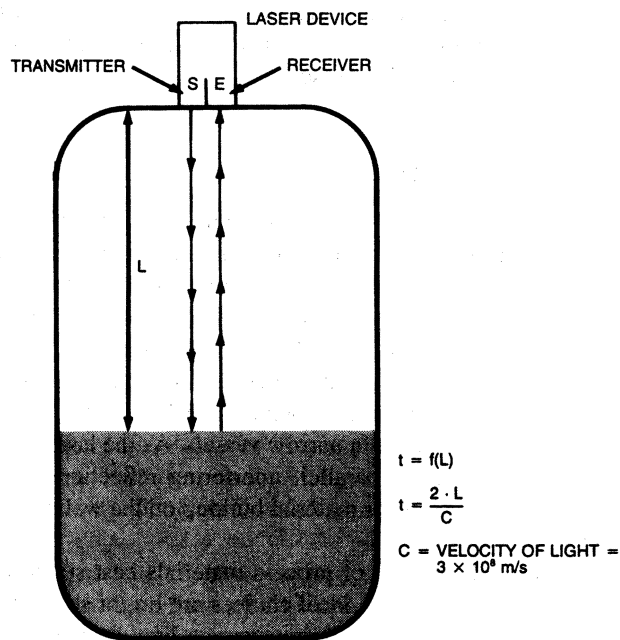


FIG. 3.9c

Level can be detected by measuring the time of reflection. Light travels at a speed of about 0.3 m per nanosecond (10^{-9} sec).

Mjerenje vremena refleksije.

Pošalje se impuls infracrvenog svjetla i mjeri se vrijeme potrebno da se reflektirana zraka vrati natrag.

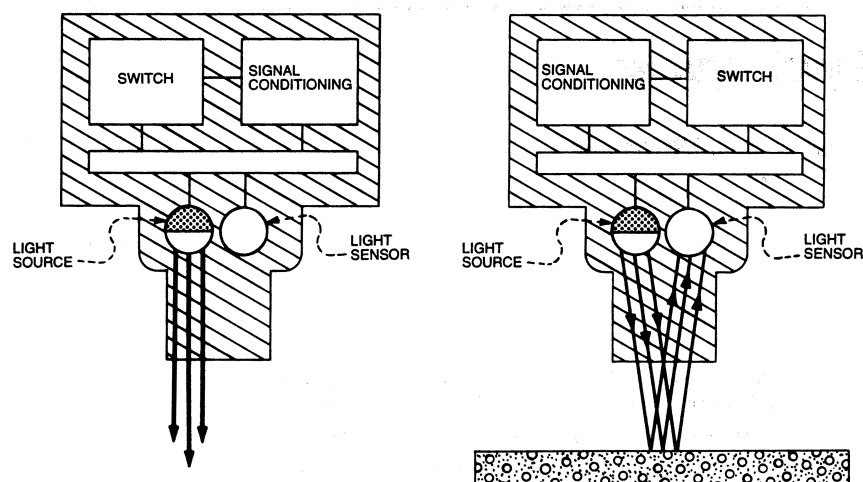
Također se koristi i metoda triangulacije (vidi mjerenje udaljenosti).

Karakteristike:

- točnost: za materijale s dobrim koeficijentom refleksije ± 1 cm od očitane vrijednosti
- mjerno područje: od 1 do 20 m.
- osjetljivi su na prašinu i maglu.

MJERENJE RAZINE OPTIČKIM METODAMA

Mjerenje intenziteta reflektiranog svjetla:

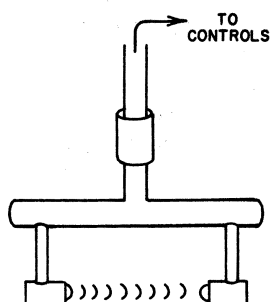


Senziranje određene diskretne vrijednosti razine.

FIG. 3.12a

Noncontacting optical level sensor. (Courtesy of Genelco Div. of Bindicator, Inc.)

Mjerenje transmisije



Dolaskom prepreke između odašiljača i prijamnika, dolazi do promjene intenziteta ili potpunog prekida svjetlosne zrake.

FIG. 3.12c

Optical sludge level detector.

Mjerenje razine temeljeno na totalnoj refleksiji:

Uranjanjem prizme u tekućinu gubi se uvjet totalne refleksije.

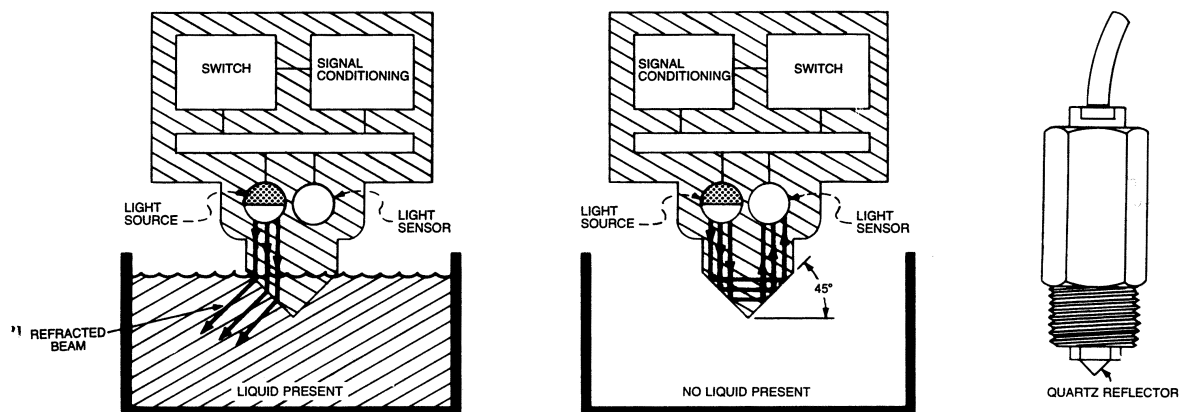


FIG. 3.12e

Light-refraction-type level switch. (Courtesy of Genelco Div. of Bindicator Inc.)

MJERENJE RAZINE MJERENJEM PROMJENE APSORPCIJE IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

Najčešće korišteni radioaktivni materijali za mjerenje razine:

- Co60: $t_{1/2} = 5.3$ godine - koristi se kod spremnika s debelim zidovima
- Cs137 $t_{1/2} = 30$ godina - najčešće korišten
- Ra226 $t_{1/2} = 1602$ godine

Kao detektori ionizirajućeg zračenja koriste se:

- **Geiger-Muellerova (G-M) cijev:** u centru cilindrične katode nalazi se anoda. Napon između anode i katode je 200 do 300 V. Cijev je punjena inernim plinom. Upadno γ -zračenje ionizira inerni plin što uzrokuje električki proboj između anode i katode. Frekvencija tih proboja proporcionalna je intenzitetu γ -zračenja. Redovito se koriste za diskretno mjerenje razine. Proizvode se u dvije duljine: 152 i 305 mm. Za kontinuirano mjerenje razine treba ih upotrijebiti više smještenih u vertikalnom nizu.
- **Ionizacijska komora:** Također je punjena inernim plinom, no za razliku od G-M cijevi između krajeva je narinut napon do 6 V. Uslijed γ -zračenja dolazi do ionizacije plina i kao posljedica poteče kontinuirana struja reda veličine mikroampera, proporcionalna intenzitetu zračenja. Proizvode se u veličinama do 3 m.

Diskretno mjerenje razine:

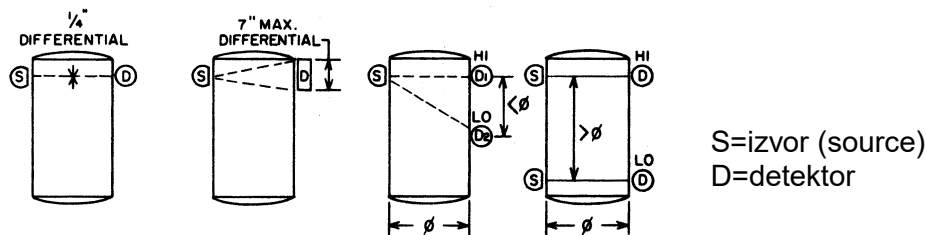


FIG. 3.14g

On-off radiation switch installations.

Kontinuirano mjerenje razine:

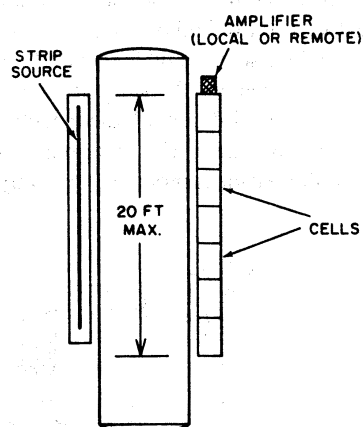


FIG. 3.14h

Continuous level detection by use of strip source and electronic cell receivers.

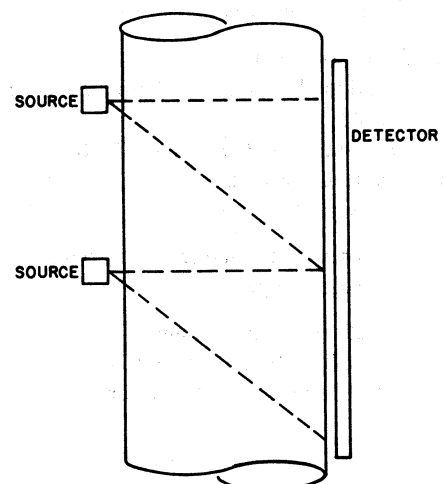


FIG. 3.14i

Level detection using two sources and one detector.

Kontinuirane mjerenje razine visoke točnosti:

Detektor ionizirajućeg zračenja upravlja motorom tako da se izvor i detektor zajedno kreću kako se mijenja razina.

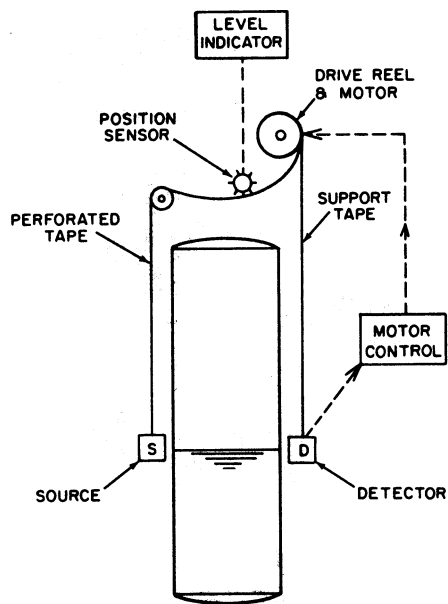


FIG. 3.14j

Continuous high accuracy radiation detector system for accounting installations.

Karakteristike:

- omogućavaju beskontaktno mjerenje razine tekućih i krutih tvari.
- koriste se u ekstremnim situacijama (vrlo visoke ili vrlo niske temperature, za abrazivne, ljepljive ili vrlo korozivne materijale).
- točnost:
 - o diskontinuirano mjerenje: 6 mm
 - o kontinuirano mjerenje: od 3 mm od 1% pune skale.
- područje mjerenja:
 - o 25 mm do 6 m za stacionarna mjerila
 - o do 15 m za izvedbu s motorom

MJERENJE RAZINE POMOĆU ROTIRAJUĆIH LOPATICA

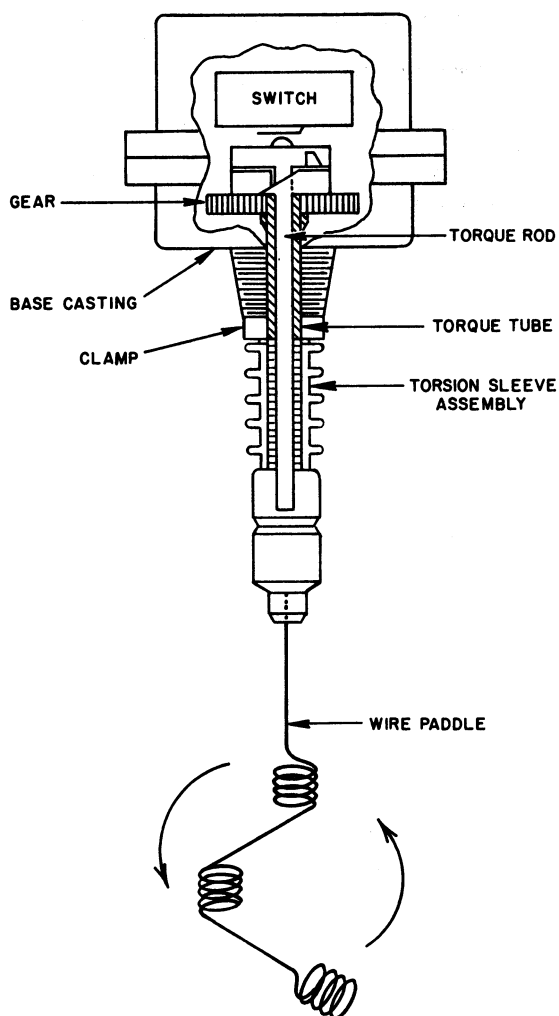


FIG. 3.16a

Rotating paddle switch schematic.

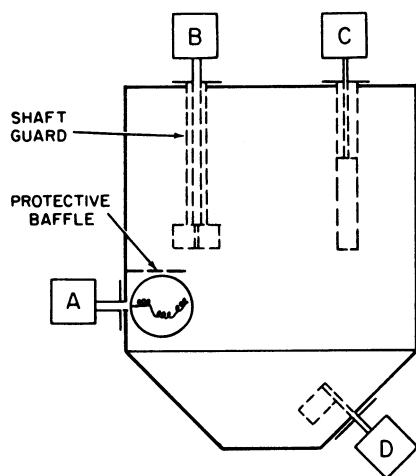


FIG. 3.16c

Rotating paddle solids level switch.

Koriste se za diskretno mjerenje razine krutih tvari (rasutih tereta).

Sastoje se od malog motora koji vrlo niskom brzinom vrti lopatice. Kada razina tvari dosegne lopatice, motor se prestane vrtjeti što se može senzirati mjerenjem zakretnog momenta na osovini motora ili mjerenjem struje napajanja motora.

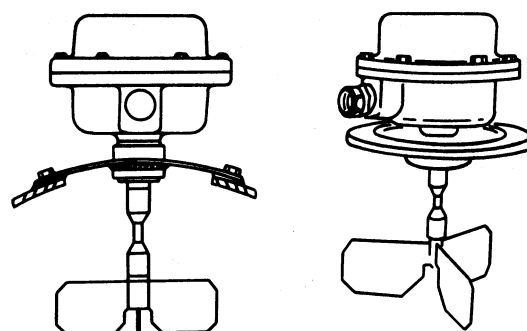


FIG. 3.16b

Paddle switches can be provided with either flat flanges or flexible mounting plates. (Courtesy of Monitor Manufacturing Inc.)

MJERENJE RAZINE MJERENJEM PRIGUŠENJA VIBRACIJA

Princip rada sličan kao i kod ultrazvučnih mjerila razine s prigušenjem vibracija, rade na puno nižim frekvencijama (85 do 400 Hz).

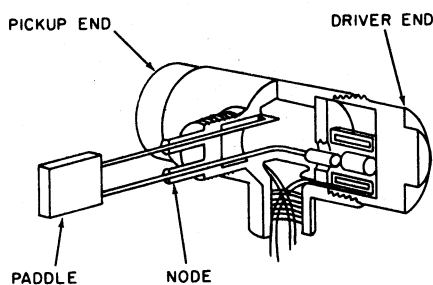


FIG. 3.22a

Vibrating reed switch. (Courtesy of Automation Products Inc.)

Prikazana izvedba sastoji se od pobudne zavojnice koja uzrokuje vibracije lopatice frekvencije 120 Hz. Te vibracije se istovremeno prenose do senzorskog dijela koji se sastoji od zavojnice i permanentnog magneta čijim međusobnim pomakom se inducira napon. Kada tvar dosegne zadanu razinu i okruži lopaticu, uzrokuje prigušenje vibracija koje se odražava na smanjenje induciranog napona.

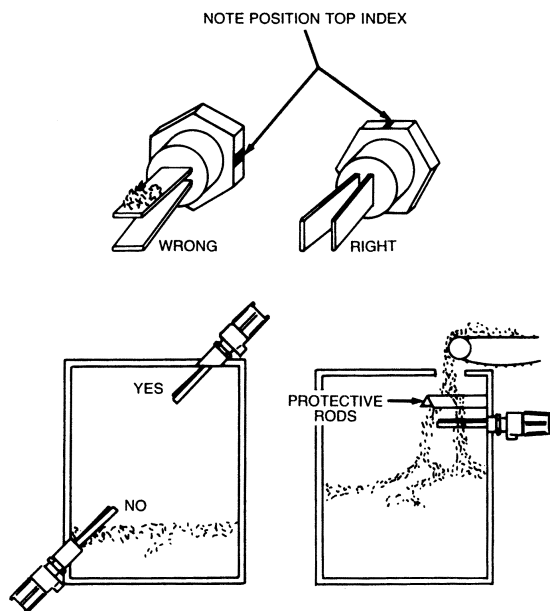


FIG. 3.22d

The installation of tuning fork type level switches. (Courtesy of Endress + Hauser Inc.)

U ovoj izvedbi dvije lopatice čine elektro-mehanički rezonantni sustav, čije prigušenje ovisi o materijalu koji ih okružuje. Također se sastoje od jedne pobudne zavojnice koja uzrokuje vibracije frekvencije 85 Hz i senzorskog dijela (zavojnica + permanentni magnet) čiji signal se pojačava i u povratnoj vezi vodi na pobudnu zavojnicu. Kada materijal čiju razinu mjerimo okruži lopatice, dolazi do povećanja prigušenja vibracija, smanjuje se amplituda generiranog signala i vibracije prestaju. Ova izvedba je osjetljivija od prethodne s jednom lopaticom.

Kod ugradnje treba voditi računa o mjestu postavljanja i orijentaciji lopatica

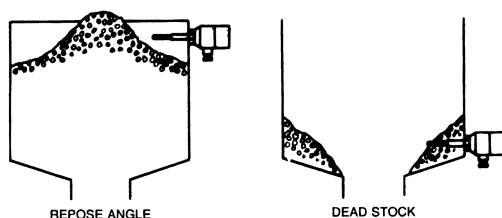


FIG. 3.22e

The cross-section of a vibrating probe and illustrations of false level indications caused by not properly considering the effects of the angle of repose. (Courtesy of Zi Tech Instrument Corp.)

Prilikom postavljanja u spremnik treba voditi računa o tzv. **mirnom kutu** koji ovisi o svojstvima tvari čija razina se mjeri.



FIGURE 11.15 Design of a vibrating level switch. The switch reacts to product viscosity changes, which dampens the vibration of the paddles [6].

Karakteristike:

- točnost: ponovljivost detekcije razine iznosi 3 mm.
- koristi se za mjerenje razine tekućina, i krutina
- kada se koristi za mjerenje razine **vlažnog praha**, može se dogoditi da se uslijed vibriranja istrese sav prah s lopatice i stvori šupljina u materijalu, te dobije pogrešna informacija o razini

MJERENJE RAZINE MJERENJEM DULJINE UŽETA

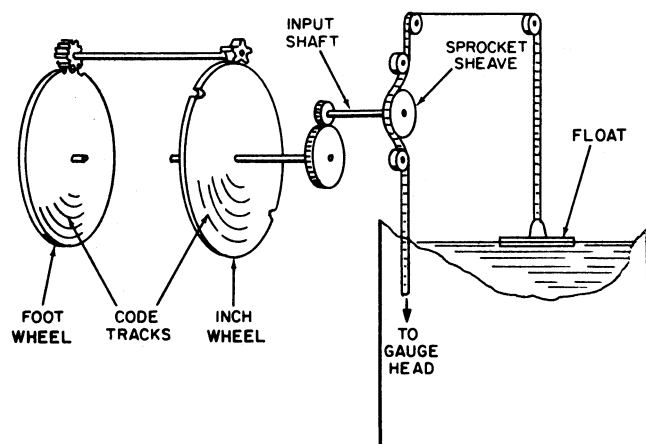


FIG. 3.18e

Schematic of foot and inch wheel drives.

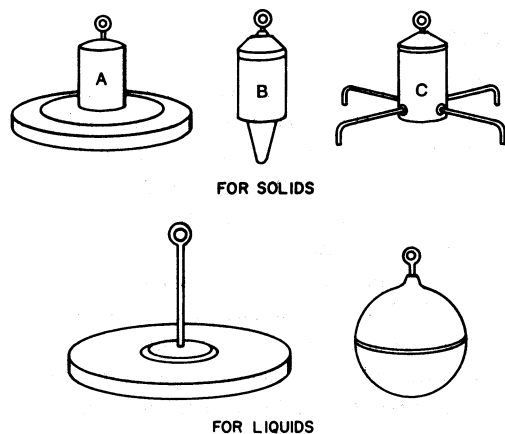


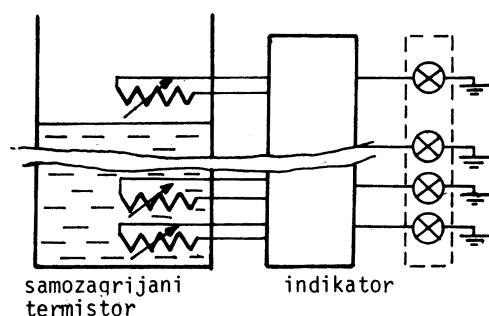
FIG. 3.18k

Sounder designs.

Sonda (plovak, uteg) se spušta i cijelo vrijeme se prati napetost užeta. Pri tome se broji broj okretaja motora. U trenutku kada plovak ili uteg dotakne površinu tvari čija razina se mjeri, smanji se napetost užeta i automatski se počne s namatanjem. Izmjereni broj okretaja proporcionalan je mjerenoj razini.

Napetost užeta se može detektirati tenzometarskim pretvornikom.

MJERENJE RAZINE POMOĆU TEMPERATURNIH SENZORA



Kada razina tekućine dosegne samozagrijani termistor, poveća se odvođenje topline i promijeni se njegov otpor.

Karakteristike:

- točnost: ponovljivost detekcije postavljene razine iznosi 6 mm pri ugradnji sa strane i 13 mm kod ugradnje na vrh spremnika
- vrijeme reakcije može iznositi od 10 do 300 s kod standardnih izvedbi te 1 do 150 s kod brzih.

MJERENJE RAZINE POMOĆU OTPORNIČKIH TRAKA

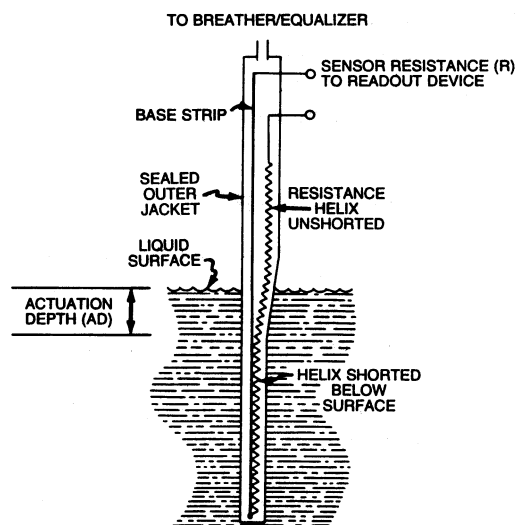


FIG. 3.15b

Schematic diagram of resistance tape sensor operation.

Uslijed povećanja razine tekućine smanjuje se ukupni otpor trake.

Budući da je za spajanje potreban određeni tlak, uz samu površinu postoji određeni dio trake koji nije spojen – tzv. "aktuacijska dubina" koja se mora uzeti u obzir kod umjeravanja mjernog sustava.

Karakteristike:

- koristi se za mjerenje tekućina ali ne i krutih tvari
- točnost: 12 mm uz uvjet da je kompenzirana "aktuacijska dubina".